

European Scientific Journal, *ESJ*

March 2023

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

March 2023 edition vol. 19, No. 9

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeochea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

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

Anita Auzina,
Latvia University of Agriculture, Latvia

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Universita Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmele Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Université d’Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolívar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
University of the People, USA

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael’s Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Atanga Essama Michel Barnabé,
Université de Bertoua, Cameroun

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Beloke,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
“Barleti” University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

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

Table of Contents:

Attitude Toward Continue Medical Education and Professional Development of Emergency Medical Personnel – Cross-Sectional Study of Physicians and Nurses.....1

Manana Machitidze

Nona Goshadze

Combined Effect of Co-trimoxazole Prophylaxis and Safe Water on Diarrhea amongst HIV-Exposed Infants and People Living with HIV/AIDS: A Systematic Review.....20

Elton Chavura

Wales Singini

Russel Chidya

Balwani Chingaticlifwe Mbakaya

Effet in Vitro des Extraits d’Algues [Sargassum natans (Børgesen) Børgesen et Sargassum fluitans (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] sur Fusarium sp., Agent Causal de la Fusariose Vasculaire de la Tomate (Solanum lycopersicum L., Solanaceae).....47

Kouame Kra Frédéric

Agre Don Josette

Komoe Koffi

Baka Yapi Richmond

Kouadio Edouard Yves Gilchrist

**Aspects Epidemiologiques Cliniques et Paracliniques des Fasciites
Necrosantes au Centre Hospitalo-universitaire Pediatrique de Bangui
(CHUPB).....67**

Falmata Lénguébanga Gabouga

Peggy Mboli-Goumba Guérendo

Edgard Djimbélé Béradjé

Battiston Juilis Ngombé-Kette

Alfred Gaudeuille

Léon Kobangué Grénguèto

**Aspects Paracliniques et Étiologiques des Ascites au CHUSC de
Bangui.....79**

Oumarou Youssouf

Roland Evrard Felema Mozane

Armand Kobélémbi

Clémence Djabanga

Natalie Akélélo Boua

Béssanguem Bernard

Kobelembi Mafini Eveline Germaine,

Ignleamoko Gambo Nuella Edwige

Serge Magloire Camengo Police

Service George

Barbara Épouse Siolo

Evaluation des Doses Variables du Miel Local de *Apis Mellifera adansonii* Latr. 1789 du Congo sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair standard.....89

Mbanza-Mbanza B.B.

Bati J.B.

Adzona P.P.

Guembo J.R.

Ntsoumou M.V.

Saboukoulou A.J.

Banga Mboko H.

Impacts de la Contamination Agricole sur la Qualité Physicochimique des Eaux de Surface de l’Ouémé Supérieur au Bénin.....102

Nonvignon Martial Fassinou

Fadéby Modeste Gouissi

Souradjou Orou Goura

Wakili Bolatito Yessoufou

Tayéwo Sylvain Biaou

Kpessou Hopson Kakpo

Hervé Hotèkpo Akodogbo

Dagbédji Damien Toffa

Evaluation de la Translocation du Cadmium, du Cuivre, du Plomb et du Zinc par Zea mays L. cultivé Sur un Sol Ferrugineux Tropical dans l'Ouest du Burkina Faso.....137

Issaka Senou

Moïse Yoni

Hamza Ouedraogo

Hassan Bismarck Nacro

Antoine N. Some

Endogenous Knowledge of the Attie People on AntiSchistosomiasis Medicinal Plants in the Adzope Health District, Côte d'Ivoire.....156

Bene Kouadio

Ouedje Eppoue Romuald

Koffi Akessé Georges

Tra Bi Boli Francis

Sylla Youssouf

Fah Monh Alice

Moyabi Any Georges Armel

Kouakou Donthy Kouakoubah Richard

Kone Mamidou Witabouna

Caractérisation Zootechnique des Populations Sauvages de Heterobranchus longifilis des Bassins versants de Cavally et de Bandama (Côte d’Ivoire).....174

Gnagra Marie-Thérèse Wognin

Morgane Paul Magouana Anvo

Kpahé Herbert Michael Kanh

Assemien Olga Diarrassouba

N’Gouan Cyrille Kouassi

Effet des Substrats à Base de Déchets Sylvicoles et Agricoles Sur la Croissance des Semis de Terminalia ivorensis A. Chev en Pépinière Forestière en Côte d’Ivoire.....189

Kouame Adou Pangny Raymond

Groga Noël

Vouhy Bi Noel

Immunological Responses to Helminths and HIV-1 CoInfections.....211

Elton Chavura

Wales Singini

Russel Chidya

Balwani Chingaticlifwe Mbakaya

Diabete Africain en France.....239

Massi A.W.

Philippon M.

Sejil S.

Delenne B.

Abodo J.

Les Accidents Sur les Sites d’Orpillage Traditionnel : Un Danger Pour la Vision au Niger.....253

Abba Kaka H.Y.

Moussa M.

Boubacar M.

Roufai L.

Variabilité Spatio-temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Climatiques du Burkina Faso: Cas de Bobo –dioulasso, Ouagadougou et Dori.....262

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa Karambiri

Raogo Noël Gansaonre

Quantification de l’Érosion Hydrique au Niveau du Bassin Versant à l’Amont du Barrage Hassan II, Haute Moulouya, Maroc, par l’Équation Universelle de Perte en Sol.....284

Amina Kassou

Narjisse Essahlaoui

Yassin Azzi

Ali Essahlaoui

Performance Technique des Ménages Producteurs d'Anacarde dans la Commune de Bantè au Bénin.....308

Anato Lognidé Serge Eunock

Dako Sidoine Aude Sèdami

Tohinnou Houeze Charbel Vivien Gérardy



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Attitude Toward Continue Medical Education and Professional Development of Emergency Medical Personnel – Cross-Sectional Study of Physicians and Nurses

Manana Machitidze, MD, Ph.D. (c)

University of Georgia, Georgia

Nona Goshadze, RN, MPH

Geo Hospitals, Head of Nursing Development Service, Georgia

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p1](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p1)

Submitted: 03 January 2023

Accepted: 02 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Machitidze M. & Goshadze N. (2023). *Attitude Toward Continue Medical Education and Professional Development of Emergency Medical Personnel – Cross-Sectional Study of Physicians and Nurses*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p1>

Abstract

Aim: Postgraduate education systems for medical professionals are constantly developing worldwide. The study aims to assess the knowledge and attitude toward the importance of continuing medical education and professional development of emergency medical personnel. **Methodology and Design:** Quantitative method study was conducted among Georgia "GEO Hospitals" regional clinics' emergency medicine department physicians and nurses. **Study design** cross-sectional study. **Results:** The attitude towards the knowledge and training of the clinic staff is heterogeneous, regardless of their qualification, and knowledge background. In addition to basic education, motivation is important for improving knowledge. In addition, the contact method is essential in training emergency management and life-saving. **Conclusion:** Continuous medical staff education with effective methods is essential for improving the qualification of medical personnel. This leads to high-quality treatment, the clinic's reputation, reliability, and safe patient care.

Keywords: Emergency Team, Nurses, Physicians, Continuing medical education, Training, BL, and CPR Education

Introduction

Professional skills and knowledge are essential for patients' safe care, treatment, and delivery of health services. Based on evidence-based research results, the healthcare sector is rapidly evolving developed new guidelines, so participation in systematic postgraduate continuing education programs for doctors and nurses is a prerequisite for improving knowledge and professional skills. Knowledge update and improvement is due, in some cases, to personal and professional responsibility and, on the other hand, to state requirements.

The healthcare field is rapidly progressing in management and clinical direction. During technologies (diagnostic, treatment) developed, evidence based on facts is collected and updated, and in many cases, it changes. The latter leads to changes in treatment tactics, new treatments are developed and improved, and new emphases are identified-also as improved methods for training medical professionals. During clinical practice, staff must continuously learn, update their knowledge, adopt new guidelines and recommendations, and apply them in practice. The healthcare system's development most based on such principles and arguments as providing adequate and quality education to achieve the best clinical results, which must constantly improve and respond to modern challenges, starting from the pandemic and ending with economic factors. Raising the qualifications of healthcare workers, including nurses, is one of the healthcare system's essential priorities, as it dramatically impacts the quality and efficiency of medical services.

Along with other areas of the medical field, emergency services are also improving, both inpatient and outpatient. The development of emergency medicine in Georgia dates back two decades. In 2019, the government decree on permit conditions defined additional permit conditions for inpatients who provide emergency medical care services. In this legislative act, the infrastructural requirements, technical equipment, qualification of human resources, and the need for their continuous retraining necessity - were expressed in the establishment of constant professional education points of the critical minimum professional development standards.

For a person in a critical condition, it is often necessary to carry out life-saving measures, in particular, basic life support procedures Basic Life Support (BLS), emergency cardiology measures, Advanced Cardiac Life Support (ACLS), and emergency measures for a trauma patient The Advanced Trauma Life Support (ATLS). (Panchal, A.R et al.,2020). These conditions are one of the most critical public health problems; they are associated with a high mortality rate and represent a potentially significant burden for the country's health care due to the high probability of profound reversible neurological defects and disability. Moreover, other health problems with high

mortality rates can be considered a significant socio-economic burden for society. (Ibid).

Thorough knowledge of basic life-saving measures and their application in practice often is shown with a patient on the verge of death and life associated with cardiac and respiratory arrest, which various genesis problems can cause. By statistics, in the United States are 600,000 cardiac arrests annually. It leads to 300,000 adults and over 15,000 pediatric in-hospital cardiac arrests yearly (Holmberg, M.D. et al.,2019). Cardiac arrest occurs in the wake of several health problems (cholesterol level, blood vessel condition, blood pressure, blood glucose level) connected with the factors of a person's lifestyle and bad habits, which contribute to the health of the cardiovascular system.

Studies were conducted in different countries to assess healthcare workers' knowledge levels in cardiopulmonary resuscitation (CPR) and defibrillation. A study at the University of Pisa in Italy used prospective and observational research methods. Seventy people participated in the study; before and after the training, the trainees filled out a questionnaire (tests). The average improvement in their results before and after the training was 25-30%. Yet, 51 participants felt that their knowledge in this area was still unsatisfactory (Spinelli, G. et al.,2021)

Teaching methods and teaching materials are constantly updated. The International Liaison Resuscitation Committee (ILCOR) created a hypothetical so-called "formula for survival" (FFS), which emphasized three components: 1. Modern guidelines and their constant updating, 2. Adequate training of medical personnel, and 3. Local implementation of patient care guidelines. (Søreide, E.& et al.,2013).

Based on the results of high-quality clinical trials, different strengths of evidence are generated and based on high-strength evidence, guidelines are created and constantly updated. Among them are the guidelines provided by international organizations. For example, the American Heart Association's guidelines for teaching best practices include three main sections: 1. Study design, 2. Provider considerations and requirements, 3. Knowledge gaps (GEF) and related studies. The best instructional design is created by considering the specific goals, type of participants, and instructional context. Therefore, the teaching can be 1. purposeful and sophisticated, 2. in the continued education format, the so-called booster training, and 3. training of non-medical personnel (Basic Life support, 2021).

In targeted learning, the participant has a specific goal (threshold) to achieve; there is immediate feedback between the understanding and the learned knowledge and sufficient time for repetition to increase the ability's effectiveness. Proficiency is achieved through targeted teaching practice in parallel with testing. Testing covers a grid of critical issues representing the

criteria required to cover a specific standard. Effective targeted teaching ultimately results in better patient outcomes.

American Heart Association volunteer experts review guidelines in resuscitation selected by the AHA's Emergency Cardiovascular Council (ECC) ((AHA, 2020); (Circulation, 2020)). There is constant work on how to increase the effectiveness of teaching. It is critically important to realize what has been learned in the workplace and put knowledge into practice. That is why the teaching style is based on algorithmic systems, which makes learning more accessible and faster, and puts updated knowledge into practice. Cardiac arrest may require out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) or In-Hospital Cardiac Arrest (IHCA) care. Therefore, the basic life-saving algorithm is taught to society's different age and professional groups. Training and retraining courses are created for healthcare workers, schoolchildren, students, rescuers, and defenders of public order (Nallamothu B.C.&etc., 2018). Instructional design should be defined in such a way that it is aimed at optimizing the achievement of the final goal. Since >500,000 cardiac arrests are reported in the United States, staff training is more likely to save lives than technological and scientific advances. (Meaney &etc.,2013).

William McGaugh, a professor of preventive medicine at the University of Chicago, and his colleagues identified at least seven characteristics of sophisticated teaching: 1. Basic knowledge assessment tool - testing (baseline); 2. Clear learning objectives arranged in order from simple to complex; 3. Involvement in the teaching process leads the student to achieve the goal (practical skills, data interpretation, calculation, Etc.). They establish evaluation criteria; and develop a threshold score for each learning topic to overcome the minimum, continue to practice and/or study until the proficiency limit is exceeded; they plan the following training to improve the results further (McGaghie, W.C., 2015). Curricula include science and research-based content that allows students to enhance their clinical practice individually and in a team setting. While training in CPR is so widespread, participants sometimes don't achieve the desired results, which leads to the fact that they need to apply the knowledge gained in actual practice with the patient.

Often, memorizing large amounts of information is beyond human capacity. In such cases, healthcare professionals are greatly helped by pocketbooks, in which concise treatment guidelines and the so-called guideline are given; also, there are various internet sources, applications, and sites containing clinical medical information. These sources help healthcare professionals to find specific details, and the information obtained often determines the planning of treatment and research. The busyness of medical personnel and modern technological trends are strong incentives for the so-called development of electronic databases and guides. Such updated and

concise information is acceptable and practical for practicing doctors. According to a study conducted by Harvard University, such a service improved the treatment outcome of patients. However, these sources provide information, and ready-made formulas, starting with calculating medication doses and ending with analyzing disease risks, the so-called Calculators. Although using such sources often improves the patient's treatment outcome, more is needed to enhance the knowledge of the medical staff. Knowing where to look for information when specific knowledge is lacking is often very useful. As a counterweight to similar Internet and other types of information sources, various types of continuing education and professional development courses, online and live training provide not only knowledge but also intuitive skills, both in assessing the patient's condition and in the immediate planning of interventions and implementation. This knowledge leads to a practical solution when the patient's condition worsens, and out in critical situations carried resuscitation measures.

The world's leading professional organizations (such as the American Heart Association, the European Resuscitation Council, Etc.), in terms of the effectiveness of resuscitation measures in emergency care, annually publish small or significant changes in the algorithmic system (Circulation. 2020). Complex resuscitation measures are learned and performed to decrease the chances of patient survival and disability. The tradition of periodic training of health care personnel employed in emergency units has been established in different countries for several decades. Teaching is conducted both online and in classrooms and laboratories. Both have strengths and weaknesses. During training in live mode, using face-to-face teaching and role-playing games, the specifics of teamwork, the moments of delegation of duties between team members, and the functions taught to each team member. In the training laboratory, manual interventions are performed on mannequins, which are purposefully created for a specific course and provide an opportunity to simulate one critical situation.

However, electronic courses, the so-called E-Learning, are becoming increasingly popular, especially during the Covid-19 pandemic. The safety of the learners and their limited time is a factors to consider.

Methodology

The study was conducted in the emergency medicine units of "GEO Hospitals" LLC regional clinics. The study employed a quantitative research cross-sectional design. "Geo-Hospitals" network of clinics includes clinics in Tbilisi and five regions of Georgia. Two of them do not have an emergency medicine department. Criteria for selecting respondents were determined by the main characteristics of the target population related to the research question - two target groups: nurses and physicians who worked in emergency

medicine ($n=112$, $P=0.5$, $W=0.1$, $CL=95\%$). During the preparatory period of the research, tasks were developed to analyze teaching results, evaluate the effectiveness of continuous medical education, and develop relevant recommendations.

The central part of the study included training by the training course accredited by the state of Georgia from 2021 to 2023. It was held by trainers of the training center of "Geo Hospitals" LLC. The clinical group members were certified trainers with experience in teaching and creating study materials. Based on the 2020 updated algorithms, the American Heart Association prepared the training courses. The study inclusion criteria were the participation of medical personnel who worked in the emergency department. By the account of international practice, conducted training in emergency care using the same training material for doctors and nurses; Therefore, the group included healthcare workers of both positions - 112 medical workers, including 88 doctors (78.6%) and 24 (21.4%) nurses. Each group consisted of at most 15 trainees. The training course, held in April and May 2022, covered four days (4 hours per day) for each group and took place face-to-face. Delivered theoretical material in the form of presentations, also used video-audio demonstration methods, and practical training included simulated learning. The students wrote a pre and post-test at the beginning and end of the course. In addition, after completing the course, each group answered a self-assessment questionnaire consisting of 10 closed questions.

The study's data was obtained in compliance with ethical norms. Persons involved in the study were informed about the purpose of the study in advance and gave informed consent. In processing, the results weren't used personal identification data. The teaching methods results, close by knowledge background and age, data connections, and feedback were analyzed and identified based on the research results. Research results, statistical analysis of test results, and analysis of the self-assessment questionnaire results completed by the trainees were processed in a statistical program (SPSS).

Results

Statistical analysis of test results

Data processing showed that 24 nurses and 88 doctors participated in the study. The average percentage of test results before training was 61.5%. (Table 1). After the training, the average rate of test results was 78%. The average percentage of improvement is 17%; The range is -8% to +52%. Among them, 3 participants showed worse results from -8 to 0. 12 had no improvement, 2 participants had -4%, i.e., 4% deterioration (value of 1 question = 4%), and in one case, recorded 8% deterioration. In total, 13% of the participants could not improve their results, and 87% (96 trainees) improved their knowledge, making up 20% (Table 2). Calculated improved

indicators with a confidence level of <0.001 , so we can safely say that most trainees improved their knowledge, and the training was practical.

Table 1. Participating doctor, nurse

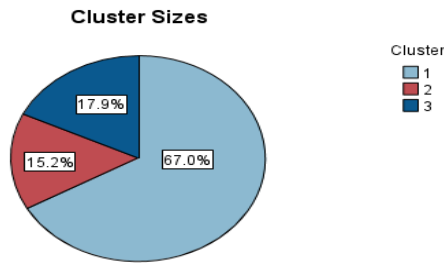
	Frequency	%	Valid%	Cumul. %
Physician	88	78.6	78.6	78.6
Nurse	24	21.4	21.4	100.0
Total	112	100.0	100.0	

Table 2. Paired-Samples T-test

	Mein	Std. Deviation	Std. Error Mean	CI – 95%		t	df	W One-Sided p	Two-Sided p
				Lower	Upper				
Paired-Sample - e - Test	-16.714	13.168	1.244	-19.180	-14.249	-13.433	11	<.001	<.001

The test results of the participants by the cluster method showed that 112 participants were divided into three groups: 1) the largest group of trainees who improved their knowledge by 20% as a result of teaching is 67%, 2) the second largest group of trainees who improved their knowledge by 41% is $\approx 18\%$, 3) the smallest group, whose knowledge improved by 0%, is 15% of the total number of trainees (Figure 1);

Figure 1. Cluster distribution of learning outcomes



Size of Smallest Cluster	17 (15.2%)
Size of Largest Cluster	75 (67%)
Ratio of Sizes: Largest Cluster to Smallest Cluster	4.41

The minimum score in the pretest was 36%, and four trainees obtained such a score. They should note that their improvement is twice as significant as the overall average (42%). Eight trainees' maximum pretest score was 85.5%, with an average gain of 4%, which is less than five times the overall average improvement. (Figure 2); (Figure 3).

Figure 2. Improving the results of students with the highest score

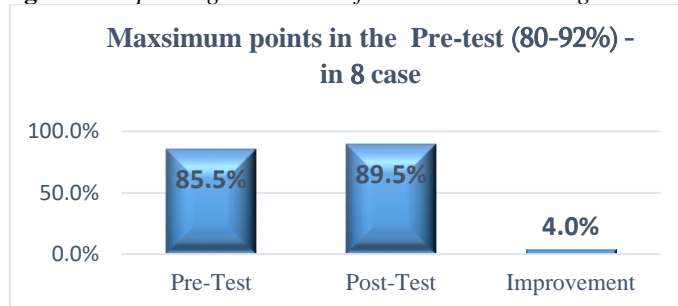
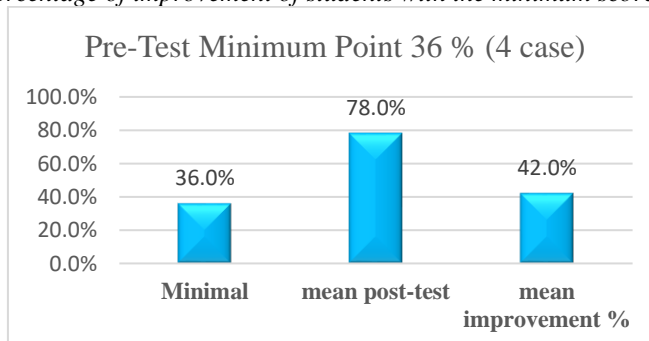


Figure 3. Percentage of improvement of students with the minimum score in the pretest



The percentage distribution of nurses and doctors is 21% nurses/79% doctors. Comparing the pre-and post-test results, it is clear that 12.5% of doctors failed to improve their results due to the training, while 20% of the total number of nurses failed to improve. The obtained result shows no correlation between the position held and the improvement of knowledge. This is confirmed by Pearson's chi-square test, which offers a statistical significance of 0.223. (Data is statistically significant if its Asymptotic Significance coefficient does not exceed 0.05). Therefore, by analyzing results on the relationship between position and improvement, The status of a nurse or doctor does not determine the study's outcome. (Table 3).

The statistical analysis method crosstabulation was used to determine the improvement rate's dependence on the listeners' age (Table 4); The Chi-square test shows that, in this case, there is no correlation between the two independent variables - age and improvement. Because the results of comparing relative data are statistically inconclusive, Asy. Sign=0.829 (table 5);

Table 3. Pearson's Chi-Square Tests to Correlate Improvement in Attitude with Position

	Total	Expected Value df	Statistical Significance
Pearson Chi-Square	21.063 ^a	17	0.223
N of Valid Cases	112		

Table 4. Improvements by age

			Improvement %				Total
			0.00 %	20.00 %	40.00 %	60.00 %	
Age	<30	Total	3	5	1	0	9
		expected improvement	1.4	6.0	1.5	.1	9.0
		% Age	33.3 %	55.6%	11.1%	0.0%	100.0 %
		% Improvement	17.6 %	6.7%	5.3%	0.0%	8.0%
	30-40	Total	2	8	2	0	12
		expected improvement	1.8	8.0	2.0	.1	12.0
		% Age	16.7 %	66.7%	16.7%	0.0%	100.0 %
		% Improvement	11.8 %	10.7%	10.5%	0.0%	10.7%
	>40	Total	12	62	16	1	91
		expected improvement	13.8	60.9	15.4	.8	91.0

	% Age	13.2 %	68.1%	17.6%	1.1%	100.0 %
	% Improvement	70.6 %	82.7%	84.2%	100.0 %	81.3%
Total	Total	17	75	19	1	112
	expected improvement	17.0	75.0	19.0	1.0	112.0
	% Age	15.2 %	67.0%	17.0%	0.9%	100.0 %
	% Improvement	100.0 0%	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %

Table 5. Statistical validity

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	2.837 ^a	6	.829
Likelihood Ratio	2.566	6	.861
Linear-by-Linear Association	1.792	1	.181
N of Valid Cases	112		

Analysis of the self-assessment questionnaire completed by the trainees

The questionnaire requires the trainee to assess a subjective a) what their knowledge was like before the training, b) what it is like after the training, c) which teaching method was more effective and memorable for them, and d) how often they want to deepen and update their knowledge in this direction; e) how they evaluate the information received as a result of the training; The questionnaire includes such facts as, a) occupied position - doctor/nurse; b) age; c) whether they had undergone similar training before, if so, when; 112 (100%) participants filled out the questionnaire. Of the participants, 73 (65%) had previously taken a training course on a similar topic, and 39 had never received training on a given topic. Among those who have received training, the majority, 57%, received training more than six months ago. (Table 6); (Table 7). 8% of participants are under 30 years old, 11% are between 30-40 years old, and the vast majority, 81%, are over 40 years old. (Table 8)

Table 6. When was the last time received training

Dat a	<6 months	9	8.0	12.3	12.3
	>12 months	41	36.6	56.2	68.5
	6-12 month	23	20.5	31.5	100.0
	Total	73	65.2	100.0	
Los s		39	34.8		
Total		112	100.0		

Table 7. Have received training/is attending training for the first time

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Data	Yes	73	65.2	65.2	65.2
	No	39	34.8	34.8	100.0
	Total	112	100.0	100.0	

Table 8. Trainee Age

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Data	<30	9	8.0	8.0	8.0
	30-40	12	10.7	10.7	18.8
	>40	91	81.3	81.3	100.0
	Total	112	100.0	100.0	

Before the training, 23% of the participants estimated their knowledge to be 40%, seventy percent thought they knew 60% of the issues, 10% thought they knew 80%, and 5% knew all the problems. When asked how their knowledge improved due to the training, the majority reported a 20% increase. (Table 9); (Table 10); (Table 11)

Table 9. Students' assessment of their knowledge before the training

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Data	40.00%	26	23.2	23.2	23.2
	60.00%	69	61.6	61.6	84.8
	80.00%	11	9.8	9.8	94.6
	100.00%	6	5.4	5.4	100.0
	Total	112	100.	100.0	

Table 10. Expected improvement

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Data	0.00%	17	15.2	15.2	15.2
	20.00%	75	67.0	67.0	82.1
	40.00%	19	17.0	17.0	99.1
	60.00%	1	0.9	0.9	100.0
	Total	112	100.0	100.0	

Table 11. Pairwise comparative statistics, comparison T-test

		Comparison T-test						significance	
		difference between pairs					One-Sided p	Two-Sided p	
		main	St. deviation	St. average mein	95% CL				
smallest	Highest								
pair 1	PretestPretest-post-test	-16.714	13.168	1.244	-19.180	-14.249	<0.001	<0.001	
pair 2	Did Know - know	-20.000	14.704	1.389	-22.753	-17.247	<0.001	<0.001	

Respondent believe that they would improve by an average of 30%, and the training data shows that the average increase in knowledge, according to the scores, is 16.7%. This fact makes to think that the periodic repetition of turning will still be relevant. Data processing Two measurements were performed on the same group, one of the expected and the other of the actual results. By pairing the variables, a statistical program calculated results indicating that the training provided was generally practical and not for individual trainees—confidence ratio <0.01. Repeatedly trained trainees are more confident and rate their knowledge with high scores.

47 out of 112 (42%) choose the suitable teaching method. The second method preferred by 24% of listeners was discussion. However, doctors prefer the process of discussion and debate as the second priority. The third priority teaching method in the research group was a demonstration (19%). Furthermore, the verbal method as the most effective teaching method was named by 20% of the participants. (Table 12); (Table 13); (Figure 4)

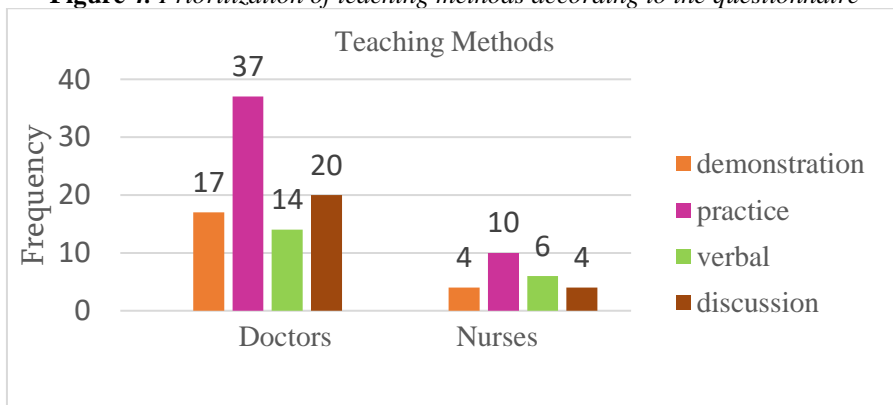
Table 12. The most effective source of teaching: method. Research materials

		Freque ncy	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Vali d Scal e	Demonstration	21	18.8	18.8	18.8
	Practical	47	42.0	42.0	60.7
	Verbal	20	17.9	17.9	78.6
	Discussion	24	21.4	21.4	100.0
	Total	112	100.0	100.0	

Table 13. Which teaching method was preferred by the medical workers employed in different positions? Source: research materials. The statistical processing method: table of comparison of rows and columns of data – Crosstabulation.

Position			Demonstration	Practical	Verbal	Discussion	Total
physician	Total		17 _a	37 _a	14 _a	20 _a	88
	expected quantity		16.5	36.9	15.7	18.9	88.0
	% Position		19.3%	42.0%	15.9%	22.7%	100.0%
	% Method		81.0%	78.7%	70.0%	83.3%	78.6%
Nurse	Total		4 _a	10 _a	6 _a	4 _a	24
	expected quantity		4.5	10.1	4.3	5.1	24.0
	% Position		16.7%	41.7%	25.0%	16.7%	100.0%
	% Method		19.0%	21.3%	30.0%	16.7%	21.4%
Total			21	47	20	24	112
expected quantity			21.0	47.0	20.0	24.0	112.0
% Position			18.8%	42.0%	17.9%	21.4%	100.0%
% Method			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Figure 4. Prioritization of teaching methods according to the questionnaire



According to the results obtained based on the survey of the trainees, they consider it necessary to repeat the training at specific intervals. The possible answers in the questionnaire meant, "no need to repeat the training." It turned out that none of the 112 listeners thought so. All of them mention updating the training at any periodicity. Most of them note the interval of 6 and 12 months. 60 believe it would be appropriate to repeat the said training twice a year. Forty-one believe that they should conduct training once a year. 4% believe that repeating every two years would be good. Within the framework of the same question, we processed the same data in connection with the gender of the participants. It turned out that most women wanted to renew their studies in 6-month intervals, while the opinion of men was divided between 6-month and annual renewal. (Table 14);

Table 14. Determining the optimal frequency of training Crosstabulation

Gender			Periodicity			Total
			X1 in year	X2 in year	x1 in 2-year	
Female	Total	Total	35 _{a, b}	61 _b	2 _a	98
		expected	35.9	58.6	3.5	98.0
		% gender	35.7%	62.2%	2.0%	100.0%
		% periodicity	85.4%	91.0%	50.0%	87.5%
	Male	Total	6 _{a, b}	6 _b	2 _a	14
		expected	5.1	8.4	.5	14.0
		% gender	42.9%	42.9%	14.3%	100.0%
		% periodicity	14.6%	9.0%	50.0%	12.5%
Total	Total	41	67	4	112	
	expected	41.0	67.0	4.0	112.0	
	% Gender	36.6%	59.8%	3.6%	100.0%	
	% periodicity	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

Discussion

Analyzing the research results allows us to conclude that the mentioned training is practical, and the trainees have increased their knowledge of basic life-saving methods. Furthermore, although a large part of the study group had previously received training related to the given topic, only some people showed 100% results in the pretest, and the majority of them were able to improve the post-test results.

Both doctors and nurses showed improvement in outcomes after the training course. It should be noted that the training course is designed for an integrated group, nurses and doctors are provided with equal material for each topic, and knowledge is assessed using the same tool. Research has also shown that improvement in ability does not correlate with age. Among the teaching

methods, practical classes and discussions were the most effective. In addition, both the doctors and nurses allocated a functional teaching style. In a survey of doctors and nurses regarding which method was found to be the most important for the effectiveness of their learning, the majority of the respondents mentioned the practical teaching method, and the said method is effective for both doctors and nurses. Specifically, by this comparison, we can logically conclude that the low level of basic knowledge is not correlated with the low absorption rate. Here we may need more information on the given topic, which in itself indicates the need for continuous medical education and qualification improvement. However, in the indicators of nurses, the deterioration was not observed, and in 3.4% of doctors, the result worsened. The study determinant, in this case, is whether there is a correlation between the improvement rate with the position. We make a hypothetical assumption that the improvement of nurses is less compared to the advancement of doctors; to confirm/disprove the premise, we applied statistical analysis using the cross-tabular comparison of these data.

Most trainees note that the training should have a permanent character, and only a few considered that repeating the activity in the future is no longer necessary. The interpretation of the test results of the objective evaluation tool supports this part of the conclusion. Although the improvement in the post-test was 17%, which is statistically reliable, we still had cases of excessive deterioration, indicating that some trainees were given more questions and not enough to be confident and perform at their best.

The result indicates the necessity of the permanent nature of training that most trainees had higher expectations about their performance than what was actually revealed during the testing. However, it should also be noted that the optimism expressed in the self-assessment questionnaire was justified and described by improving knowledge. The material used in training was informative and up-to-date, which was noted when filling out the questionnaire, and the majority gained new information from this training. The study limitations include holding research in one region of Georgia and only in the "Geo Hospitals" network clinics, where was ER department.

Timely recognition of cardiac arrest as a result of complications of various diseases and providing first aid are essential for saving the patient's life. Therefore, knowledge of cardiopulmonary resuscitation (CPR) and defibrillation guidelines and regular personnel training will help save more lives.

Although the latest guidelines are available with the help of various sources, unfortunately, the knowledge in this direction is still not complete. According to the results of a study conducted in Tanzania, which authors view can be an example of the situation in developing and low-income countries, the country's personnel is a low level of both knowledge and skills in

cardiopulmonary resuscitation. It is necessary that the medical staff be systematically trained to improve their knowledge and practical skills and to be prepared. (Kaihula, W. T., 2018).

Let's take into account the fact that there is no licensing of nurses in Georgia. There is no mandatory postgraduate education, and the vast majority of nurses are graduates of professional education; the research results are even more enjoyable. Based on the research results, the level of education and age is not correlated with the learning results; that is, only motivation is enough. If so, why are nurses more motivated and doctors less motivated? Are we dealing with overconfidence, or do other factors require further/in-depth research? Education, motivation, and collaboration of nurses and doctors are necessary. According to the results of several studies, the attitude towards the cooperation of nurses and doctors is mixed. Teamwork for doctors and nurses includes a combination of communication and social skills and specific training in interdisciplinary work, so joint training of nurses and doctors is necessary to understand better the importance of communication and interdisciplinary work and to be able to work together. An understanding of interdisciplinarity will help both in sharing responsibility and solving problems, as well as in making essential decisions for implementing safe patient care to implement patient-centered care as a whole.

This important issue has not yet been mastered, and ‘nurses and doctors still work more in parallel than together’. (Vatn, L., & Dahl, B. M., 2021). Unfortunately, society's attitude affects the prestige of the profession, also on the collaboration of health sector representatives and the formation of an interdisciplinary team. The nursing profession still needs to be perceived as an independent profession. In certain countries, including Georgia, Medicine is more important than nursing. The "priority" of Medicine is felt not only in the clinical sector but also in the academic field. Unfortunately, in many cases, ignored interdisciplinary approaches should be addressed and focused on targeted teaching. All this is a prerequisite for neglecting teamwork and multidisciplinary work, which we face in the clinical sector. (Berduzco-Torres, N et al, 2020). It is a pity that the attitude towards the relationship and collaboration between doctors and nurses was heterogeneous among the representatives of these two professions. The nurses always felt a positive attitude toward doctors. The results of the research conducted in 2003 by M. Hojat et al. again confirmed the authors' opinion.

If we take into account that the nursing profession in Georgia is not prestigious and, unfortunately, it is still under "Soviet influence", when the nurse was thought of as a doctor's support staff and not as an independent profession, we can confidently look for an explanation for the results of the research.

Conclusion

By the analysis of the research results, it would be desirable to renew the training in 6-12 months. A practical method of automating life-saving steps in emergencies is periodic training. However, the practice is implemented in developed countries, and the training frequency is individual.

When teaching the basic methods of saving a life, it is crucial to conduct the teaching using the contact method because the practical training conducted on mannequins helps to study the strength and depth of heart compressions; no other method gives a similar effect.

Taking into account the need and effectiveness of periodic training on the topic of emergency care, medical personnel also need to be trained in various areas and update their knowledge.

Both the state and private structures should take care of the organization of properly equipped training centers and the creation of a continuous training system for medical personnel, which will positively affect the qualification of medical personnel. As a result, we will get more lives saved and increase credibility with the public. Moreover, quality treatment will reduce costs for the state and the burden of disability and incapacity for work.

References:

1. *American Heart Association Guidelines for CPR and ECC.* cpr.heart.org. (n.d.). Retrieved September 12, 2022, from <https://cpr.heart.org/en/resuscitation-science/cpr-and-ecc-guidelines>
2. *Basic Life Support Instructor Essentials Faculty Guide.* 2021 (n.d.). Retrieved September 12, 2022, from https://ahainstructornetwork.americanheart.org/idc/groups/ahaecc-public/@wcm/@ecc/documents/downloadable/ucm_506913.pdf
3. Berduzco-Torres, N., Choquenaira-Callañaupa, B., Medina, P., Chihuantito-Abal, L. A., Caballero, S., Gallegos, E., San-Martín, M., Delgado Bolton, R. C., & Vivanco, L. (2020). Factors related to the differential development of inter-professional collaboration abilities in medicine and nursing students. *Frontiers in Psychology, 11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00432>
4. Hojat, M., Gonnella, J. S., Nasca, T. J., Fields, S. K., Cicchetti, A., Scalzo, A. L., Taroni, F., Amicosante, A. M., Macinati, M., Tangucci, M., Liva, C., Ricciardi, G., Eidelman, S., Admi, H., Geva, H., Mashlach, T., Alroy, G., Alcorta-Gonzalez, A., Ibarra, D., & Torres-Ruiz, A. (2003). Comparisons of American, Israeli, Italian and Mexican physicians and nurses on the total and factor scores of the Jefferson Scale of attitudes toward physician–nurse collaborative

- relationships. *International Journal of Nursing Studies*, 40(4), 427–435. [https://doi.org/10.1016/s0020-7489\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0020-7489(02)00108-6)
5. Holmberg, M. J., Ross, C. E., Fitzmaurice, G. M., Chan, P. S., Duval-Arnould, J., Grossestreuer, A. V., Yankama, T., Donnino, M. W., Andersen, L. W., Chan, P., Grossestreuer, A. V., Moskowitz, A., Edelson, D., Ornato, J., Berg, K., Peberdy, M. A., Churpek, M., Kurz, M., Starks, M. A., ... Sawyer, T. (2019). Annual incidence of adult and pediatric in-hospital cardiac arrest in the United States. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*, 12(7). <https://doi.org/10.1161/circoutcomes.119.005580>
 6. Kaihula, W. T., Sawe, H. R., Runyon, M. S., & Murray, B. L. (2018). Assessment of cardiopulmonary resuscitation knowledge and skills among healthcare providers at an urban tertiary referral hospital in Tanzania. *BMC Health Services Research*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3725-2>
 7. McGaghie, W. C. (2015). Mastery learning. *Academic Medicine*, 90(11), 1438–1441. <https://doi.org/10.1097/acm.0000000000000911>
 8. Meaney, P. A., Bobrow, B. J., Mancini, M. E., Christenson, J., de Caen, A. R., Bhanji, F., Abella, B. S., Kleinman, M. E., Edelson, D. P., Berg, R. A., Aufderheide, T. P., Menon, V., & Leary, M. (2013). Cardiopulmonary resuscitation quality: Improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital. *Circulation*, 128(4), 417–435. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e31829d8654>
 9. Nallamothu, B. K., Guetterman, T. C., Harrod, M., Kellenberg, J. E., Lehigh, J. L., Kronick, S. L., Krein, S. L., Iwashyna, T. J., Saint, S., & Chan, P. S. (2018). How do resuscitation teams at top-performing hospitals for in-hospital cardiac arrest succeed? *Circulation*, 138(2), 154–163. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.118.033674>
 10. Panchal, A. R., Bartos, J. A., Cabañas, J. G., Donnino, M. W., Drennan, I. R., Hirsch, K. G., Kudenchuk, P. J., Kurz, M. C., Lavonas, E. J., Morley, P. T., O'Neil, B. J., Peberdy, M. A., Rittenberger, J. C., Rodriguez, A. J., Sawyer, K. N., Berg, K. M., Arafah, J., Benoit, J. L., Chase, M., ... Magid, D. J. (2020). Part 3: Adult basic and advanced life support: 2020 American Heart Association guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, 142(16_suppl_2). <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000916>
 11. *Circulation*. 2020;142(suppl 2):S551–S579. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000903 Spinelli, G., Brogi, E., Sidoti, A., Pagnucci, N., & Forfori, F. (2021). Assessment of the knowledge level and experience of healthcare personnel concerning CPR and early

- defibrillation: An internal survey. *BMC Cardiovascular Disorders*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12872-021-02009-2>
12. Søreide, E., Morrison, L., Hillman, K., Monsieurs, K., Sunde, K., Zideman, D., Eisenberg, M., Sterz, F., Nadkarni, V. M., Soar, J., & Nolan, J. P. (2013). The formula for survival in resuscitation. *Resuscitation*, 84(11), 1487–1493. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.07.020>
 13. Vatn, L., & Dahl, B. M. (2021). Interprofessional collaboration between nurses and doctors for treating patients in surgical wards. *Journal of Interprofessional Care*, 36(2), 186–194. <https://doi.org/10.1080/13561820.2021.1890703>



Combined Effect of Co-trimoxazole Prophylaxis and Safe Water on Diarrhea amongst HIV-Exposed Infants and People Living with HIV/AIDS: A Systematic Review

Elton Chavura, MSc

Swansea University,

Faculty of Medicine, Health and Life Science, Wales, United Kingdom

Prof. Wales Singini,

Russel Chidya, PhD

Mzuzu University, Faculty of Environmental Science, Mzuzu, Malawi

Balwani Chingatchifwe Mbakaya, Associate. Prof.

University of Livingstonia, Department of Public Health, Malawi

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p20](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p20)

Submitted: 14 September 2022

Accepted: 14 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Chavura E., Singini W., Chidya R. & Mbakaya B.C. (2023). *Combined Effect of Co-trimoxazole Prophylaxis and Safe Water on Diarrhea amongst HIV-Exposed Infants and People Living with HIV/AIDS: A Systematic Review* European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 20. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p20>

Abstract

Aim: Irrespective of co-trimoxazole prophylaxis, diarrhea among HIV-exposed infants (HEI) and people living with HIV and AIDS (PLWHA) remains unacceptably high. We aimed to determine the combined effect of improved water supply interventions and co-trimoxazole prophylaxis on frequency and severity of diarrhea among HEI and PLWHA. Methods: Using key search terms of safe sanitation, improved water supply, WaSH, co-trimoxazole prophylaxis, HIV-exposed, PLWHA, morbidity, mortality, diarrhea; we searched for published articles in PubMed, EMBASE, PsycINFO, AMED, CINAHL, DOAJ and Google Scholar databases guided by the acceptance practice developed by PROSPERO and COCHRANE. A PRISMA flow diagram was used to explain on the number of articles retrieved, retained, excluded and justifications for every action. A Mixed Method Appraisal Tool (MMAT) was used to assess the quality of the methodology of the selected studies. Results: Safe water and co-trimoxazole together reduced diarrhea episodes by up to 67% (IRR _ 0.33, 95% CI 0.24–0.46, P < 0.0001).

The combined interventions resulted in 27% risk reduction in HIV disease progression whilst safe water alone was associated with reductions in the longitudinal prevalence of reported diarrhea of up to 53% among HEI aged ≤ 2 years (LPR = 0.47, 95% CI: 0.30–0.73, $P < 0.001$). Conclusion: The combined effect of co-trimoxazole and safe water was significantly higher than when each one of them were to be offered alone. An expanded WaSH response is critical to prevent diarrhea. Registration: CRD42021240512.

Keywords: Safe sanitation, improved water supply, WaSH, co-trimoxazole prophylaxis, HIV-exposed, PLWHA, morbidity, mortality, and diarrhea

Introduction

Excessive child diarrhea due to unsafe water in sub-Saharan Africa is a tragic but familiar story. Although access to safe water is a basic human need that ensures personal hygiene and restores human dignity (Luby, 2014), a significant proportion of HEI have no access to it (Makaudze, 2019). Many life-threatening opportunistic infections amongst HEI are caused by exposure to unsafe water, inadequate sanitation and poor hygiene (Daniels et al., 2019). The lack of safe water increases HEI's vulnerability to infectious enteric pathogens and gut enteropathy, which hinders the proper absorption of medicines and makes them less effective (Chandna et al., 2020). Safe water significantly reduces the odds of child diarrhoea by up to 45% (WHO, 2014). Many studies (Makaudze, 2019; Daniels et al., 2019; Kamuhabwa and Manyanga, 2015), point to the fact that basic sanitation is key for child survival. Whilst there is evidence that high quality sanitation affect child health outcomes, there is no implementable roadmap to harness benefits achievable by an integration of safe water into HIV treatment, care and support services.

The population of HEI is expanding, and reached nearly 15 million in 2017 (Chandna et al., 2020). Co-trimoxazole is one of the main biomedical interventions recommended by World Health Organization (WHO) in the management of HEI. It contains two antibiotics: sulfamethoxazole and trimethoprim. Trimethoprim and sulfamethoxazole have enhanced effect when used concomitantly. This is because they inhibit sequential stages in the folate synthesis pathway of the microorganisms. It is commonly abbreviated in the following ways: SXT, TMP-SMX, TMP-SMZ or TMP-Sulfa.

To reduce the risk of HIV-associated opportunistic infections, WHO recommends that infants exposed to HIV through breastfeeding receive co-trimoxazole prophylaxis from 6 weeks of age until an age-appropriate HIV test can be used to ascertain the child's infection status after cessation of breastfeeding. Co-trimoxazole is associated with a 36% reduction in respiratory morbidity and a 41% reduction in diarrhoeal morbidity (Davis et

al, 2017). This systematic review was carried out to gather and synthesize evidence on the effectiveness of integrating safe water and co-trimoxazole preventive therapy in reducing morbidity and mortality among HEI.

The question that this systematic review tries to resolve is: What is the combined effect of improved water supply interventions and co-trimoxazole preventive therapy on frequency and severity of diarrhea among HEI and PLWHA? Is the value and performance of two approaches combined much greater than the sum of the separate individual efforts? The target main outcome of the review was diarrhoea among HEI and PLWHA.

Methods

Protocol

This systematic review followed guidelines developed by the PROSPERO for systematic search and selection. PROSPERO is an international database for registering systematic reviews in various professions including the health sector (Page et al., 2018). The protocol was published in the PROSPERO database with registration number CRD42021240512. Details about the protocol have been published elsewhere (<https://www.crd.york.ac.uk/prospéro/#myprospéro>). PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) flow diagram was used to show the number of articles retrieved, retained, excluded with justifications rendered for every action. A PRISMA is a set of items founded on research evidence that improves and supports the reporting clarity of the systematic reviews and meta-analyses (Moher et al., 2009). A Mixed Method Appraisal Tool (MMAT) was used to appraise the quality of the studies included.

Inclusion criteria

Eligible studies fulfilled the following criteria: studies involving morbidity and mortality of PLWHA and HEI; studies aimed at identifying independent and combined effects of co-trimoxazole and safe water supply on frequency and severity of diarrhea among HEI and PLWHA.

Exclusion criteria

Articles were excluded from this systematic review if they were: (1) reviews, perspectives, communications and (2) written in languages other than English.

Information source /search strategy

The following seven database sources were used to gather the required research articles; PubMed, EMBASE, PsycINFO, AMED, CINAHL, DOAJ and Google Scholar. MeSH database search in PubMed was conducted to

identify search terms and keywords. These keywords combined with Boolean operations OR and AND were used to search and retrieve articles from the databases. The search period for the research articles in the mentioned databases started from February 2002 to February 2022 covering a period of 20 years. The following key search words/terms were used; safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea.

Efforts were made to identify both published and unpublished interventional studies by manually checking the reference list of the articles that met the inclusion criteria. Hand searching of the key journals was also done. Thereafter, identified studies were checked to determine their eligibility. See Table 1 below.

Table 1. Search strategy

Databases	Search	Search word/terms	Results
PubMed	Title and abstract	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	1
EMBASE	Title, abstract and full article	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	0
PsycINFO	Title, abstract and full article	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	1

AMED	Title and abstract	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	0
CINAHL	Title and abstract	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	0
DOAJ	Title, abstract and full article	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	0
Google Scholar	Title, abstract and full article	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	6
Reference search from other sources	Title, abstract and full article	safe sanitation AND/OR improved water supply AND/OR WaSH AND/OR co-trimoxazole prophylaxis AND/OR HIV-exposed AND/OR PLWHA AND/OR morbidity AND/OR mortality AND/OR diarrhea	0
Total Result Search			8

Study selection

Articles identified from the databases were imported to Mendeley Reference Management Software. Thereafter, the title, abstract and finally full articles were reviewed against the set inclusion criteria.

Data collection process

The process of data extraction started with a database search of relevant articles as described above and following the PRISMA guidelines (see Figure 1). Titles and/or abstracts of studies were retrieved and studies that potentially met the inclusion criteria as outlined above were identified. The full texts of potentially eligible studies were retrieved and independently assessed for eligibility by two authors. The inconsistencies between the two authors (EC & BM) over the eligibility of some studies were discussed and resolved with a third author (WS) or (RC). A table was used to extract data from the studies included for assessment of study quality and synthesis evidence. The details included; author, year of study, type of participants, age, setting, country, sample size, study design and methods, study purpose/objectives, study outcomes and results. All relevant information was extracted from each study, summarized and documented.

Search outcome

An initial search of the databases and other sources yielded 1055 articles. Only 321 articles were left after removal of duplicates. The remaining articles were further filtered and 292 articles were excluded because they were either abstracts only or they contained a totally different study topic. All full-text articles were further assessed for eligibility and 21 articles were dropped because they lacked sufficient details for the intended study. The remaining 8 articles were selected for the final analysis (see Figure 1).

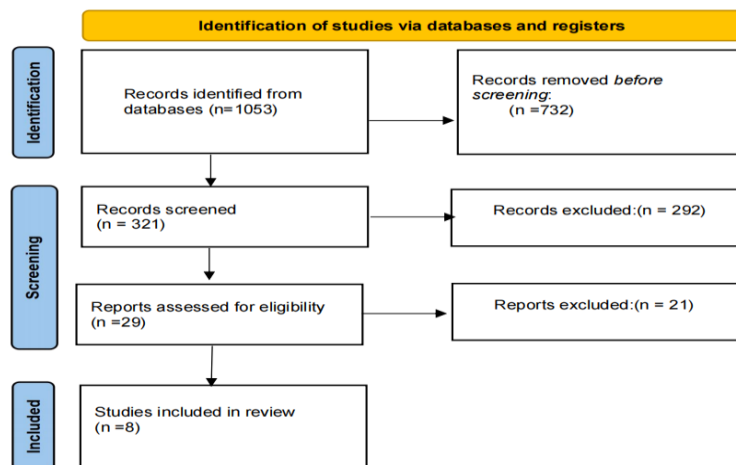


Figure 1. The PRISMA Flow diagram

Data synthesis

The authors provided a narrative synthesis of the findings from the included studies. Emphasis was on the morbidity and mortality among HIV exposed infants and PLWHA. A subset analysis was categorized based on the

set study outcomes, thus; morbidity and mortality. A narrative synthesis was then conducted on the included articles.

We reviewed studies that reported the effect of improved water supply interventions and co-trimoxazole prophylaxis on child diarrhea. A total of eight (8) studies were selected and are summarized in Table 2 below.

Table 2. Summary of studies

Author	Participants	Age	Setting	Country	Sampsize	Study design	Study purpose/ Objective	Outcomes	Results
Prendergast et al 2018	HEI HIV unexposed PLWHA Unknown status	Children and adults	community	Zimbabwe	1394	Cluster RCT	To test the effect of IYCF and safe water, on linear growth and haemoglobin concentrations.	Inconsistent reductions in diarrhoea	9 (2%) of 370 children in the WASH groups were stunted and wasted compared to 6 (2%) of 291 in the non-WASH groups (absolute difference 0%; 95% CI -2 to 3)
Rachel Paletz et al 2012)	HIV exposed infants and Non exposed infants	< 2 years	Household	Chongwe district, Zambia	1138	Cluster RCT	To assess beneficial effects water filtration and safe storage in households caring for HIV exposed infants	Reduced diarrhea	Safe water was associated with reductions in the longitudinal prevalence of reported diarrhea of 53% among children (LPR = 0.47, 95% CI: 0.30–0.73, p = 0.001) and 54% among all household members (LPR = 0.46, 95% CI: 0.30–0.70,p,0.001).

Ezra J. Barzilay (Barzilay et al 2011)	HIV infected women	Not indicated	Household	Lagos, Nigeria	187	RCT	To evaluate the impact of point of use water quality interventions	Reduced diarrhea	Significant diarrhea reduction amongst persons who did not take Cotrimoxazole prophylaxis (-62%, p=0.02) Point of use water treatment was associated with a reduced risk of diarrhea in PLWHA Regular water treatment was required to achieve health benefits
Jiayin Xue (Jiayin Xue et al 2010)	Mothers to HIV exposed infants	Women of childbearing age	Household	Lilongwe, Malawi	474	Prospective observational study	To evaluate a pilot prevention of mother-to-child transmission post-natal programme in Lilongwe, Malawi, through observed retention and infant diarrhoeal rates.	Reduced diarrhea	The infant diarrhoeal rate was low, suggesting benefits of regular medical care with hygiene package usage Seventeen of 357 (4.8%, 95% CI 2.8–7.5%) of the infants and 3 (0.8%, 95% CI 0.2–2.4%) of the mothers were reported to have had at least one episode of diarrhoea

Ram K. Shrestha (Shrestha et al 2006)	PLWHA HIV affected households	Unspecified age groups	Homebased care	Rural part of Uganda	196	RCT	To evaluate the cost and cost-effectiveness of safe water supply intervention for HIV affected households	Reduced diarrhea	Safe water averted 37 diarrhea episodes and 310 diarrhea days and gained 0.155 DALYs for the entire household per 100 person-years of participation by HIV-affected households No mortality benefit was reported
John R. Lule et al 2005	PLWHA HIV negative household members	Unspecified age group	Household	Rural part of Uganda	2030	RCT	To evaluate safe water intervention on the incidence and severity of diarrhea among persons living with HIV	Reduced diarrhea	Safe water was equally effective with or without cotrimoxazole preventive therapy In combination they reduced diarrhea episodes by 67% (IRR_0.33, 95% CI_0.24–0.46, P < 0.0001), days with diarrhea (5.5 versus 10.5 days per person-years; IRR_0.46, 95% CI_0.32–0.66, P < 0.0001), and days of work or school lost due to diarrhea (2.9 versus 5.1 days per person-years; IRR_0.53, 95% CI 0.34–0.83, P_0.0056)

O Reilly et al., 2014	PLWHA and households	>18 years	Household	Amhara, Ethiopia	749	RCT	To evaluate effectiveness of preventive health interventions for PLWHA	Reduced diarrhea	Intervention group clients were less likely than comparison clients to report illness from any cause (44% vs. 67%, p<0.05) and fewer health facility visits for diarrhoea (4% vs. 7%, p=0.11) than comparison clients.
Judd L. Walson (Walson et al 2013)	PLWHA	Adults	HIV care site	Kenya	589	RCT	To determine whether the use of long lasting insecticide treated bed nets and point of use water filters can delay HIV disease progression	Reduced diarrhea	Incidence of malaria and diarrhea were significantly lower in the intervention group. The combined interventions of insecticide treated bed nets, safe water resulted in 27% risk reduction in HIV disease progression, and a 24% decrease in cd4 cell count decline among already receiving cotrimoxazole prophylaxis

Results

Quality appraisal

The methodological quality of included studies was critically appraised using the Mixed Method Appraisal Tool (MMAT). Based on the MMAT, three studies scored 100%; all of which were randomized controlled trials. The other four studies scored (80%) each. Only one study scored 60%. Among these, one study used a non-blinded design. Another study had possible confounders in the research design and the third one had incomplete outcome data. Randomization of one study was unclear, hence the 80% score. The study whose methodology scored 60% had inappropriate subject selection criteria with unclear research hypothesis. Nonetheless, all the nine studies were categorized as high quality after meeting almost all core criteria for their study design. The overall quality cut-off point was set at 60%. With an average score of 85% across the evaluated articles, the studies were categorized as very high quality. Therefore, the findings from our systematic review can be relied upon to inform policy, practice, education and research. See Table 3 below.

Table 3. Mixed Method Appraisal Tool (MMAT)

Name of study author	Type of study	Methodological quality criteria	Y/N	Comments	Score
Prendergast et al 2018 Independent and combined effects of improved water, sanitation, and hygiene, and improved complementary feeding, on stunting and anaemia among HIV-exposed children in rural Zimbabwe: a cluster-randomised controlled trial	Randomized controlled trial	2.1. Is randomization appropriately performed?	N	Inappropriate subject selection criteria with unclear research hypothesis	60%
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	N		
		2.3. Are there complete outcome data?	Y		
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	Y		
		2.5. Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y		
Paletz et al 2012 Assessing Water Filtration and Safe Storage in Households with Young Children of HIV-Positive Mothers: A Randomized, Controlled Trial in Zambia	Randomized controlled trial	2.1. Is randomization appropriately performed?	Y	A non-blinded design was used because previous attempts to blind the same intervention were unsuccessful; this can be a potential source of bias	80%
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	Y		
		2.3. Are there complete outcome data?	Y		
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	N		
		2.5. Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y		

<p>Barzilay et al 2011</p> <p>Diarrhea prevention in people living with HIV: an evaluation of point of use water quality intervention in Lagos, Nigeria</p>	<p>Quantitative Non randomized study</p>	<p>3.1. Are the participants representative of the target population?</p> <p>3.2. Are measurements appropriate regarding both the outcome and intervention (or exposure)?</p> <p>3.3. Are there complete outcome data?</p> <p>3.4. Are the confounders accounted for in the design and analysis?</p> <p>3.5. During the study period, is the intervention administered (or exposure occurred) as intended?</p>	<p>Y</p> <p>Y</p> <p>Y</p> <p>N</p> <p>Y</p>	<p>Interpretation of a pre/post intervention study may be misleading, since changes in the outcome may be a reflection of the effect of the intervention or just a natural course of the the disease</p>	<p>80%</p>
--	---	--	--	--	------------

Xue et al 2010	Quantitative Non randomized study	3.1. Are the participants representative of the target population? 3.2. Are measurements appropriate regarding both the outcome and intervention (or exposure)? 3.3. Are there complete outcome data? 3.4. Are the confounders accounted for in the design and analysis? 3.5. During the study period, is the intervention administered (or exposure occurred) as intended?	Y Y Y N Y	Women were enrolled at different times between October and March, and follow-up visits span into July, these months encompass both the dry and wet seasons, introducing more variability	80%
Use of nutritional and water hygiene packages for diarrhoeal prevention among HIV-exposed infants in Lilongwe, Malawi: an evaluation of a pilot prevention of mother-to-child transmission post-natal care service					

<p>Shrestha et al 2006</p> <p>Cost-effectiveness of home-based chlorination and safe water storage in reducing diarrhea among HIV affected households in rural Uganda</p>	<p>Randomized controlled trial</p>	2.1. Is randomization appropriately performed?	Y	<p>100%</p>
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	Y	
		2.3. Are there complete outcome data?	Y	
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	Y	
		2.5 Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y	
<p>Lule et al 2005</p> <p>Effect of home-based water chlorination and safe storage on diarrhoea among persons with human immunodeficiency virus in Uganda</p>	<p>Randomized controlled trial</p>	2.1. Is randomization appropriately performed?	Y	<p>100%</p>
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	Y	
		2.3. Are there complete outcome data?	Y	
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	Y	
		2.5 Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y	

<p>O Reilly et al 2014</p> <p>Improved health among people living with HIV/AIDS who received packages of proven preventive health interventions, Amhara, Ethiopia</p>	<p>Randomized controlled trial</p>	2.1. Is randomization appropriately performed?	N	<p>Not clear</p> <p>80%</p>
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	Y	
		2.3. Are there complete outcome data?	Y	
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	Y	
		2.5 Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y	
<p>Walson et al 2013</p> <p>Evaluation of impact of long-lasting insecticide-treated bed nets and point-of-use water filters on HIV-1 disease progression in Kenya</p>	<p>Randomized controlled trial</p>	2.1. Is randomization appropriately performed?	Y	<p>100%</p>
		2.2. Are the groups comparable at baseline?	Y	
		2.3. Are there complete outcome data?	Y	
		2.4. Are outcome assessors blinded to the intervention provided?	Y	
		2.5 Did the participants adhere to the assigned intervention?	Y	

Study characteristics

Eight (8) studies fulfilled the eligibility criteria. These studies were conducted in Nigeria (Barzilay et al., 2011), Kenya (Walson et al 2013), Ethiopia (O Reilly et al., 2014), Malawi (Xue et al., 2010), Zambia (Paletz et al., 2012), Zimbabwe (Prendergast et al., 2018) and two studies came from Uganda (Shrestha et al 2006 and Lule et al., 2005). Refer to Table 2. Seven (7) studies were quantitative randomized controlled trials whilst the other one (1) was simply quantitative non-randomized controlled trial. One (1) study enrolled HIV positive women attending PMTCT and their HEI (Xue et al., 2010) while two (2) other studies focused on children living with HIV (Walson et al 2013; Prendergast et al., 2018). Five (5) studies focused on children living with HIV and their households (Barzilay et al., 2010; Shrestha et al., 2006; Peletz et al., 2012; Lule et al., 2005; O Reilly et al., 2014). One (1) study (Prendergast et al., 2018) focused on HIV positive pregnant and breastfeeding women, HEI, HUEI (HIV-unexposed infants) and children whose HIV status was not ascertained at time of enrollment into the study. Nonetheless, all populations of interest in this study were taking co-trimoxazole prophylaxis as per recommended protocols.

Summary of the findings

Studies included in this review were analyzed based on the main outcome of interest- diarrhea amongst HEI and PLWHA receiving co-trimoxazole. The presentation and interpretation of the results follow these categories as narrated below.

Morbidity

All the eight studies reported diarrhea as either their primary or secondary outcome. Besides diarrhea, the other effects of morbidity were expressed through reduction in HIV disease progression (Walson et al., 2013) and Daily Adjusted Life Years (DALY) (Shrestha et al., 2006). According to Walson et al., 2013 study, the incidence of clinically diagnosed malaria within the previous 3 months was significantly lower in the intervention group than in the control group (RR 0.66; 95% CI 0.49–0.88). The study further reported that combined interventions resulted in 27% risk reduction in HIV disease progression, and a 24% decrease in CD4+ cell count decline among those already receiving co-trimoxazole. Gains of 0.155 DALYs for the entire household per 100 person-years of participation by HIV-affected households was reported in one study by Shrestha et al., (2006). Therefore, using safe water had extended health benefits to other members of the households who were not infected with HIV. In another study, in Amhara- Ethiopia, (O Reilly et al., 2014) PLWHA who had access to safe water combined with co-trimoxazole were less likely to report illness from any cause (44% vs. 67%,

$P < 0.05$) than comparison clients. The combination of safe water was protective against other opportunistic infections which led to fewer health facility visits for opportunistic infections.

Mortality

One study with mortality as an outcome met the inclusion criteria. The study sought to assess water filtration and safe storage in households with young children of HIV-positive mothers: In this randomized controlled study conducted in Zambia, Peletz et al., (2012) reported nine (9) deaths, all in children < 2 years; 3/61 (5%) in the intervention arm and 6/60 (10%) in the control group. In the intervention group, only one (1) death was due to diarrhea; other deaths resulted from organophosphate poisoning. In the control group, deaths were potentially all due to diarrhea. All but one (1) was HIV-exposed and two children were known to be HIV-positive. There was no evidence of an impact of the intervention on all-cause mortality among children < 2 years (RR = 0.56; 95% CI: 0.13–2.37, $P = 0.43$). Another study (O Reilly et al., 2014) reported eight (8) deaths (three (3) in the intervention group and five (5) in the control group). The three (3) deaths in the intervention group occurred due to suicide and pneumonia. A diarrheal death was just one from the control group. Other deaths were from unrelated causes. Overall, the quality of evidence of studies examining mortality was determined to be poor due to the limited number of studies that reported mortality as the major outcome.

Safe water

A study from Uganda on the effect of home-based water chlorination and safe storage on diarrhea among PLWHA taking co-trimoxazole (Lule et al., 2005) revealed that each diarrhea episode was associated with a 0.12 log₁₀ copies/mL per-year increase in viral load (95% CI_ 0.01–0.23, $P = 0.037$). The HIV viral load increased by 0.40 log₁₀ per person year for persons with HIV using safe water compared with 0.71 log₁₀ per person-year for those not using safe water.

A randomized controlled trial of HEI and their households in Zambia (Peletz et al., 2012) reported significant reductions in the longitudinal prevalence of diarrhea of 53% among HEI (LPR = 0.47, 95% CI: 0.30–0.73, $P < 0.001$) and 54% among all household members (LPR = 0.46, 95% CI: 0.30–0.70, $P < 0.001$). The study aimed to evaluate benefits of safe water for households caring for HEI.

In a randomized controlled trial among people with HIV in rural Uganda (Shrestha, 2006), the household-level provision of safe water was found to reduce the frequency of diarrhea episodes by 25%, days with diarrhea by 33%, and the frequency of dysentery by 28%. SWS was similarly effective

whether people with HIV were taking co-trimoxazole, which is recommended for reducing morbidity and mortality among PLWHA.

The results of a randomized controlled trial (Walson et al., 2013) suggest that the addition of an long lasting insecticide bednets (LLIN) and a point-of-use water filtration device to the existing package of care delayed HIV-1 disease progression resulting in a 27% risk reduction in HIV disease progression and a 24% decrease in CD4+ cell count decline among HIV-1-infected adults already receiving co-trimoxazole.

A Malawian study (Xue et al., 2010), suggests that effective hygiene education and improved water supply and sanitation are critical for both the HIV infected mothers and infants who are at risk of opportunistic infections. In this study, safe water led to lowered diarrheal rates in HEI before and after weaning, although safe water alone was not sufficient to reduce diarrhea during the weaning period.

An evaluation study (Barzilay et al., 2010) of point of use water quality intervention in Lagos, Nigeria among PLWHA found that the percentage changes in diarrhea rates between baseline and post intervention surveillance periods was statistically significant among non-users of co-trimoxazole (-62%, $P=0.02$) and among persons who used neither co-trimoxazole nor Antiretroviral treatment (-46%, $P=0.02$). Safe water was associated with a significant reduction in diarrhea and regular water treatment was required to achieve health benefits.

The impact of co-trimoxazole and safe water produced overwhelming benefits of integration leading to the adoption of expanded early co-trimoxazole and safe water usage among HEI and PLWHA in Zambia. Basic health care packages that included Wuha Agar water treatment solution, safe water storage vessels, soap, condoms and co-trimoxazole proved to be an effective remedy for the reduction in diarrhea rates and improving health outcomes in a study that aimed to assess whether basic preventive health interventions have an impact on PLWHA in Amhara, Ethiopia. In this study, (O'Reilly et al., 2014) intervention clients were less likely than comparison clients to report illness (44% vs. 67%, $P<0.001$) or health facility visits for illness (74% vs. 95%, $P<0.001$), and had lower median illness scores (1.0 vs. 3.0, $P<0.05$).

A cluster randomized controlled trial in Zimbabwe failed to establish consistent interactions between WaSH interventions and HIV positive mothers and their exposed infants taking co-trimoxazole. Although the elementary WaSH intervention had no effect on child growth, the intervention group significantly reduced a 7-day prevalence of diarrhea at the 18- month visit: 17 (8%) of 209 children in the non-WaSH groups had diarrhea, compared with 10 (3%) of 290 in the WaSH groups (absolute difference 5% CI 0-9); RR 0.42,

95% CI 0.21-0.85), but had no effect at 12 months or on other measures of morbidity.

Put in general terms, high safe water alone was equally effective with or without co-trimoxazole. The protective effects of WaSH ranged from 53% among HIV-exposed infants aged ≤ 2 years and 54% among non-infected household members.

Co-trimoxazole prophylaxis

Three studies outlined detailed performance of co-trimoxazole for PLWHA (Prendergast et al., 2018; Walson et al., 2013; Lule et al., 2005). A study evaluating the impact of long-lasting insecticide-treated bed nets and point-of-use water filters on HIV-1 disease progression in Kenya (Walson et al., 2005), reported significant difference in time to CD4+ cell count of less than 350 cells/ml (hazard ratio 0.73; 95% CI 0.57–0.95). Individuals in the intervention cohort had a lower risk of reaching a CD4+ cell count of 350 cells/ml or less compared with participants in the control cohort.

The CHAP trial in Zambia (2001-2003) demonstrated that daily co-trimoxazole reduced morbidity and mortality among HIV-infected children in sub-Saharan Africa. Data from this trial, showed that co-trimoxazole use in untreated HIV-infected children was associated with slower decreases in weight- and height-for-age and improvements in anemia. Mean annual change in CD4 cell percentage was 10.14% (95% confidence interval [CI], 2.55 to .83) for the co-trimoxazole group and -0.37% (95% CI, 21.18 to .44) for the control group. Compared with children randomized to receive placebo, children randomized to receive co-trimoxazole had slower decreases in weight-for-age ($P=0.04$) and height-for-age ($P=0.01$), and greater increase in hemoglobin level ($P=0.01$). The effects of co-trimoxazole on growth was primarily attributable to a reduction in diarrhea and other severe infections among children receiving the prophylaxis.

A Ugandan study (Lule et al., 2005) sought to understand the effect of home-based water chlorination and safe storage on diarrhea among PLWHA. In this study, co-trimoxazole was associated with fewer diarrhea episodes: (0.9 versus 2.0 episodes per person-year; IRR $_ 0.42$, 95% CI $_ 0.34-0.51$, $P < 0.0001$), days with diarrhea (7.1 versus 10.1 days per person- years; IRR $_ 0.64$, 95% CI $_ 0.50-0.83$, $P=0.0006$), and days of work or school lost due to diarrhea (3.6 versus 5.1 days per person-years; IRR $_ 0.65$, 95% CI $_ 0.46-0.92$, $P=0.0142$). The SWS and cotrimoxazole together reduced diarrhea episodes by 67%: (IRR $_ 0.33$, 95% CI $_ 0.24-0.46$, $P < 0.0001$), days with diarrhea (5.5 versus 10.5 days per person-years; IRR $_ 0.46$, 95% CI $_ 0.32-0.66$, $P < 0.0001$), and days of work or school lost due to diarrhea (2.9 versus 5.1 days per person-years; IRR $_ 0.53$, 95% CI $_ 0.34-0.83$, $P= 0.0056$) compared with no intervention).

Co-trimoxazole is traditionally associated with a 41% reduction in diarrhoeal morbidity (Davis et al, 2017). In this systematic review, co-trimoxazole whilst offered together with WaSH was associated with a reduction in diarrhea ranging from to 53% to 67%.

Discussion

Infants younger than 12-months and infants with HIV have compromised immune systems and are more at risk for bacterial and parasitic infections resulting from unsafe water supply. Evidence from the eight studies that we included in this systematic review reported on diarrhoea as an outcome. The studies suggest that safe water has added protective effects against morbidity for persons who take prophylactic antibiotics for opportunistic infections. Notably, one study (Xue et al., 2010) observed that point-of use water treatment and hygiene education were associated with lowered diarrheal rates in HEI before and after weaning. This is a positive assertion of the complementarity of safe water (a non-biomedical intervention) and other existing biomedical interventions for HEI. A study in Zambia (Peletz et al., 2012), found that water filtration and safe water storage led to significant reductions in the longitudinal prevalence of diarrhea among HEI and their family members too. This extended benefit provides convenient home-based care practices and minimizes person to person transmission of diarrhea-causing pathogens within HIV affected family members.

Despite this evidence, results from other studies (Prendergast et al., 2018; O'Reilly et al., 2014; Walson et al., 2013; Barzilay et al., 2010; Shrestha, 2006; Lule et al., 2005) focused on co-trimoxazole typically for PLWHA in general. Reduction in HIV disease progression was reported in only one prospective observational study (Walson et al., 2013) of combined effects of long lasting insecticide treated bed nets and point-of-use water filtration. The combined intervention resulted in risk reduction in HIV disease progression.

Interestingly, the safe water intervention study in Zimbabwe on HEI (Prendergast et al., 2019) did not establish a consistent effect on diarrhea. It was hypothesized that safe water and WaSH in general would reduce diarrhea and prevent enteric dysfunction which would in turn, reduce stunting. Although uptake of the WaSH intervention was well implemented, it did not stimulate household behaviors within the limited and specified study period. Secondly, the study had complexities in the initial enrollment of research participants as they ranged from HEI, HEUI and HIV-unexposed (HIV negative) infants and those that had uncertain HIV status. Other research participants included pregnant and breastfeeding mothers and the specific sample size for HEI was not clear. It is highly likely that the null effect of the WaSH intervention was due to insufficient power to detect an effect. Again,

we reasoned that group sizes were vastly unequal with violation of homogeneity of variance then a possible underestimation of the significance level would ensue resulting in false rejection of the null hypothesis.

Limitations of the study

All the included studies used self-reported diarrhea rates as the outcome, which may be prone to bias and recall-errors. Some studies were funded by water treatment products manufacturers, which raised the possibility of conflict of interest. It was further observed that researching safe water interventions alongside other multiple HIV preventive services that benefit PLWHA such as long lasting insecticidal mosquito nets (LLINs), nutrition/ food supplements, and Infant and Young Child Feeding (IYCF) programs without a study design that allows researchers to separate the impacts could result in misleading conclusions.

Implications of the study findings for practice, research and policy

The United States President's Emergency Plan For AIDS Relief (PEPFAR) is a United States government initiative that facilitates direct support and the delivery of HIV prevention, care and treatment services to help those suffering from the disease. Irrespective of the funding of HIV programs under the PEPFAR, there is persistent diarrhea experienced by HEI and PLWHA linked to poor WaSH. This translates to loss of funds that threatens the intended goal (Garriga and Foguet, 2013). One of the key PEPFAR objectives is to reduce morbidity and mortality among PLWHA. While it is necessary to identify interventions targeted at the primary causes of HIV-related illnesses, using co-trimoxazole as prevention; how often are such preventive drugs washed down and lost through diarrhea as a result of drinking contaminated water and poor WaSH practices?

Integrating and leveraging resources among partner organizations could enhance maximization and the most efficient use of funds, personnel and other resources within the WaSH and HIV sector. For every \$1 invested in water and sanitation WHO estimates a \$4 economic return and a 1.5% gain of global gross domestic product (GDP) through reduced health costs, workplace productivity and fewer premature deaths. This results in \$18.5 billion in economic benefits each year from prevented diarrhea (WHO, 2014).

As it stands, there is no implementable roadmap to harness the benefits achievable by WaSH/HIV/AIDS integration. As such, there is need to develop a comprehensive WaSH/HIV/AIDS response strategy that addresses particular needs of HEI, PLWHA and their families. As an expanded response to address exposed infants' vulnerability to HIV/AIDS, household water treatment (HHWT) and point of use water treatment must be scaled up particularly

where there is no other safer source of drinking water available for PLWHA and their families.

Conclusion

Co-trimoxazole whilst offered together with safe water was associated with a reduction in diarrhea. The combined effect was significantly higher than when each one of them were to be offered alone. This evidence supports that WaSH programming carries incremental value for HEI and PLWHA. Mortality, another thematic outcome of interest within this systematic review lacked sufficient data to generate firm conclusions. An expanded WaSH response in fighting HIV amongst infants is important to prevent multiple opportunistic infections that can accelerate mother to child transmission of the virus and rapid disease progression.

Conflict of interest: The authors declare no competing interests.

References:

1. Barzilay, E.J., Aghoghovbia, T.S., Blanton, E.M., Akinpelumi, A.A., Calderon, M.E., Akinfolayan, O., Adeleye, O.A., LaTrielle, A., Hoekstra, R.M., Gilpin, U. and Quick R., 2011. Diarrhea prevention in people living with HIV: an evaluation of a point of use water quality intervention in Lagos, Nigeria. *AIDS care*, 23(3), pp.330-339.
2. Chandna, J., Ntozini, R., Evans, C., Kandawasvika, G., Chasekwa, B., Majo, F.D., Mutasa, K., Tavengwa, N.V., Mutasa, B., Mbuya, M.N. and Moulton, L.H., 2020. Effects of improved complementary feeding and improved water, sanitation and hygiene on early child development among HIV-exposed children: substudy of a cluster randomised trial in rural Zimbabwe. *BMJ global health*, 5(1), p.e001718.
3. Chavura, E., Singini, W., Chidya, R. and Mbakaya, B.C., 2022. Combined effect of co-trimoxazole preventive therapy and improved water supply interventions on diarrhea amongst HIV-exposed infants and people living with HIV.
4. Chintu, C., Bhat, G.J., Walker, A.S., Mulenga, V., Sinyinza, F., Lishimpi, K., Farrelly, L., Kaganson, N., Zumla, A., Gillespie, S.H. and Nunn, A.J., 2004. Co-trimoxazole as prophylaxis against opportunistic infections in HIV-infected Zambian children (CHAP): a double-blind randomised placebo-controlled trial. *The Lancet*, 364(9448), pp.1865-1871.
5. Davis, N.L., Wiener, J., Juliano, J.J., Adair, L., Chasela, C.S., Kayira, D., Hudgens, M.G., van der Horst, C., Jamieson, D.J., Kourtis, A.P. and Ahmed, Y., 2017. Co-trimoxazole prophylaxis, asymptomatic

- malaria parasitemia, and infectious morbidity in human immunodeficiency virus–exposed, uninfected infants in Malawi: the BAN Study. *Clinical Infectious Diseases*, 65(4), pp.575-580.
6. Ebinger, J., Botwin, G.J., Albert, C.M., Alotaibi, M., Arditì, M., Berg, A.H., Binek, A., Botting, P.G., Fert-Bober, J., Figueiredo, J.C. and Grein, J.D., 2020. SARS-CoV-2 Seroprevalence Across a Diverse Cohort of Healthcare Workers.
 7. Flower, B., Brown, J.C., Simmons, B., Moshe, M., Frise, R., Penn, R., Kugathan, R., Petersen, C., Daunt, A., Ashby, D. and Riley, S., 2020. Clinical and laboratory evaluation of SARS-CoV-2 lateral flow assays for use in a national COVID-19 seroprevalence survey. *Thorax*, 75(12), pp.1082-1088.
 8. Giné Garriga, R. and Pérez Foguet, A., 2013. Unravelling the linkages between water, sanitation, hygiene and rural poverty: the WASH poverty index. *Water resources management*, 27(5), pp.1501-1515.
 9. Hong GN, Pluye P, Fàbregues S, Bartlett G, Boardman F, Cargo M, Dagenais P, Gagnon M, Griffiths F, Nicolau B, O’cathain A, Rousseau M & VI. MIXED METHODS APPRAISAL TOOL (MMAT) VERSION 2018 User guide. Registration of Copyright (#1148552),. Canadian Intellectual Property Office, Industry Canada. 2018.
 10. Kamuhabwa, A.A. and Manyanga, V., 2015. Challenges facing effective implementation of co-trimoxazole prophylaxis in children born to HIV-infected mothers in the public health facilities. *Drug, healthcare and patient safety*, 7, pp.147-156. Luby, S., 2014. Is Targeting Access to Sanitation Enough?. *The Lancet. Global health*, 2(11), pp.e620.
 11. Lule, J.R., Mermin, J., Ekwaru, J.P., Malamba, S., Downing, R., Ransom, R., Nakanjako, D., Wafula, W., Hughes, P., Bunnell, R. and Kaharuza, F., 2005. Effect of home-based water chlorination and safe storage on diarrhea among persons with human immunodeficiency virus in Uganda. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(5):926-933.
 12. Makaudze, E.M., 2019. Understanding the Hygiene Needs of People Living with HIV and AIDs in Southern African Developing Community (SADC) Countries. In *The Relevance of Hygiene to Health in Developing Countries* (p. 39). IntechOpen.
 13. Mendeley. Mendeley-Desktop-1.19.4-win32,. 2020; Available from: <https://www.mendeley.com/download-desktop-new/#download>. Booth A, Clarke M, Gherzi D, Moher D, Petticrew M SL. An international registry of systematic-review protocols. *Lancet*. 2011;377(9760):108.
 14. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG GP. Preferred reporting

- items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6(7).
15. O Reilly, C.E., Taylor, E.V., Ayres, T., Fanta, R., Abayneh, S.A., Marston, B., Molla, Y.B., Sewnet, T., Abebe, F., Hoekstra, R.M. and Quick, R., 2014. Improving health among people living with HIV/AIDS who received packages of proven preventive health interventions , Amhara, Ethiopia. *PLoS One*, 9(9), p.e107662.
 16. Peletz R, Simunyama M, Sarenje K, Baisley K, Filteau S, et al. (2012) Assessing Water Filtration and Safe Storage in Households with Young Children of HIV-Positive Mothers: A Randomized, Controlled Trial in Zambia. *PLoS ONE* 7(10): e46548. doi:10.1371/journal.pone.0046548
 17. Page, M.J., Shamseer, L. and Tricco, A.C., 2018. Registration of systematic reviews in PROSPERO: 30,000 records and counting. *Systematic reviews*, 7(1), pp.1-9.
 18. Prendergast, A.J., Chasekwa, B., Evans, C., Mutasa, K., Mbuya, M.N., Stoltzfus, R.J., Smith, L.E., Major, F.D., Tavengwa, N.V., Mutasa, B. and Mangwadu, G.T., 2019. Independent and combined effects of improved water, sanitation, and hygiene, and improved complementary feeding, on stunting and anemia among HIV-Exposed children in rural Zimbabwe: a cluster randomized controlled trial. *The lancet child and adolescent health*, 3(2), pp.77-90.
 19. Walson J, Singa B, Sangare´ L, Naulikha J, Piper B, Richardson B, et al. Empiric deworming to delay HIV disease progression in adults with HIV who are ineligible for initiation of antiretroviral treatment (the HEAT study): a multisite, randomised trial. *Lancet Infect Dis* 2012; 12:925–932.
 20. World Health Organization, 2015. Water sanitation & hygiene for accelerating and Sustaining progress on neglected tropical diseases: a global strategy 2015-2020 (No. WHO/FWC/WSH/15.12). World Health Organization.
 21. Shrestha, R.K., Marseille, E., Kahn, J.G., Lule, J.R., Pitter, C., Brantford, J.M., Blunnell,R., Coutinho, A., Kizito, F., Quick, R. and Mermin, J., 2006. Cost effectiveness of home-based chlorination and safe water storage in reducing diarrhea among HIV affected households in rural Uganda. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 74(5), pp.884-890.
 22. Xue, J., Mango, Z., Hoffman, I.F., Mofolo, I., Kamanga, E., Campbell, J., All good, G., Cohen, M.S., Martinson, F.E., Miller, W.C., and Hosseinipour, M.C., 2010. Use of nutritional and water hygiene packages for diarrhea prevention among HIV-exposed infants in Lilongwe, Malawi: an evaluation of a pilot prevention of mother to

child transmission post natal care service. *Tropical medicine and international health*, 15(10), pp.1156-1162.

Effet in Vitro des Extraits d'Algues [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen et *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] sur *Fusarium* sp., Agent Causal de la Fusariose Vasculaire de la Tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)

Kouame Kra Frédéric

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Centre National de Floristique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Agre Don Josette

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Biologie et Santé, Abidjan, Côte d'Ivoire

Komoe Koffi

Baka Yapi Richmond

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Edouard Yves Gilchrist

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de
Physiologie et Pathologies Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p47](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p47)

Submitted: 14 February 2023

Accepted: 24 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kouame K.F., Agre D.J., Komoe K., Baka Y.R. & Kouadio E.Y.G. (2023). *Effet in Vitro des Extraits d'Algues [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen et *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] sur *Fusarium* sp., Agent Causal de la Fusariose Vasculaire de la Tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 47. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p47>

Résumé

La tomate occupe une place très importante dans la vie socio-économique de la population ivoirienne. Elle est une source importante de revenus pour les producteurs. Cependant, *Fusarium* sp. est parmi les champignons telluriques les plus agressifs causant la maladie de la fusariose chez la tomate. Pour contrôler ce pathogène, les agriculteurs utilisent généralement des méthodes de lutte chimique. Cette lutte n'est pas sans effet

secondaire. Elle a des répercussions sur la santé humaine et animale ainsi que sur l'environnement. Afin d'assurer une meilleure production, de réduire l'incidence et la sévérité des maladies de la tomate notamment de la fusariose vasculaire et de protéger l'environnement et la santé des populations ivoiriennes, des bio-fongicides ont été testés *in vitro*. Un total de 30 échantillons de feuilles et tiges de tomate symptomatiques de fusariose ont été collectés dans la localité de Songon. Puis, des isollements et purifications des souches dans des boîtes de Pétri sur milieu PDA ainsi que des caractérisations macroscopiques et microscopiques ont été réalisés au laboratoire. Une gamme de six concentrations (50, 100, 150, 200, 250 et 300 mg/ml) de mélanges d'un extrait total aqueux des algues marines *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* collectées dans la commune de Port-Bouët ainsi que d'un adjuvant (Cawet max), additionnées au milieu PDA a été testée *in vitro* sur la croissance mycélienne quotidienne des souches de *Fusarium* sp. obtenues, en comparaison au bio-produit Callifert spécial maraîchage et à un témoin sans fongicide. Pour chaque concentration, cinq boîtes de Pétri ont été utilisées par souche et l'expérience a été répétée trois fois. Les observations macroscopiques et microscopiques des souches isolées et purifiées ont permis de mettre en évidence deux souches de *Fusarium* sp. (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2). Le Callifert spécial maraîchage et le mélange des extraits d'algues à l'adjuvant Cawet max se sont avérés très efficaces, sur l'inhibition de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium* sp., avec un taux d'inhibition de 100 % aux concentrations respectives de 200 et 300 mg/ml, singulièrement pour la souche *Fusarium* sp2. Par contre, l'extrait d'algues seul s'est montré relativement moins efficace même à la forte concentration de 300 mg/ml sur les deux souches de *Fusarium* sp. Les extraits de sargasses peuvent constituer une base pour la formulation de fongicides en vue d'une lutte intégrée et biologique contre la fusariose de la tomate.

Mots-clés : Tomate, *Fusarium*, extraits d'algues, Callifert, Cawet max

***In vitro* Effect of Algal Extracts [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen and *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] on *Fusarium* sp., Causal Agent of Fusarium wilt of Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)**

Kouame Kra Frédéric

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Centre National de Floristique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Agre Don Josette

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Biologie et Santé, Abidjan, Côte d'Ivoire

Komoe Koffi

Baka Yapi Richmond

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Edouard Yves Gilchrist

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de
Physiologie et Pathologies Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Tomatoes play a very important role in the socio-economic life of the Ivorian population. It is an important source of income for market gardening producers. However, *Fusarium* sp. is one of the most aggressive soil-borne fungi causing Fusarium disease in tomatoes. To control this pathogen, farmers usually use chemical control methods. This control is not without side effects. It has an impact on human and animal health as well as on the environment. In order to ensure better production, reduce the incidence and severity of tomato diseases, particularly vascular Fusarium disease, and protect the environment and the health of the Ivorian population, bio-fungicides were tested *in vitro*. A total of 30 samples of tomato leaves and stems symptomatic of Fusarium wilt were collected in the locality of Songon. Isolation and purification of strains in Petri dishes on PDA medium as well as macroscopic and microscopic characterization were carried out in the laboratory. A range of six concentrations (50, 100, 150, 200, 250, and 300 mg/ml) of mixtures of total aqueous extracts of sea algae *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* collected in the locality of Port-Bouët, as well as an admixture (Cawet max), added to the PDA medium, was tested *in vitro* on daily mycelial growth of the *Fusarium* sp. strains obtained in the comparison of the Callifert vegetable bio-product and to control without fungicides. For each concentration, five Petri dishes were used per strain and the experiment was repeated three times.

Macroscopic and microscopic observations of the isolated and purified strains revealed two strains of *Fusarium* sp. (*Fusarium* sp1 and *Fusarium* sp2). Callifert special vegetables and the mixture of algal extracts with the admixture Cawet max proved to be effective in inhibiting the mycelial growth of *Fusarium* sp. strains, with an inhibition rate of 100% at the respective concentrations of 200 and 300 mg/ml, particularly for the *Fusarium* sp2 strain. However, the algal extract alone was relatively less effective even at the high concentration of 300 mg/ml on both strains of *Fusarium* sp. Sargassum extracts could be a basis for the formulation of fungicides for integrated and biological control of tomato Fusarium wilt.

Keywords: Tomato, Fusarium, algal extracts, Callifert, Cawet max

1. Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) appartenant à la famille des Solanaceae (Munro et Small, 1997) est une plante herbacée annuelle originaire des Andes et d'Amérique (De Lannoy, 2001). Sa consommation joue un rôle essentiel dans le métabolisme humain en fournissant au corps un vaste ensemble de minéraux, de vitamines et d'antioxydants d'origine végétale (Bachir, 2017). Les statistiques de la FAO en 2021 révèlent que, plus de 170 pays produisent de la tomate. Ceci en fait, le premier légume cultivé dans le monde, avec près de 189 millions de tonnes de tomates produites annuellement (FAOStat, 2021). En Côte d'Ivoire, la tomate occupe la deuxième place des légumes fruitiers rencontrés sur les marchés, après l'aubergine N'drowa (Ildefonse, 1995 ; Coulibaly et Bly, 2002). Elle constitue avec le gombo, l'aubergine et le piment les principaux légumes cultivés et consommés localement (Fondio et al., 2015). La production nationale s'élève à 48 804 tonnes/an (FAOStat, 2021) et les besoins sont estimés à plus de 100 000 tonnes/an depuis 2007 (Soro et al., 2007).

Cependant, la culture de la tomate est sujette à de nombreuses contraintes biotiques telles que les insectes ravageurs et les microorganismes pathogènes qui engendrent une baisse considérable de son rendement (Djeugap et al., 2011). Parmi ces derniers, figure le *Fusarium* qui est l'un des champignons telluriques les plus agressifs de la culture. Celui-ci est responsable de la maladie de la fusariose chez la tomate qui se traduit par des flétrissements de la plante, le jaunissement des feuilles et la nécrose vasculaire de la tige (Djeugap et al., 2011).

La réussite des traitements fongicides comme moyen de lutte nécessite l'utilisation des produits efficaces contre l'agent causal de la fusariose de la tomate, mais également, et surtout à des doses convenables. Ainsi, des fongicides d'origine biologique, issus des algues *Sargassum natans* (Børghesen) Børghesen et *Sargassum fluitans* (Børghesen) Børghesen ont été testés

in vitro à différentes concentrations sur la croissance mycélienne de deux morphotypes du genre *Fusarium* isolés en culture de tomate. Cette étude a pour but d'évaluer la sensibilité du champignon *Fusarium* sp. à l'extrait total aqueux des sargasses.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel d'étude

Deux types de matériels ont été utilisés au cours de cette étude. Il s'agit dans un premier temps du matériel fongique, constitué par des souches de *Fusarium* isolées à partir des feuilles et tiges de tomates présentant les symptômes de la fusariose. Dans un second temps, des bio-produits, constitués par des extraits d'algues *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans*, par le Callifert spécial maraîchage de même qu'un adjuvant, le Cawet max, ont été utilisés. *S. natans* et *S. fluitans* sont des algues marines macroscopiques, de couleur brunâtre, de la famille des Sargassaceae.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué dans la commune de Songon, dans la ville d'Abidjan, au sud de la Côte d'Ivoire, une des principales zones de production de la tomate (Ildefonse, 1995). Il a consisté en un prélèvement des fragments de feuilles et de tiges de tomate symptomatiques (Figure 1). Une trentaine d'échantillons ont été récoltés et conditionnés dans des enveloppes avant d'être acheminés par la suite au laboratoire pour l'isolement et la culture des champignons pathogènes. Sur chaque enveloppe, ont été inscrits le nom de la localité, la date et l'heure de collecte, les symptômes de fusariose observés ainsi que les organes atteints et prélevés.

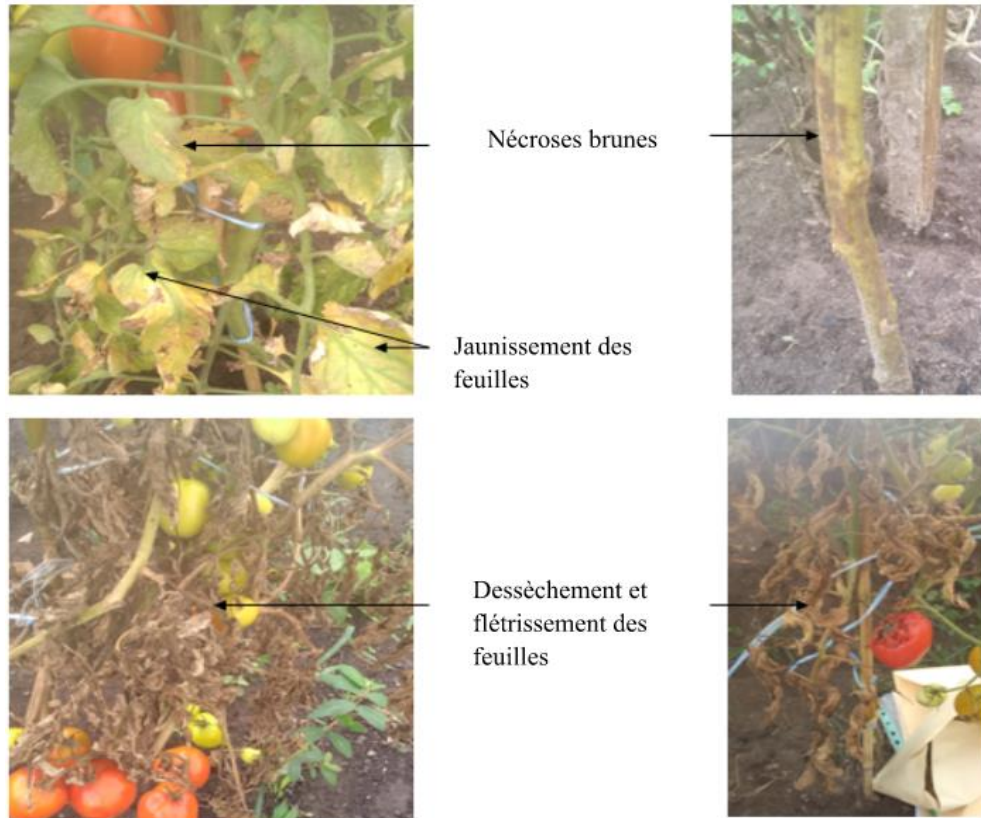


Figure 1. Symptômes de la fusariose observés sur les plants de tomate au champ

2.2.2. Isolement et culture des souches de *Fusarium sp.* sur milieu PDA

Les feuilles et tiges de tomate collectées ont été lavées à l'eau du robinet. Ensuite, des fragments ont été prélevés sur ces organes au niveau du front d'avancement de la nécrose et mis dans des bocaux. Puis, la désinfection des fragments prélevés a été faite pendant 3 minutes en ajoutant de l'alcool à 70 % dans les bocaux. Ceux-ci ont été ensuite trempés dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) à 5 % durant 1 minute. Après désinfection, les fragments ont été rincés trois fois de suite avec de l'eau distillée stérile et ont été séchés pendant 1 minute, avant d'être transférés dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre contenant un milieu Potato-Dextrose-Agar (PDA) figé. Celui-ci a été préparé avec 20 g de glucose, 20 g de purée de pommes de terre, 20 g d'Agar-agar et 1 litre d'eau distillée puis stérilisé à l'autoclave, à 120 °C pendant 30 min, sous la pression de 1 bar. Après refroidissement sous une hotte à flux laminaire, le milieu a été distribué, en présence d'une flamme, dans des boîtes de Pétri stérilisées, à raison de 20 ml/boîte (Koffi et al., 2009 ; Camara, 2011). Après apparition du mycélium, les isolats obtenus ont été repiqués successivement sur de nouveaux milieux de culture PDA jusqu'à

l'obtention de cultures pures du mycélium et des fructifications (Essomé et al., 2020).

2.2.3. Identification des souches de *Fusarium* sp. isolées

Les souches de *Fusarium* sp. isolées ont été identifiées à partir d'observations macroscopiques et microscopiques. Les observations macroscopiques ont porté sur les caractères cultureux tels que la texture et la couleur du thalle ainsi que le contour de croissance et la couleur du mycélium (Fondio et al., 2015). Les souches de *Fusarium* sp. ont été également observées au microscope optique au grossissement X400. L'observation microscopique a été réalisée en prélevant un fragment mycélien grâce à une aiguille stérile. Ce fragment a été monté entre lame et lamelle avec ajout de quelques gouttes d'eau de robinet (Nmichi et al., 2014). L'identification microscopique des champignons a été faite sur la base de la morphologie des spores et du mycélium en présence (coloré ou non, cloisonné ou non, fusiforme ou non, etc.) selon les clés de détermination de Barnett et al. (1972).

2.2.4. Récolte et prétraitement des algues

La récolte des algues *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* s'est déroulée en bordure des plages de la commune de Port-Bouët, dans la ville d'Abidjan, au sud de la Côte d'Ivoire. Les algues échouées sur les plages ont été ramassées et rincées avec l'eau de mer. Puis, elles ont été entassées dans des sachets en plastiques stériles avant d'être acheminées au laboratoire. Concernant le prétraitement, les algues *S. natans* et *S. fluitans* collectées ont été trempées dans de l'eau de robinet pendant 7 jours, au laboratoire. Durant cette période, l'eau a été changée toutes les 24 heures afin d'éliminer sa contenance en sel. Ensuite, les algues ont été séchées à la température ambiante du laboratoire (27 ± 2 °C) puis transformées en poudre à l'aide d'un broyeur électrique (Ouattara et al., 2021).

2.2.5. Préparation de l'extrait total aqueux

La préparation des extraits totaux aqueux (ETA) a été faite selon la méthode décrite par Zirihi et al. (2003) et Ahon et al. (2011). Celle-ci consiste à macérer 100 g de poudre végétale (algues) dans 1 litre d'eau distillée stérile à l'aide d'un Mixeur. Afin d'optimiser le rendement en extrait, la macération a été faite jusqu'à épuisement du résidu. L'homogénat a été filtré sur du coton hydrophile puis sur du papier-filtre Whatman 3 MM (0,34 mm d'épaisseur). Le filtrat aqueux ainsi obtenu a été évaporé à l'aide d'une étuve à la température de 50 °C pour donner une poudre qui a constitué l'extrait total aqueux (ETA) des algues *S. natans* et *S. fluitans*.

2.2.6. Préparation de la gamme de concentration des biofongicides et évaluation de l'efficacité sur la croissance mycélienne des isolats de *Fusarium* sp.

Les bio-produits ont été testés sur la croissance mycélienne des souches pures de *Fusarium* sp., à une gamme de six concentrations correspondant à différentes quantités des bio-produits dans le milieu PDA. Les quantités de l'ETA d'algues, de l'adjuvant Cawet max et du Callifert spécial maraîchage ont été mélangées au milieu PDA qui est ensuite stérilisé à l'autoclave à 120 °C pendant 30 min sous une pression de 1 bar, avant de distribuer l'ensemble dans des boîtes de Pétri sous une hotte à flux laminaire et autour d'une flamme, à raison de 20 ml/boîte. Les concentrations préparées sont C1 = 5 % (50 mg/ml), C2 = 10 % (100 mg/ml), C3 = 15 % (150 mg/ml), C4 = 20 % (200 mg/ml), C5 = 25 % (250 mg/ml) et C6 = 30 % (300 mg/ml). Pour chaque concentration et pour un isolat, cinq répétitions ont été effectuées, soit cinq boîtes de Pétri inoculées. Des inocula de 5 mm de diamètre de chaque isolat, âgés de 7 jours ont été prélevés et déposés à l'aide d'un emporte-pièce au centre des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA solidifié et amendé de chaque concentration de bio-fongicide. Pour les témoins, un disque mycélien de chaque souche a été déposé sur le milieu de culture PDA sans produit fongicide (Angaman et al., 2018). Les boîtes de Pétri ont été par la suite scellées avec du parafilm et incubées à la température ambiante du laboratoire (27 ± 2 °C) sous une photopériode de 12 heures. L'expérimentation a été reconduite à trois reprises. La croissance mycélienne des colonies a été évaluée chaque jour jusqu'au remplissage de la première boîte témoin, soit 8 jours après la mise en culture. La mesure de la croissance mycélienne a été faite suivant deux axes perpendiculaires tracés au revers de chaque boîte de Pétri qui se coupent au milieu du disque mycélien (Botton et al., 1990). L'effet des bio-fongicides a été déterminé à partir du taux d'inhibition de la croissance mycélienne calculé à l'aide des formules suivantes utilisées par Assiri et al. (2009) et Soro et al. (2010) :

$$I (\%) = \frac{D_o - D_c}{D_o} \times 100$$

$$D (\text{mm}) = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Avec : **I** : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne ; **Do** : Diamètre moyen de croissance mycélienne des colonies dans les boîtes de Pétri témoins ; **Dc** : Diamètre moyen de croissance mycélienne des colonies dans les boîtes de Pétri à la concentration (c) d'un fongicide donné ; **D (mm)** : Diamètre moyen de la colonie mycélienne ; **X1** : Diamètre de croissance sur l'axe 1 ; **X2** : Diamètre de croissance sur l'axe 2.

2.2.7. Analyse statistique

Les données des taux d'inhibition de la croissance mycélienne des souches de *Fusarium* sp. ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Une analyse de variance à un facteur a été réalisée pour étudier les effets des biofongicides sur les taux d'inhibition. En cas de différences significatives entre les biofongicides, le test de comparaison de Newman-Keuls au seuil de 5 % a été appliqué pour classer les moyennes en groupes homogènes.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques macroscopiques et microscopiques des souches de *Fusarium* isolées et purifiées

Suivant les caractères cultureux, deux morphotypes de *Fusarium* sp. ont été identifiés (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2). Les souches de *Fusarium* sp1 (morphotype 1) obtenues ont été caractérisées par des thalles de coloration blanchâtre, avec des aspects cotonneux et dense. Au niveau microscopique, les souches de *Fusarium* sp1 ont présenté un mycélium cloisonné. Ces souches se sont également distinguées par la présence des macrospores fusiformes, allongées et peu incurvées. Les microspores sont ovales et cloisonnées. Concernant les souches de *Fusarium* sp2 (morphotype 2), des thalles de coloration rougeâtre ayant un aspect cotonneux et tapissé ont été observés. Les observations microscopiques ont mis en évidence la présence des macrospores fusiformes, allongées et parfois incurvées, avec un mycélium également cloisonné. Les microspores ovales présentent une seule cloison (Figure 2).

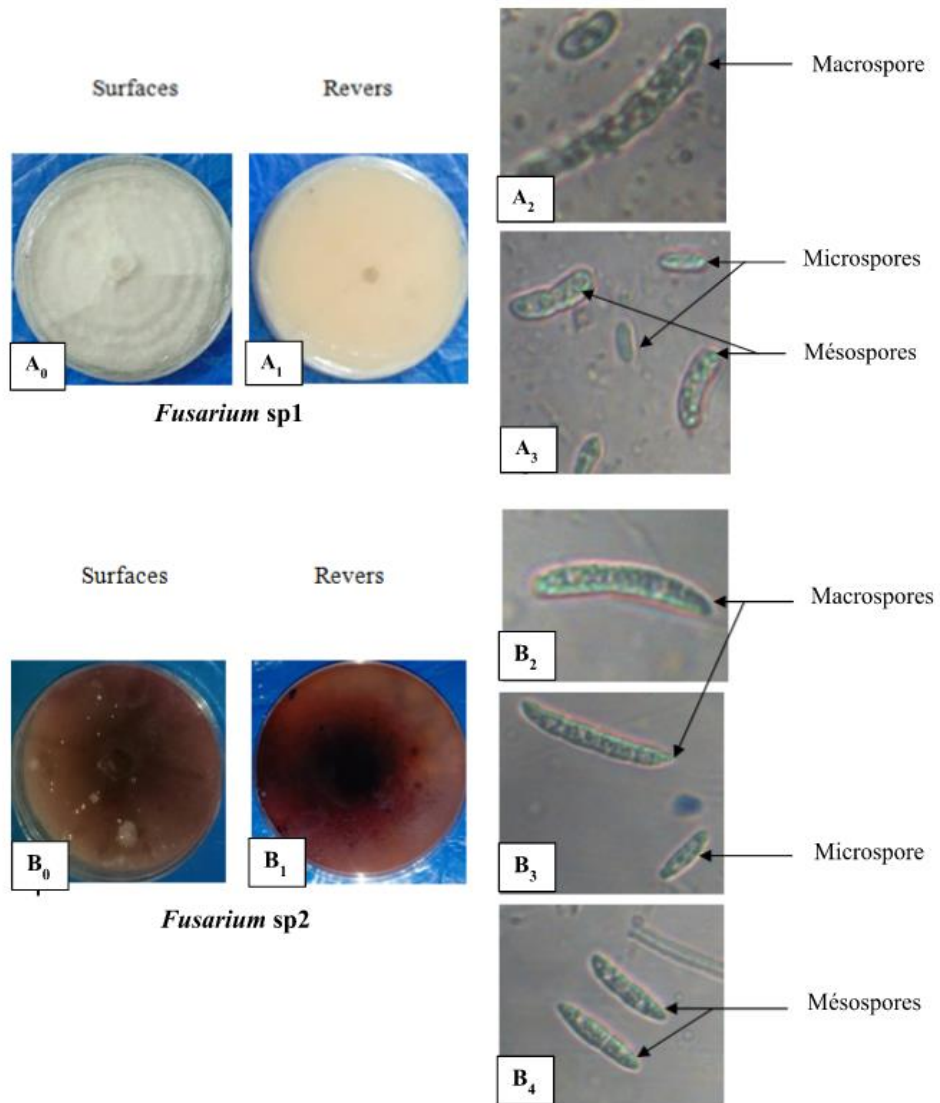


Figure 2. Structures macroscopiques et microscopiques des deux souches de *Fusarium sp.* formées sur milieu PDA après isolement

Aspects macroscopiques : A₀, A₁, B₀ et B₁

Aspects microscopiques : A₂, A₃, B₂, B₃ et B₄

3.2. Effet antifongique des concentrations de bio-fongicides sur la croissance radiale des souches de *Fusarium* sp.

Les bio-produits ont montré des effets antifongiques variables selon la concentration et le temps sur la croissance mycélienne de *Fusarium* sp.

Le Callifert spécial maraîchage a montré une bonne aptitude à réduire la croissance des souches *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 dans la gamme de concentrations employées. Toutes les concentrations (C1 à C6) ont eu un effet prononcé sur le développement du champignon, avec un taux d'inhibition supérieure à 60 %. Les doses C4, C5 et C6 ont été les meilleures durant toute la période d'incubation (Figure 3).

L'ETA d'algues + adjuvant Cawet Max a induit un taux d'inhibition supérieur à 60 % sur le *Fusarium* sp1 du 1^{er} au 5^e jour, quelle que soit la concentration. C1, C2 et C3 ont par la suite baissé en efficacité contrairement à C4, C5 et C6 (Figure 4). Concernant la croissance mycélienne de *Fusarium* sp2, seules les concentrations de 30 % (C6) et 25 % (C5) ont pratiquement inhibé de 90 à 100 % la croissance du champignon du premier au dernier jour. Les concentrations de 25 et 20 % (C5 et C4) ont généré des taux d'inhibition de 100 à 72,14 % du 1^{er} au 8^e jour. C1, C2 et C3 ont induit des taux d'inhibition inférieurs à 50 %, à l'exception des deux premiers jours, avec des baisses progressives à partir du 2^e jour.

L'ETA d'algues s'est montré moins répressif sur la croissance mycélienne des champignons *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 pendant le temps d'incubation, notamment à partir du 2^e jour, pour les concentrations C1, C2 voire C3. Les taux de réduction de la croissance du mycélium ont été stables et supérieurs à 60 % aux concentrations C4, C5 et C6 pour *Fusarium* sp1. Pour *Fusarium* sp2, dans les mêmes conditions, les taux d'inhibition ont régressé de 100 % à environ 60 %, mais ont été les plus importants (Figure 5). Les aspects des colonies des deux souches de *Fusarium* sp. sous l'effet des trois meilleures concentrations C4, C5 et C6 des bio-produits testés sont illustrés à la figure 6.

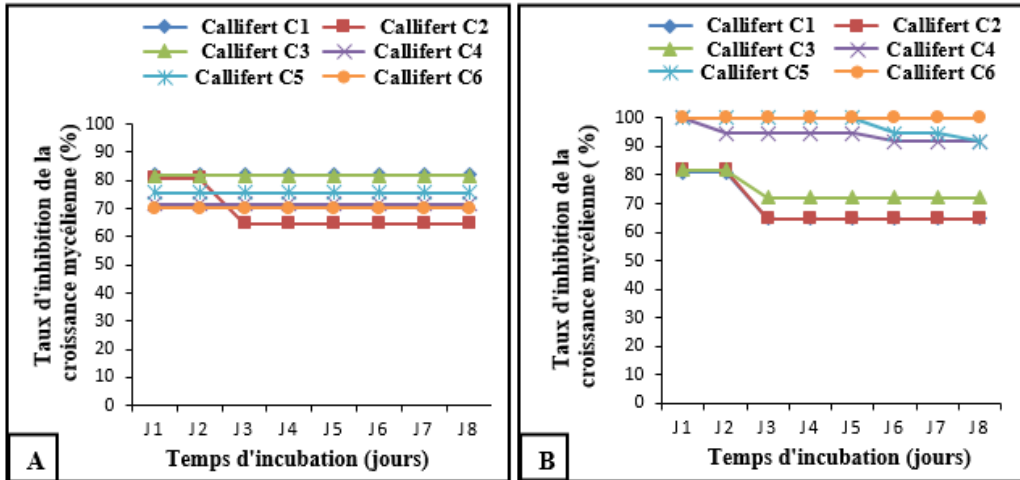


Figure 3. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations du Callifert spécial maraîchage

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

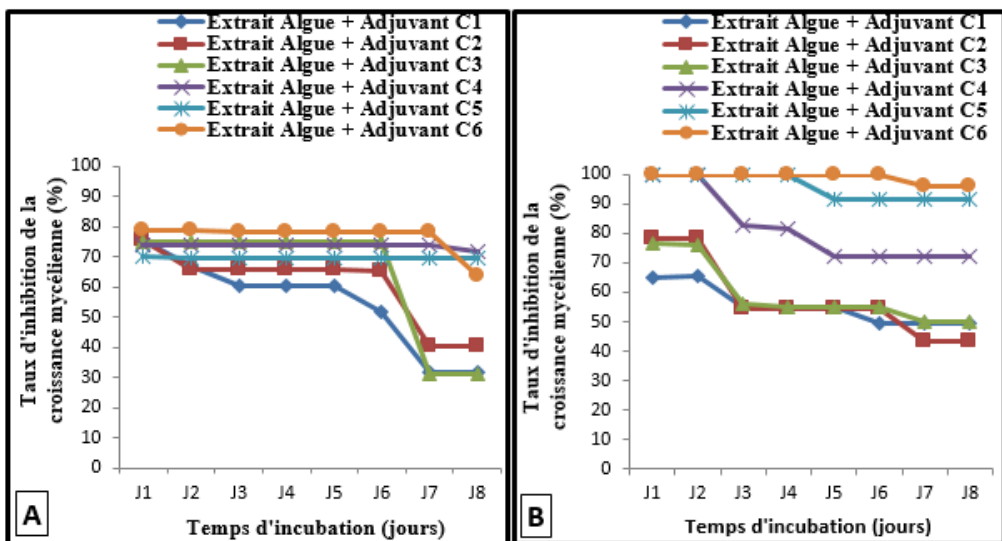


Figure 4. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations de l'ETA d'algues + adjuvant Cawet Max

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

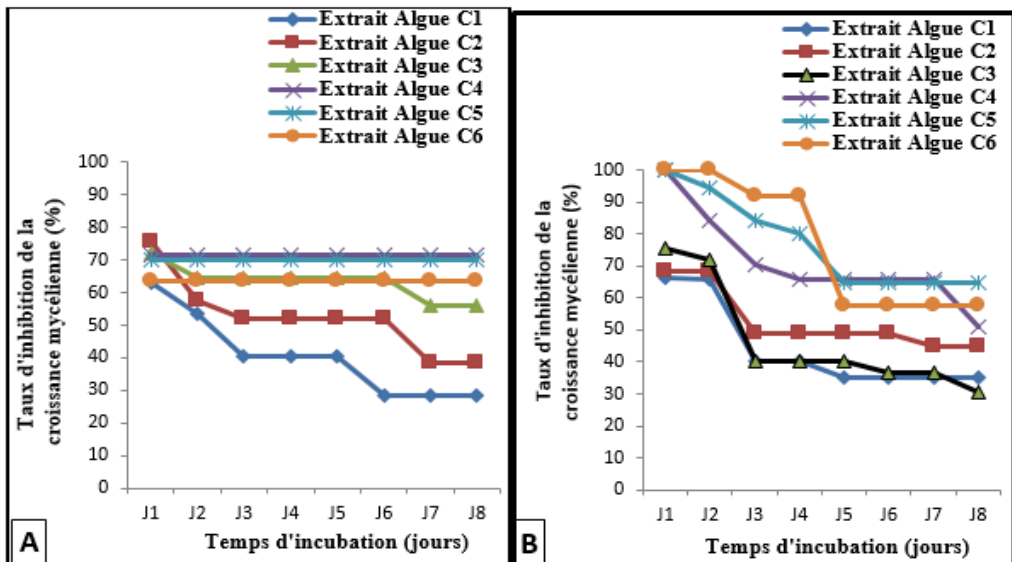


Figure 5. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations de l'ETA d'algues

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

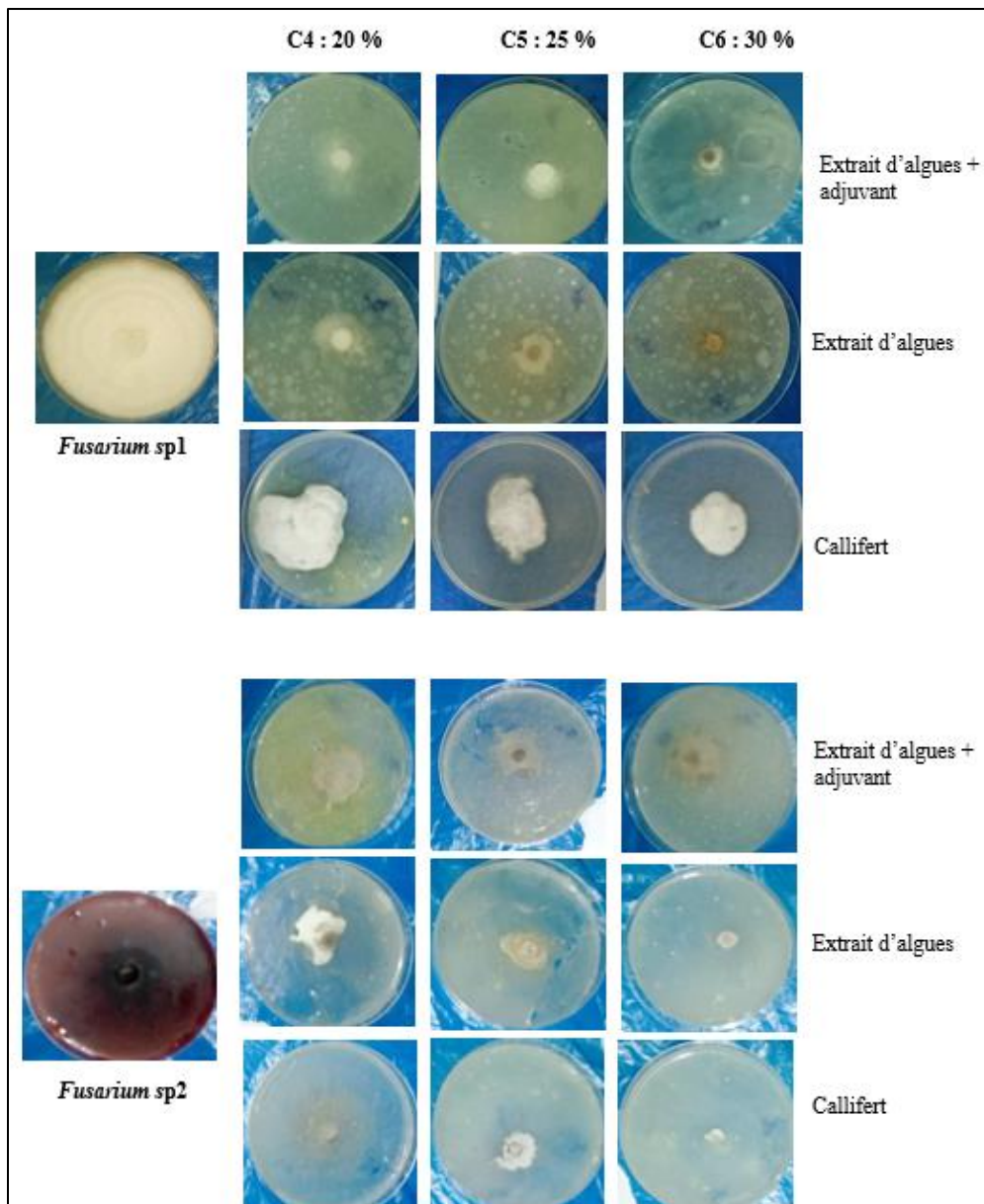


Figure 6. Colonies des deux souches de *Fusarium sp.* sur milieu PDA amendés de différentes concentrations des bio-produits

3.3. Effet antifongique des bio-produits sur la croissance mycélienne des souches de *Fusarium sp.*

La figure 7 présente les taux d'inhibition globaux de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium sp.* isolées, en fonction des bio-fongicides (ETA d'algues + adjuvant Cawet Max, ETA d'algues et Callifert

spécial maraîchage). Les taux d'inhibition varient significativement en fonction du bio-produit utilisé. En effet, le Callifert spécial maraîchage a induit les plus fortes inhibitions, avec un taux d'environ 85 % pour *Fusarium* sp2 et 75 % pour *Fusarium* sp1. Dans une mesure moindre, suit le mélange ETA d'algues + adjuvant Cawet Max qui a permis un taux d'inhibition de 75 % pour *Fusarium* sp2 et 65 % pour *Fusarium* sp1. L'ETA d'algues simple vient en dernière position, avec les plus faibles taux d'inhibition pour les deux morphotypes (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2) du champignon.

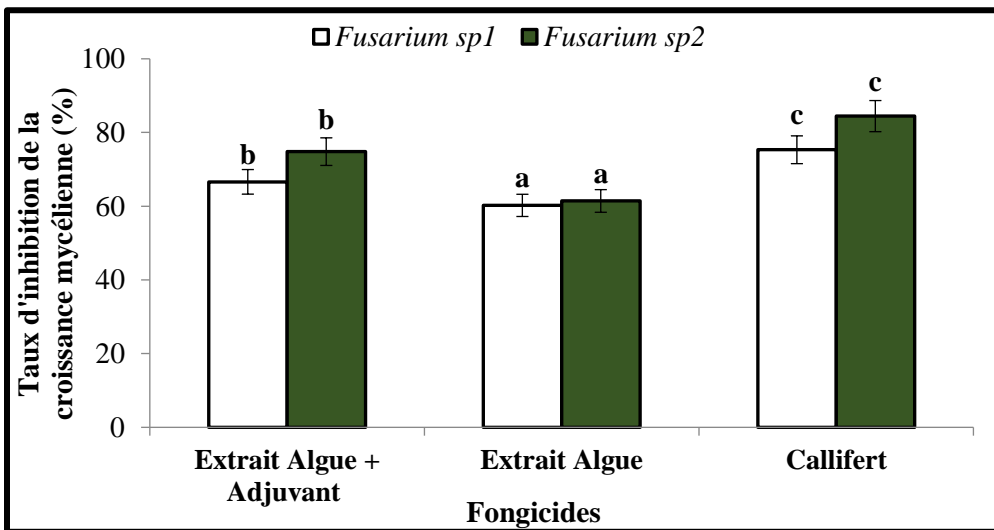


Figure 7. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium* sp. en fonction des bio-fongicides

Les barres représentent les moyens \pm les écarts types. Les barres de la même couleur surmontées de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

4. Discussion

L'échantillonnage et les isollements des pathogènes à partir des organes présentant les symptômes de la fusariose ont mis en évidence deux souches de *Fusarium* sp. Cette situation montre que le champignon *Fusarium* sp est l'agent causal des symptômes observés et le pathogène le plus important de la culture de la tomate dans les champs de la zone prospectée. Ces résultats sont en accord avec ceux de Soro et al. (2008) qui ont rapporté que le genre *Fusarium* fait partie des principales contraintes phytosanitaires de la culture de la tomate en Côte d'Ivoire.

Les études menées au cours de ces travaux ont permis de déterminer l'activité antifongique de différents bio-produits (extraits totaux aqueux

d'algues, adjuvant Cawet, Callifert spécial maraîchage) sur les isolats de *Fusarium* obtenus. Ces bio-produits peuvent être qualifiés de fongicides biologiques (bio-fongicide), car ils ont tous eu des effets inhibiteurs *in vitro* sur la croissance mycélienne des deux souches obtenues de la culture du champignon *Fusarium* sp. Cependant, ces effets varient en fonction de la composition du fongicide et de la concentration utilisée. En effet, l'optimum d'inhibition (100 %) des souches *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 est atteint aux concentrations inhibitrices minimales à 20 % ou 200 mg/ml pour le produit Callifert spécial maraîchage et à partir de 300 mg/ml ou 30 % pour le bio-fongicide ETA d'algues + adjuvant Cawet max contrairement au bio-fongicide ETA d'algues qui n'a enregistré un taux d'inhibition de 100 % qu'au premier jour et à la forte concentration de 30 %. En effet, selon certains auteurs, les champignons ne réagissent pas de la même manière vis-à-vis des bio-pesticides (Koffi et al., 2009). Cette situation pourrait expliquer le comportement de *Fusarium* vis-à-vis des différents bio-fongicides utilisés. Cependant, le produit Callifert spécial maraîchage s'est avéré le plus efficace sur cet agent pathogène en diminuant la capacité de production mycélienne. Cette efficacité pourrait être liée à la présence d'azote, de phosphore, de potassium (4-3-12) et d'oligoéléments dans la composition de Callifert spécial maraîchage. Elle peut être également liée à la nature de ce produit, puisqu'il s'agit, selon les informations de sa fiche technique, d'un bio-fertilisant ayant des propriétés antifongiques orientées contre les champignons responsables de la pourriture du collet et le flétrissement des plants de tomate.

L'ETA d'algues + adjuvant Cawet max a donné un taux d'inhibition plus élevé que le produit ETA d'algues. Ce taux d'inhibition élevé serait imputable au fait que le bio-fongicide ETA d'algues + adjuvant Cawet max est amélioré par la présence de l'adjuvant qui permet une meilleure assimilation et pénétration des produits dans les cibles. Ces résultats sont similaires à ceux de N'gandi (2017) qui ont montré l'effet inhibiteur du biostimulant Rhizovital 45 sur la croissance mycélienne de *Fusarium* sp., qui toutefois ne tue pas le pathogène.

Les ETA d'algues ont donné un faible taux d'inhibition par rapport aux autres fongicides. Bien qu'ayant le taux d'inhibition le plus faible, l'action des extraits d'algues est aussi importante. Les extraits d'algues incluent une multitude de composés (hormones, acides aminés, microéléments) qui implique un ensemble complexe de modes d'action pouvant expliquer l'inhibition de la croissance mycélienne de *Fusarium* sp. (Badiane, 2017). *Fusarium* sp2 présente un taux d'inhibition plus élevé que *Fusarium* sp1. Cette différence de taux d'inhibition pourrait s'expliquer par les différences de résistance aux bio-fongicides due aux différences des caractères physiologiques des deux souches de *Fusarium* sp. (Drame, 2004).

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la sensibilité de deux souches de *Fusarium* sp. vis-à-vis de trois bio-fongicides à différentes concentrations (50, 100, 150, 200, 250 et 300 mg/ml) sur la croissance mycélienne des colonies obtenues à partir d'explants d'organes de tomates symptomatiques. Il en résulte que la sensibilité du champignon diffère en fonction du type du produit utilisé pour l'inhibition de la croissance mycélienne. Tous les bio-fongicides ont inhibé à plus de 50 % la croissance du pathogène à la concentration de 300 mg/ml ou 30 %. Cependant, le produit Callifert spécial maraîchage et l'ETA d'algues + adjuvant Cawet max se sont avérés très efficaces, avec un taux d'inhibition de 100 % pour les concentrations de 200 et 300 mg/ml, respectivement. Par contre, le bio-fongicide ETA d'algues utilisé seul a été moins efficace, même à la concentration de 30 %. De ce fait, ces bio-fongicides peuvent être testés *in vivo* dans la lutte contre le *Fusarium* afin de confirmer leur efficacité et valoriser, à terme, les algues marines considérées comme une source de désastres socio-économiques et environnementaux.

References:

1. Ahon, M. G., Akapo-Akue, J. M., Kra, M. A., Ackab, J. B., Zirihi, N. G., & Djaman, J. A. (2011). Antifungal activity of the aqueous and hydroalcoholic extracts of *Terminalia superba* Engl. On the *in vitro* growth of isolates of pathogenic fungi. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(2), 250-257. DOI : <https://dx.doi.org/10.5251/abjna.2011.2.2.250.257>.
2. Angaman, R. K., Orsot, B. M. A. B., Camara, D., Abo, K., & Zirihi, N. G. (2018). Étude ethnobotanique de plantes de la flore du Département d'Abengourou, en Côte d'Ivoire et évaluation *in vitro* de l'activité antifongique d'extraits de *Terminalia superba* Engl. Diels sur deux espèces de champignons, *Aspergillus niger* Van Tieghem et *Fusarium solani* Sacc. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1208-1224. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i3.11>
3. Assiri, A. A., Yoro, G. R., Deheuvels, O., Kebe, B. I., Keli, Z. J., Adiko, A., & Assa, A. (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2(1), 55-66. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://m.elewa.org/JAPS/2009/2.1/3.pdf&ved=2ahUKEWjg1byGq679AhU-_7sIHYVgA4MQFnoECA4QAQ&usg=AOvVaw0rNjzXcYUUwV3qHQ0i4jcG

4. Bachir, B. S. (2017). Étude in vitro et in vivo du pouvoir pathologique de *Fusarium oxysporum* sur les variétés fixes et hybrides de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mills), faculté : sciences de la nature et de la vie, laboratoire de protection des végétaux de l'université Mostaganem, 84 p.
5. Badiane, B. C. (2017). Évaluation du pouvoir bio stimulant de l'Extrait Total Aqueux (ETA) de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen (Algue brune) sur les paramètres de croissance de *Arachis hypogaea* L. (Leguminosae). Mémoire de Master, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 47 p.
6. Barnett, H. L., Barry, B., & Hunter, (1972). Illustrated genera of imperfect fungi, 209 p.
7. Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthir, S., Larpent, J. P., Gay, P. H., Reymond, P., Sanglier, J. J., Vayssier, Y., & Veau, P. (1990). *Moisissures Utiles et Nuisible Importance Industrielle* (2nd Edn). Masson : Paris ; Milan; Barcelone; Mexico; 512.
8. Camara, B. (2011). Caractérisation des parasites fongiques foliaires et telluriques en Côte d'Ivoire chez les bananiers (*Musa* sp.) et recherche de méthodes de lutte. Thèse unique de Doctorat, UFR biosciences, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 219 p.
9. Coulibaly, N., & Bly, J. P. (2002). Aperçu de l'agriculture ivoirienne à travers les données de la base de sondage du recensement national de l'agriculture 2001 issue du RGPH 98. Projet GCP / IVC / 025 / EC – FAO – UE, MINAGRA, Côte d'Ivoire, 17 p.
10. De Lannoy, G. (2001). Légumes fruits. *In* : agriculture en Afrique tropicale. Direction générale de la coopération internationale. Ministère des Affaires Etrangères, du Commerce Extérieur et de la coopération Internationale, Bruxelles, Belgique, pp. 503 – 513.
11. Djeugap, J. F., Fontem, D. A., & TaponDjou, A. L. (2011). Efficacité *in vitro* des extraits de plantes contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) de la morelle noire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(6), 2205-2213. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.3>
12. Drame, A. (2004). Pathogénie comparée de *Fusarium oxysporum* f. *sp. vasinfectum* Atk., agent pathogène de la fusariose du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au Sénégal. *Agronomie africaine*, 16(2), 33-38.
13. Essomé, S. C., Ngoh, D. J. P., Heu, A., Ndogho, P. A., Ngatsi, Z. P., Chewachong, G. & Ambang, Z. (2020). Évaluation des activités antifongiques des extraits de graines de *Thevetia peruviana* contre *Phytophthora colocasiae* (Oomycètes) agent causal du mildiou du taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) au Cameroun. *Journal of Applied*

- Biosciences*, 151, 15584 – 15597. DOI :
<https://doi.org/10.35759/JABs.151.7>
14. FAOStat (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL> (consulté, le 20/03/2023).
 15. Fondio, L., N'zi, J.-C., & Kobenan, K. (2015). Comportement agronomique et sanitaire de nouvelles lignées de piment (*Capsicum* sp.) dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 92, 8594 – 8609. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v92i1.4>
 16. Ildefonse, N. (1995). Agriculture vivrière Ouest - africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. Cultures légumières, Institut des Savanes, Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 249 – 258.
 17. Koffi, C. N. B., Diallo, H. A., & Kouadio, Y. J. (2009). Évaluation in vitro de la sensibilité de *Phythium aphanideramatum* aux fongicides utilisés dans les plantations de papayers en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5), 1114-1123, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs/v3i5.51089>
 18. Munro, B. & Small, E. (1997). Les légumes du Canada. Ed. Val. Morin, Québec, Canada, 436 p.
 19. N'gandi, D. F. (2017). Évaluation de l'impact du biostimulant Rhizovital FZB45 sur la capacité de résistance de la tomate aux champignons phytopathogènes du sol : Cas du *Sclerotium rolfsii* et du *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Mémoire de fin d'études, pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie (D.A.A). Option : Défense des cultures, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 80 p.
 20. Nmichi, A., El kholfy, S., Ouabbou, A., Outcoumit, A., El-assfour, A., Ouazzani, A., Touhami, A., Benkirane, R., Belahbib, N., & Douira A. (2014). Première récolte de deux espèces fongiques du genre *Polyporus* nouvellement récoltées au Maroc : *Polyporus arcularius* Batsch : Fr. et *Polyporus meridionalis* (A. David) Jahn. *Agronomie Africaine*, 26(3), 1-7.
 21. Ouattara, A., Kpan, W. B., Ouattara, D., Koné, M. W., & Komoé, K. (2021). The acute toxicity of *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen and *Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen on some rats of wistar stock. *Journal of animal & plant sciences*, 47(3), 8542-8551. DOI : <https://doi.org/10.35759/AnmPISci.v47-3.5>
 22. Soro, S., Doumbia, M., Dao, D., Tschannen, A., & Girardin, O. (2007). Performance de six cultivars de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Science & Nature*, 4(2), 123-130.
 23. Soro, S., Diallo, A. H., Doumbia, M., Dao, D., & Tano, Y. (2010). Inventaire des insectes de l'igname (*Dioscorea* spp.) : cas de Bouaké

- et Toumodi (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 6(3), 715-723.
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.m.elewa.org/JAPS/2010/6.3/8.pdf&ved=2ahUKEwj3dr6p679AhWAhf0HHUpwAZgQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3wzlwdtZZZGtUS3hsPa4Tu>.
24. Soro, S., Doumbouya, M., & Koné, D. (2008). Potentiel Infectieux des Sols de Cultures de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Sous Abri et Incidence de l'Âge de Repiquage sur la Vigueur des Plants vis-à-vis de *Pythium* sp. Songon-Dabou en Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 26(3), 173-178. <https://studylibfr.com/doc/4043724/potentiel-infectieux-des-sols-de-cultures-de-tomate>.
25. Zirihi, G. N., Kra, A. K. M., & Guédé-Guina, F. (2003). Évaluation de l'activité antifongique de *Microglossa pyrifolia* (Lam) O. Ktze (Asteraceae) « PYMI » sur la croissance *in vitro* de *Candida albicans*. *Revue Médicale et Pharmacie Africaine*, 17, 1-19.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Aspects Épidémiologiques Cliniques et Paracliniques des Fasciites Nécrisantes au Centre Hospitalo-universitaire Pédiatrique de Bangui (CHUPB)

Falmata Lénguébanga Gabouga

Peggy Mboli-Goumba Guérendo

Service de Dermatologie-Vénérologie du CNHUB

Edgard Djimbélé Béradjé

Battiston Juilis Ngombé-Kette

Alfred Gaudeuille

Centre Hospitalier et Universitaire Pédiatrique de Bangui (CHUPB)

Léon Kobangué Grénguèto

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Bangui,
République Centrafricaine

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p67](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p67)

Submitted: 20 December 2022

Accepted: 20 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Gabouga F.L., Guérendo P.M., Béradjé E.D., Ngombé-Kette B.J., Gaudeuille A. & Grénguèto L.K. (2023). *Aspects Épidémiologiques Cliniques et Paracliniques des Fasciites Nécrisantes au Centre Hospitalo-universitaire Pédiatrique de Bangui (CHUPB)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 67. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p67>

Résumé

Introduction : La fasciite nécrosante est une affection grave de la peau et des tissus sous cutanés. Son incidence est mal connue en République Centrafricaine. Le but de l'étude était de contribuer à l'amélioration de la prise en charge des fasciites nécrosantes à Bangui. Patients et méthode : Il s'agissait d'une étude transversale descriptive, réalisée au CHUPB du 1er Janvier 2019 au 30 Juin 2020. Après consentement éclairé des parents, les enfants âgés de 1 mois à 15 ans, présentant une fasciite nécrosante ont été inclus dans l'étude. Un questionnaire avait permis de collecter les données qui ont été analysées à l'aide du logiciel Epi Info 7 et Excel. Résultats : sur les 70 cas les, garçons représentaient 61% soit un sex-ratio de 1,6. La tranche de 0 à 5 ans était la plus touchée (62,9%). Les malades provenaient souvent des zones rurales (56%). Le syndrome inflammatoire du membre inférieur était le motif de consultation

dans 78,5%. Les injections intramusculaires étaient la porte d'entrée cutanée dans 30% des cas. Le délai de consultation était supérieur à 7 jours dans 85,7% des cas. Plus de 50% des patients avait recours à l'automédication. La fasciite nécrosante était évoquée d'emblée chez 35,7% tandis que 64,3% des patients ont consulté pour des infections de la peau et/ou des parties molles. Une anémie microcytaire hypochrome de type inflammatoire et une hyperleucocytose étaient retrouvées dans respectivement 81,4% et 90% des cas. Une insuffisance rénale fonctionnelle était présente chez 15,7% des patients. Le streptocoque du groupe A était isolé chez 34% des patients. La chirurgie couplée à l'antibiothérapie était pratiquée chez tous les patients. L'évolution était satisfaisante dans 97,1%. Le taux de létalité était de 2,9%.
Conclusion : La fasciite nécrosante est fréquente à Bangui. Des actions de sensibilisation sont nécessaires pour réduire l'impact de la maladie.

Mots-clés : Fasciite nécrosante, enfant, prise en charge, Bangui, Centrafrique

Epidemiological, Clinical, and Paraclinique Aspevst of Necrotizing Fasciitis at the Pediatric University Hospital Center of Bangui (PUHCB)

Falmata Lénguébanga Gabouga

Peggy Mboli-Goumba Guérendo

Service de Dermatologie-Vénérologie du CNHUB

Edgard Djimbélé Béradjé

Battiston Juilis Ngombé-Kette

Alfred Gaudeuille

Centre Hospitalier et Universitaire Pédiatrique de Bangui (CHUPB)

Léon Kobangué Grénguèto

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Bangui,

République Centrafricaine

Abstract

Introduction: Necrotizing fasciitis is a serious condition of the skin and subcutaneous tissues. Its incidence is poorly known in the Central African Republic. The goal of the study was to contribute in improving the management of necrotizing fasciitis in Bangui. Patients and method: It was a descriptive cross-sectional study, carried out at CHUPB from January 1st, 2019 to June 30th, 2020. After the parents' informed consent, children aged 1 month to 15 years with necrotizing fasciitis were included in the study. A questionnaire was used to collect the data, which were analyzed using Epi Info

7 and Excel software. Results: Out of the 70 cases, boys represented 61%, which was a sex ratio of 1.6. The 0 to 5 years old age group was the most affected (62.9%). Patients often came from rural areas (56%). Inflammatory syndrome of the lower limb was the chief complaint in 78.5%. IM injections were the cutaneous entry point in 30% of cases. The time from symptom onset to consultation was greater than 7 days in 85.7% of cases. More than 50% of patients resorted to self-medication. Necrotizing fasciitis was immediately evoked in 35.7% of patients. Inflammatory hypochromic microcytic anemia and hyperleukocytosis were found in respectively 81.4% and 90% of cases. Functional renal failure was present in 15.7% of patients. Group A streptococcus was isolated in 34% of patients. Surgery coupled with antibiotic therapy was performed in all patients. The evolution was satisfactory in 97.1%. The lethality rate was 2.9%. Conclusion: Necrotizing fasciitis is common in Bangui. Awareness actions are needed to reduce the impact of the disease.

Keywords: Necrotizing fasciitis, child, treatment, Bangui, Central African Republic

Introduction

La fasciite nécrosante (FN) est une urgence médico-chirurgicale qui met souvent en jeu le pronostic local et général grave, avec une mortalité élevée (20 à 40%) [Alem MA, 2017 ; Lateef M O 2018). Le streptocoque bêta-hémolytique du groupe A (*Streptococcus pyogenes*) est le germe le plus fréquemment en cause, mais une association polymicrobienne est fréquemment notée (Lateef M O, 2018 ; .Chosidow O et coll, 2001). Dans le monde, son incidence annuelle est de 0,08 pour 100 000 enfants (El Alem MA, 2017 ; (Pierlesky EO et coll, 2005). Dans les pays industrialisés, son incidence semble faible, alors qu'elle est nettement plus élevée dans les pays en développement (Pierlesky EO et coll, 2005). La maladie se rencontre à tout âge, mais son incidence augmente avec l'âge (Pierlesky EO et coll, 2005) avec une certaine prédominance masculine. Chez l'enfant, la varicelle semblerait être un facteur de prédisposition dans la survenue de la FN. La fasciite nécrosante est une affection grave responsable d'un choc septique dans 74% des cas (Basseti S et coll, 2013) et d'un taux de létalité d'environ 30 % (Bouvet A et coll, 2000). Son pronostic dépend de la précocité du diagnostic, de la rapidité de mise en route de l'antibiothérapie et du traitement chirurgical. Il est important de reconnaître tôt ces infections avant l'apparition des complications, notamment l'extension des plages de nécrose et le choc septique (Pierlesky EO et coll, 2005). De nombreuses études épidémiologiques ont été réalisées sur la fasciite nécrosante dans le monde en général et en Afrique en particulier (El Alem MA, 2017 ; Bouvet A et coll,

2000 ; Crick B et coll, 2001). Cependant, très peu se sont intéressées aux enfants (Bouvet A et coll, 2000). Le but de cette étude était de décrire les aspects épidémiologiques, cliniques et para cliniques de la fasciite nécrosante au Centre Hospitalier et Universitaire Pédiatrique de Bangui (CHUPB).

Patients et Méthode

Il s'agissait d'une étude transversale à visée descriptive, réalisée entre le 1^{er} Janvier 2019 et le 30 Juin 2020, soit une période de dix-huit (18) mois. La population d'étude était constituée de l'ensemble des enfants en consultation ou en hospitalisation à la clinique chirurgicale du CHUPB, pour une infection cutanée, quelle que soit sa localisation, et chez qui le diagnostic de fasciite nécrosante a été confirmé. Après consentement éclairé des parents, nous avons inclus tous les enfants présentant un diagnostic de fasciite nécrosante confirmé cliniquement et histologiquement durant la période d'étude. N'étaient pas retenus, tous les patients qui ont consulté pour des infections de la peau et/ou des parties molles pendant la période d'étude, et dont le diagnostic de fasciite nécrosante n'a pas été retenu. Après sélection des malades lors des consultations et au cours de l'hospitalisation au niveau de la clinique chirurgicale du CHUPB, les données sont collectées à partir d'un questionnaire rempli au cours de l'interview des parents des patients. Pour chaque malade inclus, nous avons recueilli des données en rapport avec les variables socio démographiques (l'âge de l'enfant calculé ou estimé en mois ou année, le sexe, la provenance, conditions socio-économiques) ; cliniques (portes d'entrées et délai de consultations) ; paracliniques (examens Biologiques (la numération formule sanguine, la créatinémie l'urée et d'Imagerie médicale). La saisie et l'analyse des données avaient été réalisées à l'aide des logiciels Epi-info 7 et Excel 2007.

Résultats

Sur 2549 patients hospitalisés dans le service durant la période d'étude, 70 présentaient une fasciite nécrosante, soit une fréquence de 2,7%.

Tableau I. Répartition des patients selon la tranche d'âge

Tranches d'âge (ans)	Effectif (n=70)	Fréquence (%)
0 – 5	44	62,9
6 – 10	9	12,8
11 – 15	17	24,3
Total	70	100,0

L'âge des enfants atteints de fasciite nécrosante variait entre 1 mois et 15 ans, les extrêmes étaient de 0 et 15 ans. On notait une prédominance masculine avec 61% soit un sex-ratio de 1,6. Les enfants atteints provenaient des zones rurales dans 39 cas (56%) et de zones urbaines dans 31 cas (44%). Les enfants provenaient des familles à niveau socio-économique défavorable dans 83% des cas.

Les aspects cliniques

Dans 80% des cas les enfants avaient présenté un gros membre chaud, douloureux et augmenté de volume par-rapport au membre controlatéral, avec extension rapide de l'inflammation locale en placard érythémateux et présence d'œdème. Une nécrose cutanée était présente au niveau du segment du corps atteint dans 14 cas (20%).

Tableau II. Répartition des patients en fonction des portes d'entrée de germes

Les portes d'entrée	Effectifs (n=70).	Frequence (%)
Injections en intramusculaire	23	32,9
Plaies traumatiques	18	25,7
Varicelle	10	14,3
Furoncles	7	10,0
Morsures de serpents	4	5,7
Ecorchures	4	5,7
Autres	4	5,7
Total	70	100,0

Une porte d'entrée était retrouvée chez tous nos patients, avec un pic de fréquence des injections intramusculaires qui représentaient 32,9% des cas suivies des plaies traumatiques chez 25,7% des patients et la varicelle chez 14,3% d'entre eux.

Tableau III. Répartition des patients en fonction du délai de consultation

Délais de consultation	Effectifs (n=70)	Fréquence (%)
3 - 7 jours	10	14,3
8- 14 jours	60	85,7
Total	70	100

Le délai de consultation était de 8 à 14 jours chez 60 patients soit 85,7% des cas, avec une moyenne de 10,5 jours.

Les aspects paracliniques

Tous les patients avaient réalisé l'hémogramme dont il ressortait que l'anémie était présente chez 89% des patients avec une moyenne d'hémoglobine de 8,5g/dl. Il s'agissait d'anémie hypochrome microcytaire de type inflammatoire dans 81,4% cas. Une hyperleucocytose était retrouvée chez 90% des patients et une leucopénie a été retrouvée chez 10% des patients. Les agents causaux étaient le Streptocoque bêta-hémolytique du groupe A et le Staphylococcus aureus, retrouvés respectivement dans 33% et 34% chacun tandis que les formes poly microbiennes ont été retrouvées dans 33% des cas.

Discussion

La fasciite nécrosante (FN) est une maladie relativement rare. Malgré le nombre de publications qui est multiplié par 5 ces 10 dernières années, son incidence n'est pas encore connue avec précision (El Alem MA, 2017). Nous avons inclus au total 70 cas de fasciite nécrosante, soit une proportion de 2,7%. Ce taux est nettement supérieur à ceux des travaux réalisés par Lateef et *al* dans une étude cas témoins en 2018 au Mali, qui ont trouvé 20 cas de fasciite nécrosante sur une période de 2 ans soit une proportion de 0,04% (Lateef M O;2018). Le taux annuel serait de 500 à 1500 nouveaux cas en 1994 aux U.S.A. Selon le Center for Disease Control (CDC).

Une étude réalisée au Canada par Eneli et *al* sur une période de 2 ans a révélé 2,93 cas de fasciite nécrosante pour 1000000 enfants (Eneli et coll ; 2007, Davies HD et coll ; 1996).

Fustes et *al* à Mexico, trouvaient 39 cas de fasciite nécrosante sur une période de 30 ans, soit 1,3 cas par an. Ceci correspondait à une proportion de 0,018% (Cazorla C et coll ; 2001).

Le taux élevé des FN pourrait s'expliquer par les retards dans leur prise en charge médicale. En effet, dans les pays en développement comme le nôtre où les conditions de vie sont précaires, l'automédication et le traitement traditionnel sont les premiers recours des familles lors des affections tant des adultes que des enfants, retardant ainsi la prise en charge médicale.

Cependant, la fréquence des infections invasives dues au Streptocoque hémolytique du groupe A (y compris les fasciites nécrosantes) a nettement augmenté de façon inquiétante dans plusieurs pays ces 15 dernières années (Carlos et coll, 2001).

Selon (Legbo et coll, 2005) 2 à 3 cas de fasciite nécrosante des membres sont diagnostiqués dans la plupart des centres hospitaliers chaque année.

La tranche d'âge

Contrairement à l'étude de Lateef qui avait révélé une prédominance de la survenue des fasciites nécrosantes dans la tranche d'âge de 11 à 15 ans

(Lateef M O, 2018) la tranche d'âge de 0 à 5 ans représentait 62,9% des patients de notre série, avec des extrêmes de 0 et 15 ans.

Ceci rejoint les résultats obtenus par Eneli et al en faveur des enfants de la même tranche d'âge (Eneli et coll, 2007).

La fasciite nécrosante est une maladie qui atteint préférentiellement les personnes âgées.

Des travaux réalisés en 1997 au Maroc avaient affirmé que la fasciite nécrosante survient en général au-delà de la quarantaine (Ameziane et coll, 1997). Ce constat a été infirmé par certains auteurs (Legbo et coll, 2005) qui retrouvent 42,8% de sujets de plus de 15 ans et 57,1% d'enfants de moins de 15 ans.

Le sexe : Dans notre étude, une prédominance masculine était retrouvée avec un sex-ratio de 1,6. Ceci rejoint les résultats de certaines séries de la littérature où il existe une légère prédominance masculine de l'ordre de 60% contre 40% d'atteintes féminines (*Bouvet et coll.et Touhami, 2000 et 2019*). Cependant, pour certains auteurs, la fasciite nécrosante des membres touche de manière égale les 2 sexes (*H.A.S, 2019 ; Brun Buisson, et coll, 2001*).

La provenance : Au cours de notre étude, nous avons relevé une provenance rurale dans 56% des cas. Ceci est similaire aux résultats des travaux de Lateef, qui a retrouvé une provenance rurale de 75% (*Lateef, 2018*).
Les conditions de vie des patients : les enfants qui constituent la population de notre étude proviennent des familles à niveau de vie défavorable dans 83% des cas, rejoignant les résultats obtenus par Lateef concernant la précarité des conditions de vie des sujets de son étude (*Lateef, 2018*).

Motifs de consultation/hospitalisation : le principal motif de consultation est le syndrome inflammatoire du membre avec douleur, érythème et œdème, associé à des signes plus évocateurs tels que l'apparition des phlyctènes, de bulles et de zones de nécrose cutanée. Dans notre série, les enfants avaient présenté un gros membre chaud, douloureux et augmenté de volume par rapport au membre controlatéral, avec extension rapide de l'inflammation locale en placard érythémateux et présence d'œdème dans 84,3% des cas. La nécrose cutanée au niveau du segment du corps atteint était présente chez 80% des patients.

Touhami dans son étude sur la fasciite nécrosante des membres en 2009 au Maroc, a relevé que tous les patients présentaient une douleur du membre atteint avec érythème, œdème et nécrose cutanée chez 77,7% des patients, ainsi que des manifestations systémiques dans un tableau d'altération de l'état général chez 88,8% des patients (*Ruckchini et coll, 2005, Touhani, 2009*).

De même, dans la série de Davies et coll comportant 44 cas (*Davies et coll, 1996*), le syndrome inflammatoire du membre avec présence de signes généraux a justifié la consultation de la quasi-totalité des patients.

Fréquence selon le siège : dans notre série les atteintes des membres inférieurs sont prédominantes (78,5% des cas). Les atteintes des cuisses en particulier, sont présentes chez 33 patients soit 60% des atteintes des membres inférieurs et 47,1% de tous les cas.

Ceci rejoint certaines séries où les atteintes des membres inférieurs sont prédominantes. (*Legbo JN, 2005; Brengard-Bresler T, 2015*).

La porte d'entrée : de même que la majorité des séries de la littérature (*Gauzit R, 2006; Stella RS et coll, 2010*) où une notion de porte d'entrée est fréquemment retrouvée, nous avons noté une porte d'entrée chez tous les patients de cette série. La fréquence concerne les injections intramusculaires (30% des cas), secondée par les plaies traumatiques chez 25,7% des patients. La Varicelle n'a été retrouvée que dans 14,2% des cas. Cependant, selon certains auteurs, la porte d'entrée est souvent minime et peut passer inaperçue dans 20% des cas, ou échapper aux patients lors de l'interrogatoire (*Ameziane L, 1997*). La littérature rapporte également des cas de fasciite nécrosante suite à des traumatismes fermés (*Raffoul et al, 2010*). Ce qui justifie que cette affection peut survenir à chaque fois que l'intégrité de la peau est compromise. Délai de consultation : de même que les données de la littérature où le délai de consultation des principales séries est de 10 jours, dans notre série ce délai dépasse 7 jours dans 85,7% des cas avec des extrêmes de 3 et 14 jours. Ceci rejoint les résultats des travaux réalisés par Ameziane et al, (*Ameziane et al, 1997*). Cependant, les résultats de la série de Touhami, ont révélé un délai maximum de 7 jours (*Touhami, 2019*).

Aspects paracliniques

La Biologie : selon certains auteurs (*Rukshini et al, 2009*) les examens biologiques ne permettent pas de faire le diagnostic précis et spécifique des fasciites nécrosantes. Car ils ne confirment que le syndrome infectieux et ses complications, et ne sont pas spécifiques d'une infection à streptocoque beta-hémolytique. Les examens microbiologiques sont par contre spécifiques (*Rukshini et al, 2009*). La Société Française de Dermatologie l'a affirmé en ces termes : la place des examens complémentaires (imagerie, bactériologie, anatomie pathologique) reste à définir précisément en aide à la décision opératoire. Leur mise en œuvre ne doit pas retarder le geste chirurgical s'il s'impose (*Cazorla C et coll, 2001*).

L'hémogramme : dans notre série, l'hémogramme avait été réalisé chez tous les patients. Les valeurs des éléments de chaque lignée sont soit nettement soit légèrement supérieures à celles de la littérature. L'anémie avait été présente dans 89% des cas. Il s'agissait d'anémie hypochrome

microcytaire de type inflammatoire dans 81,4% des cas. L'hyperleucocytose a été retrouvée dans 90%, et la leucopénie dans 3% des cas. L'élévation des plaquettes est présente dans 44% des cas, alors que la thrombopénie représente 29%. Ces taux sont différents des résultats des travaux réalisés par El Alem et coll qui, sur 12 patients ont retrouvé 33% de cas d'anémie microcytaire hypochrome de type inflammatoire, 50% d'hyperleucocytose à prédominance neutrophile, un taux de plaquette normal dans 66,6% des cas et une thrombopénie dans 25% (El Alem MA, 2017). Cependant, dans la série de Touhami sur une population de 9 patients, l'anémie a été objectivée dans 66,6% des cas, une hyperleucocytose dans 44,4% et un nombre des plaquettes normal dans 100% des cas (Touhami, 2019). Les facteurs de l'inflammation : dans notre série, une augmentation de CRP a été retrouvée chez plus de 2/3 des patients. La vitesse de Sédimentation(VS) est élevée dans la grande majorité des cas, avec une moyenne de 110mm à la première minute. Ceci rejoint les données de la littérature. En effet, Lorne et coll (Lorne et coll, 2016) ont révélé qu'une augmentation des protéines de l'inflammation à cinétique rapide (CRP) au-delà de 150mg/l est l'un des éléments contributifs au diagnostic de la fasciite nécrosante. Dans le but de distinguer une dermohypodermite bactérienne (DHB) d'une fasciite nécrosante chez des patients pour lesquels le diagnostic était difficile, Wong et coll (Wong et coll, 2004) ont décrit l'élévation du dosage de CRP dans le score de LRINEC (Laboratory Risk Indicator for Necrotizing Fasciitis) qui aurait plus de valeur pronostic que diagnostic. De même, El Alem dans sa série a révélé une CRP positive dans 83,3% (El Alem MA, 2017). Touhami dans son étude, a retrouvé une élévation de la vitesse de sédimentation dans 77,8% des cas (Touhami Alami T, 2019). L'étude réalisée par El Alem où des prélèvements bactériologiques ont été réalisés dans 90,6% des cas, a révélé une prédominance Streptococcique (50%) avec une flore polymicrobienne dans 15,6% Touhami T.A. dans son étude a révélé une réalisation des prélèvements bactériens dans 88,8% des cas. Le nombre de bactéries isolées par site varie entre un et deux (Touhami Alami T, 2019). Malgré toutes les difficultés 9 cas sur 10 ont reçus un diagnostic bactériologique.

Cette étude nous a permis d'avoir un premier aperçu de la place qu'occupe la fasciite nécrosante dans notre environnement et de la flore bactériologique impliquée. Nous planifions de réaliser une étude multicentrique pour en déterminer la réelle prévalence qui nous permettraient de prendre des mesures sanitaires idoines.

Conclusion

La fasciite nécrosante reste encore une pathologie dont la fréquence est élevée en République Centrafricaine. Le sexe masculin est prédominant, la porte d'entrée prépondérante sont les sites d'injections intramusculaires mal

faites. La clinique est connue, mais beaucoup reste à faire sur le plan para clinique.

References:

1. Ameziane L., El Badouni A., Mahfoud M., Berrada MS., Yaacoubi M., El Manouar M. La fasciite nécrosante. Médecine du Maghreb 1997;66:23-25; 102-108
2. Basseti S., Pisoa RJ., Itinb P. Infections de la peau et des tissus mous : Célulites, Erysipèles et fasciites nécrosantes. Forum Med Suisse 2013;13(35):672-677.
3. Bouvet A., Lucht F., Schmit J.L., Hasmann Y., Bricaire F., Reynes J. et al. Erysipèle et fasciite nécrosante : Prise en charge. Med Mal Infect 2000;30(4):260-271.
4. Brengard-Bresler T. Fasciite nécrosante et dermohypodermes bactériennes nécrosantes : Expérience au CHRU de Nancy entre 2005 et 2014, thèse de doctorat en médecine. Univ de Lorraine, Bibliothèque de la Faculté de médecine de Nancy 2015; p:68.
5. Brun Buisson C. Conférence de consensus, texte des experts, quatrième question : stratégie de prise en charge des fasciites nécrosantes. Ann Dermatol Venerol 2001; 128:394-403.
6. Carlos A., Diazgranados MD., Alan L., Bisno MD. Clues to the early diagnosis of group A streptococcal necrotizing fasciitis. Cliggott Publishing, Division of CMP Healthcare Media 2001;13:183-192.
7. Cazorla C., Derancourt C., Weinbreck P. Société française de dermatologie. Erysipèle et fasciite nécrosante : prise en charge (texte long). Ann Dermatol Venerol 2001;128:453-482.
8. Chosidow O., Bourgault-Villada I. Dermohypodermes bactériennes nécrosantes et fasciites nécrosantes. Réanimation 2001;10:276-281
9. Crick B., Dupuy A., Perrot J.L., Vaillant L. Conférence de consensus. Erysipèle et fasciite nécrosante : prise en charge. Ann Dermatol Venerol 2001;128:458-482.
10. Davies HD., Uc Geer A., Schwartz B. Invasive group a streptococcal infections in Ontario, Canada. N Eng J Med 1996;335:547-554.
11. Eneli I, Davies HD. Epidemiology and outcome of necrotizing fasciitis in children : an active surveillance study of the Canadian Paediatric Surveillance Program. J Pediatr 2007; 151:79-84.
12. El Alem MA. La fasciite nécrosante des membres. Bibliothèque de la faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech. Thèse de médecine 2017;33:p184
13. Ellen Y., Lee MD., Wing Yuk Ip MD. Necrotizing fasciitis of extremity caused by Influenzae serotype b in a health adult. Clin Orthop Relat Res 2010;468:1436-1439.

14. Fustes-Morales A., Gutierrez-Casterllon P., Duran-McKinster C., Orozco-Covarrubias L., Tamayo-Sanchez L/, Ruiz-Maldonado R. Necrotizing fasciitis : report of 39 pediatric cases. Arch Dermatol 2002;138:893-899.
15. Gauzit R. infections cutanées graves : définitions, caractéristiques cliniques et microbiologiques. Ann Fr Anesthésie Réanimation 2006; 25:967-970.
16. H.A.S. Recommandation de bonne pratique. Prise en charge des infections cutanées bactériennes courantes 2019;2:17-18.
17. Jean-Ralph Z., Christian BB. Dermohypodermite et fasciites nécrosantes. Revue du praticien 2001;51:628-632.
18. Lateef M O. Facteurs de risques associés à la survenue de la fasciite nécrosante chez les enfants de 0 à 15 ans au service de dermatologie du CNAM. Bibliothèque de la faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie, Université de Bamako. Thèse de médecine 2018; p.65.
19. Legbo JN., Shehu BB. Necrotizing fasciitis: a comparative analysis of 56 cases. J Natl Med Assoc. 2005;97(12):1692-1697.
20. Lorne E., Sinna R., Mahajoub Y. Fasciite nécrosante. MAPAR 2016; 1:382-388.
21. Morgan MS. Diagnosis and management of necrotising fasciitis: a multiparametric approach. J Hosp Infect 2010;75(4):249-257
22. Pierlesky EO., Siham B., Issam Y., Karim I., Imane T., Said A L., Khalid M. Hegel 2005;5(1):42-44.
23. Randall J. Olsen., Kevin M. Burns., Liang Chen, Barry N., Kreinwirth James M. Musser. Severe necrotizing fasciitis in Human Immunodeficiency Virus positive patient caused by methicillin resistant staphylococcus aureus. Journal of clinical Microbiology Mar.2008, p.1144-1147.
24. Raffoul T., Fournier B., Lecomte C. dermohypodermite bactérienne nécrosante avec fasciite nécrosante après un traumatisme fermé. Annales de chirurgie plastique esthétiques 2010;55:78-81.
25. Ruckchini P., Jason CM., Shanker P. Necrotizing fasciitis clinical review Canadian Family Physician 2009;55(10):634-641.
26. Stella RS., Moayad A., Graeme F., and Zahir B. Necrotizing fasciitis following saphenofemoral junction ligation with long saphenous vein stripping: a case report. Journal of medical case reports. 2010; 4:161-167
27. Touhami Alami T. Fasciite nécrosante des membres. Bibliothèque de la Faculté de médecine et de la pharmacie-Rabat-Université MOHAMED V. Thèse de médecine 2019;233: p120

28. Wong CH., Klin LW., Heng KS. The LRINEC (Laboratory Risk Indicator for Necrotizing Fasciitis) score: a tool for distinguishing necrotizing fasciitis from other soft tissue infections. Crit Care Med 2004;32:1535-1541.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Aspects Paracliniques et Étiologiques des Ascites au CHUSC de Bangui

Oumarou Youssouf
Roland Evrard Felema Mozane
Armand Kobélémbi
Clémence Djabanga

Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui Service de
Médecine Interne, Centrafrique

Natalie Akélélo Boua
Béssanguem Bernard
Kobelembi Mafini Eveline Germaine
Ignleamoko Gambo Nuella Edwige
Serge Magloire Camengo Police

Centre hospitalo-universitaire Sino-Centrafricaine de Bangui

Service George
Centre hospitalo-universitaire Maman Élisabeth Domitien, Centrafrique
Barbara Épouse Siolo
Laboratoire national

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p79](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p79)

Submitted: 03 January 2023

Accepted: 10 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Youssouf O., Felema Mozane R.E., Kobélémbi A., Djabanga C., Boua N.A., Bernard B., Germanie K.M.E., Edwige I.G.N., Police S.M.C., George S. & Siolo B.É. (2023). *Aspects Paracliniques et Étiologiques des Ascites au CHUSC de Bangui*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 79. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p79>

Résumé

Introduction : l'Ascite est un signe clinique très fréquent en en hospitalisation dans le service d'hépatogastroentérologie et de la médecine interne. Les étiologies sont nombreuses. Objectif : contribuer à une meilleure prise en charge de l'ascite à Bangui. Patients et méthodes : nous avons réalisé une étude transversale descriptive pendant 30 mois dans le service d'hépatogastroentérologie du CHUASC (Centre Hospitalo-universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui). Elle portait sur les patients des deux sexes hospitalisés pour ascite chez lesquels le diagnostic étiologique était connu.

L'âge moyen était de 39 ans avec des extrêmes de 18 et 78 ans avec sex-ratio de 1,42. Résultats : Pendant la période d'étude, 1210 patients étaient hospitalisés dont 204 présentaient une ascite (16,85%), parmi ceux-ci, 170 (14,9%) répondant à nos critères d'inclusion étaient retenus. L'ascite était jaune citrin dans 136 cas (80%) et pauvre en protéine (< 25 g/l) dans 136 cas (80%) et riche en protéine (> 25 g/l) dans 34 cas (20%). La moyenne des Globules Blancs dans le liquide d'ascite était de 76,94 éléments blancs/mm³ avec des extrêmes de 39 et 678/mm³. Le portage du VHB (virus de l'hépatite B) était plus fréquent dans 55 cas sur 114 (48,24%). Le foie remanié était fréquent dans 108 cas (63,5%). Les étiologies de l'ascite les plus fréquentes étaient la cirrhose décompensée dans 138 cas (81,2), la carcinose péritonéale dans 15 cas (8,8%), tuberculose péritonéale dans 12 cas (7,1%) et cardiaque dans 5 cas (2,9%). Les sujets de sexe masculin étaient plus exposés à la cirrhose décompensée sur le mode ascitique. La carcinose péritonéale dans 15 cas (8,8%) et la tuberculose péritonéale dans 12 cas (7,1%). La cause plus fréquente de la carcinose péritonéale était le Carcinome Hépatocellulaire dans 13 cas (7,65%). Les principaux facteurs de risque étaient le Virus de l'Hépatite B retrouvé dans 55 cas (32,5%) et la consommation d'alcool dans 130 cas (76,5%). Conclusion : les ascites étaient d'étiologies cirrhotique et associées au virus de l'hépatite B. Les hommes étaient plus concernés, une politique de vaccination universelle contre le VHB est nécessaire et prometteuse.

Mots -clés : Ascite, Bangui, étiologie, paraclinique

Paraclinical and Etiological Aspects of Ascites at the CHUSC of Bangui

Oumarou Youssouf
Roland Evrard Felema Mozane
Armand Kobélémbi
Clémence Djabanga

Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui Service de
Médecine Interne, Centrafrique

Natalie Akélélo Boua
Béssanguem Bernard
Kobelembi Mafini Eveline Germaine
Ignleamoko Gambo Nuella Edwige
Serge Magloire Camengo Police

Centre hospitalo-universitaire Sino-Centrafricaine de Bangui
Service George

Centre hospitalo-universitaire Maman Élisabeth Domitien, Centrafrique
Barbara Épouse Siolo
Laboratoire national

Abstract

Introduction: Ascites is a very common clinical sign in hospitalization in the hepatogastroenterology and internal medicine department. The etiologies are numerous. **Objective:** to contribute to better management of ascites in Bangui. **Patients and methods:** we carried out a descriptive cross-sectional study for 30 months in the hepatogastroenterology department of the CHUASC (Centre Hospitalo-universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui). It focused on patients of both sexes hospitalized for ascites in whom the etiological diagnosis was known. The average age was 39 years with extremes of 18 and 78 years with sex ratio of 1.42. **Results:** During the study period, 1210 patients were hospitalized, 204 of whom presented with ascites (16.85%), of these, 170 (14.9%) meeting our inclusion criteria were retained. The ascites was citrine yellow in 136 cases (80%) and poor in protein (< 25 g/l) in 136 cases (80%) and rich in protein (> 25 g/l) in 34 cases (20%). The average of White Blood Cells in ascites fluid was 76.94 white elements/mm³ with extremes of 39 and 678/mm³. The carriage of HBV (hepatitis B virus) was more frequent in 55 cases out of 114 (48.24%). The remodeled liver was frequent in 108 cases (63.5%). The most common etiologies of ascites were decompensated cirrhosis in 138 cases (81.2%), peritoneal carcinomatosis in 15 cases (8.8%), peritoneal tuberculosis in 12 cases (7.1%) and cardiac in 5 cases (2.9%).). Male subjects

were more prone to decompensated cirrhosis in the ascites mode. Peritoneal carcinomatosis in 15 cases (8.8%) and peritoneal tuberculosis in 12 cases (7.1%). The most common cause of peritoneal carcinomatosis was Hepatocellular Carcinoma in 13 cases (7.65%). The main risk factors were the Hepatitis B virus found in 55 cases (32.5%) and alcohol consumption in 130 cases (76.5%). **Conclusion:** the ascites were of cirrhotic etiology and associated with the hepatitis B virus. Men were more concerned, a universal vaccination policy against HBV is necessary and promising.

Keywords: Ascites, Bangui, etiology, paraclinical

Introduction

L'ascite est une accumulation anormale de liquide dans la cavité péritonéale à l'exception du sang et du pus (Hsu SJ, et al,2013 ; Pariente A et al,2018 ; AMIOT X et al 2000). Elle constitue souvent un motif d'hospitalisation dans les services de médecine interne et d'hépatogastroentérologie. La fréquence hospitalière est variable selon les pays et à l'intérieur d'un même pays selon les services. Elle est de 3,93% à Borgou au Bénin (Dovonou AC, et al,2017), 6,4% à Cotonou (Sehonou, et al 2017), 4,24% à Lomé (Djagadou et al, 2017), 11,4% à Bobo-Dioulasso au Burkina Faso (Sawadogo et 2016). En Australie, elle représente 60% de complication de la cirrhose (Isanka et,2022) et le premier mode de décompensation de la cirrhose à Bangui (Camengo et al, 2014). La cirrhose demeure cependant la cause la plus fréquente de l'ascite dans $\frac{3}{4}$ des cas. Elle est le premier signe de cirrhose dans de nombreuses études (Sehonou, et al 2017 ; Sawadogo et al ; 2016 ; Isanka et,2022). Le diagnostic de l'ascite peut être fait cliniquement lorsqu'elle est de grande abondance. Les études antérieures sur les ascites en République centrafricaine n'ont pas suffisamment développées les aspects paracliniques et étiologiques des ascites. Nous avons réalisé cette étude pour contribuer à l'amélioration de la prise en charge des patients souffrants de ce symptôme très fréquent.

Méthodologie

Nous avons mené une étude transversale descriptive sur une période de 30 mois allant du 1^{er} Janvier 2020 au 30 juin 2022.Étaient inclus tous les patients de deux sexes âgés d'au moins 18 ans, hospitalisés pour ascite dont l'analyse du liquide d'ascite et le bilan étiologique (antigènes B, C) de l'hépatite étaient réalisés. Le diagnostic de l'ascite était porté par l'examen clinique et/ou l'échographie abdominale. L'échantillon était de exhaustif incluant tous les patients répondant aux critères d'inclusion. Les données étaient collectées sur une fiche d'enquête individuelle à administration directe. Les paramètres étudiés étaient les caractéristiques paracliniques. Les données

étaient saisies et analysées à l'aide du logiciel Epi info version 3.5. Le test Khi-carré était utilisé pour la comparaison avec un seuil de significativité $p < 0,05$.

Résultats

Analyse du liquide d'ascite

Au cours de la période d'étude, 1210 patients étaient hospitalisés dans le service d'Hépatogastroentérologie et de médecine interne du CHUASC, parmi lesquels 204 pour ascite (16,85%). Des 204 cas d'ascite, 170 avaient répondu à nos critères d'inclusion (14,05%). Parmi les 170 patients, on comptait 100 hommes (58,8%) et 70 femmes (41,2%). Le sex-ratio était de 1,42.

L'âge moyen était de 39 ans avec des extrêmes de 18 et 78 ans.

Le liquide d'ascite était de couleur jaune citrin dans 136 cas (80%).

L'ascite était pauvre en protéine (< 25 g/l) dans 136 cas (80%) et riche en protéine (> 25 g/l) dans 34 cas (20%). La moyenne des globules blancs dans le liquide d'ascite était de 76,94 par millimètre cube (mm^3) avec des extrêmes de 39 et 678/ mm^3 avec des extrêmes de 39 et 678. Le nombre des polynucléaires neutrophiles étaient supérieur à 250 par mm^3 dans 9 cas (5,30%) et inférieur à 250 par mm^3 dans 161 cas (94,70%).

Marqueurs viraux

Les sérologies des hépatites virales B (VHB), D(VHD) et C (VHC) ainsi que celle de l'infection au virus de l'immunodéficience humaine (VIH) étaient réalisées chez les patients dans respectivement 114 cas (67,05%), 114 cas (67,05%), 104 cas (61,17%) et 100 cas (58,82%). Le tableau ci-dessous présente les résultats des différentes sérologies.

Tableau I. Résultats des marqueurs viraux

Marqueurs viraux	fréquence	Pourcentage
VHB	55/114	48,24%
VHD	12/114	10,52%
VHC	18/104	17,30%
VIH	9/100	9%

Le portage du VHB était plus fréquent dans 55 cas sur 114 (48,24%).

Aspects échographiques du foie

L'aspect échographique du foie est présenté dans le tableau II.

Tableau II. Aspects échographiques du foie

Aspects échographique du foie	Fréquence	Pourcentage
Foie remanié	108	63,52
Foie normal	32	18,82
Foie hétérogène	28	16,5
Foie stéatosique	2	1,17
Total	170	100

Le foie remanié était plus fréquent dans 108 cas (63,5%).

Etiologies

Les étiologies de l'ascite sont présentées dans le tableau III.

Tableau III. Étiologies de l'ascite

Etiologies	Fréquence	Pourcentage
Cirrhose décompensée	138	81,2
Carcinose péritonéale	15	8,8
Tuberculose péritonéale	12	7,1
Cardiaque	5	2,9
Total	170	100

La cirrhose décompensée est l'étiologie la plus fréquente (81,2%).
 Les causes de carcinose péritonéale étaient un cancer primitif du foie (13 cas), deux cancers du col utérin et un cancer du pancréas .

Cirrhose décompensée

La cirrhose décompensée était retrouvée chez 87 hommes et 51 femmes
 Les sujets du sexe masculin étaient plus exposés à la cirrhose décompensée sur le mode ascitique.

Carcinose péritonéale

Tableau IV présente la répartition par sexe des patients atteints de carcinose péritonéale.

	Carcinose péritonéale		Total
Sexe	Positif	Négatif	
Masculin	5 (5%)	95(95%)	100
Féminin	10 (14,28%)	60(85,71%)	70
Total	15 (8,82%)	155(91,17%)	170

ddl = [0,10 ; 0,96]

chi2= 4,41

P= 0,03

La carcinose péritonéale est liée au sexe féminin.

Tuberculose péritonéale

Le tableau V. Présente la répartition par sexe des patients atteints de tuberculose péritonéale.

	Tuberculose péritonéale		Total
Sexe	Oui	Non	
Masculin	7(58,3%)	93(58,86%)	100
Féminin	5(41,7%)	65(41,10)	70
Total	12(100%)	158(100%)	170

P=0,97

La survenue de la tuberculose péritonéale n'est pas liée au sexe

Causes cardiaques de l'ascite

Le tableau VI. Présente la répartition par sexe des patients atteints de Cardiaque.

	Cardiaque		Total
Sexe	Oui	Non	
Masculin	2(40%)	98(59,4%)	100
Féminin	3(60%)	67(40,6%)	70
Total	5(100%)	165(100%)	170

P=1,03

L'ascite d'origine cardiaque n'est pas liée au sexe

Tableau VII. Répartition de Sérologie VHB/VIH et Cirrhose décompensée

Sérologies	cirrhose décompensée		Total
	Présente	Absente	
VIH positive	4(44.4%)	5(55.55%)	9
VIH négative	72(79.12%)	19(20.87%)	91
Hépatite B positive	60(89.5%)	7(10.44%)	67
Hépatite B négative	46(64.80%)	25(35.21%)	71

Chi 2=11,86 ; ddl=4,658 ; p=0,00057

Le portage chronique du VHB explique la survenue de la cirrhose décompensée.

Chi 2=5,39 ; ddl=0,05 ; p=0,0020

Le virus du VIH a un lien avec la survenue de la cirrhose décompensée

en favorisant la progression de l'infection chronique par le VHB.

Discussion

Dans notre série d'étude, le liquide d'ascite était jaune citrin dans (80%) cas. Il était également jaune citrin dans 78,9% à Borgou (AMIOT X et al 2000), dans 67,69% à Dakar (Dia D et al,2018). Le liquide est un transsudat dans 59,45% à Lomé (Djagadou al,2017). Elle pourrait expliquer en grande partie la fréquence élevée de cirrhose dont la première décompensation est l'ascite (Camengo et al,2014 ; Ouavene JO et al, 2013 ; Noah D et al 2016). L'ascite était pauvre en protéine (< 25 g/l) dans 136 cas (80%) dans notre étude. Il s'agissait d'un transsudat comme les 52% des cas à Dakar (Dia D et al,2018), dans 63,3% à Cotonou (Sehonou et al 2017), dans 59,45% à Lomé (Djagadou al,2017) et dans 75,4% à Bobo-Dioulasso (Sawadogo A et al,2016). La présence d'un transsudat devrait orienter vers une décompensation de la cirrhose. Le nombre des polynucléaires neutrophiles était inférieur à 250 éléments/mm³ dans 161cas (94,70%) dans notre série. L'ascite était également pauvre en cellules dans l'étude des auteurs à Bobo-Dioulasso (Sawadogo A et al,2016).

Le portage chronique de l'antigène

HBS était retrouvé dans 55 cas (32,05%) et celui du VHC dans 18 cas (10,58%). Le VHB et le VHC étaient également rapportés par les auteurs au cours d'étude de l'ascite (Sawadogo A et al,2016 ; Dia D et al,2018), (Jamal Udine MD et al ,2020). Le portage chronique du VHB et/ou du VHC expose les patients à la cirrhose dont le premier mode de décompensation est l'ascite (Camengo Police et al,2014 ; Jamal Uddin MD et al 2020 ; Noah D et al ,2016).

Les étiologies les plus fréquentes de l'ascite dans notre étude étaient la cirrhose décompensée (81,2%), la carcinose péritonéale (8,8%), la tuberculose péritonéale (7, 1%). La cirrhose est la première cause de l'ascite à Parakou, dans le Borgou (28,5%) (Dovonou AC et al,2017), à Cotonou (56,1%) (Sehonou et al 2017), à Dakar (52,5%) (Dia D et al,2018), en Inde (40,21%) (Jamal Uddin MD et al ,2020). La décompensation de la cirrhose sur le mode ascitique était observée dans 90,82% à Douala (Noah D et al ,2016) et dans 70,2% au Mali (Diarra M et al,2010) La première cause de la cirrhose est le VHB dans notre étude comme dans une précédente étude à Bangui (Camengo et al,2014) et à Douala (Noah D et al 2016), à Dakar (Dia D et al,2018) et à Ndjamena au Tchad (Moussa AM et al,2017). Cependant en Inde, la première cause de la cirrhose est l'alcool (Jamal Uddin MD et al ,2020). En Chine, les auteurs avaient rapporté le VHB comme première cause de cirrhose (Nian-zhi Ning et al,2018). La deuxième étiologie de l'ascite observée par d'autres auteurs était la carcinose péritonéale à Dakar dans 24,5% des cas

(Dia D et al,2018). A Cotonou, la deuxième étiologie de l'ascite était le carcinome hépatocellulaire (Sehonou et al 2017). L'ascite au cours de CHC serait probablement une carcinose péritonéale. Le CHC est la première cause de carcinose péritonéale dans notre série. La carcinose péritonéale est la quatrième cause de l'ascite rapportée par les auteurs en inde (Jamal Uddin MD et al ,2020). Elle était moins fréquente à Borgou (Dovonou AC et al,2017). Dans notre étude la carcinose péritonéale était plus fréquente chez les femmes.

La tuberculose péritonéale, troisième cause d'ascite dans notre étude l'est également dans l'étude d'autres auteurs (Sehonou et al, 2017), (Sawadogo A et al,2016) ; (Dia D et al,2018), alors qu'elle est la deuxième cause de l'ascite en Inde (Jamal Uddin MD et al ,2020). (Tekpa G et al 2019) à Bangui avait rapporté 15,45% de tuberculose péritonéale au cours de la tuberculose (Dovonou AC et al, 2019) à Parakou (Borgou), Borgou, les auteurs avaient comme deuxième et troisième étiologie de l'ascite respectivement les maladies cardiaques (18,6%) et le syndrome néphrotique (14%) (Dovonou AC et al 2019).

Conclusion

L'ascite est un signe fréquent d'hospitalisation en Hépatogastroentérologie. Les étiologies les plus fréquentes sont la cirrhose, la carcinose péritonéale secondaire à un CHC (carcinome hépatocellulaire) et la tuberculose pulmonaire. Le VHB est la première cause de la cirrhose dans notre contexte probablement associé à l'augmentation de la consommation d'alcool. L'information, l'éducation et la communication avec la population sur les facteurs de risques liés à ce symptôme (ascite) sont indispensables pour l'amélioration de son état de santé.

References:

1. AMIOT X. Comment traiter une première poussée d'ascite ; Gastroentérologie Clinique et Biologique ; 2000 ;28 :8118-8122.
2. Camengo Police SM, Koffi B, Boua-Akélélo N, MbekoSimaleko M, Mossoro-Kpindé CD, Longo JDD, Diemer H, KanzilaTangbanda M, Molowakobendo JR. Les complications de la cirrhose à l'hôpital Universitaire de l'Amitié de Bangui. Médecine d'Afrique Noire 2014 ;61(11) :537-542.
3. DovonouAC, AlassaniAC, SakéK, AdèS, AttinsounonCA, AhouiS, Degla, J,Tognon F, Tchégnoni, Zannou DM, AdèG, Epidemiological clinical and Etiological Aspects of ascites in the Medicine department at the departmental university hospital of Borgou.open journal of internal Medicine 2017 ;7(3).
4. Djagadou KA, Balaka A, Tchamdja T, Nemi KD, Kodjo W, Djalogue L, Djibril MA. Les ascites en milieu hospitalier à Lomé :

- aspects épidémiologiques, cliniques et étiologiques. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé* 2017 ;19(4) :
5. Dia D, Guèye MN, Youm M, Diouf G, Cisse CAB, Mbengue M. Clinical, Paraclinical and Etiological Aspects of Ascites in an Internal Medicine Department in Dakar, Senegal. *Gut and Gastroenterology* 2018 ; 1(2) :1-2.
 6. Hsu SJ, Huang HC. Management of ascites in patients with liver cirrhosis: Recent evidence and controversies. *Journal of the Chinese Medical Association* 2013 ;76 :123-130.
 7. Isanka U , Ratnasekera, Amy Johnson, Elizabeth E Powell, Andrew, Henderson , Katharine M, Irvine , Patricia C, Valery. Epidemiology of ascites fluid infections in patients with cirrhosis in Queensland, Australia from 2008 to 2017 : A population-based study. *Medicine (Baltimore)* 2022 ;101(20) :29217.
 8. Moussa AM, Hassane M, Alio Adoum N, Madtoingue J, Mahamat Saleh T, Camengo Police SM. Séroprévalence de l'AgHbs chez les patients atteints de cirrhose du foie et de carcinome hépatocellulaire à Ndjamena, Tchad. *Annales de l'Université de Bangui Série D* 2017 ; 3(001) :24-27.
 9. Noah Noah D, Eloumou Bagnaka SAF, Ankouane Andoulo F, Bilounga JN, Luma Namme H. Complications and prognosis of cirrhotic patients at the Douala General Hospital in Cameroon. *Journal of Applied Medical Sciences* 2016 ;5(1) :43-52.
 10. Nian-zhi Ning, Tao Li, Ju-ling Zhang, Fen Qu, Jie Huang, Xiong Liu, Zhan Li, Wei Geng, Jun-liang Fu, Wang Huan, Shu-yong Zhang, Chunmei Bao, Hui Wang. Clinical and bacteriological features and prognosis of ascitic fluid infection in Chinese patients with cirrhosis. *BMC Infectious Diseases* 2018 ;18 :253.
 11. Tékpá, Fikouma V, Marada Téngothi RM, Longo JDD, Amakadé Woyengba AP, Koffi B. Aspects épidémiologiques et cliniques de la tuberculose en milieu hospitalier à Bangui. *Pan African Medical Journal* 2019 ;33 :31. doi : 10.11604/pamj.2019.33.31.13442.
 12. Sehonou, J ; Dodo, L. R. S ; Azon-Kouanou, A ; Agbodande, K. A Zannou, D m Hougbe, F profil étiologique des ascites dans le service de médecine interne du centre national hospitalier et universitaire de cotonou. *Journal de la société de biologie clinique bénin* 2017 ;27 :28-31.
 13. Sawadogo A, Ouédraogo SM, Kyelem C, Yaméogo TM, Ouédraogo AS, Nikiéma Z, Bambara ML, Kamboule BE. Apport des examens complémentaires dans le diagnostic des ascites à Bobo-Dioulasso. *RAFMI* 2016 ; 3(1) :30-35.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Evaluation des Doses Variables du Miel Local de *Apis Mellifera adansonii* Latr. 1789 du Congo sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair standard

Mbanza –Mbanza B.B

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo
Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo
Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Bati J.B.

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo

Adzona P.P.

Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Guembo J.R.

Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo
Coopérative Agro 4 Production, Brazzaville, Congo

Ntsoumou M.V.

Saboukoulou A.J.

Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Banga Mboko H.

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo
Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p89](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p89)

Submitted: 28 April 2022
Accepted: 14 March 2023
Published: 31 March 2023

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

Cite As:

Mbanza –Mbanza B.B., Bati J.B., Adzona P.P., Guembo J.R., Ntsoumou M.V., Saboukoulou A.J. & Banga Mboko H. (2023). *Evaluation des Doses Variables du Miel Local de Apis Mellifera adansonii* Latr. 1789 du Congo sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair standard. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 89.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p89>

Résumé

Le miel est un produit qui renferme des propriétés nutritives susceptibles de stimuler les performances zootechniques des volailles. L'objectif de cette étude était de déterminer le taux d'incorporation optimal du miel dans les rations des poulets de chair. Un échantillon de 105 poussins de chair a été réparti en trois lots de 35 sujets (témoin, traité 1 et traité 2). Chaque lot a été ensuite subdivisé en 5 répétitions de 7 sujets chacun. Les lots traités 1 et 2 ont reçu des doses du miel dans la ration alimentaire respectivement au démarrage 0,5% et 1%, en croissance 1% et 2% et en finition 1% et 4%. Le premier lot a servi de témoin. Les lots ont été comparés sur les variables de la croissance pondérale. Les résultats ont montré au cours de la phase de démarrage une amélioration significative ($P < 0,05$) de la consommation volontaire des aliments (30,5 g contre 34,8 g), du GMQ (22,7 g/jour contre 23,4 g/jour), l'IC (1,3 contre 1,4) et le poids vif à 14 jours (359g contre 377 g). Par contre au cours de la phase de croissance, aucune différence significative n'a été notée dans la ration contenant 1% de miel. En revanche pendant la phase de finition, une amélioration significative a été observée sur tous les paramètres étudiés. Cette étude suggère l'utilisation du miel à la dose de 0,5% pendant les phases de démarrage et de croissance et à 1% au cours de la phase de finition.

Mots-clés : Abeilles, consommation volontaire, GMQ croissance, indice de consommation, e, Cobb 500, Congo Brazzaville

Effect of Gradual Rate of Congolese Indigenous Honey Bee (*Apis Mellifera adansonii* Latr. 1789) Based –fed on Broiler

Mbanza –Mbanza B.B

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face
stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo
Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo
Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Bati J.B.

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face
stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo

Adzona P.P.

Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Guembo J.R.

Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo
Coopérative Agro 4 Production, Brazzaville, Congo

Ntsoumou M.V.

Saboukoulou A.J.

Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Banga Mboko H.

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux africains, face
stade Alphonse Massamba-Débat, Brazzaville, Congo
Ecole Nationale Supérieure d’Agronomie et de Foresterie,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Abstract

Honey is a natural bee product containing nutritional properties able to stimulate the performance of poultry. The study aimed to determine the optimal rate of honey in the diets of broiler. A sample of 105 chicks has been randomized and then divided into three groups of 35 chicks each (One control and two treated groups). Then each group was then divided in 5 replicates of 7 chicks. The treated groups received doses of honey at the starting 0.5% and 1%, in growing 1% and 2% finally in finishing stage 1% and 4% respectively. Groups were compared on the growth parameters. The results showed that during the starting stage, a significant improvement ($P < 0.05$) was observed on feed intake (30.5g vs 34.8g), DWG (22.7g per day vs 23.4g per day), feed efficiency (1.3 vs 1.4) and body live weight (359 vs 377g at 14 days). However, during the growing stage, no significant difference was observed on feed containing 1% of honey. Moreover, during the finishing stage, all the

studied parameters were improved by honey at 1%. Therefore, the present study indicated the usefulness of honey at 0.5% during the starting and growing stages while 1% may be used during the finishing stage.

Keywords: Bee, feed intake, DWG, Growth, feed efficiency, Cobb 500, Congo-Brazzaville

Introduction

Au Congo, la faible productivité avicole contraint les fabricants d'aliment de bétail à importer d'énormes quantités de matières premières et additifs alimentaires pour soutenir les productions animales notamment les poulets de chair et les œufs de table (FAO, 2009). Les additifs alimentaires sont constitués notamment des concentrés azotés, vitaminés, et minéralisés, des anticoccidiens et des anti-infectieux qui sont fortement chimiques susceptibles de compromettre la santé des volailles et par conséquent celle du consommateur final. Par ailleurs, le Congo regorge d'immenses potentialités naturelles qui suscitent l'intérêt d'une alternative aux additifs alimentaires chimiques par des produits biologiques doués des principes actifs pouvant préserver la santé des volailles et par conséquent d'en favoriser leurs performances de croissance. Parmi ces produits, le miel d'abeille peut être incorporé dans l'aliment des volailles (Obun et al., 2008).

Ainsi, le recours au miel dans l'alimentation du poulet est une alternative grâce à ses vertus nutritionnelles et médicamenteuses notamment antioxydantes, antistress et antimicrobiennes (Gheldof et Engeseth, 2002 ; Lefief-Delcourt, 2010 ; Lika et al., 2021). Bankovas et al., (2002), Sfich et al., (2017) et Coulibaly Bakary et al., (2019) ont montré que le miel renferme des glucides, des oligo et macroéléments, des acides aminés essentiels et autres facteurs actifs agissant en synergie pour le bon fonctionnement de l'organisme animal. De même, des études montrent l'efficacité du miel comme d'une part, complément alimentaire (Obun et al., 2008) et d'autre part moyen de lutte contre le stress dans les différents systèmes d'élevage (Sanjay Kumar et al., 2015).

Par ailleurs, les travaux réalisés sur le miel en majorité sur les espèces d'intérêt agronomique (poule et canard) indiquent que le métabolisme glucidique des oiseaux et plus précisément leur glycémie basale est deux fois plus élevée que chez les mammifères (Hazelwood, 1984). On constate parallèlement que la cellule β -pancréatique du poulet est, contrairement à celle des mammifères, relativement peu sensible au glucose (Rideau et Métayer-Coustard, 2012). En outre, des doses massives d'insuline, qui seraient mortelles chez les mammifères, n'entraînent pas de convulsions hypoglycémiantes chez le poulet. Les oiseaux ont développé des mécanismes adaptatifs originaux leur assurant un métabolisme énergétique actif caractérisé

respectivement par une température et une glycémie basale élevée de 42°C et 2 g/l. Or, à ce jour peu d'auteurs ont essayé d'utiliser le miel dans les rations d'animaux et particulièrement de volailles, excepté quelques investigations *in vitro* chez les rats (Ajibola et al., (2013) et chez les poulets de chair (Obun et al., 2008). Ces derniers auteurs rapportent un taux d'incorporation optimal du miel à 1% durant la phase de finition. Malheureusement, aucune étude ne rapporte sur les phases antérieures de l'élevage.

L'objectif de cette étude était donc d'évaluer la réponse des poulets de chair nourris avec du miel depuis les phases de démarrage, croissance jusqu'à la phase de finition. Ce travail repose sur l'hypothèse selon laquelle le miel améliore les performances de croissance du poulet de chair.

Méthodologie

Milieu d'étude

L'étude a été réalisée à Brazzaville dans l'animalerie de l'unité mixte de recherche sur la valorisation des sous-produits agricoles et agro-industriels dans l'alimentation du bétail de l'Institut national de Recherche Agronomique (IRA). La République du Congo couvre une superficie de 342 000 km². Elle est située en Afrique Centrale à cheval sur l'équateur entre les latitudes 3°30' nord et 5° sud, et les longitudes 11° et 18° est. Situé à Brazzaville, l'IRA bénéficie d'un climat tropical humide où les précipitations moyennes annuelles varient entre 1 200 mm dans le sud et 1 700 mm ; la température moyenne mensuelle est comprise entre 21°C et 27°C. (Diamouangana, 2003).

Matériel biologique

Le miel

Le miel utilisé provenait des ruches artisanales dans la banlieue de Brazzaville. Il était de couleur brune et avait une teneur en humidité de 18% et une valeur calorique de 3000 kcal /kg (Ouchemoukh, 2003 ; Kouamé et al., 2021).

Le poulet de chair

Les poussins de chair utilisés étaient issus de la souche Cobb 500 produits localement à partir des œufs à couver importés d'Europe. C'est une souche à plumage blanc atteignant le poids vif à l'abattage de 2 kg au bout de 42 jours d'élevage.

Dispositif expérimental

L'expérimentation a été réalisée sur 105 poussins selon le tableau 1. La durée d'élevage a été de 56 jours. La répartition des oiseaux dans les différents lots et stades de développement est indiquée au tableau 1.

Tableau 1. Dispositif expérimental

Phases et durée	Taux d'incorporation du miel (%)		
	T0 (%)	T1 (%)	T2(%)
Démarrage De 1 à 14 jours	0	0,5	1
Croissance De 15 à 28 jours	0	1	2
Finition De 29 à 42 jours	0	1	4

Conditions expérimentales

Les poussins de chair ont été pesés dès leur arrivée à l'IRA et attribués individuellement un numéro de pesée. Ils ont été ensuite répartis dans quatre loges en contre-plaqué de 80 cm de hauteur aménagés dans une poussinière de 10,8 m², à raison de 35 poussins par loge de 1,75 m² pour une densité de 20 sujets au mètre carré.

Les poussins ont été élevés au sol sur litière à raison de 6 kg de copeau de menuiserie au mètre carré.

Le système de chauffage et d'éclairage était constitué par deux ampoules de 100 W dans chaque loge et la ventilation s'est faite naturellement au travers des panneaux de fenêtre inter réglables en toile moustiquaire. En croissance, l'espace vital a été agrandi à 2,33 m² pour une densité de 20 sujets au mètre carré pendant 14 jours. Après les deux premières phases d'élevage, les poussins ont été transférés dans deux poulaillers de 10,80 m² chacun correspondant à 6,4 sujets au mètre carré, garnis d'un tapis de 20 kg copeau de menuiserie.

Le contrôle de la température s'est fait en deux prises journalières à l'aide d'un thermomètre mural automatique (mini-maxi). Il s'en est suivi des pesées hebdomadaires et individuelles des sujets portant des bagues numérotées et accrochées sur leurs pattes pour déterminer les performances de croissance (le GMQ, l'IC et le PV) optimales.

Parallèlement, un programme de vaccination a été appliqué en vue de prévenir les poussins contre les maladies de Newcastle, de bronchite infectieuse et de Gumboro à partir des souches vaccinales vivantes respectivement HB1/ la Sota, H120, et Bursine

Matières premières et formulation alimentaire

Le tableau 2 présente la composition et l'analyse chimique calculée des régimes alimentaires aux stades démarrage, croissance et finition

Tableau 2. Régimes alimentaires des lots témoin et traités

Ingrédients (%)	T0			T1			T2		
	D(%)	C(%)	F(%)	D(%)	C(%)	F(%)	D(%)	C(%)	F(%)
Maïs	48,5	50	40,3	48	50	41	48,5	49	40,2
Drêche de brasserie	11,5	11	18,5	11,5	11,5	17	11,5	11,5	17
Son de blé	/	/	5,5	/	/	5	/	/	2
Farine grossière de manioc	4	5,5	3,5	4	5	3	3	5	4
Huile de palme	1,5	2	3,5	1,5	2	2,5	1,5	2	1,5
Miel	0	0	0	0,5	1	1	1	2	4
Farine de poisson	5	5	3	5	5	3	5	5	3
Tourteau de soja	14	22	11	14	22	11	14	22	12
Tourteau d'arachides	13	/	/	13	/	/	13	/	/
Tourteau palmiste	/	/	2	/	/	2	/	/	1,6
Arachides grains	/	2	10	/	2	11,8	/	2	12
Lysine	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Calcaire	1,8	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	1,8	2
Sel de cuisine	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1
Complexe vitaminé (1)	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
Total			100						

Analyse chimique calculée	T0			T1	
	D	C	F	D	C
EM (kcal/kg)	2904,60	3058,73	3200,055	2903,60	3054,10
MAT (%)	22,07	20,073	18,07	22,03	20,14
Calcium (%)	1,04	1,05	1,02	1,04	1,05
Phosphore (%)	0,37	0,37	0,36	0,37	0,37
Lysine (%)	1,22	1,26	1,06	1,21	1,27
Méthionine (%)	0,38	0,38	0,36	0,38	0,38
Cellulose brute (%)	4,484	4,46	6,306	4,473	4,51

D= démarrage ;
C= croissance et F= finition

(1)Composition par Kg:

(1) :Gallate de propyle: 9 mg, Vitamine A 900 000 UI; Vitamine D3 500 000 UI; Vitamine E 2278 UI; Vitamine K3 166 mg; Vitamine B1 166 mg; Chlorure de choline 30 000 mg; Vitamine B2(Riboflavine) 578 mg; D-pantothénate de calcium 814 mg; Vitamine B6 270 mg; Vitamine B12(cyanocobalamine) 1,4 mg;

Niacine/niacinamide 2228 mg; Acide folique 42 mg; Biotine 3,8 mg; Cuivre (sulfate cuivrique pentahydrate) 1000 mg; Fer (sulfate de fer (II) Monohydraté) 16 000 mg; Zinc (oxyde de zinc) 8 900 mg; Manganèse (oxyde de manganèse) 9 000 mg; Iode (iodate de calcium anhydre) 150 mg; Cobalt (granulés enrobés de carbonate de cobalt) 20.0 mg; Sélénium (sélénite de sodium) 40 mg; D-L méthionine 15.00%; Monochlorhydrate de L-lysine 13.50%; Endo-1,4-beta-xylanase-EC.3.2.1.8 122 000 U/Kg; Endo-1,3(4)-bêta-glucanase-EC 3.2.1.6 15 200 U/Kg; 6-Phytase-EC 3.1.3.26 50 000 FTU/kg

(2)

Les variables étudiées

Les variables mesurées

Au jour 1 puis chaque semaine, les poussins étaient pesés à l'aide d'une balance électronique de marque Ohaus Traveler (USA) d'une portée de 5kg et d'une précision de 0,1 g. De même, tous les jours, les quantités d'aliment distribué et refusé étaient pesées.

Les variables calculées

La consommation volontaire d'aliment (CVA), le gain moyen quotidien (GMQ), l'indice de consommation (IC) et le taux de mortalité (TM) ont été calculés selon les formules suivantes :

$$CVA = \frac{\text{Quantité distribuée par semaine} - \text{Quantité refusée par semaine}}{\text{Durée de la période (semaine)}}$$

$$GMQ = \frac{\text{Poids final} - \text{poids initial}}{\text{Durée de la période}}$$

$$IC = \frac{\text{Quantité moyenne d'aliment consommé}}{\text{Poids final} - \text{poids initial}}$$

$$TM = \frac{\text{Nombre de morts au cours d'une période}}{\text{Effectif au début de période}} \times 100$$

Analyses statistiques

Les données obtenues ont été saisies sur Excel puis transférées dans le logiciel Kruskal Wallis. La comparaison des moyennes des différentes variables a été effectuée par le test de *Student* et leurs effets par l'analyse de variance non orthogonale à effet fixe de Friedman (ANOVA). Les résultats sont exprimés en moyenne \pm écart-type et les différences considérées significatives au seuil de 5%.

Résultats

1- Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de démarrage

Les résultats sont consignés au tableau 3.

Tableau 3. Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de démarrage

Variables	T0 (0%)	T1 (0,5%)	T2 (1%)
CVA (g/j)	30,56± 21,94 ^a	34,87 ±21,94 ^b	26,41± 8,03 ^c
GMQ (g/j)	22,7±10,9 ^a	23,9 ±11,7 ^b	13,27 ± 7,02 ^b
IC	1,34 ±16,42 ^a	1,45 ±16,82 ^b	1,99 ± 7,55 ^b
PV à 14 j (g)	359,94 ^a	377,09± 47,82 ^b	219,61± 19,02 ^c
Mortalité (%)	8,57	0	2,85

Sur une même ligne, deux moyennes qui ne sont pas affectées par la même lettre en exposant sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Les résultats du tableau 3 montrent que l'incorporation du miel à 0,5% au démarrage a amélioré significativement ($P < 0,05$) la consommation volontaire alimentaire de 14,10%, le gain moyen quotidien de 5,28%, le poids vif final de 4,76% et la viabilité. A l'inverse, les variables précitées ont été dépréciées quand le miel a été incorporé à 1%.

2- Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de croissance

Le tableau 4 illustre les données.

Tableau 4. Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de croissance

Variables	T0 (0%)	T1 (1%)	T2 (2%)
CVA (g/j)	94,96 ±32,34 ^a	92,74 ±28,79 ^a	63,84± 17,44 ^b
GMQ (g/j)	52,01 ±10,9 ^a	52±8,53 ^a	28,18 ± 3,39 ^b
IC	1,82± 21,62 ^a	1,78±18,66 ^a	2,26 ± 10,41 ^b
PV à 35 j (g)	1451,97 ^a	1482,35±113,78 ^a	782,79± 107,68 ^b
Mortalité (%)	0	0	0

Sur une même ligne, deux moyennes qui ne sont pas affectées par la même lettre en exposant sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Les résultats du tableau 4 montrent qu'au cours de la phase de croissance l'incorporation du miel à 1% n'a pas affecté significativement ($P = 0,05$) les performances zootechniques du poulet de chair. Par contre, à 2% les

variables étudiées ont été dépréciées : le CVA de 32,77%, le GMQ de 41,4%, l'IC de 24,17% et le PV de 53,91%.

3- Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de finition

Le tableau 5 indique les valeurs observées.

Tableau 5. Effet du miel sur les performances zootechniques du poulet de chair en phase de finition

Variables	T0 (0%)	T1 (1%)	T2 (4%)
CVA (g/j)	191,14±0 ^a	200,25±0 ^b	110,78± 36,07 ^c
GMQ (g/j)	73,86±0 ^a	78,89±02,58±0 ^b	46,40 ± 10,72 ^c
IC	2,53± 0 ^a	2,34 ± 0,27 ^b	2,58±0 ^a
PV à 42 j (g)	1846,46 ^a	1855,46±191,65 ^a	1028,15 ± 141 ^b
TM+	0	0	0

Sur une même ligne, deux moyennes qui ne sont pas affectées par la même lettre en exposant sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Les résultats du tableau 5 montrent une amélioration significative ($P < 0,05$) sur le GMQ et l'IC respectivement de 6,81% et 7,50% quand le miel est incorporé à 1% en phase de finition. A contrario, toutes les variables ont été dépréciées quand le miel a été incorporé à 4%

Discussion

Effet du miel sur la consommation alimentaire

Les régimes mielleux de 0,5% jusqu'à 4% maximum ont donné des consommations variables en fonction des groupes expérimentaux. En effet, au démarrage les poussins recevant la dose du miel à 0,5% ont manifesté une consommation alimentaire modérée avec des répercussions satisfaisantes sur les performances zootechniques (l'IC, GMQ et le PV).

Par contre, l'augmentation de la dose du miel à 1% n'a entraîné aucun effet sur l'ensemble de variables étudiées. Ces performances ont été d'ailleurs dépréciées au taux de 2% de miel. Cette tendance s'est poursuivie en finition où une surconsommation d'eau est constatée aux taux élevés du miel et par conséquent une augmentation de l'IC au détriment du GMQ et du PV. Ces résultats corroborent ceux de Rideau et Métayer-Coustard, (2012) sur l'utilisation de la mélasse dans l'alimentation des volailles. La mélasse est une substance sirupeuse dont les teneurs en sucres solubles avoisinent celles du miel. Cet auteur souligne que les doses élevées de mélasse rendent les fientes

humides (diurèse) et augmentent l'indice de consommation. Le recours aux ressources alimentaires et animales locales et la limitation du miel aux taux de 0,5% et 1% rapporté par Obun et *al.*, (2008) ont eu des effets significatifs sur la consommation alimentaire et plus précisément dès la 2^{ème} semaine. En effet, après une période d'adaptation d'une semaine, le tube digestif du poussin est disposé à assimiler les substances actives du miel tels que les flavonoïdes, les inhibines et les défensines ayant des propriétés anabolisantes efficaces comme le rapporte Ajibola (2013) à l'issue d'une expérience concluante *in-vitro* chez le rat. Selon ce dernier auteur, cette assimilation améliore les activités enzymatiques du pancréas et les fonctions digestives par la microflore intestinale du caecum car c'est dans les caeca que se déroule la fermentation microbienne chez la volaille (Bankovas et *al.*, 2002).

Effet du miel sur le GMQ, l'IC et le PV

Les résultats ont montré que l'incorporation du miel à la dose de 0,5% au démarrage a amélioré l'ensemble des performances de croissance (GMQ, IC et PV). Ces résultats corroborent ceux réalisés par Ajibola (2013) sur l'utilisation *in vitro* du miel chez le rat. En phase de croissance, l'augmentation de la dose du miel à 1% n'a pas eu d'effet significatif sur des variables étudiées. D'ailleurs ces performances sont dépréciées quand le miel a été incorporé à 2%. Ainsi, l'ajustement du miel à la dose de 1% en finition a amélioré significativement le GMQ et l'IC de 5,03g/j et de 0,19 respectivement. Ces performances confirment les travaux d'Obun et *al.*, (2008) qui ont limité le taux du miel à 1% à la phase de finition. Il sont également en accord avec ceux du tableau de bord du poulet de chair standard (Lika et *al.*, 2021). Par contre, le GMQ et l'IC ont été dépréciés quand le miel a été incorporé à 4%.

Effet du miel sur la mortalité

La mortalité étant l'un des facteurs qui freinent l'épanouissement de l'élevage avicole, l'incorporation du miel à 4% a engendré des taux de mortalité élevés. En se référant aux travaux effectués sous les tropiques, le taux de mortalité du lot traité en dessous de la norme universelle de 5% est acceptable en aviculture comme l'indiquent Lika et *al.*, (2021).

Conclusion

L'objectif de travail était de déterminer le taux optimal de l'incorporation du miel dans les rations de poulets de chair standard. Les résultats de cette étude ont confirmé les travaux antérieurs limitant l'incorporation du miel à la dose de 1% pendant la phase de finition et suggèrent à l'avenir l'utilisation du miel à la dose de 0,5% pendant les phases

de démarrage et de croissance. L'hypothèse formulée au début de ce travail a été vérifiée et l'objectif atteint.

Ainsi, dans la perspective d'une intensification de l'alimentation de volailles par l'incorporation du miel et d'éviter à long terme toute concurrence humaine, des actions devraient être entreprises sur d'autres sous-produits de la ruche comme la propolis, le pollen et la gelée royale qui sont également reconnus posséder des vertus hautement nutritionnelles et médicamenteuses.

References:

1. Ajibola A., Chamunorwa J.P., & Erlwanger K H. (2013). Comparative effect of cane syrup and natural honey on abdominal viscera of growing male and female rats. *Indian Journal of Experimental Biology*, 51 (4): 303-312.
2. Bankovas V., Popova M., & Bogdanov S. (2002). Combined antibacterial and properties of water soluble fractions of royal jelly. *Zeitschrift fur Naturforschung C-A Journal of Biosciences*, 57: 530-533.
3. Coulibaly Bakary, Diomandé Massé, Konaté Ibrahim, Bohoua Louis Guichard (2019). Qualité Microbiologique, Propriétés Physicochimiques et Profil Sensoriel de Miels de la Région du Worodougou, Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15 (30) : 1-22. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p72>.
4. Diamouangana J (2003). Les perturbations dans les formations végétales du Congo-Brazzaville valeurs indicatrices de quelques variables climatiques, *Acta Botanica Gallica*, 150:3, 331-343, DOI: 10.1080/12538078.2003.10516000
5. FAO, 2009. Schéma directeur pour le développement des filières de l'élevage au Congo. Volume 2, 49p
6. Gheldof N., & Engeseth N.J. (2002). Antioxidant capacity of honeys from various floral sources based on the determination of oxygen radical absorbance capacity and inhibition of in vitro lipoprotein oxidation in human serum samples. *Journal Agricultural Food Chemical*, 50 (10): 3050-3055.
7. Hazelwood R.L. 1984. Pancreatic hormones, insulin/glucagon molar ratios, and somatostatin as determinants of avian carbohydrate metabolism. *Journal of Experimental Zoology*, (232), : 647-652.
8. Kouamé K.F., Gbouhoury E-K. B., Fofié N'Guessan B.Y. & Kassi N'Dja J. (2021). Caractéristiques Physicochimiques Récoltés des Miels de la Sous-Préfecture de Cechi (dans le Département D'Agboville, Côte D'Ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 17(34), 286. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n34>: p286
9. Lefief-Delcourt A. (2010). Le miel malin: Tous les bienfaits pour cet ingrédient délicieux et 100% naturel. Editions Leduc, Paris, 177P..

10. Lika, E.; Kosti'c, M.; Vještica, S.; Milojevi'c, I.; Puva'ca, N. (2021). Honeybee and Plant Products as Natural Antimicrobials in Enhancement of Poultry Health and Production. *Sustainability Animal_nutrition_and_welfare_in_Sustainable_Production_Systems*, 13(15) : <https://doi.org/10.3390/su13158467>
11. Obun C.O., Yahaya M.S., Olafadehan O.A., Kehinde A.S., Allison D.S., Yusuf A.M., & Farouk I.U., 2008. Dietary value of honey and its effects on abdominal fat deposit, blood and serum profile of finisher broiler chicks. *Journal of Agriculture, Forestry and Social Sciences*, 6 (2): <https://doi.org/10.4314/joafss.v6i2.60293>
12. Ouchemoukh, S (2003). Caractérisation physico-chimique d'échantillons de miel d'origine locale. Master en Biochimie : Université Abderrahmane Mira. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de Bejala, Algérie, 69 P.
13. Rideau N., & Métayer-Coustard S. (2012). Utilisation périphérique du glucose chez le poulet et le canard : Implications pour la croissance et la qualité de la viande. *Institut National de la Recherche Agronomique, Productions Animales*, 25 (4) : 337-350.
14. Sanjay Kumar, Prasad C.M., & Sushma Kumari. (2015). Influence of stress management on blood profile of broiler chickens. *Indian Journal of Animal Production and Management*, 31 (3/4): 141-145.
15. Sfich T. B. Ahouandjinou Monique G. Tossou Hounnankpon Yédomonhan Adéline Zanou Aristide C. Adomou Akpovi Akoègninou et Comlan M. Koudegnan (2017) Importance Du Couplage De L'inventaire Des Plantes Mellifères Et De L'analyse Pollinique Des Miels De La Saison Des Pluies En Zone Ouest Soudanienne Au Nord-Bénin *European Scientific Journal*, 13(6): 1857 – 1881.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Impacts de la Contamination Agricole sur la Qualité Physico-chimique des Eaux de Surface de l'Ouémé Supérieur au Bénin

Nonvignon Martial Fassinou

Fadéby Modeste Gouissi

Souradjou Orou Goura

Wakili Bolatito Yessoufou

Tayéwo Sylvain Biaou

Kpessou Hopson Kakpo

Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Parakou, Bénin

Hervé Hotèkpo Akodogbo

Université d'Abomey-Calavi (UAC). Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC). Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA)
Cotonou (Bénin)

Dagbédjé Damien Toffa

Université d'Abomey Calavi (UAC), Laboratoire d'Hygiène, d'Assainissement, d'Ecotoxicologie et de Santé Environnementale (HECOTES) / CIFRED, Jericho, Cotonou, Benin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p102](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p102)

Submitted: 20 October 2022

Accepted: 09 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fassinou N.M., Gouissi F.M., Goura S.O., Yessoufou W.B., Bioau T.S., Kakpo K.H., Akodogbo H.H. & Toffa D.D. (2023). *Impacts de la Contamination Agricole sur la Qualité Physico-chimique des Eaux de Surface de l'Ouémé Supérieur au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 102. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p102>

Résumé

Le présent travail vise à apprécier la qualité physico-chimique des eaux de l'Ouémé supérieur au Bénin. L'étude concerne quatre (04) communes. Les données ont été collectées en Octobre 2021 et en Mars 2022. Les paramètres physiques in-situ et les paramètres chimiques au laboratoire ont été étudiés. La description par les box plots (Boîtes à moustaches), le test de Shapiro-Wilk et celui de Kruskal Wallis au seuil $\alpha = 5\%$ ont été utilisés. Les paramètres tels la salinité, $T^{\circ}C$, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} et le Cl^- sont

significativement différents des autres paramètres et ne respectent pas les normes des eaux de surface. Les résultats de la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) ont permis d'identifier trois groupes. Le groupe 1, constitué de : pH, OD, Salinité, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} et le Cl⁻ ; proviennent principalement des activités agricoles et des eaux usées. Le groupe 2, constitué de : T°C, STD et la DCO ; proviennent des différents éléments chimiques solubles dans l'eau. Le groupe 3, constitué de : CE, provient de la minéralisation globale de l'eau. L'eau est alors contaminée à travers les constituants physico-chimiques évalués.

Mots-clés: Pollution, Eau de surface, Qualité physico-chimique, Classification Hiérarchique Ascendante, Ouémé supérieur, Bénin

Impacts de la Contamination Agricole sur la Qualité Physico-chimique des Eaux de Surface de l'Ouémé Supérieur au Bénin

Nonvignon Martial Fassinou

Fadéby Modeste Gouissi

Souradjou Orou Goura

Wakili Bolatito Yessoufou

Tayéwo Sylvain Biaou

Kpessou Hopson Kakpo

Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Parakou, Bénin

Hervé Hotèkpo Akodogbo

Université d'Abomey-Calavi (UAC). Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC). Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA)

Cotonou (Bénin)

Dagbédji Damien Toffa

Université d'Abomey Calavi (UAC), Laboratoire d'Hygiène, d'Assainissement, d'Ecotoxicologie et de Santé Environnementale (HECOTES) / CIFRED, Jericho, Cotonou, Benin

Abstract

This work aims to assess the physico-chemical quality of the waters of the upper Ouémé in Benin. The study covered four (04) communes. The data was collected in October 2021 and March 2022. The in-situ physical parameters and the chemical parameters in the laboratory were studied. The description by the box plots, the Shapiro-Wilk test and the Kruskal Wallis test at the threshold $\alpha = 5\%$ were used. The parameters such as salinity, $T^{\circ}C$, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} and the Cl^- are significantly different from the other parameters and do not respect the standards of the surface water. The results of the Hierarchical Ascending Classification (HAC) have helped us to identify three groups. The group 1, made up of: pH, DO, Salinity, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} and the Cl^- ; come mainly from agricultural activities and wastewater. The group 2, made up of: $T^{\circ}C$, STD and COD; come from the different chemical elements that are soluble in water. The group 3, made up of: CE, comes from the global mineralization of water. The water is then contaminated through the physico-chemical constituents which have been evaluated.

Keywords: Pollution, Surface water, Physico-chemical quality, Hierarchical Ascending Classification, Upper Ouémé, Bénin

1. Introduction

L'eau est une ressource vitale qui est inégalement répartie dans le monde. Le maintien de sa qualité est une préoccupation majeure pour toute société qui doit subvenir à des besoins considérables (Talhoui et al., 2020). Les eaux de surface sont exploitées à des fins diverses et servent de dépotoirs des déchets divers et des collecteurs (Adjagodo et al., 2017). En effet, ces rejets augmentent la charge en matières organiques des eaux superficielles et leur contamination peut se répercuter sur la chaîne alimentaire (Koughblenou et al., 2018). Or, l'accès à une eau saine demeure un droit et une composante clé des politiques de protection sanitaire (Sokegbe et al., 2017). Cette inquiétude, concerne non seulement les préoccupations liées à la production et la qualité des produits mais également la protection de l'environnement (Diallo et al., 2015). Au Bénin, les plans et cours d'eau sont affectés par plusieurs formes de pollutions qui sont liées notamment à la croissance démographique (Hounkpè et al., 2017). L'accessibilité à une l'eau de boisson est au cœur de la plupart des problèmes de santé publique que connaissent les pays en voie de développement (Coffi et al., 2020). De ce fait, la pollution agricole retient l'attention du fait de ses effets néfastes sur la qualité et les fonctions des cours d'eaux (Lawani et al., 2017). Elle est due surtout à l'utilisation intensive et abusive des engrais et pesticides (Adjagodo et al., 2016). Pour limiter la pollution des eaux, des stratégies sont mises en place par les décideurs à tous les niveaux (Dovonou et al., 2011). La dégradation de la qualité de ces eaux proviennent des activités agricoles, des effluents domestiques rejetés dans le milieu récepteur sans traitement préalable (Kpidi et al., 2017). Face à cette situation qui devient critique malheureusement dans le temps, il urge de faire un suivi régulier et permanent de la qualité de l'eau afin de corriger et de préserver. C'est un problème de l'épanouissement des êtres vivants : la santé des animaux, des êtres humains, des poissons, et de certains végétaux pourront en subir de grandes conséquences si les causes de la pollution ne sont pas clairement identifiées et traitées. Malgré les nombreuses investigations menées dans le sens de la qualité physico-chimique des eaux de surface, la disponibilité en eau de meilleure qualité restera et demeurera toujours l'une des préoccupations sanitaires dans nos villes et campagnes qui connaissent aujourd'hui un essor démographique. La présente étude vise à apprécier la qualité physico-chimique des eaux de surface pendant les périodes des hautes eaux et des basses eaux de l'Ouémé supérieur au Bénin.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Situé entre 6°30 et 10° de latitude Nord et 0°52' et 3°05' de longitude Est ; l'Ouémé supérieur est située au centre du Bénin avec une longueur de 510 km (Abahi et al., 2018). L'Ouémé supérieur, étant le plus long fleuve du

pays (510 km), il prend sa source dans les monts de Tanéka et reçoit deux principaux affluents importants : L'Okpara (200 km) sur la rive gauche et le Zou (150 km) sur la rive droite. Il subit les influences des climats soudanien et subéquatorial, mais son régime est plutôt tropical (PANA, 2007). Quatre (04) stations d'échantillonnage ont fait l'objet de l'étude.

2.2. Choix des stations d'échantillonnage

Les stations ont été choisies en fonction de l'accessibilité de l'eau en toute saison, la position des stations par rapport aux champs ; le gradient de pollution et de la profondeur (moins d'un mètre) de cette eau. Au niveau de chaque station, nous avons procédé à trois différents prélèvements sur le bras de même ordre afin d'éviter le mélange d'autre source de pollution. Ainsi, nous avons fait au niveau de chaque station ; un prélèvement en amont (représentant la zone témoin), un prélèvement dans la zone polluée et un prélèvement dans une zone de reconstitution ou de restauration (l'aval).

Le choix des stations a été faite, suite à une visite exploratoire de l'amont en aval et vers la zone de reconstitution sur la partie supérieure du fleuve Ouémé et a permis de retenir 04 stations (Okpara, Térou, Affon et Adjiro) accessibles en toute saison. L'étude prend en compte quatre (04) communes à raison de (03) stations de prélèvement par commune. La figure 1 montre le plan d'eau de l'Ouémé supérieur traversant le pays.

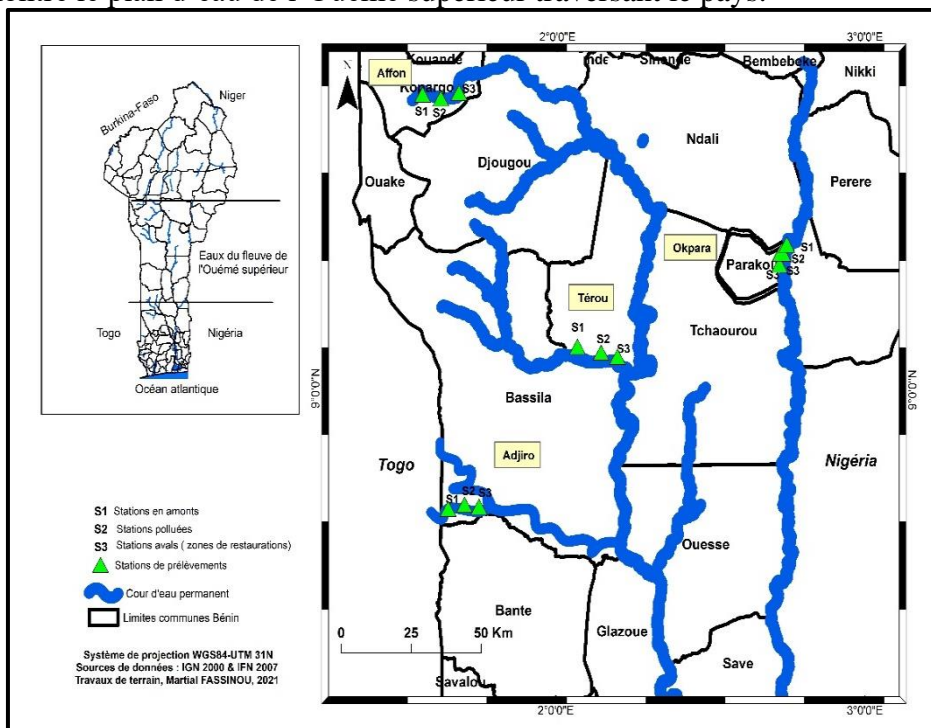


Figure 1. Situation géographique et hydrographique de la zone d'étude

2.3. Description des stations de prélèvement

2.3.1. Station Okpara

Elle est située à 9°21'08'' N et 2°44'20'' E dans le département du Borgou dans la commune de Parakou. La pluviométrie annuelle varie entre 900 mm et 1300 mm par an. Les sols hydromorphes se retrouvent dans les vallées le long de l'Okpara. Les sols ferrugineux sont dans les rocs cristallins à dominance *Isobertinia doka*, *Burkea africana*, *Mangifera indica*, et des plantations de Teck (*Tecktona grandis*).

2.3.2. Station Térou

Elle est située à 9°05'16'' N et 2°05'32'' E dans le Borgou-sud est traversé par la rivière Térou, recevant une pluviométrie annuelle variant de 1100 mm à 1200 mm. Les sols sont ferrugineux situés sur les rocs cristallins entourés par des forêts riveraines et des forêts sèches et dominé par les espèces telles que *Tetrapleura andongensis*, *Diospyros mespiliformis*, *Anacardium occidentale*, *Mangifera indica*.

2.3.3. Station Affon

Située à 8°52'29'' N et 1°30'51'' E dans le département de la Donga, commune de Copargo, arrondissement de Tanéka koko. Elle a une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 - 1200 mm. Le sol est peu évolué et contient que des minéraux. La formation végétale est constituée des forêts riveraines, sèches et des forêts boisées à dominance *Terminalia brownii*, *Commiphora pedunculata*, *Thunbergia atarcoriensis*, *Garcinia ovalifolia*, *Gardenia imperialis*. Les exploitations minières se font dans ces eaux.

2.3.4. Station Adjiro

Elle est située à 8°36'50'' N et 1°40'51'' E dans le département de la Donga, commune de Bassila. La station Adjiro est une galerie forestière située dans la forêt de Monts couffées, une forêt riveraine recevant une pluviométrie annuelle supérieure à 1200 mm. Le sol est ferrallitique avec des concrétions et dominé par des espèces comme le *Khaya grandifolia*, *Aubrevillea kerstingii*, *Khaya senegalensis* et *Erythrophleum suaveolens*.

2.4. Collecte des données

2.4.1. Mesures et prélèvement des paramètres physico-chimiques de l'eau

Les mesures et prélèvements des eaux ont été faits entre 06h30mn à 10h45mn (Koudenoukpo et al.,2017). Nous avons effectué une recherche systématique sur quinze (15) paramètres physico-chimiques à raison de quatre (04) paramètres physiques tels que : la température, le pH, la conductivité électrique, les solides totaux dissous. Ensuite, onze (11) paramètres

chimiques ; dont : l'oxygène dissous, la salinité, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate, la dureté calcique, la dureté magnésium, la demande chimique en oxygène, le fer et le chlorure. Tous les paramètres ont été échantillonnés périodiquement, dont la saison pluvieuse allant de 11 Octobre 2021 à 12 Octobre 2021 d'une part, et de 16 Mars 2022 au 17 Mars 2022 pour la saison sèche d'autre part.

2.4.2. Matériel utilisé pour les prélèvements physico-chimiques

Le matériel qui a été utilisé dans les différentes analyses physico-chimiques est présenté dans le tableau 1. Le spectrophotomètre DR 6000 est utilisé au laboratoire pour les différents paramètres chimiques évalués à travers des méthodes spécifiques à chacun d'eux. Le tableau ci-dessous illustre de façon détaillée le matériel de collectes des paramètres physiques et chimiques évalués sur le terrain.

Tableau 1. Matériel utilisé les prélèvements physiques et chimiques

Matériels	Utilisations
GPS	Prendre les coordonnées géographiques des différents sites de prélèvement.
pH-mètre	Mesurer le potentiel d'hydrogène et la température de l'eau
Oxymètre	Mesurer l'oxygène dissous de l'eau
Conductimètre	Mesurer la conductivité, la salinité et le TDS de l'eau
Plastique de Fifa (1.5 L)	Contenir l'eau prélevée
Glacières	Conserver les échantillons à 4°C

2.5. Analyse des données

La description par les box plots a été utilisée en même temps avec le test de Shapiro-Wilk et celui de Kruskal Wallis au seuil $\alpha = 5\%$ au niveau de toutes les concentrations mesurées afin de faire une comparaison étroite à l'échelle des paramètres de la qualité des eaux de surface. La Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) a été réalisée afin de grouper les paramètres évalués et de donner les groupes d'accessions ou d'adjonctions. Les données statistiques ont été traitées dans le logiciel R version 3.5.0.

3. Résultats

3.1. Etude des paramètres

Une normativité suivant les normes recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Ministère de la Santé Publique (MSP) pour une eau de bonne qualité a été prise en compte. Le tableau 2 présente les normes d'une eau de bonne qualité.

Tableau 2. Valeurs de références des normes de MSP en 2001 et de l’OMS en 2011

Paramètres	Unités	Symboles	Normes Bénin (MPS)	Normes OMS
Température	-	°C	~25	~25
Potentiel d’hydrogène	-	pH	6<pH<9	6,5<pH<9,5
Conductivité Electrique	µS/cm	CE	2000	< 1500
Solides Totaux Dissous	mg/L	TDS	2000	< 600
Oxygène Dissous	mg/L	OD	≥ 5	5≤ OD≤8
Salinité	‰	-	-	-
Nitrate	mg/L	NO ₃ ⁻	45	< 50
Nitrite	mg/L	NO ₂ ⁻	3,2	< 0,1
Ammonium	mg/L	NH ₄ ⁺	0,5	-
Phosphate	mg/L	PO ₄ ³⁻	1	2
Dureté Calcique	mg/L	Ca ²⁺	100	200
Dureté Magnésienne	mg/L	Mg ²⁺	50	150
DCO	mg/L	DCO	125	90
Fer	mg/L	Fe	0,3	PVG
Chlorure	mg/L	Cl ⁻	250	≤ 250

PVG = Pas de Valeur Guide

Les box plots que montrent les figures 2 à 16 reflètent les concentrations caractéristiques sur chaque station, de la variation des paramètres mesurés en saison pluvieuse et en saison sèche.

3.1.1. Température (°C)

La température est un paramètre qu’on doit absolument mesurer sur le terrain. Elle tend à s’ajuster rapidement à la température ambiante. Moyennement, elle varie entre 26,93°C±0,53 à la station de l’Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum de 25,9 °C se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre 27,29°C ±1,11 pendant la saison sèche ayant un minimum de 26°C dans l’amont. Au niveau de la station de Térrou, elle est à 28,63°C±1,24 pendant la saison pluvieuse avec un minimum de 27,4°C se trouvant dans l’aval de prélèvement, contre 31,3°C±0,55 pendant la saison sèche pour un minimum de 30,2°C dans l’amont. Pour la station de Affon, elle varie entre 27,63°C±0,28 pendant la saison pluvieuse avec un minimum de 27,1°C dans l’amont de prélèvement, contre 26,27°C±0,17 pendant la saison sèche dont le minimum de 26°C se retrouve dans l’amont. Enfin à la station de Adjiro, elle varie entre 26,63°C±0,57 pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum (25,5°C) dans l’aval de prélèvement, contre 32,97°C±0,86 pendant la saison sèche dont le minimum (31,7°C) dans l’amont. La figure 2 montre les variations moyennes des températures pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des stations de l’Ouémé supérieur étudiées.

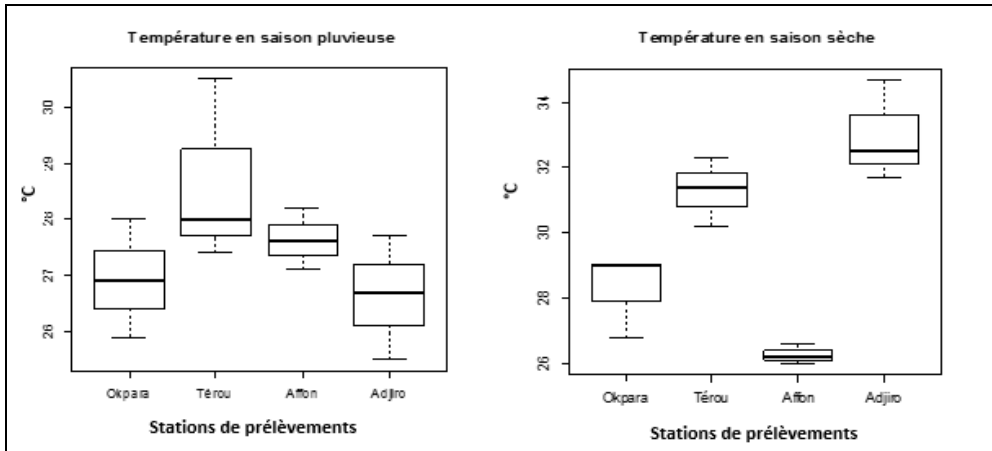


Figure 2. Variations moyennes des températures en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est mesuré sur le terrain, directement dans le cours d'eau et dans une bouteille d'eau dont nous jetons ensuite le contenu. La moyenne varie entre $6,53 \pm 0,68$ au niveau de la station de l'Okpara en saison pluvieuse avec un minimum (5,95) se trouvant dans l'aval de prélèvement, contre $5,84 \pm 0,03$ en saison sèche ayant un minimum (5,85) dans l'aval. A la station de Térou, elle est à $7,49 \pm 0,30$ en saison pluvieuse avec un minimum (6,89) se trouvant dans l'aval de prélèvement, contre $5,88 \pm 0,05$ en saison sèche pour un minimum (5,77) dans la zone de reconstitution. Pour la station de Affon, il est constaté qu'elle varie entre $6,10 \pm 0,34$ en saison pluvieuse avec un minimum (5,64) dans l'aval de prélèvement, contre $5,74 \pm 0,01$ en saison sèche dont le minimum (5,73) se retrouve dans la zone de reconstitution. Enfin à la station de Adjiro, elle varie entre $5,82 \pm 0,29$ en saison pluvieuse ayant pour minimum (5,4) dans l'aval de prélèvement, contre $5,93 \pm 0,07$ en saison sèche dont le minimum (5,99) dans l'amont. La figure 3 montre les variations moyennes des potentiels d'hydrogènes pendant la saison pluvieuse et pendant la saison sèche des stations de l'Ouémé supérieur étudiées.

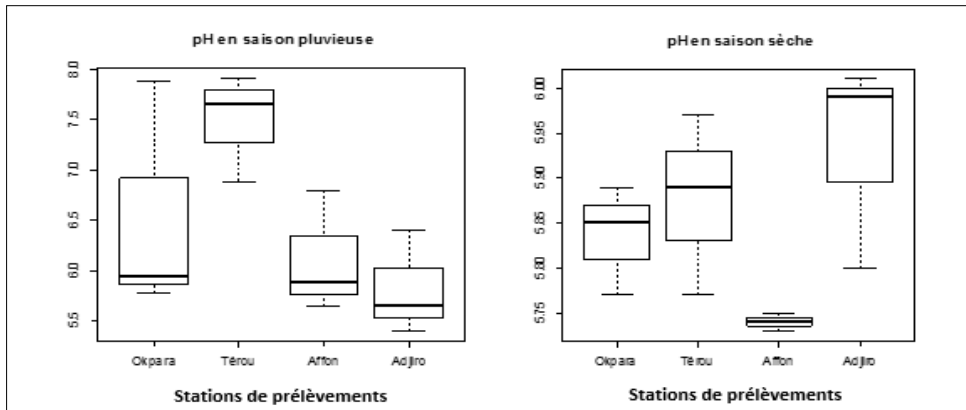


Figure 3. Variations moyennes des potentiels d'hydrogène en saison pluvieuse et en saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.3. Conductivité Electrique

La conductivité électrique est la transmission du courant électrique, qui est due à la concentration des ions. Moyennement, elle varie entre $58,47\mu\text{s}/\text{cm} \pm 11,83$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($34,8 \mu\text{s}/\text{cm}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $48,57\mu\text{s}/\text{cm} \pm 2,62$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($44,8 \mu\text{s}/\text{cm}$) dans l'amont. Au niveau de la station de Térou, elle est à $439,66\mu\text{s}/\text{cm} \pm 197,17$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($157,5\mu\text{s}/\text{cm}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $125\mu\text{s}/\text{cm} \pm 15,75$ pendant la saison sèche pour un minimum ($93,5\mu\text{s}/\text{cm}$) dans l'amont. Pour la station de Affon, elle varie entre $14,32\mu\text{s}/\text{cm} \pm 3,99$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($9,36\mu\text{s}/\text{cm}$) dans l'amont de prélèvement, contre $14,95\mu\text{s}/\text{cm} \pm 3,37$ pendant la saison sèche dont le minimum ($10,34\mu\text{s}/\text{cm}$) se retrouve dans l'amont. Enfin au niveau de la station de Adjiro, elle varie entre $157,56\mu\text{s}/\text{cm} \pm 10,96$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($140,4\mu\text{s}/\text{cm}$) dans l'amont de prélèvement, contre $154,1\mu\text{s}/\text{cm} \pm 2,6$ pendant la saison sèche dont le minimum ($150,2 \mu\text{s}/\text{cm}$) dans l'amont. La figure 4 montre les variations moyennes des conductivités électriques pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

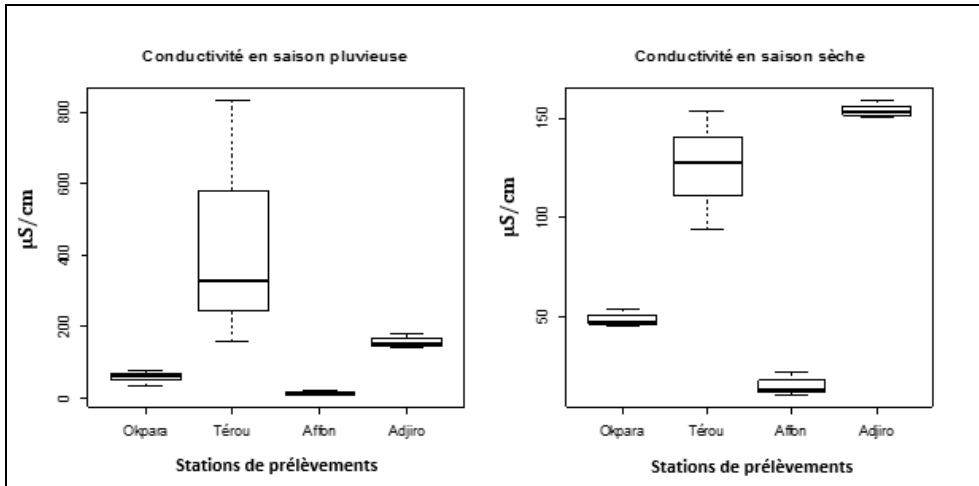


Figure 4. Variations moyennes des conductivités électriques en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.4. Solides Totaux Dissous (STD)

Les solides totaux dissous font partir des paramètres utiles dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Ils varient entre $135,8\text{mg/L} \pm 68,1$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($10,1\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $22,7\text{mg/L} \pm 1,25$ dans la saison sèche ayant un minimum ($20,9\text{mg/L}$) dans l'amont. Au niveau de la station de Térou, ils sont à $429,7\text{mg/L} \pm 172,1$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($210,7\text{mg/L}$) se trouvant dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $67,1\text{mg/L} \pm 4,27$ pendant la saison sèche pour un minimum ($44,3\text{mg/L}$) dans l'amont. Pour la station de Affon, elle varie entre $7,2\text{mg/L} \pm 1,2$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($5,8\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $6,63\text{mg/L} \pm 1,63$ pendant la saison sèche dont le minimum ($4,4\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont. Enfin au niveau de la station de Adjiro, ils varient entre $406,83\text{mg/L} \pm 84,58$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($271,6\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $73,5\text{mg/L} \pm 1,25$ pendant la saison sèche dont le minimum ($71,6\text{mg/L}$) dans l'amont. La figure 5 montre les variations moyennes des solides totaux dissous pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

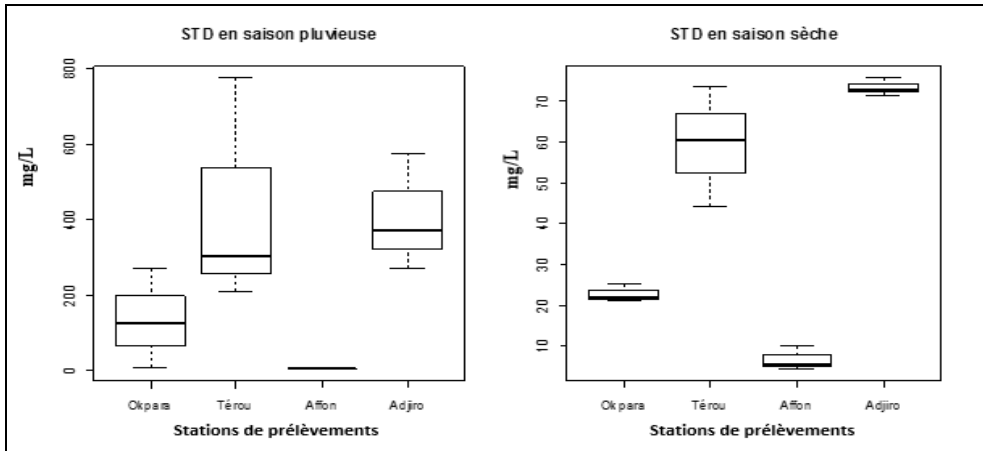


Figure 5. Variations moyennes des solides totaux dissous en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.5. Oxygène Dissous (OD)

La concentration de l’oxygène dissous dans l’eau est un paramètre qui peut facilement subir une modification au cours de la période de conservation. La moyenne varie entre $3,59\text{mg/L} \pm 0,63$ à la station de l’Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($2,47\text{mg/L}$) se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre $3,79\text{mg/L} \pm 0,01$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($3,77\text{mg/L}$) dans l’amont. A la station de Térou, elle est à $5,33\text{mg/L} \pm 0,61$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($4,3\text{mg/L}$) se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre $6,1\text{mg/L} \pm 0,41$ pendant la saison sèche pour un minimum ($5,29\text{mg/L}$) dans l’aval. Pour la station de Affon, elle varie entre $5,79\text{mg/L} \pm 0,59$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($4,63\text{mg/L}$) dans l’aval de prélèvement, contre $5,95\text{mg/L} \pm 0,42$ pendant la saison sèche dont le minimum ($5,1\text{mg/L}$) se retrouve dans la zone de reconstitution. Enfin à la station de Adjro, elle varie entre $5,00\text{mg/L} \pm 0,49$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($4,36\text{mg/L}$) dans l’aval de prélèvement, contre $7,93\text{mg/L} \pm 0,69$ pendant la saison sèche dont le minimum ($6,56\text{mg/L}$) est dans la zone polluée. La figure 6 montre les variations moyennes de l’oxygène dissous pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur.

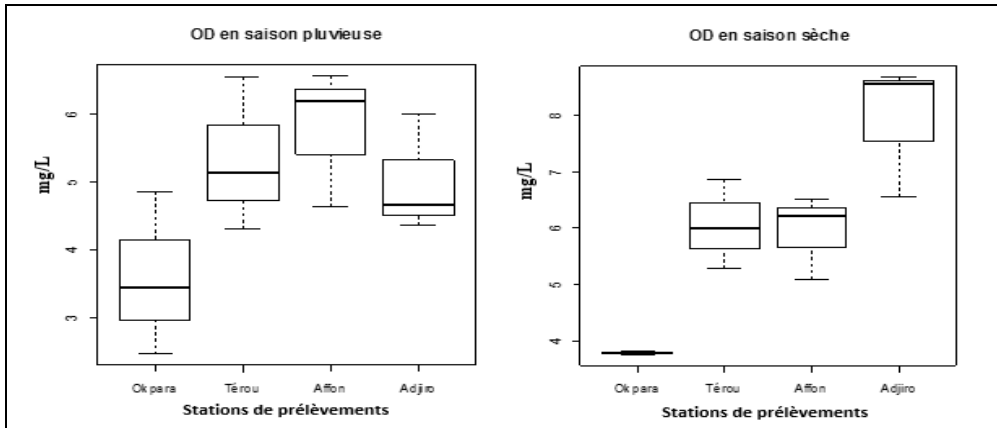


Figure 6. Variations moyennes des oxygènes dissous en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.6. Salinité

La salinité à la station de l’Okpara pendant la saison des pluies de même que pendant la saison sèche reste inchangeable, moyennement nul. C’est-à-dire $0,000/00 \pm 0,00$ dans les différents points de prélèvement. Au niveau de la station de Térou, elle est à $0,060/00 \pm 0,03$ pendant la saison pluvieuse ainsi que pendant la saison sèche, avec un minimum ($0,000/00$) se trouvant respectivement dans l’amont de prélèvement. Pour la station de Affon, il n’a pas une variation $0,000/00 \pm 0,00$ de la salinité pendant la saison pluvieuse de même pendant la saison sèche pour les différents prélèvements de l’amont, l’aval et la zone de reconstitution. Enfin au niveau de la station de Adjiro, elle reste invariante entre $0,10/00 \pm 1,04e^{-17}$ bien que pendant la saison pluvieuse que la saison sèche. Toutes les valeurs obtenues de l’amont à l’aval et à la zone de reconstitution sont identiques, ce qui donne la nature de la salinité de l’eau de la station de Adjiro dans la commune de Bassila. La figure 7 montre les variations moyennes de la salinité pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur.

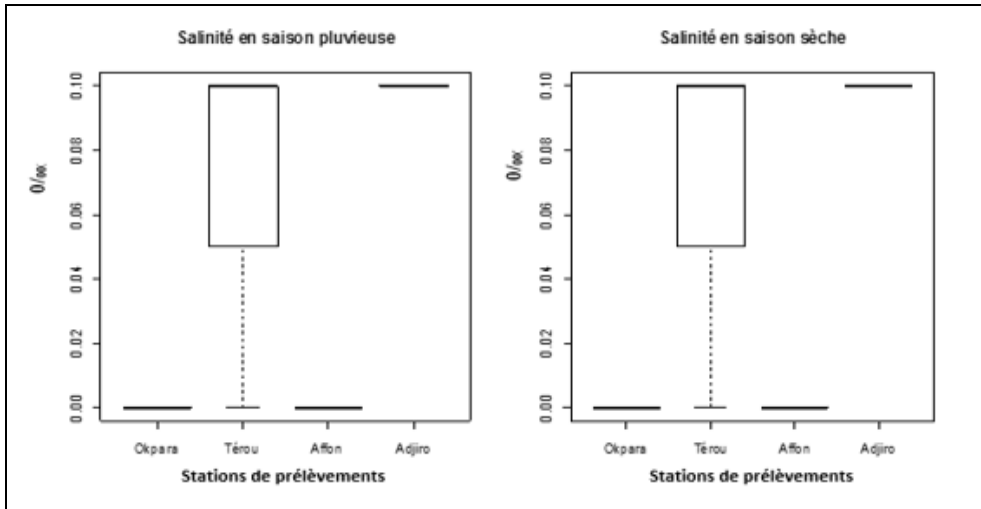


Figure 7. Variations moyennes des salinités en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.7. Nitrate (NO_3^-)

Les principales sources de nitrates sont les effluents industriels, municipaux et le lessivage des terres agricoles. La moyenne, varie entre $0,96\text{mg/L} \pm 0,03$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,9\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, de même que pendant la saison sèche. Dans la station de Térou, elle est à $2,9\text{mg/L} \pm 2,2$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,7\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont et dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $0,57\text{mg/L} \pm 0,13$ pendant la saison sèche pour un minimum ($0,3\text{mg/L}$) dans l'aval. Pour la station de Affon, elle varie entre $1,4\text{mg/L} \pm 0,25$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($1,00\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $1,33\text{mg/L} \pm 0,12$ pendant la saison sèche dont le minimum ($1,1\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont de prélèvement. Enfin à Adjiro, elle varie entre $1,7\text{mg/L} \pm 0,65$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,8\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $1,00\text{mg/L} \pm 0,15$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,7\text{mg/L}$) est dans la zone de reconstitution. La figure 8 montre les variations moyennes des nitrates pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

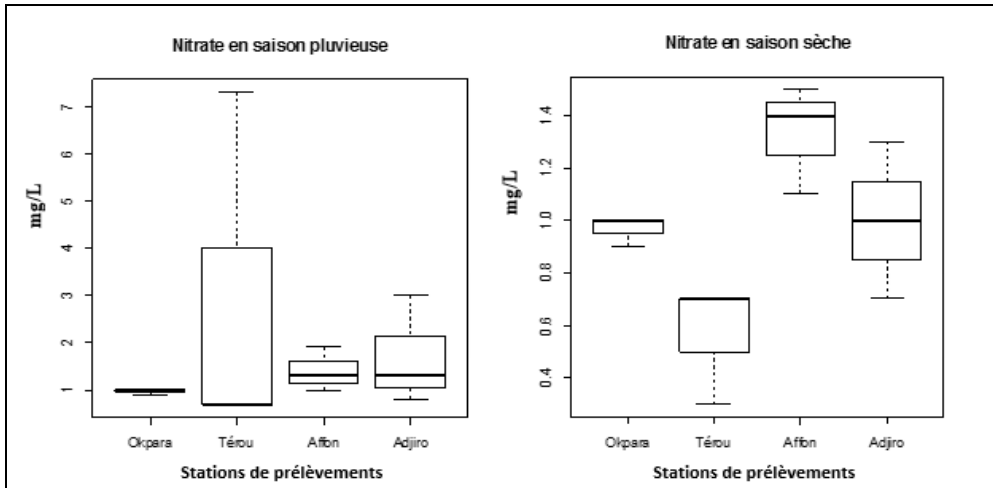


Figure 8. Variations moyennes des nitrates en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.8. Nitrite (NO_2^-)

Il se retrouve rarement en concentration importante dans les eaux naturelles. La moyenne varie entre $5,66\text{mg/L}\pm 0,83$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum (4mg/L) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $4\text{mg/L}\pm 0,0$ pendant la saison sèche, dont toutes les mesures ; de l'amont à l'aval et la zone de reconstitution ont les mêmes valeurs. Au niveau de la station de Térou, elle est à $4,63\text{mg/L}\pm 0,73$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($3,7\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $5,66\text{mg/L}\pm 0,33$ pendant la saison sèche pour un minimum (5mg/L) dans la zone de reconstitution. Pour la station de Affon, elle varie entre $5,66\text{mg/L}\pm 0,83$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum (4mg/L) dans l'amont de prélèvement, contre $4,66\text{mg/L}\pm 0,33$ pendant la saison sèche dont le minimum (4mg/L) se retrouve dans la zone de reconstitution de prélèvement. Enfin au niveau de la station de Adjiro, elle varie entre $4,33\text{mg/L}\pm 0,33$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum (4mg/L) dans la zone de reconstitution de prélèvement, ce qui en est de même pendant la saison sèche. La figure 9 montre les variations moyennes des nitrites pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

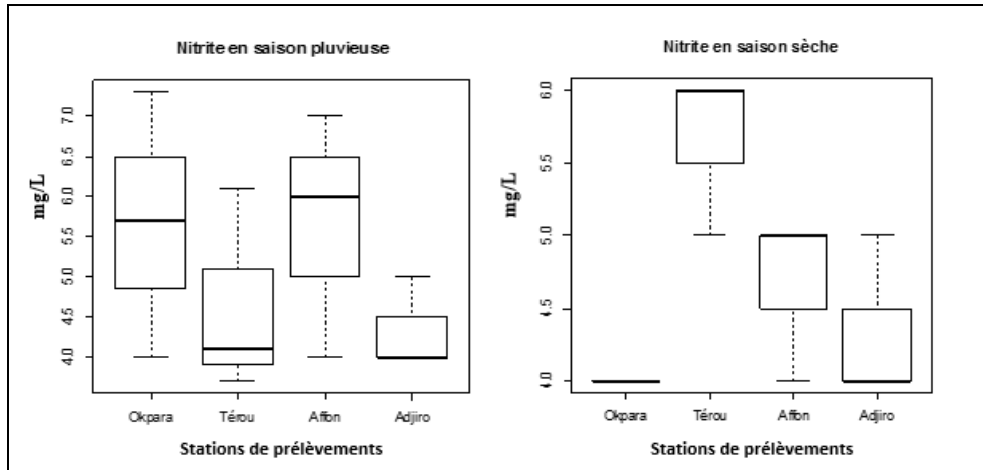


Figure 9. Variations moyennes des nitrites en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.9. Ammonium (NH_4^+)

La moyenne de l'ammonium varie entre $0,20\text{mg/L}\pm 0,01$ sur la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,18\text{mg/L}$) se trouvant dans l'aval de prélèvement, de même que pendant la saison sèche. Au niveau de la station de Térou, elle est à $0,58\text{mg/L}\pm 0,2$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,9\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $0,29\text{mg/L}\pm 0,05$ pendant la saison sèche pour un minimum ($0,17\text{mg/L}$) dans l'aval. Pour la station de Affon, elle varie entre $0,03\text{mg/L}\pm 0,00$ pendant la saison pluvieuse avec une constante ($0,03\text{mg/L}$) dans les différents points de prélèvement, contre $0,01\text{mg/L}\pm 0,0$ pendant la saison sèche dont la constante ($0,01\text{mg/L}$) se retrouve dans les différents points de prélèvement. Enfin au niveau de la station de Adjiro, elle varie entre $0,65\text{mg/L}\pm 0,16$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,42\text{mg/L}$) dans l'aval de prélèvement, contre $0,34\text{mg/L}\pm 0,04$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,3\text{mg/L}$) est dans la zone de reconstitution. La figure 10 montre les variations moyennes de l'ammonium pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

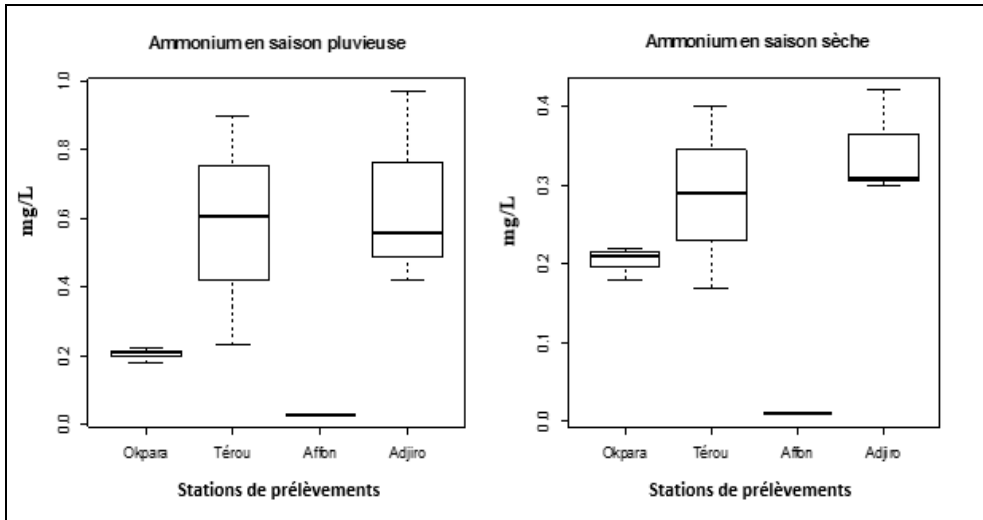


Figure 10. Variations moyennes de l’ammonium en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.10. Phosphate (PO_4^{3-})

Il est utilisé principalement comme engrais naturel ou chimique et dans les produits d’entretien pour ses qualités d’agent anticalcaire. Moyennement, il varie entre $0,14\text{mg/L} \pm 0,13$ à la station de l’Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,012\text{mg/L}$) se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre $0,01\text{mg/L} \pm 0,001$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($0,011\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution. A la station de Térou, elle est à $0,02\text{mg/L} \pm 0,01$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,001\text{mg/L}$) se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre $0,017\text{mg/L} \pm 0,008$ pendant la saison sèche pour un minimum (0mg/L) dans l’amont. Pour Affon, elle varie entre $0,04\text{mg/L} \pm 0,02$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,04\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $0,013\text{mg/L} \pm 0,001$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,013\text{mg/L}$) se retrouve dans la zone de reconstitution. Enfin à la station de Adjiro, elle varie entre $0,11\text{mg/L} \pm 0,02$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,09\text{mg/L}$) dans l’amont de prélèvement, contre $0,08\text{mg/L} \pm 0,01$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,06\text{mg/L}$) est dans l’aval. La figure 11 montre les variations moyennes des phosphates pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur.

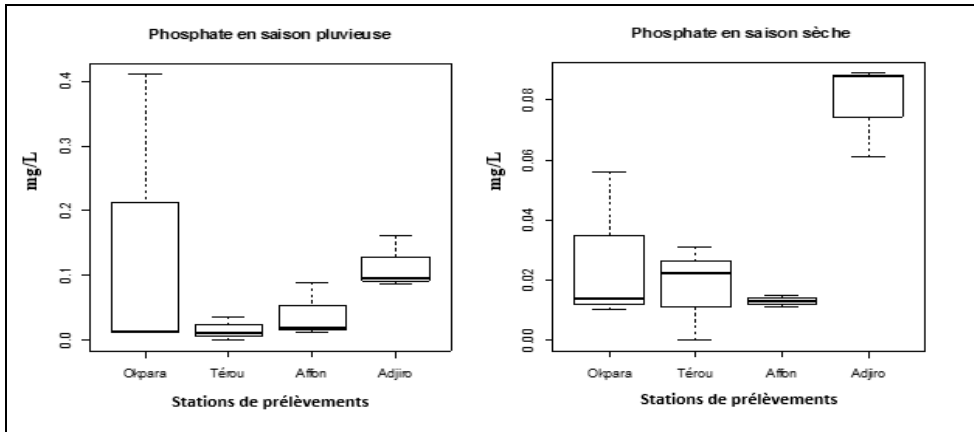


Figure 11. Variations moyennes des phosphates en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.11. Calcium

Il fait partir des éléments les plus répandus dans la nature. Moyennement, elle varie entre $0,09\text{mg/L}\pm 0,03$ à la station de l’Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,14\text{mg/L}$) se trouvant dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $0,08\text{mg/L}\pm 0,002$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($0,06\text{mg/L}$) dans l’amont. A la station de Térrou, elle est à $0,03\text{mg/L}\pm 0,01$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,02\text{mg/L}$) se trouvant dans l’amont de prélèvement, contre $0,12\text{mg/L}\pm 0,06$ pendant la saison sèche pour un minimum ($0,06\text{mg/L}$) dans l’amont. Pour Affon, elle varie entre $1,37\text{mg/L}\pm 0,20$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($1,1\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $1,60\text{mg/L}\pm 0,10$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,46\text{mg/L}$) se retrouve dans l’amont. Enfin à la station de Adjiro, elle varie entre $0,52\text{mg/L}\pm 0,19$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,25\text{mg/L}$) dans l’amont de prélèvement, contre $0,42\text{mg/L}\pm 0,11$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,21\text{mg/L}$) est dans l’aval. La figure 12 montre les variations moyennes de calcium pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l’Ouémé supérieur.

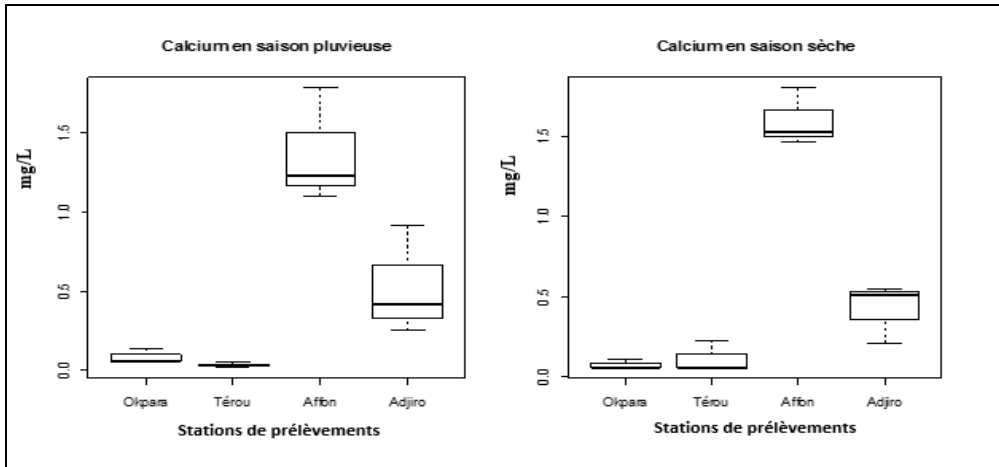


Figure 12. Variations moyennes des calciums en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.12. Magnésium

Le magnésium fait partir des éléments les plus répandus également dans la nature. La moyenne, varie entre $2,05\text{mg/L}\pm 0,20$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($1,7\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $2,17\text{mg/L}\pm 0,05$ dont le minimum ($2,2\text{mg/L}$) se trouve dans l'amont. A la station de Térou, elle est à $1,42\text{mg/L}\pm 0,23$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($1,05\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $1,66\text{mg/L}\pm 0,09$ pendant la saison sèche pour un minimum ($1,47\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution. Pour Affon, elle varie entre $3,93\text{mg/L}\pm 0,96$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($2,3\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $1,53\text{mg/L}\pm 0,10$ pendant la saison sèche dont le minimum ($1,37\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont de prélèvement. Enfin à Adjro, elle varie entre $1,36\text{mg/L}\pm 0,59$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,18\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $1,48\text{mg/L}\pm 0,45$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,58\text{mg/L}$) est dans la zone de reconstitution. La figure 13 montre les variations moyennes de magnésium pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

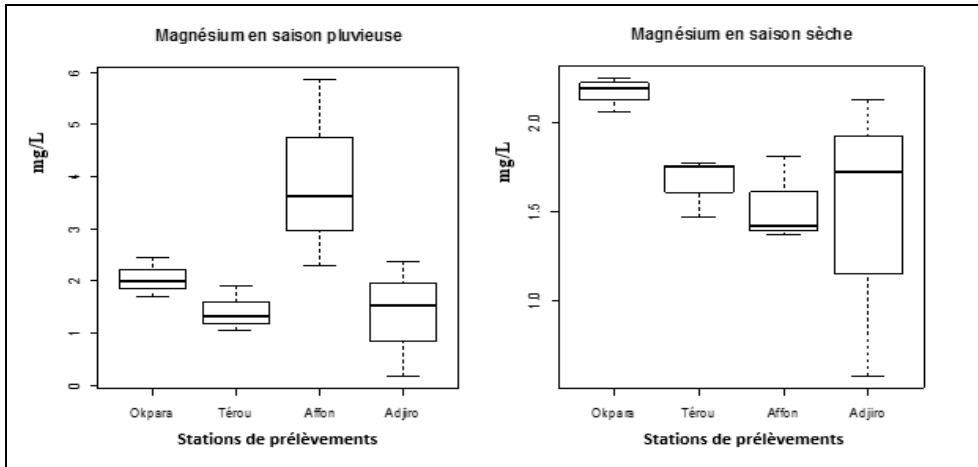


Figure 13. Variations moyennes de magnésium en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.13. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La moyenne, varie entre $55,43\text{mg/L} \pm 10,41$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($34,6\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, de même que pendant la saison sèche. A Térou, elle est à $78,36\text{mg/L} \pm 24,1$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($30,1\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $52,33\text{mg/L} \pm 28,83$ pendant la saison sèche pour un minimum ($11,3\text{mg/L}$) dans l'amont. A Affon, elle varie entre $78,36\text{mg/L} \pm 24,13$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($30,1\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $52,33\text{mg/L} \pm 28,83$ pendant la saison sèche dont minimum (11mg/L) se retrouve dans la zone de reconstitution de prélèvement. Enfin à Adjiro, elle varie entre $78,36\text{mg/L} \pm 24,13$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($30,1\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $48,7\text{mg/L} \pm 5,25$ pendant la saison sèche dont le minimum ($40,5\text{mg/L}$) est dans l'aval. La figure 14 montre les variations moyennes des demandes chimiques en oxygènes pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

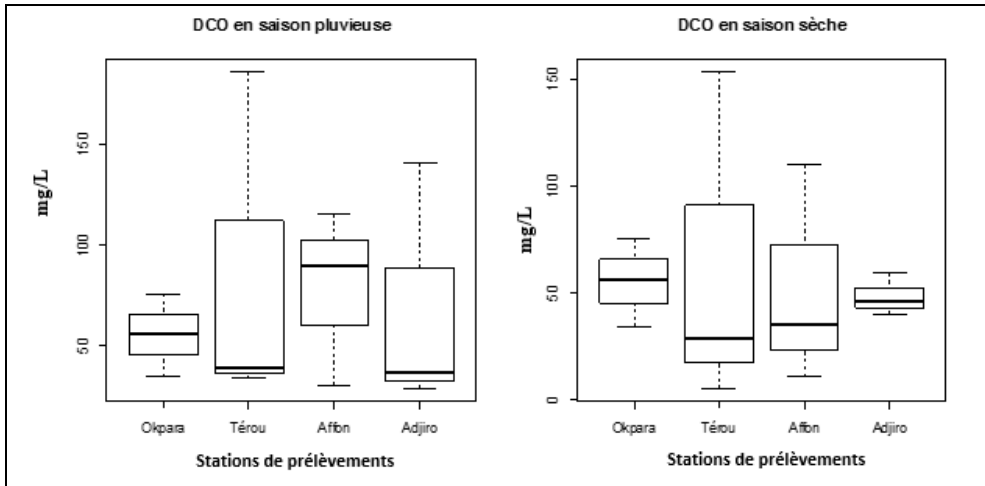


Figure 14. Variations moyennes de la demande chimique en oxygènes en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.14. Fer

Il est une composante essentielle des cycles biogéochimiques. Moyennement, elle varie entre $0,52\text{mg/L}\pm 0,17$ à la station Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,33\text{mg/L}$) se trouvant dans la zone de reconstitution de prélèvement, contre $0,48\text{mg/L}\pm 0,18$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($0,23\text{mg/L}$) dans la zone de reconstitution. A Térou, elle est à $0,28\text{mg/L}\pm 0,05$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,19\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $0,21\text{mg/L}\pm 0,06$ pendant la saison sèche pour un minimum ($0,10\text{mg/L}$) dans l'aval. A Affon, elle varie entre $0,38\text{mg/L}\pm 0,04$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,31\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $0,19\text{mg/L}\pm 0,04$ dans la saison sèche dont le minimum ($0,11\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont. Enfin Adjiro, elle varie entre $0,35\text{mg/L}\pm 0,07$ dans la saison pluvieuse ayant pour minimum ($0,20\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $0,36\text{mg/L}\pm 0,09$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,20\text{mg/L}$) est dans l'amont. La figure 15 montre les variations moyennes de fer pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

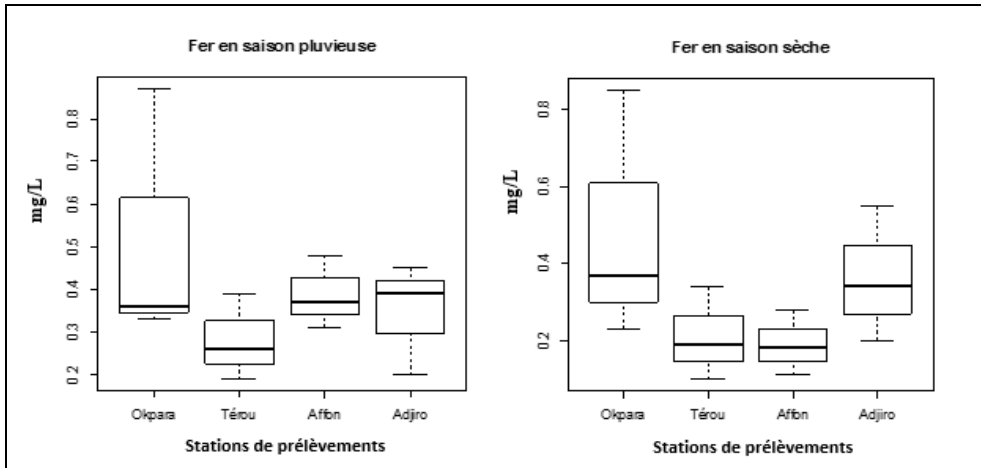


Figure 15. Variations moyennes de fer en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.1.15. Chlorure

La Moyenne varie entre $3,66\text{mg/L} \pm 1,27$ à la station de l'Okpara pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($2,4\text{mg/L}$) se trouvant dans l'amont de prélèvement, contre $3,80\text{mg/L} \pm 0,80$ pendant la saison sèche ayant un minimum ($2,20\text{mg/L}$) dans l'amont. A la station de Térou, elle est à $6,80\text{mg/L} \pm 1,35$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($4,70\text{mg/L}$) se trouvant dans l'aval de prélèvement, ce qui en est de même pendant la période de décrue. Pour Affon, elle varie entre $0,29\text{mg/L} \pm 0,03$ pendant la saison pluvieuse avec un minimum ($0,23\text{mg/L}$) dans l'amont de prélèvement, contre $0,50\text{mg/L} \pm 0,10$ pendant la saison sèche dont le minimum ($0,3\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont. Enfin à Adjiro, elle varie entre $6,80\text{mg/L} \pm 1,35$ pendant la saison pluvieuse ayant pour minimum ($4,70\text{mg/L}$) dans l'aval de prélèvement, contre $14,56\text{mg/L} \pm 1,73$ pendant la saison sèche dont le minimum ($11,1\text{mg/L}$) se retrouve dans l'amont. La figure 16 montre les variations moyennes de chlorure pendant la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur.

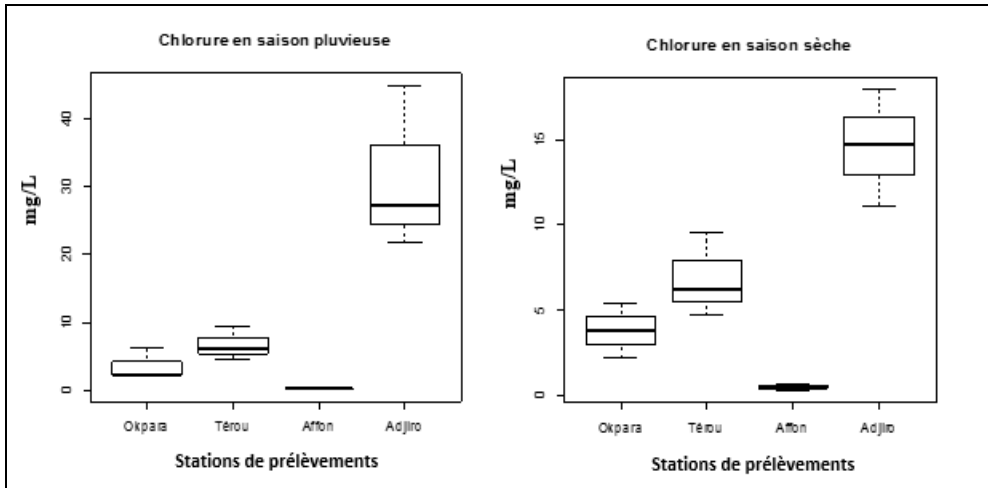


Figure 16. Variations moyennes de chlorure en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.2. Caractérisation de niveau de pollution des eaux des stations pendant la saison pluvieuse

Une comparaison des eaux des stations étudiées est effectuée par le test de Kruskal-Wallis. Sur ce, une condition d'application du test est vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk sur les quinze (15) paramètres évalués. Il ressort, que les variations se traduisent par des distributions anormales avec le test de Shapiro-Wilk, à un seuil $\alpha = 5\%$ sur les stations de l'Okpara, Térou, Affon et Adjiro pour les températures, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, les solides totaux dissous, l'oxygène dissous, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate, le calcium, le magnésium, la demande chimique en oxygène, le fer et le chlorure. Sauf, pour la salinité ($p\text{-value} = 0,000$) à Okpara, Affon, Adjiro et $p\text{-value} = 2,2e^{-16}$ à Térou d'une part. D'autre part, le nitrate ($p\text{-value} = 2,2e^{-16}$) à Okpara et Térou, le nitrite ($p\text{-value} = 2,2e^{-16}$) à Adjiro, le calcium et le chlorure ont une $p\text{-value} = 2,2e^{-16}$ à Okpara. Aucun des paramètres ne présente une distribution normale. Le critère de Shapiro-Wilk étant ainsi observé à 85% des groupes, nous avons poursuivi la comparaison avec le test de Kruskal-Wallis. Nous constatons que les différences relevées des concentrations obtenues avec l'analyse des box plot, n'est pas statistiquement significative au seuil de 5%. En particulier pour les paramètres des eaux tels que la température ($p\text{-value} = 0,281$), le potentiel d'hydrogène ($p\text{-value} = 0,120$), l'oxygène dissous ($p\text{-value} = 0,269$), le nitrate ($p\text{-value} = 0,627$), le nitrite ($p\text{-value} = 0,610$), le phosphate ($p\text{-value} = 0,218$), le magnésium ($p\text{-value} = 0,103$), la demande chimique en oxygène ($p\text{-value} = 0,963$) et le fer ($p\text{-value} = 0,623$) ne sont pas significatives pour $p\text{-value} = 0,05$. Cependant, les statistiques de $H = 3,821$; $H = 5,820$; $H = 9,974$; $H = 8,128$; $H = 3,923$; $H = 8,485$; $H = 1,741$; $H = 1,82$; $H = 9,491$; $H = 4,428$; $H =$

10,421 ; H = 6,179 ; H = 1,762 ; H = 9,876 ; indiquent respectivement pour la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, les solides totaux dissous, l'oxygène dissous, la salinité, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate, le calcium, le magnésium, le fer et le chlorure; des différences probables entre les stations. Ainsi, bien que la significativité de cette différence ne soit pas forte à 5% ; tous ces paramètres peuvent être déterminants dans la recherche d'une quelconque influence sur la qualité des eaux de surfaces pendant la saison pluvieuse.

Tableau 3. Test statistique de normalité et de comparaison des eaux des stations (*p-value) en saison pluvieuse

BV	Paramètres	Shapiro-Wilk (Normalité à $\alpha=0,05$)				Kruskal-Wallis
		Okpara	Térou	Affon	Adjiro	
Bassin versant de l'Ouémé supérieur	Température (°C)	0,392	0,888	0,997	0,997	3,821
		0,947*	0,350*	0,899*	0,899*	0,281*
	Potentiel d'hydrogène	0,813	0,918	0,903	0,923	5,820
		0,146*	0,448*	0,397*	0,463*	0,120*
	Conductivité Electrique (µS/cm)	0,964	0,923	0,859	0,957	9,974
		0,636*	0,465*	0,266*	0,602*	0,018*
	Solide Totaux Dissous (mg/L)	0,995	0,870	0,827	0,964	8,128
		0,867*	0,298*	0,183*	0,635*	0,043**
	Oxygène Dissous (mg/L)	0,988	0,979	0,888	0,877	3,923
		0,796*	0,726*	0,348*	0,317*	0,269*
	Salinité (‰)	0,000	0,75	0,000	0,000	8,485
		0,00***	2,2e^{-16***}	0,00***	0,00***	0,036**
	Nitrate (mg/L)	0,75	0,75	0,964	0,909	1,741
		2,2e^{-16***}	2,2e^{-16***}	0,636*	0,417*	0,627*
	Nitrite (mg/L)	0,999	0,870	0,964	0,75	1,82
	0,966*	0,298*	0,636*	2,2e^{-16***}	0,610*	
Ammonium (mg/L)	0,923	0,994	0,000	0,925	9,491	
	0,463*	0,852*	0,00***	0,472*	0,023**	
Phosphate (mg/L)	0,753	0,952	0,799	0,840	4,428	
	0,008**	0,578*	0,112*	0,216*	0,218*	
Calcium (mg/L)	0,75	0,964	0,887	0,918	10,42	
	2,2e^{-16***}	0,636*	0,345*	0,447*	0,015**	
Magnésium (mg/L)	0,986	0,957	0,978	0,983	6,179	
	0,780*	0,603*	0,071*	0,750*	0,103*	
Demande Chimique en Oxygène (mg/L)	0,998	0,773	0,946	0,798	0,282	
	0,929*	0,053*	0,555*	0,111*	0,963*	

Fer (mg/L)	0,791	0,970	0,971	0,917	1,762
	0,094*	0,672*	0,678*	0,443*	0,623*
Chlorure (mg/L)	0,75	0,955	0,975	0,918	9,876
	2,2e⁻¹⁶***	0,592*	0,701*	0,447*	0,019**

Légende : * = p-value ; ** = p-value < 0,05 (moyenne significativité) ; *** = p-value < 0,001 (forte significativité)

3.3. Caractérisation de niveau de pollution des eaux des stations étudiées pendant la saison sèche

Dans le même contexte, en rapport à la caractérisation de niveau de pollution des eaux des stations pendant la saison sèche ; la comparaison est effectuée par le test de Kruskal-Wallis. Alors, la condition d'application du test est également vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk sur les quinze (15) paramètres faisant l'objet de l'étude. Les variations se traduisent également par des distributions anormales avec le test de Shapiro-Wilk, à un seuil $\alpha = 5\%$ sur Okpara, Térou, Affon et Adjiro dans presque les tous paramètres évalués. Il est excepté d'une part, pour la salinité à Okpara, Affon, Adjiro pour une p-value = 0,000 et une p-value = $2,2e^{-16}$ à Térou. De même, le nitrite fait l'exception dans les eaux de l'Okpara pour une p-value = 0,000 et une p-value = $2,2e^{-16}$ respectivement dans les eaux de Térou, Affon et Adjiro. Ensuite, la température à Okpara pour une p-value = $2,2e^{-16}$, le nitrate à Okpara et Térou ont respectivement une p-value = 0,000 et p-value = $2,2e^{-16}$; l'ammonium (p-value = 0,000) à Affon et le calcium (p-value = $2,2e^{-16}$) respectivement à Okpara et Térou. Egalement, aucun des paramètres ne présente une distribution normale pour cette période représentant la saison sèche. Le critère de Shapiro-Wilk étant ainsi observé à 77% des groupes, nous avons poursuivi également la comparaison avec le test de Kruskal-Wallis. Les différences relevées des concentrations obtenues avec l'analyse des box plot, ne sont pas statistiquement significative au seuil de 5%. En particulier pour le potentiel d'hydrogène (p-value = 0,061), le nitrite (p-value = 0,060), le phosphate (p-value = 0,094), le magnésium (p-value = 0,134), la demande chimique en oxygène (p-value = 0,887) et le fer (p-value = 0,181) ne sont pas significatives pour p-value = 0,05. Cependant, les statistiques de H = 10,009 ; H = 7,359 ; H = 9,666 ; H = 9,666 ; H = 8,743 ; H = 8,485 ; H = 8,256 ; H = 7,394 ; H = 8,555 ; H = 6,384 ; H = 9,060 ; H = 5,564 ; H = 4,876 ; H = 9,974 ; indiquent respectivement pour la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, les solides totaux dissous, l'oxygène dissous, la salinité, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate, le calcium, le magnésium, le fer et le chlorure ont des différences probables entre les stations.

Tableau 4. Test statistique de normalité et de comparaison des eaux des stations (*p-value) en saison sèche

BV	Paramètres	Shapiro-Wilk (Normalité à $\alpha=0,05$)				Kruskal-Wallis
		Okpara	Térou	Affon	Adjiro	
Bassin versant de l'Ouémé supérieur	Température (°C)	0,75 2,2e^{-16***}	0,993 0,842*	0,964 0,636*	0,932 0,497*	10,009 0,018**
	Potentiel d'hydrogène	0,964 0,636*	0,986 0,780*	1 1*	0,820 0,165*	7,359 0,061*
	Conductivité Electrique (µS/cm)	0,926 0,474*	0,994 0,863*	0,903 0,397*	0,942 0,536*	9,666 0,021**
	Solide Totaux Dissous (mg/L)	0,926 0,475*	0,994 0,864*	0,904 0,399*	0,947 0,557*	9,666 0,021**
	Oxygène Dissous (mg/L)	0,986 0,780*	0,996 0,888*	0,891 0,360*	0,792 0,096*	8,743 0,032**
	Salinité (‰)	0,000 0,00***	0,75 2,2e^{-16***}	0,000 0,00***	0,000 0,00***	8,485 0,036**
	Nitrate (mg/L)	0,75 2,2e^{-16***}	0,75 2,2e^{-16***}	0,923 0,463*	1 1*	8,256 0,041**
	Nitrite (mg/L)	0,000 0,00***	0,75 2,2e^{-16***}	0,75 2,2e^{-16***}	0,75 2,2e^{-16***}	7,394 0,060*
	Ammonium (mg/L)	0,923 0,463*	0,999 0,952*	0,000 0,00***	0,812 0,1436*	8,555 0,035**
	Phosphate (mg/L)	0,814 0,150*	0,944 0,546*	1 1*	0,776 0,0601*	6,384 0,094*
	Calcium (mg/L)	0,75 2,2e^{-16***}	0,75 2,2e^{-16***}	0,896 0,374*	0,836 0,205*	9,060 0,028**
	Magnésium (mg/L)	0,930 0,490*	0,799 0,113*	0,834 0,198*	0,927 0,479*	5,564 0,134*

Demande Chimique en Oxygène (mg/L)	0,998	0,782	0,921	0,956	0,641
	0,929*	0,072*	0,457*	0,599*	0,887*
Fer (mg/L)	0,909	0,979	0,989	0,986	4,876
	0,414*	0,726*	0,806*	0,780*	0,181*
Chlorure (mg/L)	1	0,955	1	0,998	9,974
	1*	0,592*	1*	0,935*	0,018**

Légende : * = p-value ; ** = p-value < 0,05 (moyenne significativité) ; *** = p-value < 0,001 (forte significativité)

3.4. Analyse quantitative des données hydrochimiques

Plusieurs techniques sont adoptées dans le classement des différents paramètres physico-chimiques des eaux par des groupes hydrochimiques distincts (Belhadj et al., 2017). Afin de classer les différents paramètres physico-chimiques, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée avec le logiciel R version 3.5.0. Partant des différentes données collectées (saison pluvieuse et saison sèche), il a été constaté qu'il n'y a pas de distinction dans les différents groupes selon les variables hydrochimiques pour les deux périodes. Ainsi, trois groupes ont été obtenus dont :

- Le groupe 1, constitué de : pH, OD, salinité, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} et le Cl^- ; proviennent principalement des activités agricoles et des eaux usées.

- Le groupe 2, constitué de : °C, STD et la DCO ; proviennent des différents éléments chimiques solubles dans l'eau. En effet, ces paramètres provoquent la disparition de certaines espèces et la croissance accélérée des végétaux.

- Le groupe 3, constitué de : CE, provient de la minéralisation globale de l'eau. La conductivité électrique très élevée est une grande indicatrice de conditions salines.

La figure 17 ci-dessous montre la classification ascendante hiérarchisée des groupes hydro-chimiques des variables physico-chimiques.

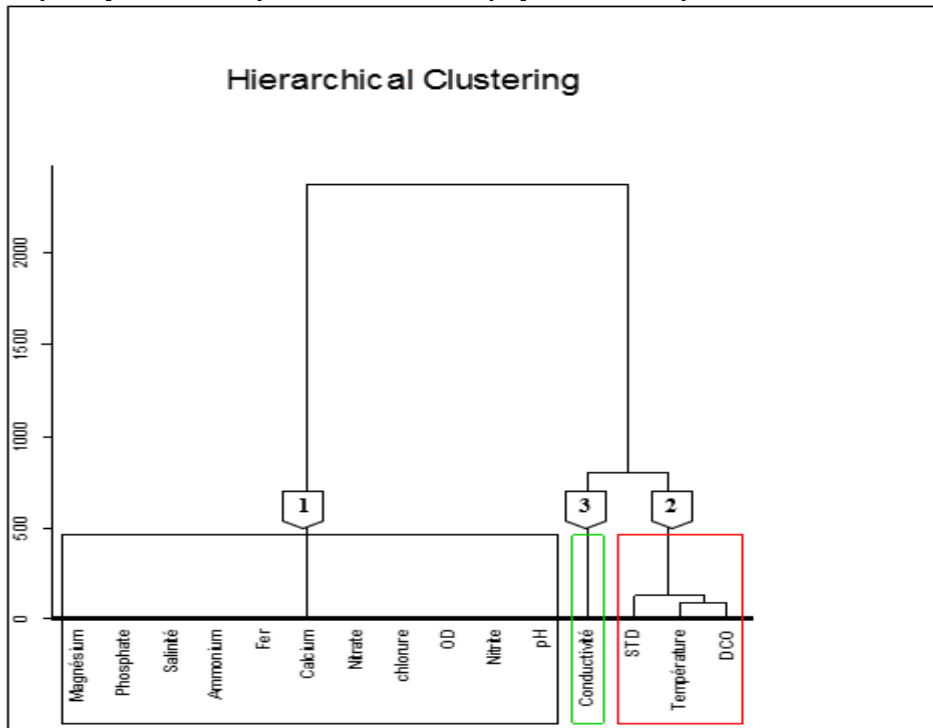


Figure 17. Classification ascendante des groupes hydrochimiques des variables physico-chimiques des eaux de l'Ouéme supérieur de 2021-2022

4. Discussion

Les paramètres physico-chimiques ayant fait l'objet de la présente recherche, ont servi à l'appréciation de la qualité des eaux de l'Ouémé supérieur au Bénin. Des variations spatio-temporelles ont été observées de l'amont à l'aval et dans la zone de reconstitution.

4.1. Qualité physique des eaux de l'Ouémé supérieur au Bénin

Les valeurs élevées observées pour les mesures de la température sont comprises entre $25,5^{\circ}\text{C} \leq \text{C} \leq 34,7^{\circ}\text{C}$; qui peuvent être expliquées par l'effet des variations saisonnières le long du fleuve. Ces valeurs ne respectent pas les normes recommandées par l'OMS ($\sim 25^{\circ}\text{C}$) et le MPS ($\sim 25^{\circ}\text{C}$). Cette explication fait référence aux études de Lanmandjekpogni et al., (2019) dans la pollution des eaux de surface par les éléments nutritifs et de Orou et al., (2016) sur la variation saisonnière de la qualité Physico-chimique des eaux souterraines ; montrant une grande augmentation de la température. Les potentiels d'hydrogènes observées, dont les valeurs sont comprises entre $5,4 \leq \text{pH} \leq 7,89$ sont conformes aux normes recommandées par l'OMS ($6,5 < \text{pH} < 9,5$) et le MPS ($6 < \text{pH} < 9$) pour les eaux de surfaces. Les résultats sont semblables à ceux de Koudenoukpo et al., (2017) sur la caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale et de Adjagodo et al., (2017) dans la pollution physique et bactériologique de l'eau du fleuve dans la basse vallée de l'Ouémé pendant les périodes de basses et hautes eaux au Bénin. Les valeurs relatives aux conductivités électriques sont comprises entre $9,36\mu\text{S}/\text{cm} \leq \text{CE} \leq 834\mu\text{S}/\text{cm}$; son au-dessous des normes exigées par l'OMS ($< 1500\mu\text{S}/\text{cm}$) et MPS ($2000\mu\text{S}/\text{cm}$). Distinctement, les eaux du bassin de l'Ouémé supérieur sont faiblement ionisées. Relativement aux solides totaux dissous, dont les valeurs sont comprises entre $5,8\text{mg}/\text{L} \leq \text{STD} \leq 773,9\text{mg}/\text{L}$ ce qui respectent les normes recommandées par l'OMS (< 600) et de MPS ($< 2000\text{mg}/\text{L}$). Cette explication fait également référence aux travaux de Chouti et al., (2017) sur la caractérisation physico-chimique et étude de la toxicité de la lagune côtière, de Togbin à Grand-Popo.

4.2. Qualité chimique des eaux de l'Ouémé supérieur au Bénin

Les différentes valeurs obtenues au niveau de l'oxygène dissous varient entre $2,47\text{mg}/\text{L} \leq \text{OD} \leq 6,87\text{mg}/\text{L}$; ces valeurs ne respectent pas les normes de l'OMS ($5 \leq \text{OD} \leq 8$) et de MPS (≥ 8). Ces résultats sont semblables aux travaux de Adjagodo et al., (2017) dans la pollution physique et bactériologique de l'eau du fleuve dans la basse vallée de l'Ouémé pendant les périodes de basses et hautes eaux au Bénin et de Dimane et al., (2017) sur l'impact des facteurs de pollution sur la qualité des eaux de la vallée de l'oued Nekor. Les valeurs obtenues relativement pour la salinité des eaux du bassin de l'Ouémé supérieur varient entre $0 \leq \text{sal} \leq 0,1$; ce qui n'est pas conformes

aux normes exigées par l’OMS et du Ministère de la Santé Publique du Bénin pour une eau exploitable. Les résultats obtenus sont conformes aux travaux de recherche de Koudenoukpo et al., (2017) sur la caractérisation physico-chimique d’un système lotique en région tropicale.

Le nitrate, le nitrite et l’ammonium dans les eaux de l’Ouémé supérieur ont respectivement des valeurs comprises entre $0,3\text{mg/L} \leq \text{NO}_3^- \leq 7,3\text{mg/L}$; $3,7\text{mg/L} \leq \text{NO}_2^- \leq 7\text{mg/L}$ et $0,03\text{mg/L} \leq \text{NH}_4^+ \leq 0,97\text{mg/L}$ ce qui ne respectent pas les normes recommandées et exigées par l’OMS et du Ministère de la Santé Publique du Bénin pour une de surface exploitable. L’OMS recommande respectivement des valeurs : $< 50\text{mg/L}$; $< 0,1\text{mg/L}$ et 0mg/L pour le nitrate, le nitrite et l’ammonium. De même, au niveau du Ministère de la Santé Publique du Bénin (MSP), ces valeurs sont respectivement : 45mg/L ; $3,2\text{mg/L}$ et $0,5\text{mg/L}$. Il urge de souligner, dans les eaux de l’Ouémé supérieur au Bénin, que le nitrate est moins représenté au détriment du nitrite et de l’ammonium suivant les normes recommandées. Les résultats obtenus dans cette étude sont semblables aux travaux de Adjagodo et al., (2017) dans la pollution physique et bactériologique de l’eau du fleuve dans la basse vallée de l’Ouémé pendant les périodes de basses et hautes eaux au Bénin et de Carine et al., (2018) sur la qualité de l’eau potable de Manta en république du Bénin. Les valeurs du phosphate sont comprises entre $0,001\text{mg/L} \leq \text{PO}_4^{3-} \leq 0,97\text{mg/L}$, ces valeurs respectent les normes et sont inférieures aux valeurs recommandées pas les normes exigées par l’OMS (2mg/L) et le Ministère de la Santé Publique du Bénin (1mg/L) pour les eaux de surface dans les périodes de crue et de décrue. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Inza et al., (2009) dans la caractérisation physico-chimique des eaux et des sédiments de surface de la baie des milliardaires et de Kouassi et al., (2015) à l’approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo. Les valeurs de la demande chimique en oxygène (DCO) varient entre $5,81\text{mg/L} \leq \text{DCO} \leq 185,72\text{mg/L}$; ces valeurs ne respectent pas les normes de recommandation pour une de surface à 90mg/L pour l’OMS et 125mg/L pour le Ministère de la Santé Publique (MSP).

Le calcium, le magnésium, le chlorure et le fer, ont respectivement des valeurs comprises entre $0,02\text{mg/L} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 1,80\text{mg/L}$; $0,18\text{mg/L} \leq \text{Mg}^{2+} \leq 5,86\text{mg/L}$; $0,1\text{mg/L} \leq \text{Fe}^{2+} \leq 0,87\text{mg/L}$; $0,23\text{mg/L} \leq \text{Cl}^- \leq 44,8\text{mg/L}$. À priori, le calcium ; le magnésium ; le fer et le chlorure respectent les normes exigées par l’OMS et du Ministère de la Santé Publique du Bénin. Pour l’OMS, les normes exigées sont respectivement : 200mg/L pour le calcium ; 150mg/L pour le magnésium ; pas une valeur référenciée pour le fer et le chlorure ($\leq 250\text{mg/L}$). En se penchant étroitement, sur les normes du Ministère de la Santé Publique (MSP) ; les recommandations sont : 100mg/L pour le calcium ; 50mg/L pour le magnésium ; $0,3\text{mg/L}$ pour le fer et 250mg/L pour

le chlorure. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de (Moussa et al., 2018) pour une étude comparative de la qualité physico-chimique des eaux d'aquifère de la Korama de la région de Zinder (Niger) pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. Ces résultats sont également similaires aux travaux de recherche de (Miriatic et al., 2020) dans les eaux de consommation et maladies hydriques dans la commune de Lokossa au sud-ouest de la république du Bénin.

Conclusion

Au terme de la présente étude, les eaux de l'Ouémé supérieur ont une tendance vers une dégradation. L'évaluation des paramètres physico-chimiques montre l'évolution de la pollution de l'amont vers l'aval selon le gradient de l'écoulement des eaux. Elle indique l'influence des activités agricoles sur les eaux du fleuve et présente les stations situées en aval comme les plus perturbées. Les concentrations au-dessus des normes régies, témoignent des risques élevés de pollution. Nos résultats montrent les risques très importants de pollution par les fertilisants dans ce contexte. Ils confirment la nécessité de traitement des eaux en cas de prévision de pluie à long terme. Vue ce constat, le travail permettra d'aider les services techniques du gouvernement dans les choix d'orientation et de gestion prévisionnelle des ressources en eau au Bénin et le choix des intrants agricoles.

References:

1. Abahi, K.S., Gnohossou, P., Akodogbo, H.H., Orou Piami, Z., Adje, D., Tchaou, C., & Okoya, J. (2018). Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afr. Sci. Rev. Int. Sci. Technol*, 14, 259–270.
2. Adjagodo, A., Kelomè, N. C., Vissin, E. W., & Agbossou, E. (2017). Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, 13(33), 167-186.
3. Adjagodo, A., Tchibozo, M. A. D., Kelome, N. C., & Lawani, R. (2016). Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique à travers le monde : Synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1459-1472.
4. Belhadj, M. Z., Boudoukha, A., Amroune, A., Gaadai, A., & Ziani, D. (2017). Caractérisation statistique de la qualité des eaux souterraines de la région nord du bassin du Hodna, M'sila. *Sud-Est Algérien. Larhyss Journal*, 177-194.

5. Carine, K. N., Waris, C., Niréti, L. R. A., & Pélagie, O. (2018). Quality of Drinking Water in the Town of Manta in Benin Republic. *European Scientific Journal*, 14(2), 188p.
6. Chouti, W. K., Chitou, N. E., Kelome, N., Kpakko, B. B. H., Vlavourou, D. H., & Tossou, M. (2017). Caractérisation Physico-Chimique Et Étude De La Toxicité De La Lagune Côtière, De Togbin À Grand Popo (Sud-Ouest Bénin). *European Scientific Journal*, 13(27), 131-151.
7. Coffi, S. M., Yalo, N., Ahamide, B., & Mama, D. (2020). Étude de la dégradation de la concentration en chlore résiduel libre dans les eaux de boisson au Bénin : Cas de la commune de Cotonou. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 14(9), 3372-3390.
8. Diallo, M. D., Ndiaye, O., Saleh, M. M., Tine, A., Diop, A., & Guisse, A. (2015). Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, 23(2), 101-111.
9. Dimane, F., Haboubi, K., Hanafi, I., El Himri, A., & Andaloussi, K. (2017). Impact des facteurs de pollution sur la qualité des eaux de la zone aval de la vallée de l'Oued Nekor (Al-Hoceima, Maroc). *European Scientific Journal*, 13(3), 43.
10. Dovonou, F., Aina, M., Boukari, M., & Alassane, A. (2011). Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : Cas du lac Nokoué au Sud Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(4), 1590-1602.
11. Hounkpe J., Kelome N., Lawani R., & Adechina A. (2017). Status of aquatic ecosystem pollution in Benin (West Africa). *LARHYSS Journal*, 30, 149-171.
12. Inza, B., Soro, M., Etchian, A., Trokourey, A., & Bokra, Y. (2009). Caractérisation physico-chimique des eaux et des sédiments de surface de la baie des milliardaires, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. *Rev Ivoir Sci Technol*, 13, 139-154.
13. Kouassi, R. M., Koné, B., Yao, E. K., Silué, B., Cissé, G., & Soro, N. (2015) *Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire)*. *Environnement, risques & santé*, 14 (3), 230-241.
14. Koudenoukpo, Z. C., Chikou, A., Adandedjan, D., Hazoume, R., Youssao, I., Mensah, G. A., & Laleye, A. P. (2017). Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : La rivière Sô au Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences*, 113(1), 11111-11122.
15. Kougblenou, C., Azonbakin, S., Accrombessi, M., Aguemon, B., Adjagba, M., Awede, B., Aina, M. P., Darboux, R. B., & Laleye, A.

- (2018). Evaluation du risque de génotoxicité de l'eau de la rivière Okpara à Kika au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1298-1308.
16. Kpidi, Y. H., Yapo, O. B., Ballet, T. G., & Ohou-Yao, M.-J. (2017). Variabilité journalière de la qualité physico-chimique du lac M'koa de Jacqueville (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 901-910.
17. Lanmandjekpogni, M. P., de Paule Codo, F., & Yao, B. K. (2019). Pollution des eaux de surface par les éléments nutritifs et lien avec l'urbanisation à l'échelle des bassins versants de l'Okpara à Parakou (Bénin). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(1), 33-42.
18. Lawani, A. N., Kelome, N. C., Tchibozo, M. A. D., Hounkpe, J. B., & Adjagodo, A. (2017). Effects of agricultural practices on the pollution of surface water in Benin Republic. *LARHYSS Journal*, 30, 173-190.
19. Miriac, A. S. D., Noukpo, A., & Christophe, H. S. (2020). Eau De Consommation Et Maladies Hydriques Dans La Commune De Lokossa Au Sud-Ouest De La République Du Benin (Afrique De L'ouest). *European Scientific Journal*, (15), 393-4017.
20. Moussa, R. S., Alma, M. M. M., Laouali, M. S., Natatou, I., & Habou, I. (2018). Étude comparative de la qualité physico-chimique des eaux d'aquifère de la Korama (Korama superficielle et Korama profonde) de la région de Zinder (Niger) pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. *Afrique SCIENCE*, 14(6), 203-215.
21. Orou, R. K., Soro, G., Soro, D. T., Fossou, R. M. N., Onetie, O. Z., Ahoussi, E. K., & Soro, N. (2016). Variation saisonnière de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites d'u département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12(17), 213p.
22. PANA. (2007). Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Benin (PANA-Bénin).
23. Sokegbe, O. Y., Djéri, B., Kogno, E., Kangnidossou, M., Mensah, R. T., Soncy, K., & Ameyapoh, Y. (2017). Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n° 2 de Lomé-commune : Cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2341-2351.
24. Talhaoui, A., El Hmaidi, A., Jaddi, H., Ousmana, H., & Manssouri, I. (2020). Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya (NE, Maroc). *European Scientific Journal*, 16(2), 64p.

Evaluation de la Translocation du Cadmium, du Cuivre, du Plomb et du Zinc par *Zea mays* L. cultivé Sur un Sol Ferrugineux Tropical dans l'Ouest du Burkina Faso

Issaka Senou

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)
Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou (UDDG), Dédougou (Burkina Faso)

Moïse Yoni

Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou (UDDG), Dédougou (Burkina Faso)

Hamza Ouedraogo

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Hassan Bismarck Nacro

Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Antoine N. Some

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p137](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p137)

Submitted: 02 February 2023

Accepted: 21 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Senou I., Yoni M., Ouedraogo H., Nacro H.B. & Some A.N. (2023). *Evaluation de la Translocation du Cadmium, du Cuivre, du Plomb et du Zinc par Zea mays L. cultivé sur un Sol Ferrugineux Tropical dans l'Ouest du Burkina Faso*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 137. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p137>

Résumé

L'utilisation des déchets urbains comme fertilisants organiques peut être à l'origine d'une contamination du sol en éléments traces métalliques. Le

maïs, l'une des céréales les plus consommées au Burkina Faso, pourrait accumuler ces éléments toxiques et provoquer des problèmes sanitaires à l'homme à travers leur consommation. Pour évaluer le potentiel de translocation du maïs, un essai est mis en place dans le périmètre maraicher de Sakabi, dans la commune de Bobo Dioulasso. Pour ce faire, des parcelles ont été confectionnées et organisées selon un dispositif en bloc complètement randomisé avec six répétitions. Des doses croissantes de 20, 40 et 60 tonnes de déchet par hectare ont été apportées dans les différentes parcelles pour constituer les traitements. Les échantillons de sol et la biomasse végétale ont été prélevés pour déterminer les teneurs en éléments traces métalliques. Les résultats des analyses montrent que les sols sont contaminés en métaux lourds et ont contribué à la translocation de ces derniers dans les différents organes du maïs. Les facteurs de translocation sont supérieurs à 1 dans tous les organes exception faite pour les tiges donc les valeurs sont comprises entre 0,5-0,8 et 0,76-0,93 respectivement pour le cadmium et le cuivre. En outre la corrélation de Pearson a montré une forte relation entre les teneurs en métaux lourds dans les différents organes. Lorsque le cadmium dans le sol augmente de 1 mg il y a une forte probabilité qu'il augmente de 0,22 mg dans les racines, 1,33 mg dans les tiges, 0,31 mg dans les feuilles et 0,56 mg dans les grains. De même, au niveau du cuivre, il peut augmenter de 2,56 mg, 0,28 mg, 0,57 mg respectivement pour les racines, tiges et feuilles pour une augmentation de 1 mg de Cu dans le sol. Au niveau du plomb, il y a une forte probabilité que les teneurs dans les feuilles et dans les grains augmentent respectivement de 6,84 mg et 5,81 mg pour une augmentation de 1 mg de plomb dans le sol. Pour le cas du zinc, il peut augmenter de 0,61 mg, 0,17 mg, 0,15 mg respectivement pour les tiges, feuilles et grains pour une augmentation de 1 mg dans le sol.

Mots-clés: Déchets urbains, métaux lourds, bioconcentration, translocation

Assessment of Cadmium, Copper, Lead and Zinc Translocation by Zea Mays L. Evaluation of Cadmium, Copper, Lead and Zinc Translocation by Zea mays L., grown on a Tropical Ferruginous Soil in Western Burkina Faso

Issaka Senou

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)
Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou (UDDG), Dédougou (Burkina Faso)

Moïse Yoni

Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou (UDDG), Dédougou (Burkina Faso)

Hamza Ouedraogo

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Hassan Bismarck Nacro

Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Antoine N. Some

Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université NAZI Boni, Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

Abstract

The use of municipal waste as organic fertilizers may result in contamination of the soil with trace metals. Corn, one of the most widely consumed cereals in Burkina Faso, could accumulate these elements and cause health problems for humans. To assess the translocation potential of maize, a trial is being carried out in the Sakabi vegetable perimeter. To do this, plots were made and organized according to a completely randomized block device with six repetitions. Increasing amounts of waste 20, 40 and 60 tons per hectare were brought into the different plots to constitute the treatments. Soil samples and plant biomass were collected to determine trace metal content. The results of the analyzes show that the soils are contaminated with heavy metals and have contributed to their translocation to the different organs of the maize. The translocation factors are greater than 1 in all organs except for the

rods, so the values are between 0.5-0.8 and 0.76-0.93 respectively for cadmium and copper. In addition, the Pearson correlation showed a strong relationship between the heavy metal contents in the different organs. When cadmium in soil increases by 1 mg, there is a high probability that it will increase by 0.22 mg in roots, 1.33 mg in stems, 0.31 mg in leaves, and 0.56 mg in grains. Similarly, at the level of copper, it can increase by 2.56 mg, 0.28 mg, 0.57 mg respectively for roots, stems and leaves for an increase of 1 mg of Cu in the soil. At this level, there is a high probability that leaf and grain levels will increase by 6.84 mg and 5.81 mg, respectively, for an increase of 1 mg lead in soil. For zinc, it can increase by 0.61 mg, 0.17 mg, 0.15 mg for stems, leaves and grains respectively for an increase of 1 mg in the soil.

Keywords: Urban waste, heavy metals, bioconcentration, translocation

Introduction

Depuis des milliers d'années les céréales occupent une place très importante dans la nutrition humaine (Anihouvi *et al.*, 2016). Parmi celles-ci, le maïs occupe la place la plus importante avec une production moyenne annuelle d'environ 1 039 000 000 de tonnes en 2018 devant le blé avec 750 000 000 de tonnes et le riz avec 562 000 000 de tonnes (OCDE/FAO, 2018). En Afrique c'est une denrée de grande importance dans le régime alimentaire des populations et contribue à presque la moitié des apports en calories et en protéines (Macauley et Tabo, 2015).

Au Burkina Faso, le maïs est classé premier parmi les céréales cultivées tant au niveau des superficies de la production qu'au niveau de la consommation derrière le mil et le sorgho (INSD, 2018). Cependant situé dans la région tropicale, le Burkina Faso subit la dégradation des propriétés physico-chimiques de ses sols à cause du caractère agressif du climat de la région; ceux-ci perdent davantage leurs qualités et deviennent infertiles (Batiano, 2006). Sur de tels sols, la production du maïs est faible et ne peut couvrir les besoins alimentaires d'une population sans cesse croissante (FAO, 1999).

Ainsi dans un contexte de forte dégradation des sols et de coût élevé des engrais chimiques, le recours aux déchets organiques dans la production du maïs s'est présenté comme une alternative intéressante pour certains producteurs qui les utilisent pour la fertilisation de leurs champs (Compaoré *et al.*, 2010). Cependant, même s'il ne fait aucun doute que les déchets ont une valeur fertilisante bénéfique grâce aux apports d'azote, de phosphore, de calcium et d'oligo-éléments, ils ne sont pas sans risques sur la santé humaine et l'environnement (Ouattara, 2014).

Ces déchets peuvent contenir des éléments indésirables en particulier les métaux lourds (Ilboudo, 2014 ; Senou *et al.*, 2018). Ces composants

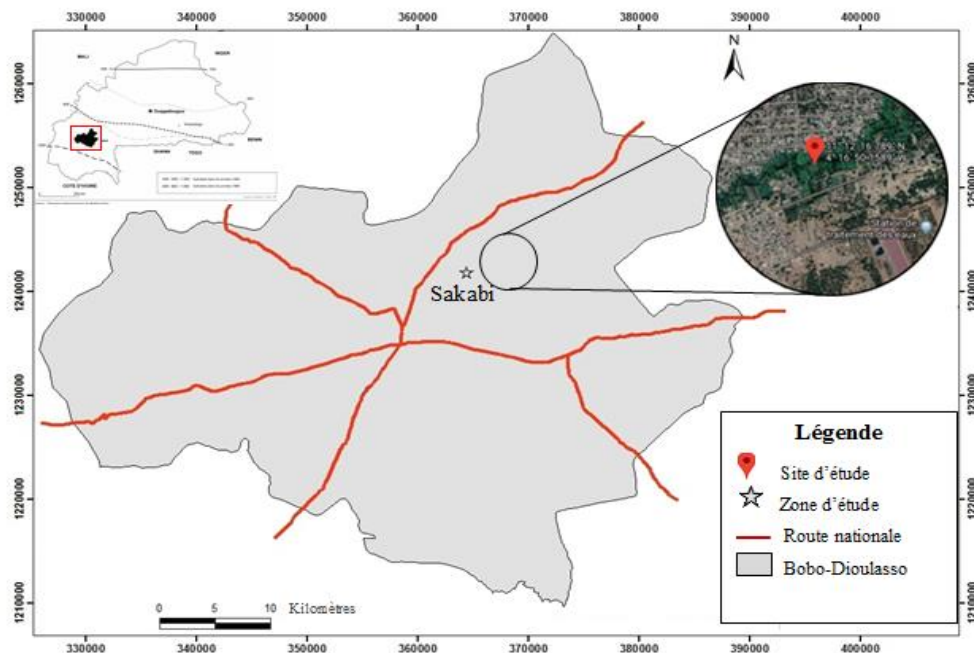
toxiques, très persistants dans le temps, pénètrent plus ou moins rapidement et directement les chaînes alimentaires, exposant l'homme à une intoxication lente (Khan *et al.*, 2014).

De nombreux auteurs ont évalué les teneurs en métaux lourds dans des végétaux cultivés tels que la citronnelle, le manioc, la laitue (Senou *et al.*, 2014; Kalonda *et al.*, 2015; Konaté, 2018). Leurs résultats ont montré une bioaccumulation d'éléments toxiques dans les tissus de ces végétaux consommés. Cependant, très peu d'études ont concerné l'évaluation du potentiel de bioaccumulation des céréales et du *Zea mays* en particulier dans la sous-région africaine. Les études récentes ont plutôt porté sur l'effet des métaux lourds sur les paramètres agro-morphologiques du maïs (Hadi *et al.*, 2010 ; Khan *et al.*, 2014). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude sur le thème : «Évaluation de la translocation du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par *Zea mays* L. cultivé sur un sol ferrugineux tropical dans l'Ouest du Burkina Faso». L'objectif principal est d'évaluer le potentiel de translocation du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc dans les différents organes du *Zea mays*. Les résultats obtenus serviront à influencer positivement les prises de décisions lors d'une intervention de l'État ou des ONG sur les sites utilisant directement les déchets urbains et permettre aussi de trouver des solutions adéquates vers une agriculture durable.

Matériel et méthodes

Site d'étude

L'étude est menée à Bobo-Dioulasso (11°10'43" nord ; 4°18'25" ouest), ville située à l'ouest du Burkina Faso dans la région des Hauts Bassins. L'essai est mis en place dans une unité d'exploitation du périmètre maraicher de Sakabi (.11°12'16,789" nord et 4°16'50,1589" ouest. Le choix de ce site s'est justifié par l'utilisation importante des déchets urbains comme source principale de fertilisant par les producteurs. Le site est à proximité de la station de traitement des eaux usées de Bobo-Dioulasso.



Carte 1. Carte de la commune de Bobo-Dioulasso (BNDT, 2014 et google hearth)

Dispositif d'identification des déchets

Le dispositif expérimental qui a été mis en place était un bloc complètement randomisé (BCR) dont l'unique facteur étudié était la quantité de déchets. L'essai comportait quatre traitements qui sont : T0 : sans apport de déchet ; T1 : 20 t/ha soit 20 kg de déchet/parcelle ; T2 : 40 t/ha soit 40 kg de déchet/parcelle et T3 : 60 t/ha soit 60 kg de déchet/parcelle. Ces doses de déchets ont été choisies en se référant aux résultats sur les quantités de déchets évaluées sur quatre sites (Kodéni, Kuinima, Dogona et Colsama) par Sanou (2018). Notre dispositif comportait au total 24 parcelles élémentaires disposées en six blocs ou répétitions. Les dimensions de chaque parcelle élémentaire était de 4 m × 2,5 m soit 10 m². Chaque parcelle était composée de 35 poquets disposés en 5 lignes.

Conduite de la culture

La préparation du sol s'est faite par un labour. Le labour a été fait manuellement à 15 cm de profondeur. Avant d'incorporer les déchets au sol, ces derniers ont d'abord été débarrassés des matières inutiles (sachets plastiques, morceaux de métaux, cailloux, etc.) et mélangés pour les rendre homogènes. Selon le dispositif expérimental, des doses de 0, 20, 40 et 60 kg de déchet ont été apportées par parcelle pour constituer respectivement les traitements T0, T1, T2 et T3. Les déchets ont été bien mélangés à la terre de manière à rendre le lit de semis homogène.

Le semis a également été fait manuellement le 2 février. Avant le semis une pré-irrigation a été effectuée. Les écartements entre les lignes de semis étaient de 80 cm et 30 cm entre les poquets. Chaque poquet a reçu un grain. Les grains ont été semés à une profondeur de 3 à 5 cm.

L'entretien de la culture a consisté à un sarclage qui a été fait manuellement à la houe. Des apports de fumures minérales à savoir, le NPK (14-23-14) et l'urée 46 % ont été effectués en se référant aux doses de 200 kg de NPK/ha et de 150 kg d'urée/ha selon les recommandations de Sanou (2007). Ainsi 4,8 kg de NPK ont été utilisés pour l'ensemble des parcelles soit 200 g par parcelle élémentaire à raison de 5,71 g par poquet. Le NPK a été apporté au 15^{ième} jour après semis (JAS). Quant à l'urée, 3,6 kg ont été apportés pour l'ensemble des parcelles, appliqués au 25^{ième} et 35^{ième} JAS. Au 25^{ième} JAS, 2,4 kg ont été apportés pour l'ensemble des parcelles soit 100 g par parcelle à raison de 2,86 g par poquet. Au 35^{ième} JAS, 1,2 kg ont été apportés soit 50 g par parcelle à raison de 1,43 g d'urée par poquet. L'alimentation en eau se faisait manuellement à l'aide d'arrosoirs tous les trois jours et au besoin.

Prélèvement des échantillons

Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués sur les 24 parcelles à 15 cm de profondeur à la tarière. Ces prélèvements ont été effectués avant semis et à la récolte. Un échantillon composite de 0,5 kg de sol a été constitué par parcelle élémentaire à partir de trois (03) sous-échantillons prélevés en trois points, suivant la diagonale de la parcelle utile. Les échantillons prélevés sont mis dans des sachets et acheminés au laboratoire pour la détermination des teneurs en métaux lourds des sols.

Les prélèvements des échantillons végétaux ont été effectués à la maturité physiologique des grains à 85 JAS. Pour ce faire, trois plantes entières ont été déracinées individuellement par parcelle.

Après le prélèvement, les différentes parties végétales considérées à savoir les racines, les tiges, les feuilles et les grains ont été séparées les unes des autres, lavées à l'eau distillée et séchées à l'ombre puis pesées à l'aide d'une balance de marque Sartorius de précision 0,001 g avec une portée maximale de 420 g. Au total 96 échantillons ont été constitués pour les quatre différents types d'organes à raison de 24 échantillons pour chaque type.

Méthodes d'analyse au laboratoire

L'analyse a été faite au laboratoire de géochimie du BUMIGEB et a consisté à la détermination des teneurs en métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) des substrats et des végétaux à travers le spectromètre à absorption atomique à flamme (Perkin Helmer Analyst 100). L'opération a été réalisée selon le protocole de l'attaque à l'eau régale défini par la norme française NF X 31-

415 et la norme ISO II 466 respectivement pour les analyses des échantillons de substrats et de végétaux.

Analyses statistiques des données

Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA). Le traitement des données a été réalisé grâce au logiciel XLSTAT. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5 %.

Deux indicateurs ont été calculés à savoir :

Le facteur de bioconcentration (BCF) : Il permet d'évaluer le potentiel d'accumulation du maïs en le classant dans une des catégories de plantes selon la valeur du BCF (Ghosh et Singh, 2005).

$$\text{BCF} = \frac{\text{Concentration moyenne d'un métal lourd dans la plante (mg/kg)}}{\text{Concentration moyenne de ce métal lourd dans le sol à la récolte (mg/kg)}}$$

Le facteur de translocation (TF) : Il permet d'évaluer la capacité de translocation d'un métal lourd des racines vers les parties aériennes (Mattina *et al.*, 2003).

$$\text{TF} = \frac{\text{Concentration moyenne d'un métal lourd dans la partie aérienne (mg/kg)}}{\text{Concentration moyenne de ce métal lourd dans les racines (mg/kg)}}$$

Résultats

Quantité de métaux lourds par organes

La quantité des métaux lourds dans les organes est illustrée par les figures 1, 2, 3 et 4. Le cadmium est accumulé par les racines, les tiges et les feuilles seulement au niveau du traitement T3. Les tiges ont accumulé la plus grande quantité du métal soit 0,92 mg/organe suivies des feuilles 0,028 mg/organe et des racines 0,015 mg/organe.

Le Cu est accumulé par tous les organes, les plus fortes quantités sont obtenues au niveau des grains avec des quantités variant entre 1,61 et 2,14 mg/organe respectivement pour les traitements T2 et T0, les plus faibles au niveau des racines avec des quantités comprises entre 0,09 et 0,51 mg/organe respectivement pour les traitements T3 et T1

Le Pb est accumulé uniquement par les tiges et les feuilles au niveau du traitement T0 avec des quantités respectives de 2,38 et 2,95 mg/organe. Au niveau du traitement T1 l'accumulation s'est faite principalement dans les feuilles soit 3,65 mg/organe et dans les grains soit 0,2 mg/organe. Au niveau du traitement T2, seuls les grains ont accumulés du Pb avec une quantité de 2,23 mg/organe. Quant au traitement T3 l'accumulation s'est faite dans les racines et les grains avec des quantités respectives de 1,03 et 6,14 mg/organe.

La plus grande partie du Zn absorbé est accumulée dans les feuilles avec des quantités comprises entre 1,5 et 2,26 mg/organe respectivement pour les traitements T1 et T0. La plus faible quantité est accumulée dans les racines avec des valeurs comprises entre 0,6 et 1,36 mg/organe respectivement pour les traitements T1 et T0.

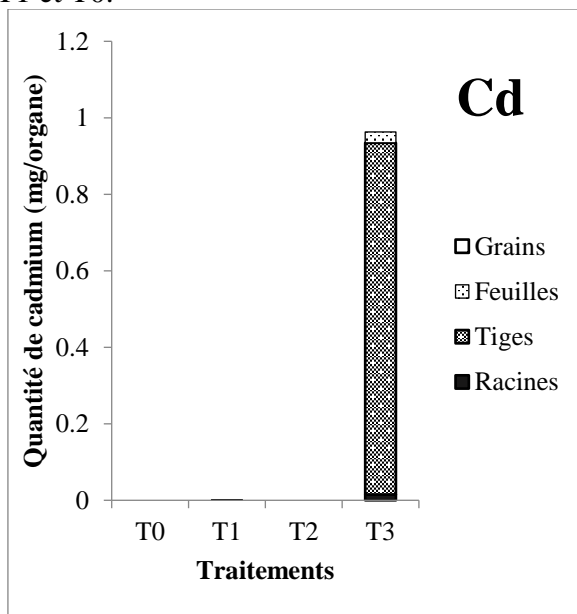


Figure 1. Quantité de Cd dans les différents organes du maïs (mg/organe)

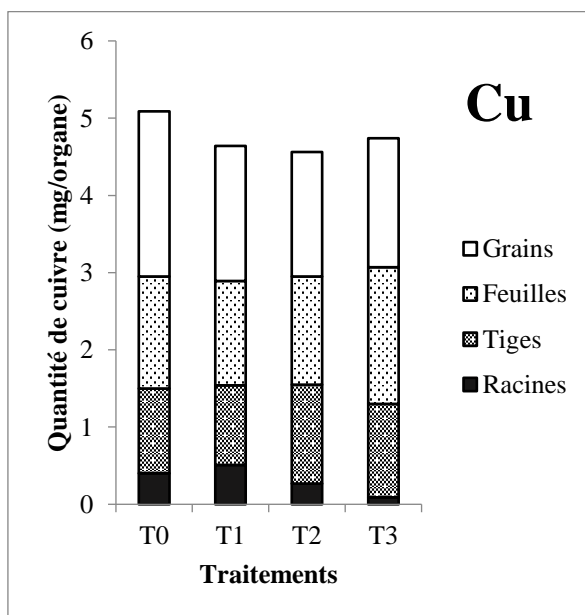


Figure 2. Quantité de Cu dans les différents organes du maïs (mg/organe)

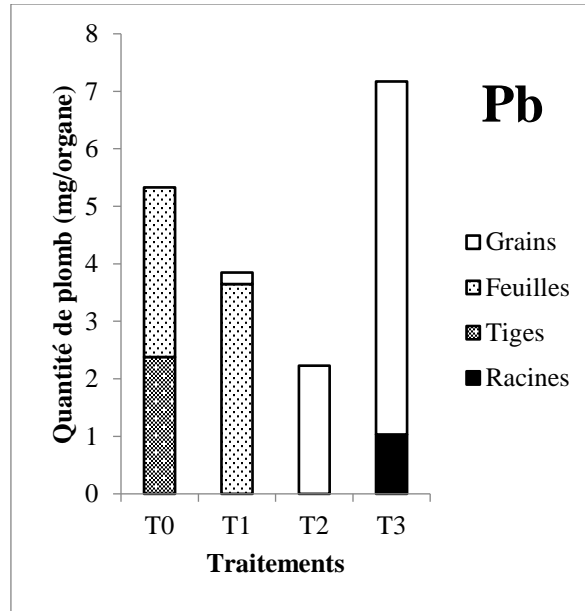


Figure 3. Quantité de Pb dans les différents organes du maïs (mg/organe)

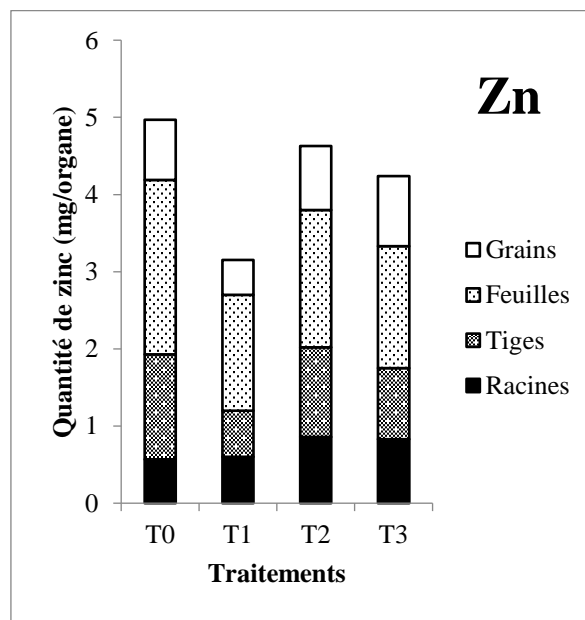


Figure 4. Quantité de Zn dans les différents organes du maïs (mg/organe)

T0 : sans apport de déchet (Témoin) ;
T1 : apport de 20 kg de déchet ;
T2 : apport de 40 kg de déchet ;
T3 : apport de 60 kg de déchet.

Facteurs de translocation des métaux lourds

Les résultats des calculs des facteurs de translocation du Cd, du Cu, du Pb et du Zn sont résumés dans le tableau 1.

Ces résultats ont révélé que seul le traitement T3 a enregistré un transfert du Cd vers les tiges avec un facteur de translocation (TF) de 3,4. Au niveau des feuilles, les TF ont varié entre 0 et 1,29, avec le minimum enregistré au niveau des traitements T0 et T2, et le maximum au niveau du traitement T3. Les transferts du Cd sont nuls au niveau des grains. Les résultats statistiques de l'ANOVA au seuil de 5% ont montré un impact significatif des traitements de sol sur les TF du Cd dans les tiges et les feuilles. Au niveau des grains l'apport de déchets n'a eu aucun effet sur les transferts du Cd

Les TF du Cu calculés au niveau des tiges étaient compris entre 0,52 et 2,34 respectivement pour les traitements T1 et T3. Au niveau des feuilles ils ont varié entre 1,08 et 1,38 respectivement pour les traitements T1 et T3. Quant aux grains les valeurs ont varié entre 1,39 et 4,76, avec la plus faible valeur enregistrée dans le traitement T1 et la plus forte dans le traitement T3. L'analyse de variance au seuil de 5% a montré un effet significatif des doses de déchets sur les TF du Cu dans les tiges, les feuilles et les grains.

Les transferts du Pb vers les tiges ont été nuls dans tous les traitements excepté le traitement T0 qui a enregistré un TF de 1,1. Au niveau des feuilles les TF ont varié entre 0 et 1,3 avec le minimum enregistré au niveau des traitements T2 et T3, et le maximum au niveau du traitement T0. Au niveau des grains, les TF ont fluctué entre 0 et 2,24 respectivement pour les traitements T0 et T3. À l'instar du Cu, les TF du Pb ont varié significativement ($p < 5\%$) entre les traitements quel que soit l'organe.

Les TF du Zn calculés au niveau des tiges ont été compris entre 0,19 et 0,48 respectivement pour les traitements T1 et T0. Au niveau des feuilles ils ont oscillé entre 0,61 dans le traitement T2 et 0,95 dans le traitement T0. Au niveau des grains les TF étaient compris entre 0,33 et 0,52 respectivement pour les traitements T3 et T0. L'analyse de variance au seuil de 5% a révélé que les transferts de Zn vers les tiges et les feuilles ont varié significativement entre les traitements à l'exception des grains dont les TF sont restés statistiquement identiques.

Au regard des valeurs de TF ($TF > 1$), le transfert de Cd s'est fait préférentiellement dans les tiges uniquement au niveau du traitement T3 et dans les feuilles au niveau des traitements T1 et T3. Le transfert du Cu s'est fait préférentiellement dans les grains pour tous les traitements, puis dans les feuilles pour les traitements T0, T2, T3 et enfin dans les tiges uniquement pour le traitement T3. Concernant le Pb, le transfert s'est fait préférentiellement dans les grains pour les traitements T1, T2, T3 ensuite dans les feuilles pour les traitements T0, T1 et enfin dans les tiges seulement dans le traitement T0. Le Zn est stabilisé cependant au niveau des racines.

Tableau 1. Facteurs de translocation du Cd, du Cu, du Pb et du Zn dans les tiges, les feuilles et les grains du maïs par traitement.

MÉTAU X LOURDS	TRAITEMENTS	ORGANES			
		Racines	Tiges	Feuilles	Grains
Cd	T0	0,30a ± 0,11	0,72a ± 0,22	1,19a ± 0,23	1,03a ± 0,12
	T1	0,81a ± 0,20	0,45a ± 0,05	2,32a ± 0,38	1,71a ± 0,20
	T2	1,17b ± 0,33	0,82 a± 0,10	1,46a ± 0,11	1,24a ± 0,33
	T3	1,32b ± 0,20	0,63a ± 0,12	2,22a ± 0,33	1,69a ± 0,35
Probabilité (5%)		0,031	0,08	0,115	0,122
Cu	T0	1,6a ± 0,23	0,99b ± 0,16	1,39ab ± 0,13	2,89b ± 0,19
	T1	1,64a ± 0,08	0,79a ± 0,21	1,13a ± 0,20	1,93ab ± 0,16
	T2	0,82a ± 0,03	0,81b ± 0,06	1,23a ± 0,17	1,44a ± 0,09
	T3	0,23b ± 0,26	0,73c ± 0,27	1,38b ± 0,07	1,42a ± 0,10
Probabilité (5%)		0,003	0,009	0,014	0,001
Pb	T0	1,01a ± 0,12	1,81a ± 0,23	1,01a ± 0,10	1,01ab ± 0,09
	T1	0,97a ± 0,24	0,97ab ± 0,17	0,97b ± 0,03	0,34b ± 0,01
	T2	1,44a ± 0,09	1,44a ± 0,15	1,59b ± 0,08	1,15ab ± 0,10
	T3	1,43a ± 0,18	0,69b ± 0,13	2,02b ± 0,33	2,73a ± 0,15
Probabilité (5%)		0,083	0,004	0,018	0,02
Zn	T0	2,58b ± 0,24	1,32b ± 0,18	2,22a ± 0,23	1,14a ± 0,12
	T1	2,46a ± 0,11	0,57a ± 0,32	1,49a ± 0,16	0,59ab ± 0,25
	T2	2,86a ± 0,14	0,83ab ± 0,12	1,67a ± 0,15	0,92ab ± 0,11
	T3	1,25ab ± 0,13	0,27a ± 0,28	0,61a ± 0,09	0,36b ± 0,02
Probabilité (5%)		0,026	0,035	0,147	0,001

T0 : sans apport de déchet ;
 T1 : apport de 20 kg de déchet ;
 T2 : apport de 40 kg de déchet ;
 T3 : apport de 60 kg de déchet.

Corrélation entre les translocations des métaux lourds

La relation de translocation qui lie les différents organes du maïs est illustrée dans les tableaux 2, 3, 4 et 5.

La corrélation de Pearson montre qu'il existe une relation entre les translocations des éléments traces en fonction des différents organes du maïs. Au niveau du cadmium les résultats montrent une forte corrélation positive entre les teneurs dans les racines, les tiges et celles des feuilles. Au niveau du cuivre il y a une corrélation négative entre la translocation des racines et des feuilles. Concernant le plomb, les résultats montrent une relation forte entre les teneurs dans les racines et les grains ainsi qu'entre les feuilles et les grains.

Quant au zinc la corrélation est forte entre les teneurs dans les tiges et les feuilles mais également entre les feuilles et les grains.

Tableau 2. Corrélation translocation du Cd

	Racine	Tige	Feuille	Grain
Racine	1			
Tige	0,99	1		
Feuille	0,99	0,99	1	
Grain	0,71	0,7	0,7	1

Tableau 3. Corrélation translocation du Cu

	Racine	Tige	Feuille	Grain
Racine	1			
Tige	-0,65	1		
Feuille	-0,97	0,7	1	
Grain	0,57	-0,67	-0,74	1

Tableau 4. Corrélation translocation du Pb

	Racine	Tige	Feuille	Grain
Racine	1			
Tige	-0,33	1		
Feuille	0,73	-0,57	1	
Grain	0,93	-0,51	0,93	1

Tableau 5. Corrélation translocation du Zn

	Racine	Tige	Feuille	Grain
Racine	1			
Tige	-0,04	1		
Feuille	0,27	0,95	1	
Grain	0,59	0,75	0,87	1

Évolution de la translocation des métaux lourds

Les résultats de la régression linéaire des teneurs en métaux lourds dans les différents organes du maïs en fonction des teneurs dans le sol initial ont révélés que lorsque le cadmium dans le sol augmente de 1 mg il y a une forte probabilité qu'il augmente de 0,22 mg dans les racines, 1,33 mg dans les tiges, 0,31 mg dans les feuilles et 0,56 mg dans les grains. De même, au niveau du cuivre, il peut augmenter de 2,56 mg, 0,28 mg, 0,57 mg respectivement pour les racines, tiges et feuilles pour un apport de 1 mg de Cu dans le sol. Au niveau du plomb, il y a une forte probabilité que les teneurs dans les feuilles et dans les grains augmentent respectivement de 6,84 mg et 5,81 mg pour une augmentation de 1 mg de plomb dans le sol. Pour le cas du zinc, il peut augmenter de 0,61 mg, 0,17 mg, 0,15 mg respectivement pour les tiges, feuilles et grains.

Tableau 6. Évolution de la translocation des métaux lourds dans les différents organes

ETM	Racine	Tige	Feuille	Grain
Cd	0,22 ± 0,05*	1,33 ± 0,60*	0,31 ± 0,08*	0,56 ± 0,44*
Cu	2,56 ± 1,71*	0,28 ± 0,20*	0,57 ± 0,23*	0,94 ± 0,29
Pb	0,11 ± 0,005	7,03 ± 3,52	6,84 ± 5,99*	5,81 ± 4,71*
Zn	-0,09 ± 0,15	0,61 ± 0,08*	0,17 ± 0,07**	0,15 ± 0,10*
Signification :	0 '****'	0,001 '***'	0,01 '*'	0,05 '!' 0,1 '' 1

Discussion

Translocation des métaux lourds dans les différents organes du maïs

Les résultats obtenus suite aux calculs des facteurs de translocation ont révélé des valeurs supérieures à 1 pour le Cd, le Cu et le Pb, permettant de classer le maïs parmi les plantes phytoextractrices pour ces métaux. Ce qui veut dire que le maïs transfère préférentiellement le Cd, le Cu et le Pb des racines vers les parties aériennes. De ce fait le Cd est accumulé dans les tiges et les feuilles, le Cu et le Pb, dans les feuilles et les grains. Nos résultats sont en adéquation avec ceux de Wuana et Okieimen (2010) et Awokunmi *et al.* (2015). Selon ces auteurs le maïs transfère une grande quantité de métaux dans ses parties aériennes à tel enseigne qu'il est aujourd'hui utilisé pour la décontamination des sols dans les pays développés. Par contre nos observations ne sont pas en accord avec celles de Khatori et Benhoussa (2017) qui ont révélé que le maïs accumule préférentiellement les métaux lourds dans ses racines au détriment de ses parties aériennes. Cette divergence des résultats pourrait s'expliquer par la différence des zones climatiques ou à la variété cultivée entre le Maroc, zone d'étude de Khatori et Benhoussa (2017) et le Burkina Faso.

Le transport de ces éléments toxiques vers les parties aériennes pourrait s'expliquer d'une part par l'efficacité des systèmes transporteurs non spécifiques. Selon Kramer *et al.* (2007) l'efficacité de l'acheminement des métaux lourds vers les parties aériennes est liée à la présence importante de transporteurs membranaires tels que des ATPases membranaires au niveau des tissus conducteurs. Ces protéines permettent de transférer des métaux lourds dans le xylème des tissus racinaires puis de le libérer dans les organes aériens car retenus par les parenchymes qui jouent ici le rôle de tamis.

D'autre part, le transport pourrait être favorisé par la compétition entre les métaux lourds et les éléments nutritifs du maïs. En effet selon Sanita di Toppi et Gabbrielli (1999) et Greger (1999), certains métaux lourds comme le Cd ont la capacité d'emprunter les mêmes transporteurs que les éléments nutritifs de la plante et se retrouver dans tous les organes.

Quant au Zn il est stabilisé au niveau des racines, probablement parce qu'il dispose de peu de transporteurs ou parce qu'il ne peut pas concurrencer les autres éléments chimiques. Ce résultat n'est pas conforme à celui de Khatori et Benhoussa (2017) qui ont montré que le Zn est concentré au niveau des feuilles par rapport aux racines.

Bien-que les teneurs en Cd, en Cu, en Pb et en Zn des sols soient dans les normes, au niveau des grains, tous les autres métaux sont au-delà du seuil limite de consommation humaine excepté le Cd. Ce résultat est similaire à celui d'Awokunmi *et al.* (2015) qui a révélé que le maïs transférait des métaux lourds à des teneurs toxiques dans ses grains. Les animaux quant à eux ne courent de risque d'intoxication que pour le Cu et le Pb.

Selon Almeida et Stearns (1998), Garnier (2005) et Bradberry (2007), l'ingestion quotidienne de ces produits contaminés pourrait exposer les consommateurs à une intoxication chronique pouvant provoquer à la longue une ostéoporose, une dégénérescence hépatique, une insuffisance rénale et des crampes d'estomac respectivement pour le Cd, le Cu, le Pb et le Zn.

Toutefois, des symptômes visibles de toxicité sur les feuilles ou les tiges n'ont pas été observés, certainement parce que les teneurs en métaux lourds dans les tissus étaient inférieures aux seuils limites définis par Fageria *et al.* (2002) ; Prasad et De Oliveira Freitas (2003).

Corrélation de la translocation dans les différents organes

Les résultats de la corrélation de Pearson montrent que lorsque les teneurs en cadmium dans les racines augmentent celles dans les tiges et les feuilles augmentent aussi. Au niveau du cuivre, une augmentation de la teneur dans les feuilles entraîne une réduction dans les racines. Ce qui montre que le maïs préfère accumuler le cuivre dans les feuilles plutôt que de le stabiliser au niveau de ces racines. Selon Awokunmi *et al.* (2015), le cuivre est un oligoélément qui contribue dans la respiration cellulaire, la photosynthèse et dans l'absorption de l'azote, ainsi sa présence au niveau de feuilles est plus utile pour la plante qu'au niveau des racines.

Au niveau du plomb, il ressort des analyses de corrélation qu'une accumulation du plomb dans les racines entraîne également son accumulation dans les feuilles puis dans les grains. Ces résultats viennent confirmer ceux de Garnier (2005) et Remon (2006) qui ont découvert que l'accumulation du plomb se fait de proche en proche d'abord au niveau des racines, puis des tiges, feuilles et grains. Quant au zinc son accumulation dans les racines favorise sa translocation dans les feuilles et les grains. À l'instar du cuivre, le zinc intervient dans la photosynthèse mais aussi d'après Comeau *et al.* (2006) dans la croissance des différents organes.

Conclusion

L'objectif principal est d'évaluer le potentiel de translocation du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc dans les différents organes du maïs (*Zea mays*). Il ressort des résultats obtenus que la teneur en cadmium, cuivre, plomb et zinc des sols avant semis peuvent influencer plus ou moins la translocation de ces métaux lourds dans les différents organes du maïs. Les facteurs de translocation montrent que les métaux étudiés sont transloqués dans tous les organes du maïs, à l'exception du cadmium et du zinc qui sont faiblement transloqués dans les tiges. De plus, il existe une relation entre le potentiel de translocation en métaux lourds des organes.

Cette étude nous a permis de connaître le potentiel de translocation du Cd, du Cu, du Pb et Zn par le maïs cultivé sur les sols amendés avec des

déchets urbains. Les résultats obtenus pourraient influencer positivement les prises de décisions lors d'une intervention de l'État ou des ONG sur les sites utilisant directement les déchets urbains et permettre de trouver des solutions adéquates vers une agriculture durable.

Remerciements

Nous remercions le Dr Issaka SENOU, le Pr Hassan Bismark NACRO, le Pr Antoine N. SOME, l'Institut du Développement Rural (IDR), le Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), le laboratoire des Systèmes naturels des Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'environnement (SyNAIE), le Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF).

Références:

1. Almeida P. and Stearns L., 1998. Political opportunities and local grassroots environmental movement : The case of Minamata. *Social Problems*. 45 (1) : 37-60.
2. Atidegla S. C.; Agbossou E. K.; Huat J. et Glele Kakai R., 2011. Contamination métallique des légumes des périmètres maraîchers urbains et périurbains : Cas de la commune de Grand-Popo au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 5 (6) : 2351-2361.
3. Awokunmi E. E.; Adefemi O. S. and Asaolu S. S., 2015. Tissues accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) cultivated on soil collected from selected dumpsites in Ekiti State, Nigeria. *American Chemical Science Journal*. 5 (2) : 156-162.
4. Baize D. 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols . Paris, France. INRA Editions, 408 p.
5. Batiano A., 2006. African soils : their productivity and profitability of fertilizer use. In Proceedings of the African fertilizer summit June 9-13, Abuja, Nigeria.
6. Bradberry S., 2007. Poisonous substances : Copper. *Medecine* 35 (1) : 11.
7. Comeau, A., Pageau, D., Voldeng, H. Brunelle, A. 2006. Les oligoéléments : Essentiels à l'établissement du couvert végétal dans les céréales. *Grandes cultures*, Vol. 16 (4) :34-36.
8. Dauguet S.; Denaix L.; Nguyen C.; Coudure R. et Barrier-Guillot B., 2010. Apports organiques, ETM : cerné les transferts du sol aux plantes. *PERSPECTIVES AGRICOLES - N°373*, 70-75.
9. Fageria N. K.; Baligar V. C. and Clark R. B., 2002. Micronutrient cultures. *Advances in agronomy*. 77 (1) : 189-272.

10. Garnier R., 2005. Toxicité du plomb et de ses dérivés. EMC (Elsevier SAS, Paris), *Toxicologie-Pathologie professionnelle*. 16 (1) : 7-10.
11. Greger, M., 1999. Metal availability and bioconcentration in plants. In : Prasad, M.N.V. & Hagemayer, J. (Eds.). Heavy metal stress in plants : From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 1-27.
12. Hadi F.; Bano A. and Fuller M. P., 2010. The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (*Zea mays* L.) : the role of plant growth regulators (GA 3 and IAA) and EDTA alone and in combinations. *Chemosphere*. 80 (1) : 457-462.
13. Ilboudo T. J. L., 2014. Effet de différents types de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso sur la disponibilité et la distribution verticale de métaux lourds dans le sol. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Science du sol. 51 p.
14. INERIS, 2006. Eléments traces métalliques : Rapport d'étude INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a. 119 p.
15. Kalonda D. M.; Tshikongo A. K.; koto F. K. K.; Busambwa C. K.; Bwalya Y. K.; Cansa H. M.; Tambwe J.-L. K.; Kalala Z. L. et Otshudi A. L., 2015. Profil des métaux lourds contenus dans les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga. *Journal of Applied Biosciences*. 96 (1) : 9049-9054.
16. Khan M. S.; Khan S. A.; Sajad M. A.; Ali F.; Ali H.; Khan W. M.; Ali S. et Hussain F., 2014. Phytoremediation of cadmium from effected soil using maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of Biologie and Environmental Sciences*. 2 (1) : 1-8.
17. Khatori M. et Benhoussa A., 2017. ICP analysis of heavy metals in corn and soil irrigated by Berrechide waste water (Morocco). *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 8 (5) : 1853-1859.
18. Konaté H., 2018. Evaluation du niveau de transfert de métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la laitue co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC). Mémoire d'ingénieur du Centre de formation agricole de Matourkou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 64 p.
19. Kramer U.; Talke I. N. et Hanikenne M., 2007. Transition métal transport. *Journal FEBS Letters*. 581 (1) : 2263-2272.
 - a. Lock K. and De Zeeuw H., 2001. Health risks associated with urban agriculture. Centre de Recherche sur l'Agriculture Urbaine et les Forêts (RUAF)/ Netherlands, 6 p.
20. Macauley H. et Tabo R., 2015 . Les cultures céréalières : riz , maïs , millet , sorgho et blé. In Nourrir l'Afrique : Un plan d'action pour la transformation de l'agriculture africaine. Dakar, p 37.
21. OCDE/FAO, 2018. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2018-2027. Céréales. pp 125-144.

22. Ouattara S., 2014. Diagnostic des pratiques de valorisation agronomique de substrats organiques dans la zone urbaine et périurbaine de la ville de Bobo-Dioulasso. Mémoire de fin de cycle d'ingénieur du développement rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 81 p.
23. Prasad M. N. V. and De Oliveira Freitas H. M., 2003. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 6 (1) : 110-146.
24. Remon E., 2006. Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. Thèse de doctorat en Biologie Végétale. Université Jean Monnet faculté des sciences et techniques. Saint Etienne. 157 p.
25. Sanita di Toppi L., Gabbrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*. 41 (1) : 105-130.
26. Sanou J., 2007. Nouvelles variétés de maïs vulgarisées au Burkina. Doc. CNRST/INERA- Burkina Faso.
27. Senou I.; Gnankambary Z.; Somé A. N. et Sedogo M. P., 2012. Phytoextraction de métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) par *Oxytenanthera abyssinica* en sols ferrugineux tropicaux et en sols vertiques dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*. 34 (1) : 26 -34.
28. Senou I.; Gnankambary Z.; Some A. N. et Sedogo P. M., 2014. Projection de trois espèces de plantes locales pour la phytoextraction de métaux lourds à partir de deux types de sols au Burkina faso. *Agronomie Africaine*. 26 (2) : 155-166.
29. Senou I.; Gnankambary Z.; Some N. A. and Nacro H. B., 2018. Responses of five local plant species to metal exposure under controlled conditions. *International Journal of Development Research*. 8 (1) : 18507-18514.
30. Senou I., 2014. Phytoextraction du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par cinq espèces végétales (*Vetiveria nigriflora* (Benth.), *Oxytenanthera abyssinica* (A. Rich.) Munro, *Barleria repens* (Ness), *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf et *Lantana camara*(Linn.)) cultivées sur des sols ferrugineux tropicaux et vertiques. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).170 p.
31. Sezgin N.; Ozcan H. K.; Demir G.; Nemlioglu S. and Bayat C., 2004. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*. 29 (1) : 979-985.

32. Wuana R. A.; Okieimen F. E. and Imborvungu J. A., 2010. Removal of heavy metals from contaminated soil using chelating organic acids. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 7 (3) : 485-496.
33. Wuana R. A. and Okieimen F. E., 2010. Phytoremediation Potential of Maize (*Zea mays* L.) *African Journal of General Agriculture*. 6 (4) : 275-287.
34. Yé L. 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agriculture urbaine et périurbaine : cas de Bobo Dioulasso. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso (Burkina Faso). 44 p.



Endogenous Knowledge of the Attie People on Anti-Schistosomiasis Medicinal Plants in the Adzope Health District, Côte d'Ivoire

Bene Kouadio

Ouedje Eppoue Romuald

Koffi Akessé Georges

Faculty of Natural Sciences, NANGUI ABROGOUA University,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Tra Bi Boli Francis

Faculty of Biosciences, Félix HOUPHOUËT-BOIGNY University, Abidjan,
Côte d'Ivoire

Sylla Youssouf

Fah Monh Alice

Moyabi Any Georges Armel

Kouakou Donthy Kouakoubah Richard

Kone Mamidou Witabouna

Faculty of Natural Sciences, NANGUI ABROGOUA University,
Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p156](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p156)

Submitted: 26 October 2022

Accepted: 06 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Bene K., Ouedje E.R., Koffi A.G., Tra B.B.F., Sylla Y., Fah M.A., Moyabi A.G.A., Kouakou D. K.R. & Kone M.W. (2023). *Endogenous Knowledge of the Attie People on Anti-Schistosomiasis Medicinal Plants in the Adzope Health District, Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 156. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p156>

Abstract

Schistosomiasis or bilharziasis is a parasitic disease caused by flatworms or plathelminthes (bilharzias or schistosomes) that live in the venous vascular system. This disease is a major public health problem in countries located in the tropics and subtropics. The paper focuses on contributing to the eradication of schistosomiasis in Côte d'Ivoire by highlighting the endogenous knowledge of the Attie people on the medicinal plants used for the treatment of schistosomiasis in the Health District of

Adzope. An ethnobotanical survey was conducted among traditional medicine practitioners (TMP) using a semi-structured interview associated with the show-and-tell technique. A total of 33 medicinal species have been listed. They are divided into 31 genus and 21 botanical families each with a predominance of Annonaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, and Fabaceae with three species. The most cited species are *Combretum paniculatum* (CF=14.79%) and *Mareya micrantha* (CF=10.56%). The leaves are the most used organs, and the decoction is the main mode of preparation of the recipes which are generally administered orally. The results of this study constitute a valuable database for further research in pharmacology and phytochemistry.

Keywords: Endogenous Knowledge, Medicinal Plants, Schistosomiasis, Attie, Adzope, Côte d'Ivoire

Introduction

Schistosomiasis or bilharziasis is a neglected tropical disease (NTD) caused by worms of the genus *Schistosoma*. Six (6) species of the genus *Schistosoma* are pathogenic for humans. They are *Schistosoma guineensis*, *S. haematobium*, *S. intercalatum*, *S. japonicum*, *S. mansoni*, and *S. mekongi* (WHO, 2021). It is the second parasitic endemic in the world after malaria (Zoni *et al.*, 2016). Schistosomiasis has major health and socio-economic repercussions in developing countries, where it constitutes a major public health problem (Tchuenté *et al.*, 2013) and causes a break in the achievement of the Sustainable Development Goals, particularly that of "enabling everyone to live in good health and promoting the well-being of all at all ages". In Côte d'Ivoire, the results of parasitological surveys have shown that urinary and intestinal schistosomiasis remains endemic with unfavorable hygiene and sanitation conditions despite control efforts (Assaré *et al.*, 2014). The Health District of Adzope is one of the most affected zones by schistosomiasis with a prevalence of 19.8% (MSHP, 2020). The treatment of this disease, in the absence of a vaccine, is essentially based on chemoprevention (CP), which consists of distributing on a large scale, at regular intervals and to entire groups of the population, safe drugs of proven quality, alone or in combination. (Aubry & Gaüzère, 2020). For the past thirty years, the most widely used drug has been Praziquantel (PZQ) because it has many advantages. In addition to being effective against all species of schistosomes with very few side effects, this drug can be administered orally in a single dose and is inexpensive (Dissous *et al.*, 2009). However, evidence of emerging drug resistance and low efficacy of PZQ has been reported in Egypt and Senegal (Cioli *et al.*, 2008). In addition, coverage of schistosomiasis chemoprevention interventions, previously insufficient, has dropped significantly due to the effects of the COVID-19 pandemic (WHO, 2021). The WHO has therefore

defined the search for new drugs as a strategic priority against schistosomiasis. Plants being one of the main sources of the production of biomolecules, present a therapeutic alternative to be explored. In addition, southern countries like Côte d'Ivoire constitute a pool of knowledge that feeds a traditional healthcare system based on a rich plant pharmacopoeia. Clearly, there is a wealth of traditional medical knowledge in the field of healthcare, embedded in traditional cultures. The treatment management of schistosomiasis by herbal recipes could serve as a source of new molecules schistosomicidal. It is in this context that the present study was organized, and the objective was to reveal the traditional knowledge in the treatment of schistosomiasis in order to eventually propose a therapeutic alternative.

Study Materials and Methods

Study Zone

The region of Mé belongs to the sub-equatorial zone with a humid Attiean climate comprising four seasons, including two rainy seasons and two dry seasons. The temperature there is relatively constant and oscillates around 27.5°C. The annual rainfall is 1578 mm. The vegetation is dominated by the humid tropical forest made up of overexploited forest massifs (Kouakou, 2022). Primary forest is only found in the seven reserved forests, namely: Massa Mé, Mabi, MéMafo, Hein, Agbo, N'Toh, and Besso. The selection criteria for the Health District were, among others, the high prevalence of schistosomiasis (MSHP, 2020), the humidity linked to the subequatorial climate, the hydrography, the hydro-agricultural facilities, and the vegetation (Poda *et al.*, 2004; Yapi *et al.*, 2014) which would be favorable to the contraction and spread of this neglected tropical disease. Six localities which constitute Municipals were visited. In no particular order, these localities include Adzope, Abongoua, Yakasse-Attobrou, Assikoi, Bieby, and Yakassé-mé (Figure 1).

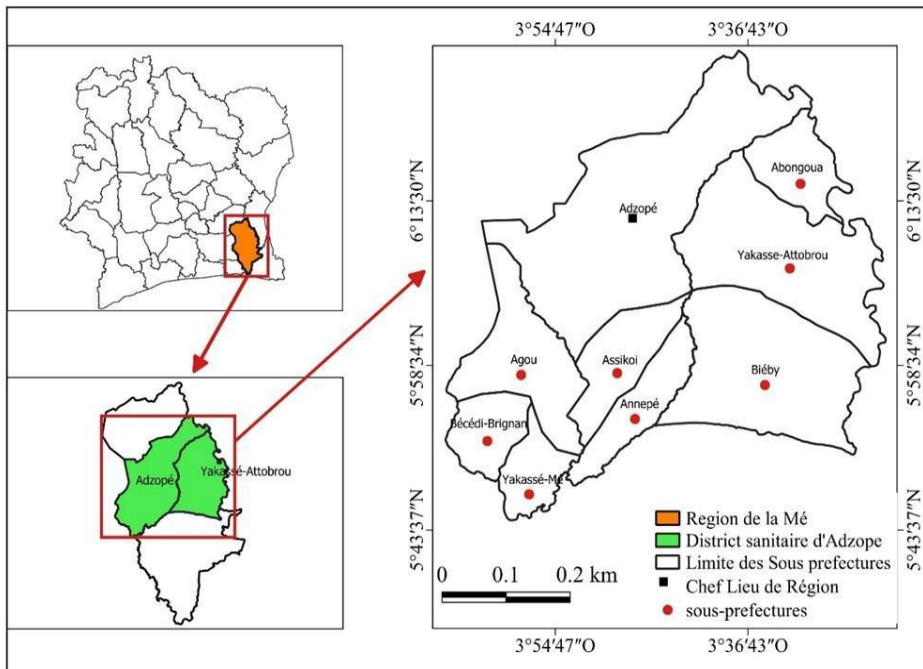


Figure 1. Location Map of the Study Area (Adzope Health District)

The biological material consisted of all the plants identified in the Health District of Adzope. The technical field equipment for the ethnobotanical survey consisted of survey sheets, pruning shears and cutlasses, plastic bags, presses, and newspapers for making the herbarium and a digital camera.

Ethnobotanical Surveys

The ethnobotanical survey was conducted from February 15 to May 30, 2022. The semi-structured direct interview method was used, which identifies with the “show-and-tell” technique. It consisted of administering a questionnaire to traditional medicine practitioners in the Adzope Health District. These interviews focused on the socio-demographic characteristics (sex, age, profession, level of education, and level of knowledge of schistosomiasis) of the traditional medicine practitioners (TMP), on the plants or plant organs used in the different recipes, as well as their methods of preparation and administration for treating schistosomiasis and its symptoms. As for the so-called “show-and-tell” technique, it consisted of showing photographs of people with symptoms of schistosomiasis to the respondents. The questions were asked in the Attie language.

Collection and Identification of Listed Plants

Each interview with traditional medicine practitioners was followed by field trips to collect samples of the species mentioned, according to the vernacular names of these plants. One specimen of each species was packaged in the form of herbariums and identified at the Swiss Center for Scientific Research in Côte d'Ivoire (CSRS). The nomenclature used is Lebrun and Stork (1991, 1992, and 1995), and the botanical families have been updated with the APG IV (2016) classification system.

Determination of Ethnobotanical Parameters

Species Citation Frequency (CF)

The citation frequency (%) reflects the distribution of a species within the regularity in the community of traditional healers. It is expressed by the percentage mention of a species compared to the total number of people surveyed. The importance of the parts of plants used and their uses are determined from the number of spontaneous citations based on the principle that the species whose organs are mentioned the most by several respondents obtain a high rank (Cotton, 1996).

The frequency of citation of each taxa listed is calculated by the formula used by Gbekley *et al.* (2015).

$$CF = \frac{n}{N} \times 100$$

With n: number of people who mentioned the species
N: total number of respondents

Contribution of Each Species in Recipes (CPr)

The CPr (%) makes it possible to assess the frequency of involvement of a plant in the recipes. It was determined for each species by the formula (Adomou *et al.*, 2012):

$$Cpr = \frac{Nr}{Nt} \times 100$$

With Nr: recipe number
Nt: total number of recipes

Results

Socio-Demographic Profile of Respondents

The socio-demographic characteristics of the people surveyed are recorded in Table 1. The surveys were conducted among 40 traditional medicine practitioners (PMT), which is made up of 45% men and 55% women. The most represented age group is 35-60 years with a proportion of 42.5% of respondents. With regard to the level of education, 40% of the people surveyed are illiterate, 25% have attained secondary school education level, and 35% are at primary education level.

Table 1. Socio-Demographic Characteristics of People Surveyed in the Adzope Health District

Socio-Demographic Characteristics	Parameters	People surveyed	
		Number	Proportions (%)
Gender	Male	18	45
	Female	22	55
Age group (yrs)	[18-35]	7	17,5
	[35-60]	17	42,5
	[60-70]	16	40
	≥ 70	0	0
Education level	illiterate	16	40
	Primary	14	35
	Secondary	10	25

Specific Richness of the Plants Listed

This study made it possible to list 33 species of plants which are divided into 31 genus and 21 botanical families. The plants identified, the organs used, the methods of preparation, and mode of administration are recorded in Table 2. The most represented families are the Annonaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, and Fabaceae, with three species each, i.e., 14.28%.

Ethnobotanical Parameters

Figure 2 shows the frequency of citation of the species identified by the respondents. The species most cited by the TMPs for the treatment of schistosomiasis are in ascending order and according to the frequency of citation: *Combretum paniculatum* (CF=14.79%), *Mareya micrantha* (CF=10.56%), *Newbouldialaavis* (CF=7.04%), *Desplatsiachrysochlamys* (CF=6.34%), and *Albizia zygia* (CF=4.33%).

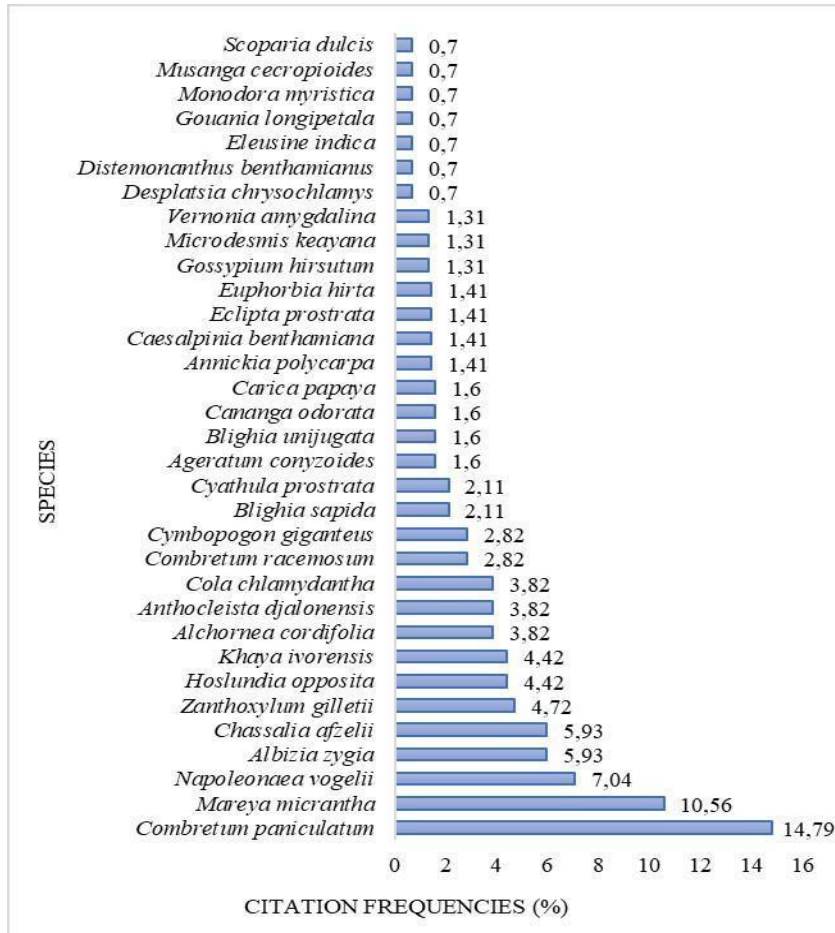


Figure 2. Citation Frequencies Species used in the Treatment of Schistosomiasis

Contribution of Species to the Recipes

The plants identified are involved in 61 medicinal recipes, both mono-specific and multi-specific, with greater use for mono-specifics. The species mostly used in recipes by TMPs to treat schistosomiasis are *Caesalpinia benthamiana*, *Cymbopogon giganteus*, *Gossypium hirsutum*, *Microdesmis keayana*, *Vernonia amygdalina*, and *Zanthoxylum gillettii* (CPr = 4.92%), (Table 2).

The plant organs mostly used by TMP are the leaves (52%), followed by stem bark (24%) and whole plant (12%). The whole plant (9%) and roots (3%) are also used in recipes (Figure 3).

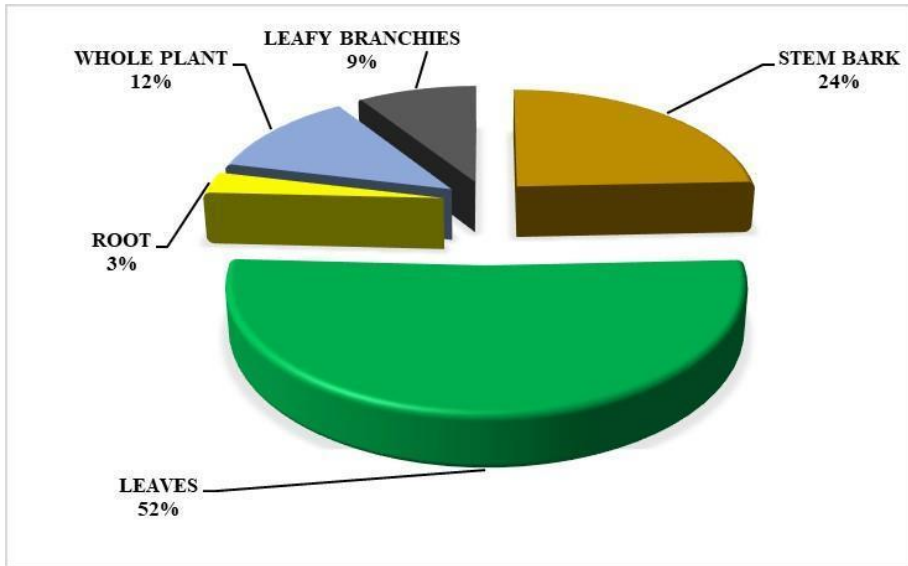


Figure 3. Plant Organs used in Recipes

Figure 4 shows the four preparation methods for traditional recipes. The most cited by the TMPs of Adzope are decoction (72.7%) and maceration (18.2%).

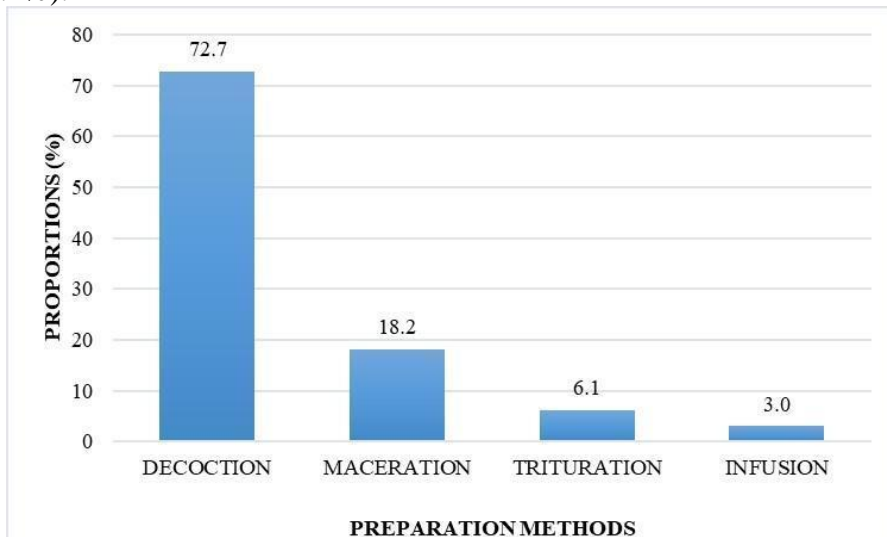


Figure 4. Proportions Preparation Methods

The mode of administration mostly cited by the TMPs to treat schistosomiasis are presented in Figure 5. They include the oral route (55%), the ocular route (18%), the anal route (15%), and the cutaneous route (12%).

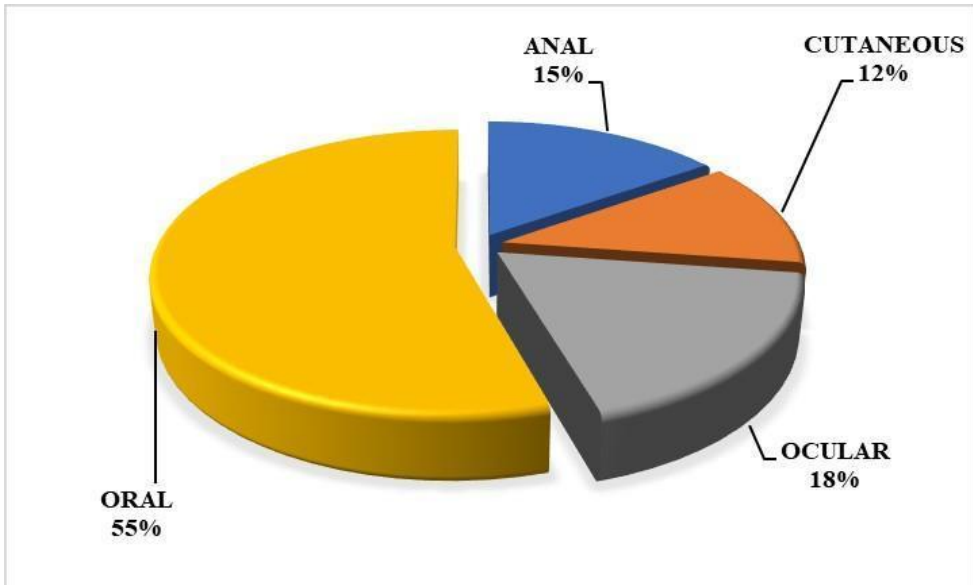


Figure 5. Proportions of Administration Mode

Table 2. List of Identified Plants and Organs Used Against Schistosomiasis in the Health District of Adzope

N°	Scientific Names	Botanical Families	Vernacular Names (Attie)	Organ Used	Preparation Methods	Administration Routes	Dosage	CF (%)	CPr (%)
1	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae	Metêveuhdoug	LB	Trituration	Ocular	3 VT	1.6	3.28
2	<i>Albizia zygia</i>	Fabaceae	Koê	SB	Maceration	Anal	2 VT	5.93	3.28
3	<i>Alchornea cordifolia</i>	Euphorbiaceae	N'dzin	L	Decoction	Oral	2 VT	3.82	1.64
4	<i>Annickiapolycarpa</i>	Annonaceae	Bêdou	SB	Decoction	Oral	1 VT	1.41	3.28
5	<i>Anthocleista djalonensis</i>	Gentianaceae	Agnime	SB	Decoction	Anal	1 VT	3.82	1.64
6	<i>Blighiasapida</i>	Sapindaceae	Beuhfi	L	Decoction	Oral	2 VT	2.11	1.64
7	<i>Blighia unijugata</i>	Sapindaceae	Beuhbi	L	Decoction	Oral	3 VT	1.6	3.28
8	<i>Caesalpinia benthamiana</i>	Fabaceae	Apkabagnon	L	Maceration	Oral	1 VT	1.41	4.92
9	<i>Cananga odorata</i>	Annonaceae	Pôtôpoin	SB	Decoction	Cutaneous	2 VT	1.6	1.64
10	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	Bane/ Mon m'poussin/ Monmouh	R	Decoction	Cutaneous	2 VT	1.6	3.28
11	<i>Chassalia afzelii</i>	Rubiaceae	Chibibaté	L	Decoction	Anal	2 VT	5.93	1.64
12	<i>Cola chlamydantha</i>	Malvaceae	Lobeu	L	Decoction	Oral	3 VT	3.82	3.28
13	<i>Combretum paniculatum</i>	Combretaceae	Atcholô / Betsôssôh/ Yatanbaté	L	Infusion	Ocular	1 VT	14.79	3.28
14	<i>Combretum racemosum</i>	Combretaceae	Betchô	L	Decoction	Oral	3 VT	2.82	3.28
15	<i>Cyathulaprostrata</i>	Amaranthaceae	N'kpe	LB	Maceration	Oral	2VT	2.11	3.28
16	<i>Cymbopogon giganteus</i>	Poaceae	Baté-bêchou	WP	Decoction	Anal	3 VT	2.82	4.92
17	<i>Desplatsiachrysochlamys</i>	Tiliaceae	Guilo	SB	Decoction	Oral	2 VT	0.7	1.64
18	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	Fabaceae	Adouanga	SB	Decoction	Oral	2 VT	0.7	3.28
19	<i>Ecliptaprostrata</i>	Asteraceae	Gnikiê	WP	Decoction	Ocular	1 VT	1.41	3.28
20	<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	Ihinkpi	WP	Decoction	Ocular	2 VT	0.7	1.64
21	<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	Atordou	L	Maceration	Oral	2 VT	1.41	1.64
22	<i>Gossypium hirsutum</i>	Malvaceae	Ihêssêtê	L	Decoction	Oral	1 VT	1.31	4.92
23	<i>Gouanialongipetala</i>	Rhamnaceae	Kezôr	WP	Decoction	Ocular	3 VT	0.7	3.28
24	<i>Hoslundia opposita</i>	Lamiaceae	Feuhfi	L	Trituration	Ocular	1 VT	4.42	1.64

N°	Scientific Names	Botanical Families	Vernacular Names (Attie)	Organ Used	Preparation Methods	Administration Routes	Dosage	CF (%)	CPr (%)
25	<i>Khaya ivorensis</i>	Meliaceae	Zapinchi	SB	Decoction	Oral	2 VT	4.42	3.28
26	<i>Mareya micrantha</i>	Euphorbiaceae	Wiya	L	Decoction	Anal	1 VT	10.56	3.28
27	<i>Microdesmiskeayana</i>	Pandaceae	Kpezun	L	Decoction	Oral	2 VT	1.31	4.92
28	<i>Monodoramyristica</i>	Annonaceae	Ikpor	L	Decoction	Oral	2 VT	0.7	3.28
29	<i>Musangacecropioides</i>	Urticaceae	Moin-nin	L	Decoction	Oral	1 VT	0.7	1.64
30	<i>Napoleonaeavogelii</i>	Lecythidaceae	Têkpi	L	Decoction	Oral	3 VT	7.04	3.28
31	<i>Scoparia dulcis</i>	Plantaginaceae	Ahingbazor	LB	Maceration	Cutaneous	2 VT	0.7	1.64
32	<i>Vernonia amygdalina</i>	Asteraceae	Torzor	L	Maceration	Oral	1 VT	1.31	4.92
33	<i>Zanthoxylum gilletii</i>	Rutaceae	Kponh	SB	Decoction	Cutaneous	2 VT	4.72	4.92

L: Leaves, LB: Leafy Branches, SB: Stem Bark, R: Roots, WP: Whole Plant, VT: Tea Glass, CPr: Contribution of Plants to the Recipe, CF: Citation Frequency

Discussion

The data presented at the end of this study focused on the socio-demographic characteristics of the participants as well as the ethnobotanical parameters. With regard to socio-demographic parameters, the traditional medicine practitioners surveyed are mostly women with a proportion of 55%. Their predominance in the practice of this occupation could be explained by the fact that they hold more endogenous knowledge of medicinal plants. As wives and mothers, the responsibility falls on them first and foremost to provide first aid to the patients. This profile is observed in numerous studies such as those of Fah *et al.* (2013), Bene *et al.* (2016), and Asseh *et al.* (2019), thus confirming the appropriation of different TMP in Côte d'Ivoire by the female gender. In this study, only the Attie people are represented. These results are understandable given that the study area is mainly populated by Attie natives. In addition, the Akan ethnocultural group is known for its great knowledge of plants and their uses in the pharmacopoeia (Manouan *et al.*, 2010). On the other hand, the knowledge of plants is widespread in the age group from 35 to 70 with a dominance of the age group from 35 to 60 years (42.5%). However, the respondents mainly belong to the adult age group. This percentage would be justified by the knowledge of the properties and uses of plants, which is generally acquired following a long period of experience accumulated and transmitted from one generation to another (Anyinam, 1995). People of this age group are those who are most experienced in traditional medicine and hold a good part of the ancestral knowledge which is done by oral transmission (Lakouété *et al.*, 2009). The TMPs are distributed over all three levels of education. However, those with no educational level stand out (40%).

At the ethnobotanical level, the interview with the Practitioners of Traditional Medicine made it possible to list 33 species of plants, which are divided into 31 genus and 21 botanical families. Annonaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, and Fabaceae are the most represented families at 14.28%. This predominance could be explained by the fact that these families are one of those that contain many species exploited for their medicinal properties. These results agree with those of Muya *et al.* (2014), who made an "Ethnobotanical overview of some plants used against urogenital schistosomiasis in Lubumbashi and its surroundings". These authors revealed a strong representativeness of Fabaceae. In Côte d'Ivoire, these different plants identified are revealed for the first time in the treatment of schistosomiasis through this study. A phytochemical study would justify the anti-schistosomiasis activity of these medicinal species.

Among the medicinal species indicated in the treatment of schistosomiasis, *Combretum paniculatum* Vent. (Combretaceae) is the most cited species. It is a vining shrub or stout liana up to 15 m long, with bright

scarlet flowers. It is widely distributed in tropical Africa. Traditionally, this taxon is used in the treatment of several pathologies. The leaf sap is used externally against gonorrhoea in Tanganyika, while the galled leaves are crushed with salt. Thereafter, the paste is applied to the tongue and inside the mouth of babies with stomatitis in Côte d'Ivoire (Sowemimoet *et al.*, 2012). Certainly, various studies conducted on the biological and phytochemical activities of *Combretaceae* have shown very good results (Soumahoro *et al.*, 2016; Haïdara *et al.*, 2022). Studies by Haïdara *et al.* (2022) relating to the identification of chemical constituents and their antiradical activities of three *Combretaceae* revealed the richness of this botanical family in phytochemicals such as polyphenols, flavonoids, tannins, and compounds with triterpene genins such as saponosides which can justify biological activities. This taxon, although revealed for the first time in the treatment of schistosomiasis, has nevertheless been the subject of several studies in phytochemistry and pharmacology. The aqueous extracts of the leaves and the inflorescence are said to have an action against cancerous tumors (Burkill, 1985). The plant's anti-HIV activity has also been reported (Asres *et al.*, 2001). Antimicrobial compounds such as cholest-5-en-3-ol, 2-phyten-1-ol, gallic acid, and apigenin have been reported in the plant (Samdumu, 2007). The majority use of leaves in the preparation of medicinal recipes is explained not only by the ease and speed of harvesting this organ, but also by the fact that the leaves are the site of photosynthesis and the place of storage of secondary metabolites, which would be at the origin of the pharmacological properties of plants (Mangambu *et al.*, 2014). This observed leaf dominance has been obtained in other studies carried out on plants in the treatment of other diseases by certain authors including Kipré *et al.* (2017) and Sulla *et al.* (2018). For the preparation of medicinal recipes, decoction is the most common mode of preparation (72.7%). The local population believes in the method of decoction and finds it adequate to warm the body and disinfect the plant (Bwassiwé *et al.*, 2014). In addition, the decoction makes it possible to collect the most active ingredients and attenuates or cancels the toxic effect of certain recipes. This result is consistent with those of Muya *et al.* (2014). Thus, monospecific recipes predominate, which is to the advantage of patients. It is important to note that associations of poorly matched plants are sometimes dangerous. In Africa, about 30% of fatal accidents are due to the use of mixtures (El-Said *et al.*, 1969). Very often, practitioners add other plants (multi-specific recipes), ingredients or adjuvants to make the recipe more effective and excipients to facilitate the shaping of traditional medicine. All these preparations are almost all administered orally. Oral prescription could be explained by the fact that the disease is linked to parasitic infections localized in deep organs. To reach them, the compound must pass through the digestive tract to facilitate assimilation and action. The absorption of

metabolites takes place in the small intestine, and the liver intervenes for a detoxification of toxic substances.

Conclusion

This study focused on researching plants capable of treating schistosomiasis based on the knowledge of TMPs in the Health District of Adzope. The ethnobotanical survey conducted among this target population revealed a diversity of 33 species of plants divided into 21 families, with a dominance of a few families, namely: Annonaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, and Fabaceae with three species each. The different recipes show a predominance of leaves and bark as the most used plant organs. Decoction is the main mode of preparation which is usually administered orally. These results obtained constitute a valuable database for pharmacological and phytochemical studies with a view to developing a phytomedicine to relieve populations exposed to this neglected tropical disease.

Acknowledgement

Our profound thanks and appreciation goes to the Science, Technology and Innovation Fund (FONSTI) and the International Development Research Center of Canada (IDRC), through the Science Granting Council Initiative (SGCI). These institutions fully funded this study. We also thank the Traditional Medicine Practitioners (TMPs) of the Adzope Health District for agreeing to reveal their endogenous knowledge.

References:

1. Adomou, A. C., Yedomonhan, H., Djossa, B., Legba, S. I., Oumorou, M., & Akoegninou, A. (2012). Etude ethnobotanique des plantes médicinales vendues sur le marché Abomey-Calavi au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2): 745-772.
2. Anyinam, C. (1995). Ecology and ethnomedicine: exploring links between current environmental crisis and indigenous medical practices. *Social Science & Medicine*, 40(3): 321-329.
3. APG IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1–20.
4. Asres, K., Bucar, F., Kartnig, T., Witvrouw, M., Pannecoupe, C., & De Clercq, E. (2001). Antiviral activity against human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) and type 2 (HIV-2) of ethnobotanically selected Ethiopian medicinal plants. *Phytotherapy Research*, 15: 62-69.

5. Assare, R. K., Knopp, S., N'guessan, N. A., Yapi, A., Tian-Bi Y, N. T., Yao, P. K., Coulibaly, J. T., Ouattara, M., Meité, A., Fenwick, A., N'Goran, E. K., & Utzinger, J. (2014). Sustaining control of schistosomiasis mansoni in moderate endemicity areas in western Côte d'Ivoire: a SCORE study protocol. *BMC Public Health*, 14: 1290-1301.
6. Asseh, E. E., Ake-Assi, E., & Koffi, K. J. (2019). Diversité biologique et influence des changements climatiques sur la distribution géographique de quelques espèces d'Acanthaceae en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2): 676-692.
7. Aubry, P. & Gaüzère, B. A. (2020). Maladies tropicales négligées – Actualités *Médecine tropicale*, Centre René Labusquière, Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux, 33076 Bordeaux, France, 2020, 7p.
8. Béné, K., Camara, D., Fofie N, 'G.B.Y., Kanga, Y, Yapi, A. B., Yapo, Y. C., Ambe, S. A., & Zirihi, G. N. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le Département de Transua, District du Zanzan (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(2): 4230-4250.
9. Burkill, H. M. (1985). The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edn. Richmond, UK, Kew Royal Botanical Garden, London, 404p.
10. Bwassiwe, H., Metowogo, K., Aklesso, P., Mouzou, R., Tossou, R., Ahounou, J., Eklou-Gadegbekou, K., Dansou, P., & Aklikokou, K. (2014). Enquête ethnobotanique sur les plantes utilisées dans le traitement traditionnel des contusions musculaires au Togo. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 24: 112-130.
11. Cioli, D., Valle, C., Angelucci, F., & Miele, A. E. (2008). Will new antischistosomal drugs finally emerge? *Trends in Parasitology*, 24: 379-382.
12. Cotton, C. M. (1996). Ethnobotany: Principles and Applications. Chichester, UK: Wiley. NP. *Journal of Medicinal Chemistry*, 40(13): 2108-2118.
13. Dissous, C., Ahier, A., & Long, T. (2009). Un nouvel espoir dans le traitement de la schistosomiase. *Médecine/sciences (Paris)*, 25: 24-26
14. El-Said, F., Sofowora, E. A., Malcolm, S. A., & Hofer, A. (1969). An investigation into the efficacy of *Ocimum gratissimum* as used in Nigeria native medicine. *Planta Medica*. 17: 194–200.
15. Fah, L., Klotoé, J. R., Dougnon, V., Koudokpon, H., Fanou, V. B., Dandjesso, A., & Loko, F. (2013). Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète chez les femmes enceintes à

- Cotonou et Abomey-Calavi (Bénin). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 18(1) : 2647-2658.
16. Gbekley, E. H., Karou, D. S., Gnoula, C., Agbodeka, K., Anani, K., Tchacondo, T., Agbonon, A., Batawila, K., & Simpore, J. (2015). Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la médecine traditionnelle de la région Maritime du Togo. *PanAfricanMedicla Journal*. 20 : 437-452.
 17. Haïdara, M., Dénou, A., Tienou, M. H., Ly, M., Kamaté, B., Djimé, A., & Sanogo, R. (2022). Etude pharmacognosique de trois Combretaceae, utilisées en médecine traditionnelle dans la prise en charge de cancers au Mali. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 51 : 31 – 37
 18. Kipré, G .R., Offoumou M, B. R., Silue, K., Bouabre, G. M., Zirihi, G. N., & Djaman, A. J. (2017). Enquête ethnopharmacologique des plantes antipaludiques dans le département d'Agboville, sud-est de la Cote d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 109 : 10618-10629.
 19. Kouakou, L. (2002). Situation des schistosomoses en Côte d'Ivoire. La lutte contre les schistosomoses en Afrique de l'Ouest. 8p.
 20. Lakouété, D.P.B., Ndolngar, G., Berké, B., Moyen, J. M., KoshKomba, É., Zinga, I., Silla, S., Millogo-Rasolodimby, J., Vincendeau, P., Syssa-Magalé, J.L., Nacoulma-Ouedraogo, O.G., Laganier, R., Badoc, A., & Chèze, C. (2009). Enquête ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du paludisme à Bangui. *Bulletin de la Société de pharmacie de Bordeaux*, 148 : 123-138.
 21. Lebrun, J.P. & Stock, A. L. (1991). Enumération des plantes à fleur d'Afrique tropicale : 1 généralité et Annonaceae à Pandaceae, conservatoire et jardin botanique de Genève, 249p.
 22. Lebrun, J. P. & Stock, A. L. (1992). Enumération des plantes à fleur d'Afrique tropicale : 2 Chrysobalanaceae à Apiaceae, conservatoire et jardin botanique de Genève, 257p.
 23. Lebrun, J. P. & Stock, A. L. (1995). Enumération des plantes à fleur d'Afrique tropicale : 3 monocotylédones Limnocharitaceae à Poaceae., conservatoire et jardin botanique de Genève, 341p.
 24. Mangambu, MJdD., Mushagalusa, K. F., & Kadima, N. J. (2014). Contribution à l'étude phytochimique de quelques plantes médicinales antidiabétiques de la ville de Bukavu et ses environs (Sud-Kivu, R.D.Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 75 : 6211– 6220.
 25. Manouan, N. J.M., N'Guessan, B. B., Kroa, E., & Tiembré, I. (2010). Identification des acteurs de la médecine traditionnelle en Côte d'Ivoire : Cas du District Autonome d'Abidjan. *Ethnopharmacologia*, 46 : 75-80.

26. MSHP (2020). Plan directeur national de lutte contre les maladies tropicales négligées, 141P.
27. Muya, K., Tshoto, K., Cioci, C. C., Aseho, M. M., Kalonji, M., Byanga, K., Kalonda, E., & Simbi, L. (2014). Survol ethnobotanique de quelques plantes utilisées contre la schistosomiase urogénitale à Lubumbashi et environs ». *Phytothérapie* 12 (4): 213-28.
28. OMS (2021). Weekly Epidemiological Record, 2021, [full issue] 29(96): 321-328.
29. Poda, J. N., Traore, A., & Sondo, B. K. (2004). L'endémie bilharzienne au Burkina Faso. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 2004, 97(1) : 47-52.
30. Samdumu, F. B. (2007). Characterization of antimicrobial compounds from *Combretum paniculatum*, a plant with proven anti-HIV replication activity. Doctoral thesis, University of Pretoria, South Africa. 119p.
31. Soumahoro, I. A., d'Almeida, K. M.A., Gnahoue, G., Kra, A. K. M., & Djaman, A. J. (2016). Evaluation of ointment activity based on *Terminalia mantaly* extract. *Journal of Drug Delivery & Therapeutics*. 6(5): 41-45.
32. Sowemimo, A., Venter, Mvd., Baatjies, L., Koekemoer, T., Adesanya, S., & Lin, W. (2012). Cytotoxic compounds from the leaves of *Combretum paniculatum* Vent. *African Journal of Biotechnology*. 11(20) : 4631-4635.
33. Sylla, Y., Silué, D. K., Ouattara, K., & Kone, M.W. (2018). Etude ethnobotanique des plantes utilisées contre le paludisme par les tradithérapeutes et herboristes du District sanitaire d'Abidjan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(3) : 1380-1400.
34. Tchuenté, T. L. A., Noumedem, C. D., Ngassam, P., Kenfack, C. M., Gipwe, N. F., Dankoni, E., Tarini, A., & Zhang, Y. (2013). Mapping of schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis in the regions of Littoral, North-West, South and South-West Cameroon and recommendations for treatment. *BMC Infectious Diseases*, 13 : 602-614.
35. Yapi, G., Traore, F. D., Coulibaly, D., & Tia, E. (2014). Etude contributive à la connaissance des populations de simulies dans la commune de Bouaflé, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(6) : 2540-2551.
36. Zoni, A. C., Catala, L., & Ault, S. K. (2016). Schistosomiasis Prevalence and Intensity of Infection in Latin America and the Caribbean Countries, 1942-2014: A Systematic Review in the Context

of a Regional Elimination Goal. *PLOS Neglected Tropical Diseases*,
10(3) : 1-22.

Caractérisation Zootechnique des Populations Sauvages de *Heterobranchus longifilis* des Bassins versants de Cavally et de Bandama (Côte d'Ivoire)

Gnagra Marie-Thérèse Wognin, PhD

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Morgane Paul Magouana Anvo, PhD

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de
Recherche sur la Pêche et l'Aquaculture Continentales, Bouaké, Côte d'Ivoire

Kpahé Herbert Michael Kanh, PhD

Université Gbon Péléforo Coulibaly, UFR Sciences Biologiques,
Korhogo, Côte d'Ivoire

Assemien Olga Diarrassouba, MSc

N'Gouan Cyrille Kouassi, PhD

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de
Recherche sur la Pêche et l'Aquaculture Continentales, Bouaké, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p174](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p174)

Submitted: 14 November 2022

Accepted: 01 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Wognin G.M., Anvo M.P.M., Kanh K.H.M., Diarrassouba A.O. & Kouassi N.C.(2023). *Caractérisation Zootechnique des Populations Sauvages de Heterobranchus longifilis des Bassins versants de Cavally et de Bandama (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 174. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p174>

Résumé

Les performances zootechniques des souches de poissons autochtones sont des facteurs prépondérants pour leur valorisation dans les systèmes d'élevage locaux. La présente étude a évalué les performances zootechniques des populations sauvages de *Heterobranchus longifilis* des fleuves Bandama et Cavally de la Côte d'Ivoire. L'approche méthodologique a consisté à évaluer les performances zootechniques de *H. Longifilis* des deux bassins versants aux différents stades de développement. Les poids moyens initiaux des larves de *H. Longifilis*, obtenues par reproduction artificielle sont de $0,004 \pm 0,001$ et $0,005 \pm 0,001$ g respectivement pour les bassins versant du Cavally et du Bandama. L'élevage larvaire (30 jours), le pré-grossissement (40 jours)

et le grossissement (124 jours) ont été réalisés respectivement dans des aquariums de 400 L, des bassins de 15 000 L et des étangs de 175 m² avec les densités de 6 larves / L, 1 alevins / L et 8 poissons / m². Des modèles prédictifs permettant d'expliquer la croissance dans le temps en rapport au bassin d'origine ont été déterminés. A l'exception du poids moyen initial au stade larvaire, les autres paramètres mesurés sont statistiquement différents chez les individus des deux bassins. Les poids moyens finaux au stade larvaire sont de 0,436 ± 0,19 et 0,164 ± 0,11 g respectivement pour les bassins versant du Cavally et du Bandama. Pendant le pré-grossissement, les poids moyens finaux sont 2,53 ± 0,91 g pour la souche Cavally et 2,06 ± 0,65 g pour la souche Bandama. Les poids moyens finaux et les gains moyens quotidiens sont égales à 221,25 ± 80,17 et 141,75 ± 41,4 g ; et 2,00 ± 0,23 et 1,25 ± 0,11 g respectivement chez les poissons des bassins versant du Cavally et du Bandama. Les modèles prédictifs ont également révélé de meilleures potentielles de croissances chez la souche Cavally (4500 g) comparées à celle de Bandama (2530 g) en 360 jours d'élevage. Les résultats de cette étude ont montré que la souche de *H. longifilis* du fleuve Cavally présente les performances zootechniques meilleures comparativement à la souche Bandama.

Mots-clés: *Heterobranchus longifilis*, performances de croissance, prédiction, Bandama, Cavally, Côte d'Ivoire

Zootechnical Characterization of Wild Populations of *Heterobranchus longifilis* on the Cavally and Bandama Rivers (Côte d'Ivoire)

Gnagra Marie-Thérèse Wognin, PhD

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Morgane Paul Magouana Anvo, PhD

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de
Recherche sur la Pêche et l'Aquaculture Continentales, Bouaké, Côte d'Ivoire

Kpahé Herbert Michael Kanh, PhD

Université Gbon Péléforo Coulibaly, UFR Sciences Biologiques,
Korhogo, Côte d'Ivoire

Assemien Olga Diarrassouba, MSc

N'Gouan Cyrille Kouassi, PhD

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de
Recherche sur la Pêche et l'Aquaculture Continentales, Bouaké, Côte d'Ivoire

Abstract

The zootechnical performance of indigenous fish strains is an important factor for their valorization in local farming systems. The present study evaluated the zootechnical performance of wild populations of *Heterobranchus longifilis* from the Bandama and Cavally rivers of Côte d'Ivoire. The methodological approach consisted in evaluating the zootechnical performances of *H. longifilis* in the two watersheds at different stages of development. The average initial weights of *H. longifilis* larvae obtained by artificial reproduction were 0.004 ± 0.001 and 0.005 ± 0.001 g respectively for the Cavally and Bandama watersheds. Larval rearing (30 days), Nursery (40 days) and grow-out (124 days) were carried out respectively in 400 L aquaria, 15,000 L ponds and 175 m² ponds with densities of 6 larva / L, 1 fry / L and 8 fish / m². Predictive models to explain growth over time in relation to the basin of origin were determined. With the exception of the average initial weight at the larval stage, the other parameters measured are statistically different in individuals from the two basins. The mean final weights at the larval stage are 0.436 ± 0.19 and 0.164 ± 0.11 g respectively for the Cavally and Bandama watersheds. During pre-growth, the final mean weights are 2.53 ± 0.91 g for the Cavally strain and 2.06 ± 0.65 g for the Bandama strain. Mean final weights and mean daily gains are equal to 221.25 ± 80.17 and 141.75 ± 41.4 g; and 2.00 ± 0.23 and 1.25 ± 0.11 g respectively in the Cavally and Bandama watershed fish. The predictive models also revealed

better growth potentials in the Cavally strain (4500 g) compared to the Bandama strain (2530 g) in 360 days of rearing. The results of this study showed that the Cavally River strain of *H. longifilis* had better zootechnical performance compared to the Bandama strain.

Keywords: *Heterobranchus longifilis*, growth performance, prediction, Bandama, Cavally, Côte d'Ivoire

Introduction

En Côte d'Ivoire, le poisson est la première source de protéines animales du consommateur. Eu égard à son prix relativement bas par rapport à celui de la viande, le poisson est accessible aux ménages les plus modestes (FAO, 2022). Cependant, une proportion importante du poisson consommé en Côte d'Ivoire est importée. En effet, les besoins en ressource halieutiques à l'échelle nationale sont estimés à 650 000 tonnes par an alors que la production nationale de poissons est d'environ 100 000 tonnes avec une très faible contribution de l'aquaculture (4500 tonnes) (MIRAH, 2022). Sur le plan mondial la production de la pêche a été relativement stable depuis 1986 alors que celle de l'aquaculture est en plein essor. En effet, la production de pêche est passé de 86,9 à 96,4 millions de tonnes de 1986 à 2018 pendant que la production de l'aquaculture est passée de 14,9 à 82,1 millions de tonnes (FAO, 2020). Dans ce contexte la pisciculture reste la seule solution face à la demande toujours plus forte de poisson liée à l'accroissement de la population. En Côte d'Ivoire, la pisciculture repose essentiellement sur la production du tilapia *Oreochromis niloticus*. Par ailleurs, plusieurs autres espèces de poissons font l'objet d'un élevage extensif, semi-intensif et intensif. Ce sont les cas de *Chrysichthys nigrodigitatus*, de *Heterotis niloticus* et des espèces de silures : *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*. La robustesse, la facilité de reproduction, la croissance rapide et la chair de plus en plus prisée par les populations locales bien que faisant l'objet de résistance culturelle, ont fait de *Heterobranchus longifilis*, un excellent candidat pour la pisciculture (Kouassi, 2007).

Malgré ces atouts, la pisciculture ivoirienne se heurte à plusieurs contraintes dont le manque d'alevins à croissance rapide. En outre, la Côte d'Ivoire ayant un *réseau hydrographique* dense, les performances zootechniques de *H. longifilis* pourraient varier d'une population à une autre relativement aux origines géographiques. En effet, contrairement au tilapia *Oreochromis niloticus*, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de programmes d'amélioration génétique basés sur les populations autochtones de *H. longifilis* de la Côte d'Ivoire. Pourtant, l'amélioration des productions commence d'abord par une meilleure connaissance de ressources génétiques et la zootechnie de celles-ci (Lazard, 2009). La présente étude vise donc à évaluer

les performances zootechniques des populations sauvages de l'espèce *H. longifilis* des bassins versants du Bandama et du Cavally en vue de sa valorisation dans les systèmes piscicoles d'eaux douces de la Côte d'Ivoire.

Méthodes

Origine des géniteurs et des larves de H. longifilis

Les géniteurs ont été obtenus à l'aide de filets maillants, d'éperviers et nasses dans les fleuves Cavally et Bandama. Les échantillonnages ont été effectués sur le fleuve Bandama dans la région de Korhogo (9°27'28'' N et 5°37'46'' W) et sur le fleuve Cavally à Danané (7° 16' 0'' N, 8° 10' 0'' w). Les larves ont été obtenues par reproduction artificielle des géniteurs collectés dans les deux bassins versants. La reproduction artificielle a été réalisée à la station de recherche sur la pêche et l'aquaculture continentales de Bouaké selon la méthodologie décrite par Gilles *et al.* (2001). La reproduction a consisté d'abord à la sélection des géniteurs, l'induction, le prélèvement des ovules et de la latence et la fécondation. Pour chaque souche, deux femelles et 4 males de poids moyen respectifs de $1,59 \pm 0,33$ et $1,9 \pm 0,45$ Kg ont été sélectionnés pour la reproduction. L'inducteur de ponte l'HCG (gonadotrophine chorionique humaine) a été injecté à la dose de 1,5 UI/g à la femelle.



Figure 1. Répartition géographique des sites d'échantillonnage (Wognin, 2021)

L'extraction des ovules a été faite par une légère pression abdominale (stripping), 12 heures après l'injection d'hormone sous une température de 28°C. Les testicules ont été prélevés par dissection. Pour réaliser la fécondation, la laitance a été répandue sur les ovules et mélangée délicatement. Le mélange homogène est rincé et les œufs sont disposés en bandes longitudinales sur les claies en une seule couche. Après 24 heures d'incubation, les premières éclosions ont eu lieu et se sont poursuivies pendant 36 heures.

Dispositif expérimental

Trois expériences ont été conduites à la station de Recherche sur la Pêche et l'Aquaculture Continental (SRPAC) du CNRA de Bouaké. Il s'est agi d'un essai sur l'élevage larvaire, un sur le pré-grossissement et le troisième s'est focalisé sur le grossissement. Les dispositifs expérimentaux sont constitués de quatre aquariums de 400 litres pour l'élevage larvaire, de quatre bacs de 15 000 litres pour le pré-grossissement et quatre étangs de 175 000 litres pour le grossissement.

Conduite des essais

Essai sur l'élevage larvaire

Après la résorption vitelline, 2 400 larves de *H. longifilis* de chaque souche (Bandama et Cavally) ont été mises en charge dans des aquariums de 400 litres avec réplica. La densité de mise en charge a été de 6 larves/ litre (Vandecan *et al.*, 2011). Les larves ont été nourries à satiété avec un aliment industriel titré à 55 %. L'élevage larvaire s'est fait sur une période de 30 jours.

Essai sur le pré-grossissement

Pour chaque souche, les alevins obtenus à la fin de l'élevage larvaire ont été mis en charge dans des bacs de 15 m³ avec réplica. La densité de mise en charge était de 1 alevin/l (Nyinawamwiza *et al.*, 2007). Les alevins ont été nourris à 6,5 % de leur biomasse tel que recommandé par Hogendoorn (1983), avec un aliment commercial titré à 50 %. Cette phase d'élevage a duré 40 jours.

Essai sur le grossissement

Les poissons issus du pré-grossissement de chaque souche ont été transférés dans des étangs de 175 m² avec réplica. Ils ont été mis en charge à la densité de 8 poissons / m² (Toko *et al.*, 2007). Le rationnement a été fait selon Hogendoorn (1983) avec un aliment industriel titré à 38 %. Cette expérience a duré 124 jours.

En vue de suivre l'évolution des paramètres zootechniques et de réajuster les rations, les pêches de contrôle se faisaient à intervalles de 10, 15 et 30 jours respectivement pour l'élevage larvaire, le pré-grossissement et le grossissement.

Mesure des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous ont été mesurés dans les aquariums, les bacs et les étangs deux fois par jour, le matin à 8 heures et l'après-midi à 15 heures. Ces mesures ont été faites au moyen d'un multiparamètre de marque hanna , modèle 9828.

Expression des résultats

Les paramètres zootechniques suivants ont été déterminés :

- ✓ Taux de Survie (TS, %) = $100 \times \text{Nombre final de poissons} / \text{Nombre initial de poissons}$ (Rukera *et al.*, 2005) ;
- ✓ Gain de Poids (GP, g) = Poids final (g) – Poids initial (g) (Rukera *et al.*, 2005) ;
- ✓ Gain Moyen Quotidien (GPQ, g) = $(\text{Poids final (g)} - \text{Poids initial (g)}) / \text{Nombre de jours de suivi}$
- ✓ Taux de Croissance Spécifique Pondéral (TCS, %/j) = $(\text{Ln (Poids final (g))} - \text{Ln (Poids initial (g))}) / \text{Nombre de jours de suivi} \times 100$ (Coulibaly *et al.*, 2007) ;
- ✓ Taux de Croissance Spécifique Linéaire (TCSL, %/j) = $(\text{Ln (Longueur total final (Cm))} - \text{Ln (Longueur total initial (Cm))}) / \text{Nombre de jours de suivi} \times 100$ (Coulibaly *et al.*, 2007) ;
- ✓ Indice de Conversion Alimentaire (ICA) = $\text{Quantité d'aliment distribué (g)} / \text{Gain de poids (g)}$ (Rukera *et al.*, 2005)
- ✓ Coefficient de condition (K)= $100 \times \text{Poids final (g)} / (\text{longueur standard (cm)})^3$; (Rukera *et al.*, 2005)

Analyses statistiques

Le test de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,05$) a été utilisé pour vérifier la normalité de la distribution des paramètres zootechniques : la masse, la longueur, le gain moyen quotidien (GMQ), le taux de conversion alimentaire (TCA), la longueur totale (LT), le taux de survie, les taux de croissance spécifique (TCS) et le coefficient de condition (K). Ces paramètres ont, ensuite, fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur. Ceci a permis de détecter les différences significatives entre les variables. Le test HSD de Tukey a été effectué pour comparer les moyennes. Le seuil de significativité retenu pour ces analyses est $\alpha = 0,05$. Les paramètres zootechniques ont été analysés à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

Deux modèles prédictifs permettant d'expliquer la croissance des poissons en fonction de la durée dans les conditions expérimentales établies ont été générés à l'aide du logiciel R-3.6.2. La prédiction des poids des poissons est calculée selon un modèle cubique de la forme : $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ où a, b et c représentent les coefficients testés et d la constante. Ainsi, pour la souche Cavally le modèle 1 de prédiction est la fonction $f_1(x) = a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1$ et celui de la souche Bandama (modèle 2) $f_2(x) = a_2x^3 + b_2x^2 + c_2x + d_2$.

Résultats

Paramètres physicochimiques

Dans les différentes structures d'élevage, le pH n'a pas significativement fluctué entre le matin ($7,43 \pm 0,36$) et le soir ($7,18 \pm 0,26$). Pour tous les autres paramètres, les valeurs enregistrées en fin d'après-midi ont été significativement plus élevées comparativement à celles du matin. Ainsi, l'oxygène dissous, la température et la conductivité ont oscillé respectivement de $4,13 \pm 1,08$ à $6,36 \pm 0,09$ mg/l ; de $23,24 \pm 0,014$ à $26,85 \pm 0,44$ °C ; et de $30,17 \pm 1,94$ à $38,27 \pm 4,47$ μS/cm.

Evolution des paramètres zootechniques des deux souches

Phase larvaire

Le tableau 1 présente les paramètres zootechniques en fonction des souches et du stade de développement. Pour ce stade, il y a une différence significative entre les taux de survie des larves des deux souches. Le poids moyen initial des larves de *H. longifilis* de la souche Bandama ($0,005 \pm 0,001$ g) est significativement supérieur à celui de la souche Cavally ($0,004 \pm 0,001$ g). Cependant, le poids moyen final observé à la fin des 30 jours d'élevage larvaire, est plus faible chez les larves de la souche Bandama ($0,164 \pm 0,11$ g) comparativement à celui de la souche Cavally ($0,436 \pm 0,19$ g). Par ailleurs, le gain moyen quotidien, le taux de croissance spécifique pondérale, le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire sont significativement plus élevés chez les larves de la souche Cavally. A l'instar du poids, la longueur totale moyenne initiale des larves de *H. longifilis* de la souche Bandama ($0,84 \pm 0,14$ cm) est significativement supérieur à celle de la souche Cavally ($0,50 \pm 0,067$ cm). La longueur totale moyenne finale enregistrée à la fin des 30 jours de l'élevage larvaire, est plus faible chez les larves de la souche Bandama ($2,30 \pm 0,39$ cm) comparativement à celle de la souche Cavally ($3,63 \pm 0,57$ cm). Cependant, le taux de survie est plus élevé chez la souche Bandama ($75 \pm 7,07\%$) que chez la souche Cavally ($63,33 \pm 2,01\%$).

Tableau 1. Comparaison des paramètres zootechniques chez les souches Cavally et Bandama de *Heterobranchus longifilis*

Paramètres zootechniques	Stade larvaire		Stade pré-grossissement		Stade grossissement	
	Cavally	Bandama	Cavally	Bandama	Cavally	Bandama
Poids moyen initial (g)	0,004± 0,001 ^a	0,005 ± 0,001 ^b	0,436 ± 0,19 ^a	0,164± 0,11 ^b	2,53 ± 0,91 ^a	2,06 ± 0,65 ^b
Poids moyen final (g)	0,436 ± 0,19 ^a	0,164 ± 0,11 ^b	2,53 ± 0,91 ^a	2,06 ± ±0,65 ^b	221,25± 80,17 ^a	141,75 ± 41,4 ^b
Longueur moyenne initiale (cm)	0,50 ± 0,067 ^a	0,84 ± 0,14 ^b	3,63 ± 0,57 ^a	2,30 ± 0,40 ^b	6,67 ± 0,87 ^a	6,31 ± 0,71 ^b
Longueur moyenne finale (cm)	3,63 ± 0,57 ^a	2,30 ± 0,39 ^b	6,67 ± 0,87 ^a	6,31 ± 0,71 ^b	30,84 ± 3,22 ^a	26,72 ± 3,18 ^b
GMQ (g/j)	0,014± 0,005 ^a	0,005 ± 0,004 ^b	0,12 ± 0,08 ^a	0,09 ± 0,04 ^a	2,00 ± 0,23 ^a	1,25 ± 0,11 ^b
TCSP (%)	19,32 ± 4,47 ^a	11,20 ± 1,40 ^b	9,51 ± 2,29 ^a	10,07 ± 498 ^a	4,39 ± 0,53 ^a	4,09 ± 0,50 ^b
GP (g)	0,46 ± 0,27 ^a	0,14± 0,05 ^b	2,29 ± 0,48 ^a	1,91 ± 0,67 ^b	217,35 ±76,53 ^a	149,75 ±32,32 ^b
ICA	0,707 ± 0,21 ^a	1,41 ± 0,44 ^b	0,53 ± 0,24 ^a	0,49 ± 0,14 ^a	1,51 ± 0,27 ^a	1,65 ± 1,09 ^a
TS (%)	63,33 ± 2,01 ^a	75 ± 7,07 ^b	94,11 ± 001 ^a	87,25 ± 4,15 ^a	89,06± 11,04 ^a	84,09 ± 001 ^a
K					0,725 ± 0,08	0,688± 0,093

GMQ (g/j) = Gain Moyen Quotidien ; TCSP (%) = Taux de croissance spécifique pondérale ; ICA = Indice de conversion alimentaire ; GP (g) : Gain de Poids ; TS (%) : Taux de Survie ; K (%) = Coefficient de condition ; En considérant chaque phase d'évolution, Sur la même ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

Phase de Pré-grossissement

A la fin des 40 jours de pré-grossissement, les résultats montrent que la souche Cavally présente la meilleure croissance. Ainsi les poids moyens finaux sont 2,53 ± 0,91 et 2,06 ± 0,65 g respectivement pour les souches Cavally et Bandama. Par ailleurs, les longueurs totales enregistrées sont plus faibles chez la souche Cavally (6,67 ± 0,87 Cm) relativement à celles observées au niveau de la souche Bandama (6,31 ± 0,71 cm). Par ailleurs, le gain moyen quotidien est significativement plus élevés chez les alevins de la souche Cavally (2,29 ± 0,48 g) par rapport à ceux de la souche Cavally (1,91 ± 0,67 g). Pendant le pré-grossissement, il n'y pas eu de différences significatives entre les valeurs des taux de croissance spécifique pondérale, du gain moyen quotidien, de l'indice de conversion alimentaire et du taux de survie observés au niveau des alevins des deux souches.

Phase de grossissement

A la fin de la phase de grossissement, les résultats dans le tableau IV montrent que la souche Cavally présente la meilleure croissance avec un poids moyen final de $221,25 \pm 80$ g. La souche Bandama affiche un poids moyen final de $141,75 \pm 41,4$ g. Par ailleurs, la longueur totale moyenne observée est plus faible chez la souche Bandama ($26,72 \pm 3,18$ cm) comparativement à celles observées au niveau de la souche Cavally ($30,84 \pm 3,22$ cm). Le taux de croissance spécifique pondérale, le gain moyen quotidien et le gain de poids sont significativement plus élevés chez les poissons de la souche Cavally. Pour ce stade de développement, il n'y a pas eu de différences significatives entre les valeurs de l'indice de conversion alimentaire et du taux de survie.

Prédiction du poids potentiel des poissons en fonction des souches

Deux fonctions prédictives expliquant l'évolution du poids en fonction du temps ont été retenues. La première fonction concerne l'évolution du poids des poissons de la souche Cavally et la seconde présente celle de la souche Bandama. La courbe de croissance des poissons en fonction du nombre de jours a été établie à partir des poids des poissons. Les tableaux 2 et 3 présentent respectivement les différents coefficients des modèles 1 et 2. Ainsi, le modèle 1 relatif à la souche Cavally donne la fonction suivante $f_1(x) = 1,015 \cdot 10^{-01}x^3 - 8,160 \cdot 10^{-03}x^2 + 1,186 \cdot 10^{-04}x + 8,913 \cdot 10^{-01}$. Par ailleurs, l'examen de la courbe de ce modèle (Figure 2), montre une augmentation progressive du poids moyen de *H. longifilis* de la souche de Cavally jusqu'à atteindre 4500 g en 360 jours d'élevage. En ce qui concerne, la souche Bandama, le modèle 2 se calcule selon la fonction $f_2(x) = 9,282 \cdot 10^{-02}x^3 - 4,987 \cdot 10^{-03}x^2 + 7,047 \cdot 10^{-05}x + 8,065 \cdot 10^{-02}$. L'analyse de la courbe de ce modèle 2 (Figure 3), montre une augmentation progressive du poids moyen des poissons de Bandama jusqu'à atteindre 2530 g en 360 jours d'élevage.

Tableau 2 . Modèle 1: Évolution du poids des poissons de la souche Cavally

	coefficient	Erreur standard	Valeur T	Valeur P	Significativité
d_1	$8,913 \cdot 10^{-01}$	$3,392 \cdot 10^{+00}$	0,263	0,7928	
a_1	$1,015 \cdot 10^{-01}$	$1,976 \cdot 10^{-01}$	0,514	0,6076	
b_1	$-8,160 \cdot 10^{-03}$	$3,099 \cdot 10^{-03}$	2,633	0,0086	***
c_1	$1,186 \cdot 10^{-04}$	$1,352 \cdot 10^{-05}$	8,778	$2 \cdot 10^{-16}$	***

a_1, b_1 et c_1 représentent les coefficients testés et d_1 la constante dans le modèle 1: $f_1(x) = 1,015 \cdot 10^{-01}x^3 - 8,160 \cdot 10^{-03}x^2 + 1,186 \cdot 10^{-04}x + 8,913 \cdot 10^{-01}$.

Tableau 3. Model 2 : Évolution du poids des poissons de la souche Bandama

	Coefficient	Erreur standard	Valeur T	Valeur P	Significativité
constante	$8,065 \cdot 10^{-02}$	$1,844 \cdot 10^{+00}$	-0,044	0,9651	
a_2	$9,282 \cdot 10^{-02}$	$9,830 \cdot 10^{-02}$	0,944	0,3453	
b_2	$-4,987 \cdot 10^{-03}$	$1,539 \cdot 10^{-03}$	-3,240	0,0012	***
c_2	$7,047 \cdot 10^{-05}$	$6,789 \cdot 10^{-06}$	10,379	$2 \cdot 10^{-16}$	***

a_2 , b_2 et c_2 représentent les coefficients testés et d_2 la constante dans le modèle 2: $f_2(x) = 9,282 \cdot 10^{-02} x^3 - 4,987 \cdot 10^{-03} x^2 + 7,047 \cdot 10^{-05} x + 8,065 \cdot 10^{-02}$.

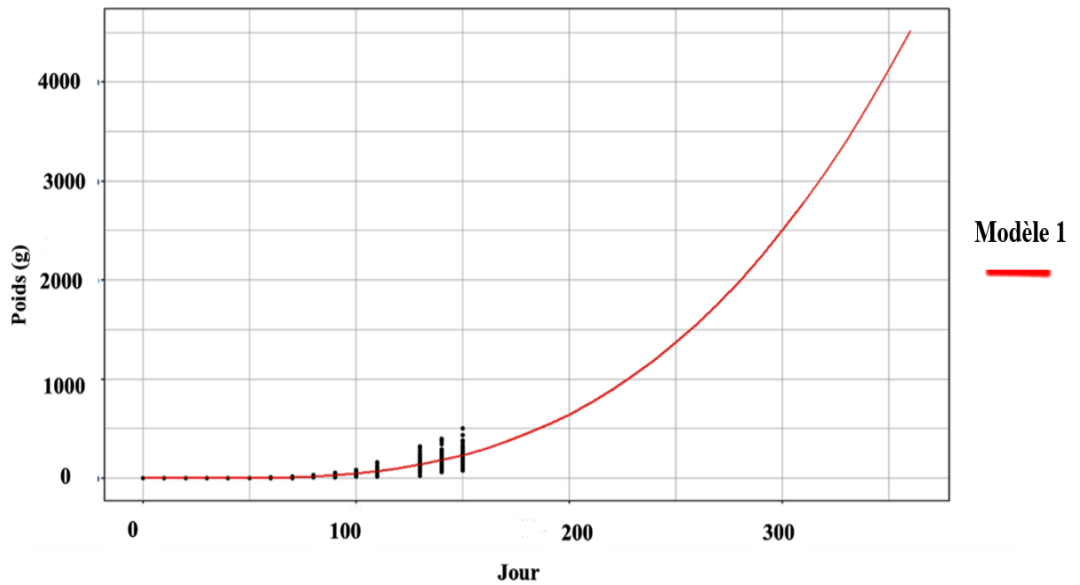


Figure 2. Modélisation et prédiction de la moyenne du poids des alevins de la souche Cavally

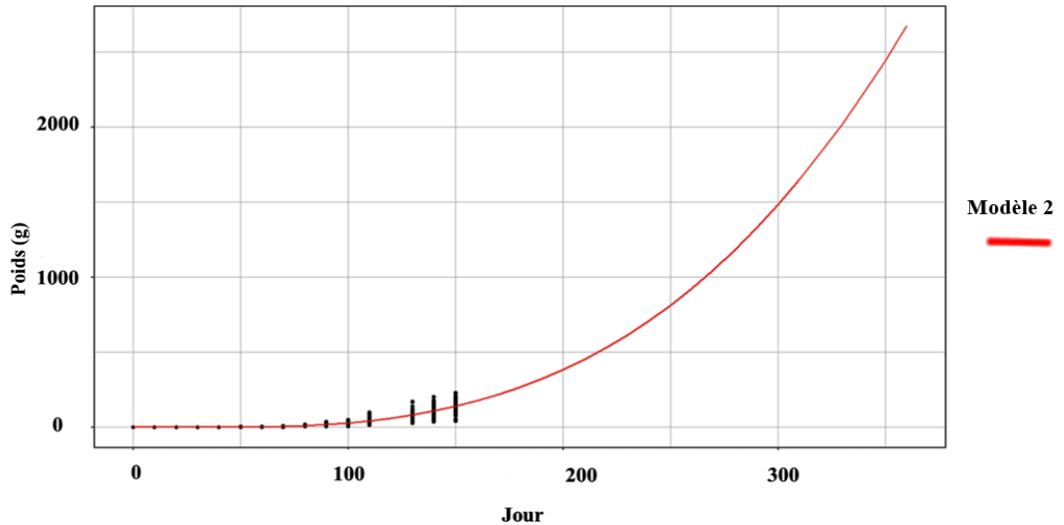


Figure 3. Modélisation et prédiction de la moyenne du poids des alevins de la souche Bandama

Discussion

Les valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau d'élevage, enregistrées au cours de cette étude ont varié de 25 à 33°C pour la température et de 6,5 à 8,5 pour le pH. Ces paramètres sont restés conformes aux normes recommandées pour la survie et la croissance de *H. longifilis* en élevage (Gilles *et al.*, 2001). Les valeurs d'oxygène dissous enregistrées (4,23 et 6,36 mg/l) sont en moyenne, dans la gamme supérieure à 3 mg/l rapportée par Viveen *et al.*, (1985) et favorable pour la croissance de l'espèce.

Les résultats de cette étude ont révélé des différences de taux de survie entre la souche Cavally et celle de Bandama. Au stade alevin, les taux de survie 63,33 % et 75 % obtenus respectivement chez les souches de Cavally et Bandama ont été faibles comparés aux résultats de 80 à 96 % rapportés respectivement par Haylor (1992) et Nguenga (2000) en conditions contrôlées chez les Clariidae. La majorité des mortalités survient surtout en début de la phase d'alevinage. Chez *Heterobranchus longifilis*, la phase cruciale de l'alevinage se situe aux deux premières semaines durant lesquelles une alimentation bien adaptée et en quantité suffisante est indispensable (Legendre et Teugels, 1991). Les taux de survie enregistrés dans cette étude sont inférieurs à ceux obtenus par Akinwole et Faturoti (2007) qui varient de 75 à 93 %. Au stade juvénile, dans cette étude, les taux de survie de 94,11 et 87,25 % obtenus respectivement chez les individus issus des fleuves de Cavally et Bandama, sont supérieurs aux taux de 32,2 à 38,7 % obtenus chez *H. longifilis* par De Graaf *et al.* (1995) en étangs protégés d'une clôture de tôles en aluminium et aux taux de 24 à 39 % enregistrés par Rukera *et al.* (2005) en étangs simulés et en fleuves.

Dans cette étude, c'est à la fin de l'expérimentation que les plus fortes diminutions des effectifs ont été observées et cela est en rapport avec le cannibalisme puisque les poissons retrouvés mort présentaient des traces d'agressions. Pour certains auteurs, ce cannibalisme serait une forme spéciale d'autorégulation au sein des populations qui le pratiquent (Wakano *et al.*, 2002).

Cette différence est probablement due aux conditions d'élevage observées dans le cadre des travaux et à la disponibilité d'aliment qui minimise le risque du cannibalisme. Cependant, les taux de survie obtenus dans cette étude sont proches des taux de 80 à 96 % de taux de survie observés chez les Clariidae (Haylor, 1992) en conditions contrôlées.

Concernant les performances de croissance des poissons, les gains moyens quotidiens et le taux de croissance spécifique obtenus à la fin de cette étude sont meilleurs chez la souche Cavally (2,00 g et 4,39 %) comparativement à la souche Bandama (1,25 g et 4,09 %) respectivement. L'Indice de conversion alimentaire (ICA) qui est un critère utilisé en zootechnique pour mesurer la capacité de chaque individu à convertir l'aliment ingéré en gain de production d'un animal montre que la souche Cavally ($1,51 \pm 0,27$) valorise mieux les aliments que celle de Bandama ($1,65 \pm 0,44$). Les résultats d'indice de conversion alimentaire 0,49 et 0,53 obtenus chez *H. longifilis* au stade juvénile sont similaires à ceux enregistrés par (Rukera *et al.*, 2005). Ces auteurs ont obtenu au bout de 38 jours des taux d'ICA variant entre 0,45 et 0,69 pour des juvéniles élevées en étangs. Dans l'ensemble, les résultats de cette expérience révèlent un avantage comparatif de la souche Cavally pour la majorité des paramètres.

Les deux fonctions predictives ont permis de mettre en évidence une croissance exponentielle des individus de *Heterobranchus longifilis* à partir de 200 jours. Par ailleurs, cette étude révèle que la période de croissance optimale de ces deux souches se situe après 150 jours. Cette période serait donc la phase idéale pour l'exploitation dans un but commercial des poissons. Cependant, il ne s'agit que de modèles prédictifs s'appuyant sur les données de la phase larvaire, la phase de pré-grossissement et la phase de grossissement ainsi que quelques observations sur le terrain.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que la souche de *H. longifilis* issue du fleuve Cavally présente les performances zootechniques meilleures comparativement à la souche Bandama. Cette situation se traduit par une croissance journalière et un taux de survie plus élevés, et un indice de conversion alimentaire plus faible chez la souche Cavally comparativement à la souche Bandama. La période de croissance optimale de ces deux souches se situent après 150 jours d'où la nécessité de pousser les études des paramètres

zootechniques de *Heterobranchus longifilis* au-delà de ces limites. La souche Cavally de *H. longifilis* serait plus rentable en pisciculture. Par ailleurs, des études ultérieures seraient nécessaires pour évaluer les performances de croissance des hybrides issus du croisement de ces deux souches.

References:

1. Akinwale, AO & Faturoti, EO, (2007). Biological performance of African Catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in recirculating system in Ibadan, *Aquacultural engineering*, 36: 18 - 23.
2. Coulibaly, A., Koné, T., Ouattara N., N Douba, V.I., Snoeks, J. & Kouamélan, E. P., (2007). Évaluation de l'effet d'un système de refuge sur la survie et la croissance des alevins de *Heterobranchus longifilis* élevés en cage flottante. *Belgian journal of zoology*, 137 (2), 157-164.
3. De Graaf, G., Galemoni, FJ, & Banzoussi B., (1995). Artificial reproduction and fingerling production of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), in protected and unprotected ponds *Aquaculture Research*, (26), 233–242.
4. FAO, (2022). Aperçu du secteur de l'aquaculture (Côte d'Ivoire). <https://www.fao.org/fishery/en/countrysector/ci/fr>; Consulté le 22 juin 2022.
5. FAO, (2020). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture : La durabilité en action. Rome 247 p.
6. Gilles, S, Dugué R, & Slembrouck, J, (2001). Manuel de production d'alevins du silure africain *Heterobranchus longifili*. *Le Technicien d'Agriculture tropicale*, IRD, Paris, France, 128 p
7. Haylor, G.S., (1992). Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): an investigation of tank design and water flow rate appropriate for *Clarias gariepinus* in hatcheries. *Aquaculture Research*, (23) 649–659.
8. Hogendoorn, H. (1983). Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): III. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, (35), 1–17.
9. Kouassi, E.K., (2007). Contribution à une Amélioration de la Production Aquacole en Côte d'Ivoire par Hybridation de deux espèces de silure Africain: *Heterobranchus longifilis* et *Heterobranchus bidorsalis*. Thèse de Doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.104p
10. Lazard, J., (2009). La pisciculture des tilapias. *Cahiers Agricultures*, 18(2-3), 174–182
11. Legendre, M. & Teugels, G.G., (1991). Développement et tolérance à la température des œufs de *Heterobranchus longifilis*, et comparaison

- des développements larvaires de *H. longifilis* et de *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources* (4), 227–240.
12. MIRAH. Ministère des Ressources Animale et Halieutique, (2022). Récentes évolutions dans le secteur de l'aquaculture en Côte d'Ivoire. Atelier de validation de la méthodologie du système intégré de collecte et de traitement de données statistiques de production aquacole, Abidjan, Côte d'Ivoire, 06 avril 2022.
 13. Nguenga, D., (2000). Partial gonadectomy in the catfish *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, clariidae): regeneration time, quality and quantity of postsurgical sperm production. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, (52) 167–172.
 14. Nyina-wamwiza, L., Wathelet, B., & Kestemont, P., (2007). Potential of local agricultural by-products for the rearing of African catfish, *Clarias gariepinus* in Rwanda: Effects on growth, feed utilization and body composition. *Aquaculture Research*, (38), 206–214.
 15. Rukera, T.S., Micha, J. & Ducarme, C., (2005). Essais d'adaptation de production massive de juvéniles de *clarias gariepinus* en conditions rurales. *Tropicultura*, 23 (4), 231-244.
 16. Toko, II, Fiogbe, E, Koukpode, P & Kestemont, P., (2007). Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): effect of stocking density on growth, production and body composition. *Aquaculture*, (262), 65-72.
 17. Vandecan, M., Diallo, A. & Melard C., (2011). Effect of feeding regimes on growth and survival of *Clarias gariepinus* larvae: replacement of *Artemia* by a commercial feed. *Aquaculture Research*, (42) 733–736.
 18. Viveen, W.J.A.R., C.J.J. Richter, P.G.W.J. Van Oordt, J.A.L. Janssen & Huisman, E.A., (1985). Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, pp:128.
 19. Wakano, J., Kohmatsu, Y. & Yamamura, N., (2002). Evolutionary dynamics of frequency dependent growth strategy in cannibalistic amphibians. *Evolutionary ecology research* (4), 719–736.
 20. Wognin, G.M.T, (2002). Caractérisation phénotypique, génotypique et zootechnique des silures, *Heterobranchus longifilis* (valenciennes, 1840), de la Côte d'ivoire. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Bogny d'Abidjan. 141 p.

Effet des Substrats à Base de Déchets Sylvicoles et Agricoles Sur la Croissance des Semis de *Terminalia ivorensis* A. Chev en Pépinière Forestière en Côte d'Ivoire

Kouame Adou Pangny Raymond

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Groga Noël

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Laboratoire d'Amélioration et de Valorisation Agricole,
UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Vouhy Bi Noel

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p189](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p189)

Submitted: 18 October 2022

Accepted: 22 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Raymond K.A., Noël G. & Noel V. B. (2023). *Effet des Substrats à Base de Déchets Sylvicoles et Agricoles Sur la Croissance des Semis de Terminalia ivorensis* A. Chev en Pépinière Forestière en Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 189.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p189>

Résumé

Cet article présente les résultats d'un essai conduit au niveau de la ferme expérimentale de l'Université Jean Lorougnon guédé de Daloa visant la production et l'évaluation des caractéristiques agronomiques du compost à base de déchets sylvicoles (broyat de branche de *pterygota bequaertii*) et agricoles (coque de café, coque de cacao, bouse de vache et fiente poulet) pour la production de plants de *Terminalia ivorensis*. A cet effet, après élaboration du compost, quatre substrats à base de compost et un témoin à base de terre local ont été confectionnés, caractérisés du point de vue physique et chimique et mis à l'essai en pépinière. Les plants étaient suivis à travers les mesures des paramètres de croissance végétale (la hauteur et le diamètre des tiges, le nombre de feuilles, la surface foliaire). Les résultats obtenus montrent que les

déchets sylvicoles et agricoles présentent une bonne aptitude au compostage, son compost peut être facilement produit avec ou sans stimulateur. Le comportement des plants des cinq substrats montre par ailleurs, que des améliorations qualitatives significatives ont été enregistrées chez les plants élevés dans les substrats à base de compost par rapport aux plants du témoin. Les plants élevés dans le compost affichent des gains significatifs de croissance allant de 37,57 à 100 % en hauteur, de 16,8 à 100 % en diamètre. Il est donc possible d'améliorer la qualité des plants de *Terminalia ivorensis* grâce à l'utilisation de compost de déchets sylvicoles et agricoles comme substrat de culture en remplacement de substrat minéral (terre local).

Mots-clés: Compost, substrat, *Terminalia ivorensis*, pépinière, croissance

Effect of Substrates Based on Forestry and Agricultural Waste on the Growth of *Terminalia Ivorensis* A. Chev Seedlings in a Forest Nursery in Ivory Coast

Kouame Adou Pangny Raymond

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Groga Noël

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire
Laboratoire d'Amélioration et de Valorisation Agricole,
UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Vouhy Bi Noel

Laboratoire d'Amélioration de la production agricole,
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Abstract

This article presents the results of a trial conducted at the experimental farm of the Jean Lorougnon Guède University of Daloa aimed at the production and evaluation of the agronomic characteristics of compost made forestry (sawdust) and agricultural waste (coffee shell, cocoa shell, cow dung and chicken droppings) for the production of *Terminalia ivorensis* seedlings. Four composts based growing media and a control made of local soil were made, physically and chemically characterized and used for seedlings production in nursery according to a three block design. Plants were followed through of the plant growth parameters (stem height and diameter, number of leaves, leaf area). The results obtained show that forestry and agricultural

waste has a good ability for composting, its compost can be easily produced with or without stimulator. The behaviour of the plants of the five substrates also shows that significant qualitative improvements were recorded in the plants reared in the compost-based substrates compared to the control plants. Seedlings supplied by compost based growing media showed significant growth gains ranging from 37,57 % to 100 % in height, 16,8 % to 100 % in diameter. It is therefore possible to improve the quality of *Terminalia ivorensis* plants through the use of compost from forestry and agricultural waste as a growing medium in replacement of mineral substrate (local soil).

Keywords: Compost, growing media, *Terminalia ivorensis*, nursery, seedlings growth

1. Introduction

Dans le monde entier, les formations forestières jouent un rôle primordial dans l'équilibre de la nature et du climat (Kabulu *et al.* ; Tankoano, 2017). Elles remplissent de nombreuses fonctions telles que la fourniture d'aliments aux populations, la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité, le contrôle de l'érosion, le stockage de l'eau, etc. (Gbozé *et al.*, 2017). Malgré cette importance, la forêt dans la zone subsaharienne subit une forte pression du fait de l'accroissement démographique, des problèmes fonciers (Kasongo *et al.*, 2013) et surtout d'une agriculture de subsistance extensive à faible rendement pratiquée sur brulis. Ces pertes massives des forêts à l'échelle mondiale sont à l'origine du recul de la biodiversité et de la dégradation de l'ensemble des services écosystémiques des milieux naturels (Ciccarese *et al.* 2012, Hansen *et al.* 2013). Cette situation se traduit par la fragmentation et l'écrémage des forêts naturelles, la rareté et la disparition des essences de valeur telle que le *Terminalia ivorensis* (Framiré), ont dès lors entraîné la réduction de la continuité écologique des grands biomes des forêts semi-décidues de la zone forestière. La surface forestière ivoirienne par exemple, qui se chiffrait à 16 millions d'hectares en 1960, est aujourd'hui estimée à environ 2,5 million d'hectare (FAO, 2011). La surexploitation de la forêt en bois d'œuvre et bois d'énergie ainsi que les feux de brousse sont les causes de cette perte (FAO, 2009). En Côte d'Ivoire, parmi les alternatives à la déforestation, on note la préservation, la conservation, la réhabilitation et la restauration. Cela passe par la reconquête de plus de trois millions d'hectare de couvert forestier à l'horizon 2045 (BNETD, 2015).

Dans ce contexte de dégradation des ressources naturelles, la satisfaction des besoins des populations en produits forestiers ligneux, passe par la restauration des forêts dégradées et la mise en place des plantations artificielles (Kokutse, 2002 ; Adjonou, 2007). Pour y parvenir, la création de pépinières forestières modernes s'inscrivant dans un contexte de

développement durable respectueuse de l'environnement s'avère nécessaire. Ainsi, la notion d'une agriculture compétitive pour satisfaire les besoins croissants de la population mondiale et respecter l'environnement, demeure une nécessité, afin de confronter les défis. Les recherches récentes se sont orientées vers l'adaptation de nouvelles techniques et processus. Parmi eux, on peut citer la fertilisation organique qui résulte du compostage. Le compostage permet la décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques (Mustin, 1987 ; Stofella & Kahn, 2001). Cela constitue ainsi un mode de gestion des déchets organiques plus respectueux de l'environnement tout en favorisant des pratiques agricoles écologiques et surtout comme un aspect important de la fertilisation en agriculture durable.

Afin d'optimiser la croissance et le développement des plants en pépinière, le recours à un substrat de croissance optimal demeure opportun pour les forestiers. En effet, les pépinières forestières rencontrent des obstacles d'approvisionnement en terreau forestier de manière permanente. Pour pallier cet état de fait, les sylviculteurs ont recours au substrat minéral dont les propriétés physico-chimiques influencent négativement la croissance des plants. Cependant, l'utilisation du terreau forestier constitue souvent une source latente d'agents pathogènes, tels que les nématodes, les virus, ainsi que les mauvaises herbes.

Pour résoudre ces difficultés, le recours au compostage demeure une alternative efficace capable d'améliorer la fertilité du sol et réduire ainsi la pénibilité et le coût du travail. Le compostage représente une stratégie efficace pour recycler la biomasse sylvicole afin de confectionner des substrats de croissance adéquats pour la production des plants forestiers (M'Sadak *et al.*, 2012). En effet, le compostage permet la décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques (Stofella & Kahn, 2001). En Côte d'Ivoire, dans les zones d'exploitation forestière, les pertes liées aux déchets sylvicoles demeurent importantes. Cela est dû au manque de matériels convenables capables de tirer profit du matériel végétal exploité. En absence de substrat standard, les supports de culture utilisés en pépinières sont composés de terre disponible sur place utilisée seule ou en mélange avec généralement du sable. Ces substrats sont certes économiques, mais plusieurs travaux dont ceux de Fellah (1979) et Letreuch-Belarouci (1981) ont montré qu'ils ne permettaient pas de produire des plants de qualité en raison de leurs propriétés physiques et chimiques peu convenables. Dès lors, l'utilisation du compost s'avère être une alternative solide pour résoudre le problème crucial de la fertilité des sols et optimiser ainsi la production de plants forestiers. L'objectif principal de cette étude est d'optimiser la production de plants de *Terminalia ivorensis* par le développement de substrats de croissance. De façon spécifique, il s'agit de, (1) déterminer les caractéristiques physico-

chimiques des substrats de croissance et (2) d'analyser l'effet de ces substrats sur la vigueur des plants en pépinière de *Terminalia ivorensis*.

2. Matériel et Méthodes

Matériel

Site expérimental

Le site d'expérimentation de l'Université Jean Lorougnon Guédé, dans la ville de Daloa, a servi à conduire les expérimentations (Figure 1).

Daloa est une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, en Afrique de l'Ouest (Figure 2). Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra, Daloa est située à 383 km d'Abidjan (capitale économique). Sa population en 2012, était estimée à 261789 habitants. C'est aussi la 3^{ème} ville la plus peuplée, après Abidjan et Bouaké (INS, 2015).

Le climat est celui du domaine Guinéen, caractérisé par un régime équatorial et subéquatorial à deux maxima pluviométriques. Le mois de Juin représente le pic de la grande saison pluvieuse et celui de Septembre, le pic de la petite saison. Ces deux maxima sont séparés par un ou deux mois plus ou moins pluvieux (Brou, 2005).

Les formations géologiques sont celles du Précambrien moyen, dominées essentiellement par les granites, auxquels s'ajoutent quelques intrusions de schiste et de flysch. Selon les études réalisées par Dabin *et al.* (1960), les sols dans le département de Daloa sont ferrallitiques moyennement lessivés (ou désaturés). Les caractères pédologiques présentent, un pH moins acide (5,3 à 6,5), une teneur en bases échangeables plus élevée (5 à 8 cmol.kg⁻¹) et un taux de saturation nettement plus élevé (40 à 50 %) ; il en résulte une meilleure évolution de la matière organique qui se stabilise dans un horizon humifère, le rapport C/N est en général voisin de 9 à 12 (Zro *et al.*, 2016).

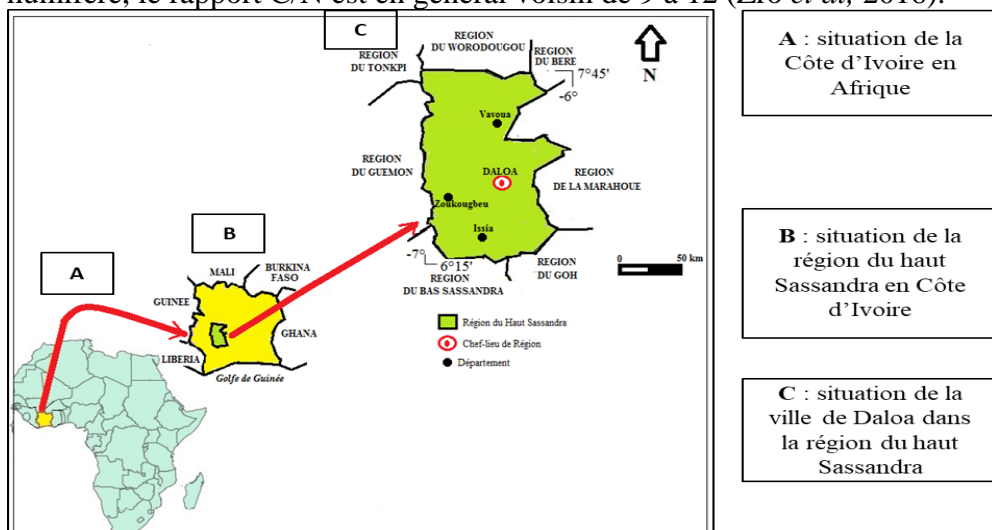


Figure 1. Carte de localisation de la région du Haut – Sassandra (INS, 2015)

Matériel biologiques

Le matériel biologique est constitué de graines de *Terminalia invorensis* A. CHEV provenant de la forêt classée de Tené à Oumé, ville située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, de broyat de branche de *pterygota bequaertii* (koto) et déchets agricole (coque de café, coque de cacao, bouse de vache et fiente poulet)

Méthodes

Production du compost

Substrats de croissance

Les formulations de substrat sont les suivantes :

- Formulation 1 (SA) substrat résultant du son de riz (70 kg), sciure de bois (100 kg), lait de vache (1 L), Un bio-activateur obtenu à l'aide de la technologie EM (micro-organisme efficaces), a été utilisé pour raccourcir la durée de maturation du compost. Le bio-activateur correspond à un kit commercial associant des micro-organismes naturel couramment utilisés dans l'alimentation et existant dans la nature. Ce sont les levures, les bactéries lactiques et photosynthétiques (Higa, 1994) (levure boulangère 200 g), du miel (0,75 l), et feuilles de Moringa (5 kg)
- Formulation 2 (SB), substrat résultant du compostage de la fiente de volaille (50 kg), feuille de bananier (*Musa sp*) (10 kg), sciure de bois carbonisé (100 kg), coque de café (50 kg) et de la sciure de bois (100 kg).
- Formulation 3 (SC), substrat résultant du compostage, sciure de bois (120 kg), bouse de vache (100 kg) utilisé comme fumure organique ; fiente de poulet (100 kg), cabosse de cacao (10kg), sciure de bois carbonisé
- Formulation 4 (SD), substrat résultant du compostage, sciure de bois (120 kg), bouse de vache (50 kg) utilisé comme fumure organique ; fiente de poulet (50 kg), sciure de bois carbonisé (100 kg).

NB : pour le processus de compostage de l'eau y a été ajoutée pour atteindre une humidité relative de 55 % à 60 %

Compostage

Broyage de la biomasse mise en compostage

Le compost utilisé dans notre étude aura comme matière organique de base de la sciure issue d'une essences forestières (*pterygota bequaertii*) prélevée dans une grande scierie de la ville

NB : sciure de bois provenant de billes non traitées

Mise en andains et processus de compostage

L'andainage a été réalisé sur une aire bétonnée. D'abord les broyats de branches *pterygota bequaertii* ont été déposés en couches de matière fraîche. Afin de stimuler le processus de compostage, des intrants (coque de café, coque de cacao, bouse de vache, et fientes de volailles) ont été ajoutés comme source d'azote de phosphore et de potassium. Enfin l'eau y a été apportée afin d'avoir une humidité optimale de 50 à 60 %.

Suivi de l'évolution du compost sylvicole

Le retournement du compost a été effectué en fonction de la température. Il a été réalisé manuellement à la fréquence de trois à cinq par cycle de compostage (six mois au minimum). La température à l'intérieur des andains et le pH ont été suivies comme deux variables essentielles de contrôle du processus (Finstein & Morris, 1975). Le suivi quotidien de la température du compost a été effectué, d'une manière continue et en six endroits répartis au niveau de chaque andain, à l'aide d'un thermomètre à sonde de 90 cm de longueur. Le suivi journalier de la température permettait de détecter les différentes phases de compostage et d'intervenir pour réajuster les paramètres essentiels à l'activité microbienne qui sont l'oxygénation et l'humidité. Au besoin, des arrosages sans excès ont été effectués de façon à maintenir un taux d'humidité de 50 à 60 % (Barrington *et al.*, 2002)

Mise en place des pépinières

Construction de l'ombrière

Une ombrière d'une superficie de 80 m² (10 m de long et 8 m de large) a été construite pour accueillir les plants. Comme les ombrières habituellement recommandées, elle a une hauteur de 2 m avec une légère pente à deux versants permettant d'évacuer facilement l'eau de pluie. Elle a été par la suite couverte de palmes (feuille du palmier) en vue de refléter une grande partie de l'ensoleillement. Les jeunes plants pendant les premiers stades de leur développement ont besoin pour une croissance optimale d'un ombrage relativement dense ne laissant que 25 à 50% de la lumière totale afin de représenter le plus possible les conditions d'ensoleillement en sous-bois. (Corbineau & Côme, 1993). Des palmes ont été également mis autour de l'ombrière pour protéger les jeunes plants contre les animaux domestiques et améliorer l'ombrage au sein de l'ombrière.

Remplissage des phytocels

Ce travail a consisté d'abord à remplir nos phytocels de 17 cm de long et 10 cm de large en matière organique à l'aide d'un transplantoir et ensuite à perforer le fond des phytocels à l'aide d'une binette afin d'en faciliter l'évacuation de l'eau en cas d'excès lors de l'arrosage. Le travail de

remplissage des phytocels s'est fait manuellement. On peut résumer la succession des opérations comme suit :

- Remplir d'abord les sachets de polyéthylènes à moitié et ensuite secouer pour compaction ;
- Remplir complètement et se servir des doigts pour compacter légèrement les cavités surtout celles situées au coin des phytocels ;
- Secouer une dernière fois et enlever l'excès de substrat avec la main ;
- Surveiller pour une compaction adéquate et uniforme
- L'empilement des phytocels doit être décalé afin d'éviter une compaction excessive ;
- Faire un test de chute du phytocel, à une hauteur de près de 40 cm, pour évaluer la compaction (si la compaction est adéquate, alors il on note un léger affaissement de 1cm).

La compaction du substrat lors du remplissage est un facteur très important. En effet, une mauvaise densité du substrat nuira au développement racinaire des plants. La compaction doit être normale et uniforme. L'erreur la plus fréquente est la faible compaction des cavités situées dans les coins des conteneurs

Il nous faut maintenant préciser que chaque phytocels comprend une quantité nette de 1 kg de substrat (matière organique). Les 600 phytocels que nous avons achetés ont été remplis en laissant 1 à 2 cm de hauteur libre.

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en blocs complets randomisés à trois répétitions et à un niveau de facteur. Il est composé de 15 parcelles élémentaires (1 espèce x 5 niveaux de substrat x 3 blocs), long de 1 m et large de 0,5 m de chacune. Une parcelle élémentaire contient 40 phytocels de pépinières soit un total de 600 phytocels pour tout l'essai. Les blocs ont été séparées de 1 m l'une de l'autre, chaque bloc comprend 200 phytocels dont 40 phytocels par parcelle élémentaire. Les parcelles élémentaires de chaque bloc ont été séparées par une baquette.

Au niveau des blocs, chaque parcelle élémentaire porte une étiquette sur laquelle est écrit le nom de l'espèce et le traitement appliqué.



Figure 2. Dispositif expérimental

Préparation du matériel végétal

La préparation du matériel végétal a consisté à enlever les ailes qui se trouvent de part et d'autre de la graine de Framiré. Vu que les graines ont une coque très épaisse, pour lever la dormance, les graines ont d'abord été trempées dans de l'eau pendant 24 h (Figure 3). Elles ont ensuite été retirées et mises à l'air libre pendant une demi-journée et enfin retrempées dans l'eau pendant 24 h.



Figure 3. Prétraitement des semences

Semis

Un semis direct des graines à raison de 2 graines par phytocels a été fait tôt le matin avant le lever du soleil en vue de conserver l'humidité à l'intérieur des phytocels. A cet effet, nous avons semé 300 graines. Un arrosage a été fait la veille avant le semis et après le semis afin de mettre les graines dans de bonnes conditions de germination. Dans le but de faciliter la sortie de terre des plantules, une ouverture de 2 à 3 cm a été faite dans les phytocels (Figure 4B) avant d'y poser les graines en position épicotylée (mode de semis qui consiste à mettre en terre la graine avec la partie cotylédonaire dirigée vers le haut).

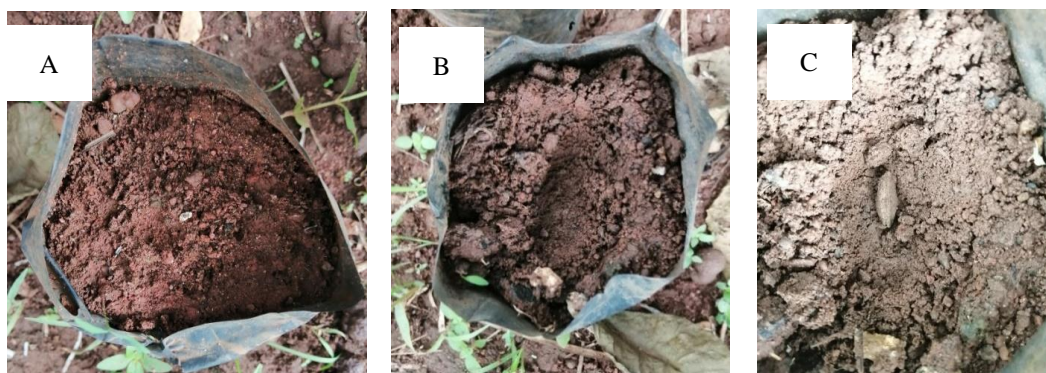


Figure 4: Semis

A : Binage ; B : Ouverture d'une fente ; C : Positionnement du grain

Travaux d'entretien

Sur le terrain nous avons eu recours à trois types d'opération d'entretien, qui sont :

- l'arrosage qui a consisté à apporter de l'eau aux cultures. Chaque bande recevait 15 litres d'eau soit 0,35 l par plant.
- le sarclage qui a consisté à enlever les plantes adventices qui entrent en concurrence en eau et en sels minéraux avec les plantes cultivées. Le sarclage se faisait régulièrement pour augmenter le développement des plants.

Collecte des données

La collecte des données a été effectuée sur un échantillon de 90 plants à raison de 3 plants par parcelle élémentaire.

Les données collectées au niveau des plants portent sur :

- Taux de germination ;
- Dynamique de germination ;
- Hauteur moyenne des plants ;
- Diamètre de la tige ;

Taux de germination des graines

Le nombre de plants germé se caractérise par la sortie de terre des plantules. Cette variable a été collectée dès l'apparition des premiers plants levés (deux semaine après semis) jusqu'à la levée totale de tous les plants, 15 jours après la première levée. Soit un mois et cinq jours après la mise en terre des graines. Le taux de germination est donné par le rapport entre le nombre de plants levés et le nombre total de semis à savoir 30 graines par traitement. Il en ressort la formule ci-dessous.

$$TG(\%) = \frac{\text{Nombre de plants germé} \times 100}{\text{Nombre total de semis}}$$

Hauteur moyenne et nombre de feuilles

La hauteur moyenne et le nombre de feuilles ont été collectés toutes les deux semaines (de la 5^{ième} à la 15^{ième} semaine après semis). La hauteur des plants a été mesurée du collet jusqu'au bourgeon apical de la plante à l'aide d'une règle graduée de 40 cm. Les feuilles comptées sont celles qui ont toutes les parties bien constituées et différenciées notamment le limbe, le pétiole et les nervures principales et secondaires pour éviter la destruction des feuilles pendant les mesures. Les feuilles ont été comptées de la base de la plantes (première feuilles apparues), jusqu'au niveau de l'apex (dernière feuilles apparues).

Diamètre de la tige

Le diamètre de la tige a été mesuré de la 5^{ième} à la 15^{ième} semaine après semis sur les mêmes plants. Les mesures du diamètre des tiges principales ont été faites à l'aide d'un pied à coulisse. Une mesure a été faite au niveau de collet de la tige (Dm1) et en dessous des dernières feuilles apparues (Dm2). Une moyenne a été par la suite établie entre ses deux mesures.

Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel EXCEL 2013. Il nous a permis de faire des tableaux croisés dynamiques avec les données obtenues afin de construire des courbes d'évolution par facteur en fonction du temps. Ces courbes nous ont permis de comparer les différents traitements dans le temps.

Pour comparer statistiquement les différents traitements, le logiciel STATISTICA version 7.1 a été utilisé pour les analyses de variance (ANOVA). Aussi, le test de comparaison multiple de Student-Newman-Keuls (S-N-K) a été utilisé pour classer les différents traitements par groupe homogène lorsque l'ANOVA révèle une différence au niveau des traitements. Cette différence est affirmée lorsque la probabilité (Pr) obtenue pour un facteur ou pour la combinaison des deux facteurs est inférieure à 5% (notre

seuil de significativité). Ainsi, lorsque Pr est inférieur à 0,05, la différence est dite significative. Si Pr est inférieure à 0,01, cette différence est dite hautement significative et lorsque Pr est inférieure à 0,001 : elle est dite très hautement significative.

3. Résultats et Discussion

Résultats

Caractéristiques physiques des substrats de croissance

La figure 5 illustre l'évolution des porosités totale, d'aération et de rétention des cinq substrats de croissance étudiés. Ces cinq substrats testés répondent tous aux règles d'appréciation des porosités totale et d'aération ; cependant, le substrat S0, n'est pas conforme du point de vue de la porosité de rétention (minimum 30 %). Du point de vue de la porosité totale, les substrats (S0, SC) et (SA, SB, SD) ne diffèrent pas significativement entre eux. Concernant la porosité de rétention, les substrats SA, SC ne diffèrent pas significativement entre eux. Enfin, concernant la porosité d'aération, les substrats (SA, SC), (SD, S0) ne diffèrent pas significativement.

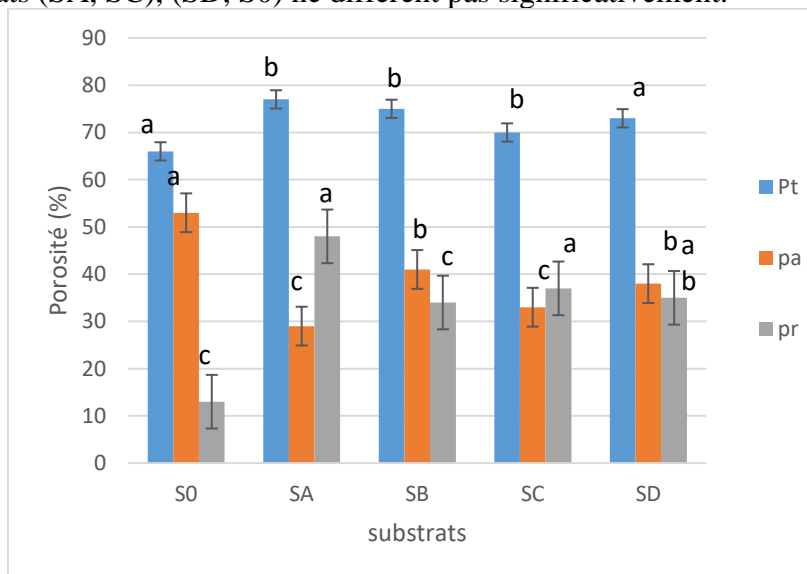


Figure 5. Caractéristiques physiques des substrats de croissance

Porosités totale (Pt), d'aération (Pa) et de rétention (Pr) des substrats de croissance testés

Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement selon le test de Duncan au seuil de 5 % pour le même paramètre de porosité. Les moyennes de chaque paramètre (barres verticales de même couleur) suivies de lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5 % selon le test de

Duncan. S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Caractéristiques chimiques des substrats de croissance

Le tableau I illustre les résultats relatifs aux paramètres chimiques des quatre substrats de croissance élaboré. Les valeurs du pH révélé montrent que ce paramètre varie entre 6,2 et 6,7. Les résultats relatifs au pH indiquent qu'il existe une différence significative entre les substrats testés. Il ressort également du tableau que la salinité des substrats testés varie entre 1,09 et 1,15 g/l. La salinité du substrat SC est significativement plus élevée que celle des autres substrats. Le substrat issu de la technologie « Effective Microorganismes » a présenté la valeur la plus faible (S= 0,98 g/l). Pour tous les substrats, les taux de MO obtenus sont relativement importants, aussi le rapport C/N varie entre 10 et 12. Les teneurs des éléments potassium (K) et phosphore (P) sont plus ou moins représentatifs dans tous les substrats.

Tableau 1. Paramètres chimiques des différents substrats étudiés

Echantillons	PH	Conductivité (mmhos/cm ³)	Salinité (g/l)	MO(%)	Cot(%)	N(%)	C/N (%)	P(%)	K(%)
SA	6,7a	1,7a	0,98c	63,8b	19,4a	1,86c	10c	5,05c	7,46ab
SB	6,3b	1,4b	1,12a	65,1ab	18,2a	1,46ab	12a	9,08b	11,36c
SC	6,4a	1,65ab	1,13ab	64c	17,7a	1,56a	11c	8,1a	13,53a
SD	6,2c	1,3c	1,09b	60,2d	16,2a	1,37b	11b	7,09a	12,39c

S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Effet des traitements sur la germination des graines

Le taux de germination des graines de l'espèce étudiée a varié en fonction des traitements. Comparativement au témoin (S0), le substrat (SB) a été favorable à l'expression germinative des graines avec un taux de germination de 95%. Le substrat SA a présenté le plus faible taux germination (78%). Toutefois il faut noter que sur tous les substrats ont présenté un taux de germination supérieurs à 75% (Figure 6).

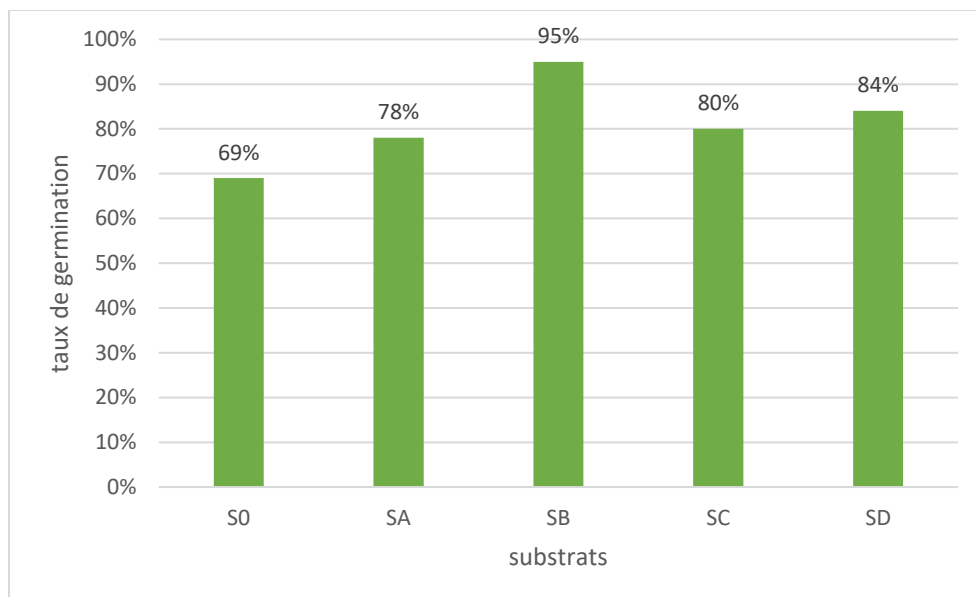


Figure 6. Taux de germination en fonction des différents substrats

S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Dynamique de germination

La figure 7 a montré que le taux et la période de levée ont varié d'un substrat à un autre. Pendant la première semaine, il n'y a pas eu de levée au niveau des différents substrats. Les premières germinations ont été observées à partir de la deuxième semaine, où le nombre de germination le plus importants a été observé avec le substrat SB.

À partir de la troisième, on a enregistré au niveau de tous les substrats un taux germination supérieurs à 50 % à part le substrat SC. Le nombre de plantules a augmenté avec les doses de fertilisants pour atteindre un maximum de 16 plants à la cinquième semaine après semis pour le traitement T4 contre 8 l'évée pour le témoin S0

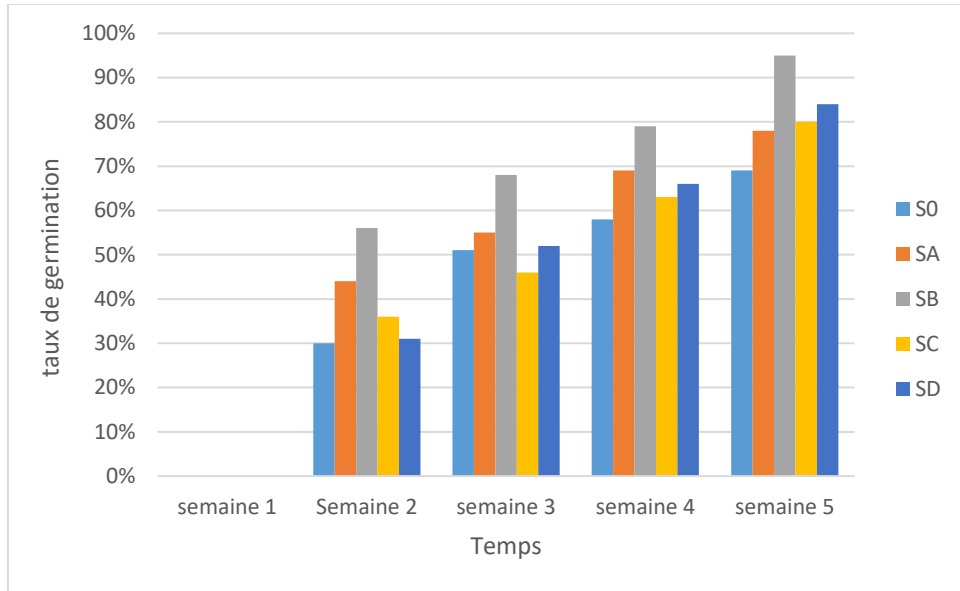


Figure 7. Histogramme d'évolution des taux de germination en fonction du temps
 S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Hauteur moyenne des plantes en fonction des traitements

L'analyse de variance des données sur la hauteur, de la 5^{ème} à la 15^{ème} semaine après semis a montré que l'utilisation des substrats organiques sur les semis de Framiré a eu un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur la croissance en hauteur des tiges de la 7^{ème} à la 15^{ème} semaine (Tableau II). Le substrat SA s'est avéré le plus significatif avec une hauteur moyenne dominante de $14,70 \pm 1,57$ mm à la dernière prise de donnée (15^{ème} semaine après semis)

Tableau 2. Comparaison des moyennes des hauteurs en fonction des traitements

Hauteur (cm)	Framiré					
	5 SAS	7 SAS	9 SAS	11 SAS	13 SAS	15 SAS
S0	$3,5 \pm 0,27^a$	$3,97 \pm 0,25^c$	$4,47 \pm 0,45^c$	$5,00 \pm 0,26^d$	$5,90 \pm 0,30^c$	$7,00 \pm 0,20^c$
SA	$3,8 \pm 0,15^a$	$6,60 \pm 0,44^a$	$8,30 \pm 0,95^a$	$10,67 \pm 0,90^a$	$12,57 \pm 1,36^a$	$14,70 \pm 1,57^a$
SB	$4 \pm 0,15^a$	$5,95 \pm 0,07^{ab}$	$6,90 \pm 0,14^{ab}$	$9,20 \pm 0,99^b$	$10,05 \pm 0,64^{ab}$	$12,00 \pm 0,71^{ab}$
SC	$3,7 \pm 0,12^a$	$5,70 \pm 0,35^{ab}$	$6,20 \pm 0,20^{abc}$	$8,30 \pm 0,62^{bc}$	$9,03 \pm 0,25^b$	$10,53 \pm 0,30^{bc}$
SD	$3,5 \pm 0,38^a$	$5,53 \pm 0,06^{ab}$	$5,83 \pm 0,15^{bc}$	$6,63 \pm 0,21^{cd}$	$7,53 \pm 0,21^{bc}$	$9,63 \pm 0,32^{bc}$
prob	0,053 ^{ns}	0,000**	0,0000**	0,000**	0,000**	0,000**

Pour chaque moyenne les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) dans la même colonne sont statistiquement identique au seuil de 5 % ns : non significatif ; * : significatif ; ** : hautement significatif ; SAS : semaine après semis, S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Diamètre de la tige

Les analyses de variance des données sur la hauteur, de la 5^{ième} à la 15^{ième} semaine après semis ont montré que l'utilisation des substrats organiques sur les semis de Framiré a eu un effet hautement significatif ($Pr < 0,001$) sur la croissance en épaisseur des tiges de la 7^{ième} à la 15^{ième} semaine (Tableau III). Le substrat SA s'est avéré le plus significatif avec un diamètre moyen dominant de $3,88 \pm 0,12$ mm à la dernière prise de donnée (15^{ième} semaine après semis).

Tableau 3. Comparaison des moyennes des diamètres en fonction des traitements

Diamètre de la tige (mm)						
	5 SAS	7 SAS	9 SAS	11 SAS	13 SAS	15 SAS
Framiré						
S0	1,1±0,06 ^a	1,12±0,04 ^f	1,21±0,02 ^e	1,35±0,02 ^c	1,49±0,03 ^c	1,65±0,10 ^c
SA	1,13±0,05 ^a	1,76±0,04 ^a	2,14±0,06 ^a	2,57±0,18 ^a	2,91±0,34 ^a	3,88±0,12 ^a
SB	1,16±0,10 ^a	1,49±0,09 ^b	1,76±0,10 ^b	2,06±0,12 ^b	2,25±0,08 ^b	3,36±0,28 ^a
SC	1,14±0,05 ^a	1,33±0,05 ^c	1,49±0,07 ^{bc}	1,71±0,08 ^{bc}	1,86±0,11 ^b	2,47±0,30 ^a
SD	1,11±0,04 ^a	1,21±0,02 ^{ef}	1,32±0,06 ^{cd}	1,47±0,07 ^{cd}	1,60±0,03 ^c	1,86±0,18 ^b
Prob	0,897 ^{ns}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}

*Pour chaque moyenne les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) dans la même colonne sont statistiquement identique au seuil de 5 % ns : non significatif ; * : significatif ; ** : hautement significatif ; SAS : semaine après semis, S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4*

Surface foliaire

Le Tableau IV présente les analyses de variance des données sur la surface foliaire, de la 5^{ième} à la 15^{ième} semaine après semis. Il ressort de ces résultats que l'application du fertilisant organique sur le Framiré a présenté un effet hautement significatif ($Pr > 0,05$), à tous les temps de mesures, à l'exception de la première prise de mesure. Le substrat SA s'est avéré le plus significatif avec une surface foliaire moyenne dominante de $45,96 \pm 3,20$ cm² à la dernière prise de donnée (15^{ième} semaine après semis).

Tableau 4. Comparaison des moyennes des surfaces foliaires en fonction des traitements

Surface foliaire (cm ²)	Traitements					
	5 SAS	7 SAS	9 SAS	11 SAS	13 SAS	15 SAS
Framiré						
S0	5,98±0,86 ^a	11,98±0,86 ^c	13,08±0,71 ^{dc}	15,09±1,59 ^d	17,75±1,70 ^c	19,76±1,24 ^{ef}
SA	5,39±1,08 ^a	29,22±7,69 ^a	33,47±5,81 ^a	38,95±4,28 ^a	43,33±3,77 ^a	45,96±3,20 ^a
SB	5,54±1,42 ^a	19,42±0,71 ^b	21,35±1,67 ^{bc}	24,42±0,96 ^c	29,64±2,82 ^b	33,44±2,47 ^{bc}
SC	6,49±0,95 ^a	21,89±1,59 ^b	26,22±1,89 ^{ab}	30,28±3,06 ^b	39,24±3,20 ^a	40,43±3,57 ^{ab}
SD	4,99±0,24 ^a	13,88±0,73 ^c	16,56±1,71 ^{bcd}	19,03±1,95 ^{cd}	22,61±2,03 ^{bc}	25,46±1,65 ^{cd}
Prob	0,442 ^{ns}	0,001 [*]	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 ^{**}

Pour chaque moyenne les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) dans la même colonne sont statistiquement identique au seuil de 5 % ns : non significatif ; * : significatif ; ** : hautement significatif ; SAS : semaine après semis, S0 : substrat minéral ; SA : formulation 1 ; SB : formulation 2 ; SC : formulation 3 ; SD : formulation 4

Discussion

Notre étude a porté sur l'évaluation de l'effet des substrats à base de déchets sylvicoles et agricoles sur la croissance et le développement des semis de *Terminalia ivorensis*. Plus spécifiquement l'étude a porté sur :

- **L'évaluation de l'effet des différents substrats sur le comportement germinatif et végétatif des plants de *Terminalia ivorensis*.**

Il ressort de ces résultats que les substrats ont eu une influence sur la germination des graines de Framiré. Comparativement au témoin (S0) constitué de terre local tous les substrats développés ont été favorables à l'expression germinative des graines avec un taux de germination supérieur à 60 %, cela pourrait se justifier par le fait que la présence en grande quantité de sciure de bois, améliore l'aération des substrats de croissance, leur capacité de rétention en eau et contribue au maintien de la structure du substrat donc un bon développement de la racine qui est une condition préalable de la levée (Steward *et al.*, 1997).

Aussi ce taux de germination supérieurs 50 % enregistré par nos différents substrats peut se justifier d'une part par la durée de conservation des semences et les conditions de conservation. En effet une fois ramassés, les fruits doivent être séchés au soleil pendant quelques jours. Fraîches ou après avoir séché en plein soleil, les graines ont un taux de germination qui peut atteindre 90 %, mais chute à moins de 50 % si elles sont entreposées pendant un an (Gyimah, 1999). Selon Ahoton *et al.* (2011), les graines de courte durée de conservation ont un taux de germination élevé. Ils ont obtenu un taux de 87 % avec des graines de *Terminalia superba* conservé pendant 2 semaines après récolte. Les études menées en Côte d'Ivoire en 2003 par le comité technique de la SODEFOR, portant sur les caractéristiques des semences et semenciers en pépinière des essences forestières, ont présenté un taux de germination de

55 % pour le *Terminalia superba* La durée des levées quant à elle, s'est étalée sur deux à quatre semaines, différente de la période de nos levées qui s'est étendue sur 5 semaines.

- **Comportement des jeunes plants de *Terminalia ivorensis***

La hauteur et le diamètre sont considérés parmi les facteurs morphologiques qui peuvent prédire au mieux la performance des plants après plantation. La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration, lesquelles sont étroitement corrélées avec le nombre des feuilles (Armson, Sadreika, 1974, cité par Lamhamedi *et al.*, 1997). Le diamètre est généralement corrélé avec différents paramètres morphologiques (hauteur, poids sec total, poids sec des racines et poids sec de la partie aérienne). Les plants ayant un gros diamètre possèdent généralement des racines latérales bien développées (Rowan, 1986, cité par Lamhamedi *et al.*, 1997), conférant aux plants un meilleur taux de survie après repiquage (Hatchell, 1986, cité par Lamhamedi *et al.*, 1997).

En outre il faut noter quel que soit la culture, le comportement des plants est fonction du type de substrat, mais aussi des applications faites. En général l'usage de substrat organique améliore de manière significative la croissance des plants comparé au substrat minérale (témoin S0 « terre local »). De plus d'après les analyses l'utilisation de substrat organique améliore de manière significative la croissance des différents plants de *Terminalia ivorensis* comparé au témoin. Au niveau des plants, le substrat SA s'est montré hautement significatif suivi du substrat SB et SC aussi bien au niveau de la hauteur, du nombre de feuilles que du diamètre au collet comparé au traitement Témoin S0. Les différences observées entre le substrat organique et le substrat minéral sur la croissance des plants sont fonctions des propriétés de ces derniers (fertilisants). Toutefois la particularité du substrat SA (bokashis) par rapport aux autres composts est que le bokashis présente du point de vue chimique, des teneurs en éléments fertilisants supérieurs. En effet pendant la phase de culture la forte activité des microorganismes augmente la teneur en éléments fertilisants (N, P et K). D'après Aho & Kossou, 1997, les éléments nutritifs dont l'azote stimulent la végétation en accélérant la formation et la croissance des organes végétatifs des plants. En effet, l'utilisation des produits à base de microorganismes efficaces améliore la qualité des sols, la croissance, le rendement et la qualité des cultures (Hussain *et al.*, 1999). Par ses recherches sur la diversité des microorganismes dans les substrats de production végétale, Higa (1994) a montré que le compost à base de microorganismes efficace, a pour vocation de fertiliser le sol, d'assurer une nourriture et une diversification de microorganismes du sol, de favoriser la désintoxication du sol et de garantir une disponibilité immédiate des éléments nutritifs nécessaire au développement des plantes. Hu & Qi (2013) ont cherché à déterminer si l'inoculation de composts avec de l'EM avantage les cultures

de blé et la qualité du sol au cours d'une expérience de terrain de onze ans en Chine. Il ressort de leurs résultats que les plantes de blé recevant le traitement EM produisent plus de matières sèches au niveau de la tige et des feuilles, présentent des quantités importantes en azote, phosphore et potassium dans les feuilles des céréales par rapport aux traitements traditionnels au compost. Les chercheurs ont estimé que les organismes introduits avec l'inoculat EM stimulent la décomposition des matières organiques et, par conséquent, la minéralisation des nutriments pour l'absorption par les plantes, entraînant des effets positifs sur les rendements et la qualité du blé (Hu & Qi, 2013).

Conclusion

Ce travail avait pour objectif général d'optimiser la production de plants forestiers par le développement de substrats de croissance, par compostage de matières organiques disponibles et évaluer leur potentiel pour la production de plants de *Terminalia ivorensis* A Chev. En testant 4 substrats organiques à base de déchets sylvicoles et agricoles. Puis déterminer le substrat présentant les meilleures propriétés physico-chimiques et optimaux à la croissance des plants sur les cinq substrats formulés : S0 (témoin terre local), SD, SB, SC, et SA (du Bokashi). Les analyses des résultats obtenus par notre étude ont montré que :

Tous les substrats organiques induisent des croissances plus importantes par rapport au témoin S0 (terre local). Le substrat SA (Bokashi) s'est avéré le plus significatif avec une hauteur dominante de $14,70 \pm 1,57$ cm et un diamètre moyen de $3,88 \pm 0,12$ mm contre une hauteur de $7,00 \pm 0,20$ cm et un diamètre moyen de $1,65 \pm 0,10$ cm au niveau du témoin, à la dernière prise de donnée (15^{ème} semaine après semis).

Cette étude a prouvé que les substrats organiques pourraient constituer une alternative réelle à la production des plants forestiers. Elle est d'autant plus intéressante que l'adoption de substrats organiques pourraient permettre à la fois l'augmentation durable des productions sylvicoles particulièrement le cas du Framiré et la réduction de la dégradation des sols forestiers. Ainsi le secteur forestier pourra s'inscrire dans une agriculture respectueuse de l'environnement.

References:

1. Adjonou K. (2007). Influence des facteurs écologiques sur les propriétés biophysiques du bois de teck en plantation au Togo. Mémoire de DEA, Université de Lomé, 94p
2. Aho N. & Kossou D. K., 1997. Précis d'Agriculture tropicale Bases et Eléments d'Applications. Editions du Flamboyant, Cotonou. 447p
3. Ahoton & Al. (2011). Les jeunes tiges de *Terminalia superba* Engler et Diels en pépinière, France. 25p

4. Barrington S., Choinière D., Trigui M., Lighth W., (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresources Technology*, vol. 83, n° 3, pp. 189-194. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00229-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00229-2)
5. BNETD. (2015). Stratégie nationale de préservation, de réhabilitation et d'extension des forêts. Ministères des Eaux et Forêts (Côte d'Ivoire), 49p.
6. Brou YT (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 21p
7. Ciccacese L., Mattsson A., Pettenella D. (2012). Ecosystem services from forest restoration: thinking ahead. *New For.*, 43:543-560.
8. Corbineau, F. & Côme, D. (1993). Improvement of germination of *Terminalia ivorensis* seeds. *Forest Genetic Resources Information* 21: 29–36.
9. Dabin B, Leneuf N. & Riou G: (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Notice explicative. ORSTOM, 39 p.
10. FAO (2011). La situation des forêts du monde, 193 p
11. FAO. (2009). Situation des forêts du monde 2009. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie, 152 p.
12. Fellah A., (1979). Problèmes des substrats en pépinières forestières et les effets d'utilisation d'un compost. Mémoire ingénieur, Alger : INA El-Harrach, 45 p
13. Finstein M.S., Morris, M.L., (1975). Microbiology of municipal solid waste composting. *Advances in applied microbiology*, n° 19, pp. 113-51. [https://doi.org/10.1016/s0065-2164\(08\)70427-1](https://doi.org/10.1016/s0065-2164(08)70427-1)
14. Gbozé A.E., Coulibaly B., Kassi N'.J. et N'Guessan K.A. (2017). Evaluation de la flore et des stocks de carbone de la forêt relique du site de la Diresction Régionale d'Abidjan du CNRA (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 147(2) : 219-231.
15. Gyimah, A. (1999). Storage of *Terminalia Superba* seeds. *Ghana Journal of Forestry* 7: 21-24.
16. Hansen MC, Potapov P. V., Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A, Egorov A, Chini L, Justice CO, Townshend JRG (2013) High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342: 850-853
17. Higa, T., Parr J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center, Atami, Japan, 25 p. <http://www.em-la.com/>

- archivos
deusuario/base_datos/em_for_sustainable_agriculture_environment.
pdf. Consulté le 01/12/2017.
18. Hu C., and Qi Y., 2013. 'Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China', *European Journal of Agronomy*. Elsevier B.V., (46): 63–67. doi: 10.1016/j.eja.2012.12.003.
 19. Hussain, T., Javaid, T., Parr, J. F., Jilani, G., Haq, MA., (1999). Rice and wheat production in Pakistan with effective microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 14: 30 - 36.
 20. INS. (2015). Rapport du recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014 (RGPH 2014). www.ins.ci. [Consulté le 07/2/2019]
 21. Kabulu D.J., Bamba I., Munyemba K.F., Defourny P., Vancutsem C., Nyembwe N.S., Ngongo L.M. et Bogaert J. (2008). Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga. *Annale des Faculties des Sciences Agronomiques*, 1(2) : 12-18.
 22. Kasongo L.M.E., Mwamba M.T., Tshipoya M.P., Mukalay M.J., Useni S.Y., Mazinga K.M. et Nyembo K.L. (2013). Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. Merri) à l'apport des biomasses de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 63 : 4727-4735.
 23. Kokutse A. (2002). Analyse de la qualité du bois de teck (*Tectona grandis* L.f) en plantation au Togo : formation du bois de cœur, propriétés mécaniques et durabilité. Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux I (France).
 24. Lamhamedi M.S. et Fortin J.A. (1994). La qualité des plants forestiers : critères d'évaluation et performance dans les sites de reboisement. In : Abourouh M. (éd.). Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers. Rabat, Maroc, Centre de recherche et d'expérimentations forestières, p. 35-55.
 25. Lamhamedi M.S., Fortin J.A., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A. & Godin L. (1997). Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants élevés en conteneurs. Tunis, Tunisie, Direction générale des forêts et Pampev International, Projet Bird n° 3601, 121p
 26. Letreuch-Belarouci N., (1981). Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Thèse de doctorat. Gembloux, Université de Gembloux, 600 p
 27. M'Sadak Y., Ben M'Barek A. & Tayachi L. (2012a). Possibilités d'incorporation du méthacompost avicole dans la confection des

- substrats de culture à base de compost sylvicole en pépinière forestière. *Revue Nature & Technologie*, n° 6, pp. 59-70.
28. M'Sadak Y., Elouaer M. A., El Kamel R. (2012). Evaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière. *Bois et Forêts des Tropiques*, 313(3) : 61-71.
 29. Mustin M., 1987. *Le Compost, Gestion de la Matière Organique*, F. Dubusceds, Paris, 954 p.
 30. Stewart DPC, Cameron KC, Cornforth LS, Sedcole JR. (1997c). Effects of spent mushroom substrate on soil physical conditions and plant growth in an intensive horticultural system : a comparison with inorganic fertilizer. *Australian Journal of Soil Research* 36(6) :899–912.
 31. Stoffella P.J., Kahn B.A., 2001. *Compost utilization in horticultural cropping systems*. New York, Etats-Unis, Lewis Publishers, 413 p
 32. Zro B. G. F., Guéi A. M., Nangah K. Y., Soro D & Bakayoko S. (2016). Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire) . *African Journal of Soil Science*, 4 (4),: 328-338.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Immunological Responses to Helminths and HIV-1 Co-Infections

Elton Chavura, MSc

Swansea University, Faculty of Medicine,
Health and Life Science, Wales, United Kingdom

Prof. Wales Singini

Russel Chidya, PhD

Mzuzu University, Faculty of Environmental Science, Mzuzu, Malawi

Balwani Chingatichifwe Mbakaya, Associate. Prof.

University of Livingstonia, Department of Public Health, Malawi

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p211](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p211)

Submitted: 24 January 2023

Accepted: 02 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Chavura E., Singini W. Chidya R. & Mbakaya B.C. (2023). *Immunological Responses to Helminths and HIV-1 Co-Infections*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 211.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p211>

Abstract

Aim: Helminth infections result from poor sanitation. We evaluated the effect of helminth infections on HIV disease progression through the monitoring of 2 outcomes: (1) plasma HIV-1 RNA Viral load (V/L) and (2) Cluster of Differentiation (CD4+) T-lymphocyte count amongst helminth-HIV-1 co-infected persons. We hypothesized that (1) concurrent helminth infections compromise immune control, resulting in rising VL and reduced CD4+ T-lymphocyte count (2) and that, subject to successful treatment, a decrease in plasma VL could slow down disease progression. **Methods:** We reviewed 2032 citations, evaluated 432 abstracts, and included 10 articles according to the PRISMA diagram. The methodologies were appraised using a Mixed Method Appraisal Tool (MMAT). **Results:** At enrolment, plasma VL was significantly higher in individuals with helminths (5.01 log₁₀ vs. 3.41 log₁₀, $p < 0.001$). The effective range was 5.28 log₁₀ copies/mL at baseline and 4.67 log₁₀ copies/mL, ($p < 0.05$) after treatment and a trend for 0.61 log₁₀ lower VL. Significant interactions were seen in the successfully treated groups ($p < 0.001$). CD4+ T-lymphocyte count values were not significantly different in the co-infection groups relative to those with HIV infection alone.

Conclusion: Helminths and HIV-1 co-infections are associated with an increase in HIV-1 RNA levels that accelerate the progression of the sub-clinical disease to symptomatic AIDS.

Keywords: Helminths, WaSH, HIV/AIDS, CD4+ count, HIV-1 RNA, Viral load, disease progression

Introduction

Helminth infections result from either ingestion or contact with contaminated fecal matter. To date, there is insufficient evidence as to whether helminths have an influence on HIV-1-specific immune responses as literature results are indeterminate. Improved WaSH practices reduce the spread of neglected tropical diseases (NTDs) such as helminths infections (Campbell et al., 2018). Their efficient treatment during pregnancy may reduce the risk of Mother-Child Transmission (MTCT) of HIV, by a mechanism in which parasite antigens activate lymphocytes in the utero (Li et al., 2015). Some studies (Downs, 2017) suggest that NTDs accelerate HIV-1 infection in poor-resource settings due to their profound effects on the host immune system, which make those infected more susceptible to HIV-1 infection and less able to cope with it. Concurrent infections with NTDs such as helminths and HIV-1 are common among persons who have poor access to improved sanitation. The type 1/ type 2 model of immune responses to infection suggests a detrimental effect of helminths infection since the balance in favor of type 2 cytokines at the expense of type 1 cytokines encourages HIV-1 disease progression (Ipp et al., 2014).

Epidemiology of Helminths infections

The Global Burden of Disease Study 2010 reports an increase of 111,000 deaths globally attributable to neglected tropical diseases (NTDs) (including leishmaniasis, trypanosomiasis, schistosomiasis, cysticercosis, echinococcosis, malaria, dengue, ascariasis, and other forms of helminths) also collectively referred to as ‘infectious diseases of poverty’ (IDoPs) with Sub-Saharan Africa bearing the worst outcomes from their impact (Sartorius et al., 2020; Azoh, 2014; Lozano et al., 2012; WHO, 2011). While neglected, infectious tropical diseases, are much alive and primarily concentrated in poor settings of Sub-Saharan Africa, Asia, and Latin America, with geographic overlap resulting in high levels of co-infection (Engels and Zhou, 2020, Bangert et al., 2017; Bhutta, et al., 2014; Alsan et al., 2012). The global pattern of helminths infestation and the geographical distribution within the Sub-Saharan region is shown in Table 1 and figure 1 respectively.

Table 1. Global Distribution and Prevalence of Different Helminths

Helminth Type	Regional Distribution
Ascariasis lumbricoides (roundworm)	Asia, Africa and Latin America
Trichuris trichiura (whipworm)	Asia, Africa and Latin America
Ancylostoma duodenale (Hookworm)	Asia, Africa and Latin America
Strongyloides stercoralis (threadworm)	Asia, Africa and Latin America
LF Wuchereria bancrofti; Brugia malayi	India, Southeast Asia, Sub-Saharan Africa
Onchocerciasis (river blindness)	Sub-Saharan Africa
Loiasis Loa loa	Sub-Saharan Africa
Dracunculiasis (guinea worm)	Sub-Saharan Africa
Schistosomiasis Schistosoma haematobium	Sub-Saharan Africa
Schistosoma mansoni	Sub-Saharan Africa and Eastern Brazil
Schistosoma japonicum (blood flukes)	China and Southeast Asia
Clonorchis sinensis (liver fluke)	Developing regions of East Asia
Opisthorchis viverrini (liver fluke)	Developing regions of East Asia
Paragonimus spp. (lung flukes)	Developing regions of East Asia
Fasciolopsis buski (intestinal fluke)	Developing regions of East Asia
Fasciola hepatica (intestinal fluke)	Developing regions of East Asia
Cysticercosis Taenia solium (pork tapeworm)	Sub-Saharan Africa

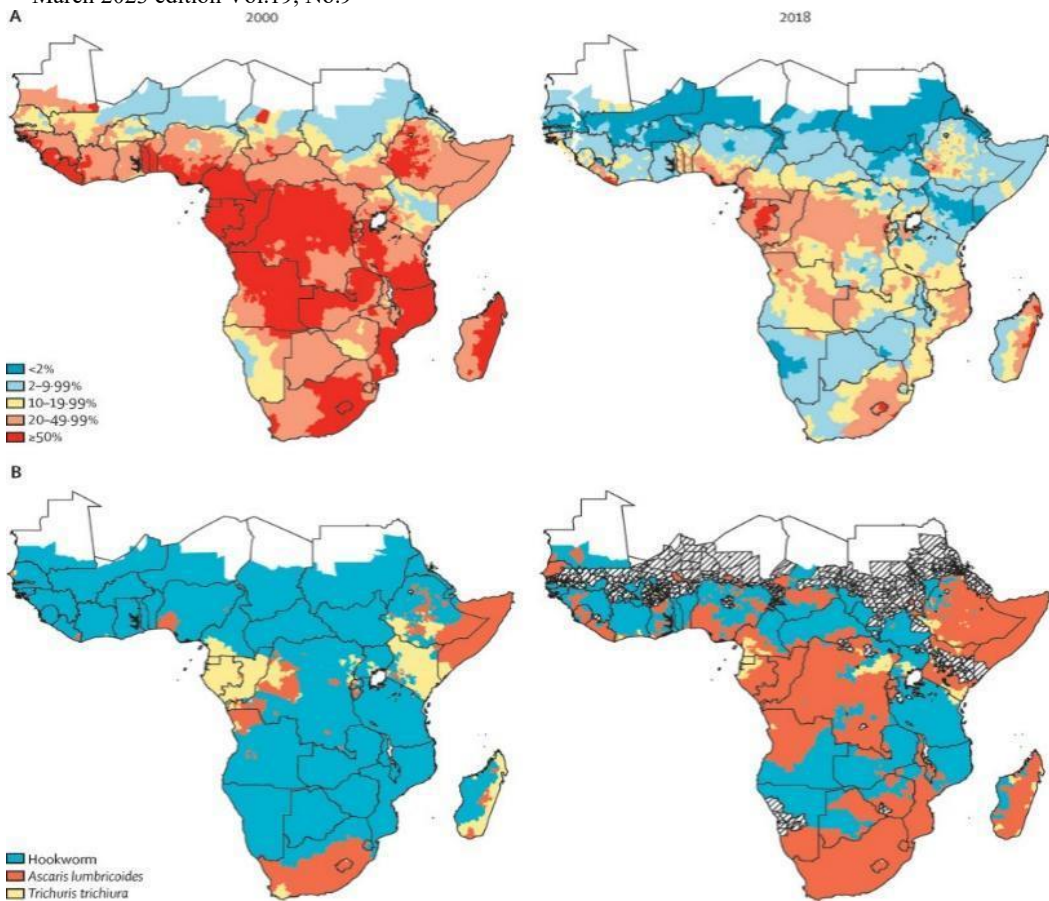


Figure 1. Illustrative distribution of helminths in Sub-Saharan Africa (Sartorius et al., 2020)

Intersections between HIV-1, and helminths

During an acute phase of infection, HIV reproduces in large amounts and destroys CD4+ cells and levels typically fall quickly at first (Richmond et al., 2021; Mpairwe et al., 2014; Elliott et al., 2014). As the immune system responds, viral load begins to fall and the CD4+ levels start to rise again but they may not return to pre-infection levels. Helminths have been implicated in increased systemic immune activation, which is linked to an increase in HIV-1 susceptibility (Hernández-Bello et al., 2012; Stillwagon, 2005). Through complex molecular mechanisms, both HIV-1 and helminth infections can lead to depletions in CD4+ T-lymphocyte cells, (Blackwell et al., 2016), and treatment of helminths has been associated with delays HIV-1 progression and improvements in CD4+ counts and reductions in HIV-1 RNA (viral load) (Means et al., 2016). HIV-1 RNA (viral load) and CD4+ T lymphocyte cell (CD4+) count are surrogate markers of antiretroviral treatment responses and HIV disease progression that have been used for decades to monitor HIV infection (WHO, 2013; Mermin et al., 2011). CD4 count is the best predictor

for immune function, hence useful in the identification of advanced HIV disease (WHO, 2013; Mermin et al., 2011; Woodburn et al., 2009).

The primary outcome of the study was plasma HIV-1 RNA Viral load (V/L) amongst helminth-HIV-1 co-infected persons while secondary outcomes were (1) Cluster of Differentiation (CD4+) T-lymphocyte count, (2) maternal HIV-1 transmission (MTCT) and (3) mortality and other adverse events. The current method used for staging HIV infection in settings with limited resources is the sole measurement of CD4+ T cells (CD4 count test). WHO recommends a cut-off value of 200–350 CD4+ T cells/ μ l for adults; patients with values below this should be initiated on antiretroviral treatment (WHO, 2003b). Viral load test result might be reported as “<20”, “<50”, “<200”, “undetectable”, “not detected” (ND), “target not detected” (TND), “below the limit of detection” or “zero”. A normal viral load means less than 20 to 75 copies of the human immunodeficiency virus (HIV) per milliliter of blood. We hypothesized that pre-existing helminths infections may result in rising HIV-1 viral loads and reduced levels of CD4+ T-lymphocyte count and a higher likelihood of vertical HIV-1 transmission.

Methods

Inclusion criteria

We considered all studies regardless of their design: studies involving helminth co-infection among HIV-1 infected persons. All of the included studies were from Africa and involved HIV-1 infected persons who were recently treated for helminthiasis, or had a laboratory confirmed diagnosis of helminthiasis.

Exclusion criteria

All systematic reviews, communications, perspectives, and articles from non-African countries were automatically excluded.

Information source /search strategy

Research articles were retrieved from DOAJ, PubMed, PsycINFO, CINAHL, Google Scholar, AMED, and EMBASE databases using appropriate keywords to search and retrieve articles. The search period was set from the period starting from January 2000 to December 2022, covering a period of 22 years. The following search terms were used; helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression. An effort was made to manually extract both published and unpublished interventional studies and hand search key journals.

Risk of bias

Our review authors independently assessed the risk of bias in the included studies by considering the following characteristics: Four authors independently assessed the risk of bias in the included studies. The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) was used to appraise the selected studies. MMAT is a validated checklist used to appraise the quality of studies included in any systematic review with a quantitative, qualitative, and mixed methods approach. We also specified our hypotheses before conducting the analysis.

Table 1. Search strategy

Database	Search	Search word/terms	Results
PubMed	.Title abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
EMBASE	Title, abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
PsycINFO	Title, abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
AMED	Title and abstract	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
CINAHL	Title and abstract	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
DOAJ	Title, abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
Google Scholar	Title, abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	10

Reference search from other sources	Title, abstract and full article	helminths AND/OR Water, Sanitation and Hygiene AND/OR WaSH AND/OR HIV/AIDS AND/OR CD4+ count AND/OR HIV-1 RNA AND/OR Viral load AND/OR HIV disease progression	0
Total Result Search			10

Selection of studies

Identified articles were imported to Mendeley desktop window before they could be reviewed against the set inclusion criteria.

Data collection process

Titles and/or abstracts of studies were retrieved using the search strategy to identify studies that potentially met the inclusion criteria stated above. A standardized form was used to extract data from the included studies for quality and evidence synthesis. The details will include: Author, year of study, type of participants, age, setting, country, sample size, study design, and methods, study purpose and objectives, study outcome measures. Four review authors extracted data independently; discrepancies were tabled for discussion and were fully resolved before proceeding.

Search outcome

An initial database search located 2032 articles. A total of 432 articles were left after the removal of duplicates. The remaining articles were further filtered, and 427 articles were excluded because of age bracket (256), inappropriate outcome measures (299), and studies from non-African countries (123). The remaining 10 articles were selected for the final review (see Figure 2).

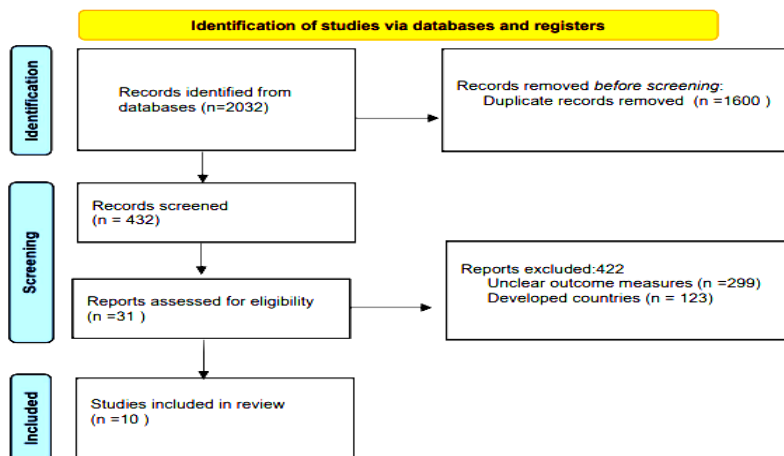


Figure 2. The PRISMA Flow Diagram

We reviewed studies that reported the effect of helminths on HIV disease progression, focusing on CD4+ T lymphocyte count and viral load amongst PLWHA. A total of ten studies were selected and are summarized in Table 2 below.

Table 2. Summary of studies

Author & year	Participant	Population			Sample size	Study design & methods	Study purpose/ Objective	Results	
		Age	Setting	Country				Outcome (VL)	Outcome (CD4+)
Kallestrup et al., 2005	Helminths and HIV-1 co-infected persons (130)	Adult	Hospital/Facility-based	Zimbabwe	287	RCT	To determine the effect of helminths and their treatment on VL and CD4 count	<ul style="list-style-type: none"> • Coinfected patients, who received early treatment had a significantly lower increase in plasma HIV-1 RNA load than did those who received delayed treatment (p<0.05); • The present study suggests that treatment of schistosomiasis can reduce the rate of viral replication 	<ul style="list-style-type: none"> • Those who received early treatment had an increase in CD4 cell count, whereas those who received delayed treatment did not (p<0.05); • The present study suggests that treatment of schistosomiasis can increase CD4 cell count in the coinfecting host.
Wolday,et al., 2002	Helminths and HIV-1 co-infected persons (31)	Adult	Hospital/Facility-based	Ethiopia	56	RCT	To study the effect of antihelminthic treatment on HIV plasma viral load (VL) in HIV- and helminth-infected individuals living in Ethiopia.	<ul style="list-style-type: none"> • The successful treatment of helminthic infection was accompanied by a mean decrease in HIV plasma log₁₀VL of -0.36 (±0.83) that was not correlated to CD4 levels. • Individuals infected with multiple helminth species had greater egg excretion in stools and a higher mean HIV plasma VL than those infected with a single helminth species (5.28 ± 0.35 versus 4.30 ± 1.13 log₁₀ RNA copies/mL, 	<ul style="list-style-type: none"> • No significant changes in CD4 T-lymphocyte counts between baseline and the 6-month visit for all groups.

									respectively; $p = 0.16$). No correlation was found between egg excretion and either WHO staging or CD4 counts.	
Walson et al., 2010	et	Helminths and HIV-1 co-infected persons (298)	Adult	Hospital/Facility-based	Kenya	1541	RCT	To determine prevalence and correlates of helminth infection among HIV-1 infected adults attending ten geographically distinct HIV Care and Treatment Clinics. To determine factors associated with STH clearance and persistence/re-infection among individuals who received albendazole as part of the clinical trial	Plasma log ₁₀ HIV RNA levels were similar between helminth species in the subset of individuals with available HIV-1 RNA levels ($p = 0.10$)	There were no differences in the median CD4 counts of individuals infected with different helminth species ($p = 0.27$)
Adeleke et al., 2015	et	Helminths and HIV-1 co-infected persons (57)	Adult	Hospital/Facility-based	South Africa	252	Cross-sectional	To investigate the prevalence of intestinal helminth infestation amongst adults	Although the participants with helminth infection had a slightly higher mean viral load than those with no infection, there was no statistically significant differences in the	Although the participants with helminth infection had a slightly lower mean CD4 count than those with no infection, there was no statistically significant

							living with HIV or AIDS at Mthatha General Hospital.	mean viral load ($p = 0.98$) in both groups.	differences in the mean CD4+ cell count ($p = 0.79$) in both groups. However, low CD4 count (< 200 cells/ μ L) was associated with intestinal helminthic infection. This was statistically significant ($p = 0.05$)
Downs et al., 2017	Helminths and HIV-1 co-infected persons Helminths uninfected and HIV-1 uninfected persons Helminths infected and HIV-1 uninfected persons	Adult	Hospital/Facility-based	Tanzania	3146	Case-control study	To determine whether schistosome infection affects susceptibility to HIV-1 acquisition and HIV-1 viral load at the time of HIV-1 seroconversion	Schistosomiasis at the time of HIV-1 infection led to a 0.7 \log_{10} increase in viral load at the time of HIV-1 seroconversion. A sustained 0.7 \log_{10} HIV-1 viral load increase equates with an approximate doubling in infectivity among HIV-1-schistosome co-infected individuals and would be expected to accelerate time to symptomatic AIDS Schistosome infection increases the susceptibility of women to HIV-1 acquisition and increases the HIV-1 viral load at HIV-1 seroconversion in those who become HIV-1-infected. This study suggests that interactions exist between HIV-1 and schistosomiasis that may play a critical role in HIV-1 transmission and disease progression	No data

Walson et al., 2008	Helminths and HIV-1 co-infected persons (299)	Adults	Hospital/Facility-based	Kenya	1,551	RCT	To determine if treatment of helminth co-infection in HIV-1 infected adults impacted markers of HIV-1 disease progression	Mean plasma viral load was 4.75 log ₁₀ copies/mL at enrolment. Albendazole therapy resulted in a trend for 0.54 log ₁₀ lower HIV-1 RNA levels (p=0.09). These effects were not seen with treatment of other species of soil-transmitted helminths	Treatment of <i>A. lumbricoides</i> with albendazole in HIV-1 co-infected adults resulted in significantly increased CD4 counts during 3-month follow-up Mean CD4 count was 557 cells/mm ³ at enrolment. Albendazole therapy resulted in significantly higher CD4 counts among individuals with <i>Ascaris lumbricoides</i> infection after 12 weeks of follow up (+109 cells/mm ³ ; 95% CI +38.9 to +179.0, p=0.003) These effects were not seen with treatment of other species of soil-transmitted helminths
Brown et al., 2001	Helminths and HIV-1 co-infected persons (299)	Adults	Hospital/Facility-based	Uganda	663	Prospective cohort study	To assess the relationship between helminths and HIV disease progression	At the time of enrollment into the study, the mean viral load was 4.83 log ₁₀ copies/mL (SD, 0.88 log ₁₀ copies/mL). A higher viral load was associated with a lower CD4+ cell count (p<.001) and more-advanced clinical stage (p<.001)	At the time of enrollment into the study, 38% of subjects had a CD4+ cell count <200 cells/mm ³ , and 36% were in WHO clinical stages 3 or 4. At the time of enrollment into the study, the overall median CD4+ cell count was 263 cells/mm ³ (interquartile range, 129–474 cells/mm ³).

Mulu et al., 2013	Helminths and HIV-1 co-infected persons (87)	Adults	Hospital/Facility-based	Ethiopia	220	prospective observational study	To define the impact of helminthic infestations and their treatment on viral load and T cell subsets in chronic HIV-1-infected patients	<p>After treatment, the mean viral load was 4.76 log₁₀ copies/mL at the time of enrollment and was 4.71 log₁₀ copies/mL at follow-up (p= .22 , paired t test). Changes in viral load according to infection status at follow up did not differ statistically except among Mansonella perstans–infected subjects, in whom the persistence of infection at follow-up was associated with a decrease in viral load (from 4.86 to 4.67 log₁₀ copies/mL). p= .009.</p>	<p>The CD4+ cell count decreased between enrollment and the 6-month follow up in subjects with and those without helminths at enrollment, as is expected in HIV progression (no helminths, ;p<.0001 hookworm, ; p= .002 Schistosoma mansoni, p<.0001; Strongyloides stercoralis, p= .0008; and Mansonella perstans, p=.02). The mean decrease for all subjects was 45.7 cells/mm³. (SD, 129.7 cells/mm³).</p>
								<p>Helminths were found to be associated with an increased HIV RNA level.</p> <p>Successful treatment of intestinal helminths reduced plasma HIV RNA levels in chronic HIV-1 subtype C infection</p> <p>At baseline, plasma viral load was significantly higher in individuals with helminths than</p>	<p>In conclusion: There was lack of association between helminth status and lower CD4+ cell count</p> <p>Twelve weeks after antihelminthic treatment, helminth infestations and their treatment had no significant effect on CD4+ T cell counts.</p> <p>However, helminth-infested individuals had a higher level of CD8+ T cells at baseline (p < 0.001), which was significantly reduced (p <</p>

those without helminthic infestation (5.01 log₁₀ vs. 3.41 log₁₀, p < 0.001). 0.01) at 12 weeks after antihelminthic treatment.

Twelve weeks after antihelminthic treatment, plasma HIV RNA levels were reduced in the successfully treated group (p < 0.001).

Webb et al., 2012	Helminths and HIV-1 co-infected pregnant women	Adults	Hospital/Facility-based	Uganda	264	RCT	To investigate the effect of helminth infections and their treatment during pregnancy on HIV load	Hookworm and Trichuris infections were associated with higher mean viral load at enrolment (adjusted mean difference 0.24log ₁₀ copies/ml, 95% confidence interval (CI): 0.01 to 0.47, p=0.03 and 0.37log ₁₀ copies/ml, 95%CI: 0.00 to 0.74, p=0.05, respectively). There were no associations between viral load and other helminth species. There was some evidence that albendazole reduced viral load at six weeks post-treatment (adjusted mean difference -0.17, 95% CI: -0.36 to 0.01, p=0.07) Infection with STH is associated with increased HIV load in pregnancy.	No data
-------------------	--	--------	-------------------------	--------	-----	-----	---	--	---------

Treatment with albendazole causes a small decrease in HIV load, but not reflective of a direct effect of worm removal.

Rabiu et al., 2021	Helminths and HIV-1 co-infected pregnant women	Adults	Hospital/ Facility- based	Nigeria	197	Cross- sectional survey	To assess the effect of malaria and helminths on CD4 count, hematocrit values and viral load among HIV- infected pregnant women	The mean viral load and hematocrit values were not significantly different in the co- infection groups relative to those with HIV-infection only.	Those with co-infection of helminth and HIV had a lower CD4 count but this was not significant relative to those with HIV only. Likewise, the proportion of those with low CD4 count and low hematocrit values among those with co- infection relative to HIV only was not significant
-----------------------	--	--------	---------------------------------	---------	-----	-------------------------------	---	---	--

Data synthesis

The authors provide a narrative synthesis of the findings from the included studies with a particular focus on plasma HIV-1 RNA Viral load (V/L) amongst helminth-HIV-1 co-infected persons. A narrative synthesis was conducted based on the methodology and results of the included studies.

Results

Quality appraisal

The methodological quality of included studies was critically appraised using the Mixed Method Appraisal Tool (MMAT). Ten (10) high quality studies fulfilled the core criteria for their specific study design. No study was rated below the minimum threshold of 90%. With an average score of 96% across the included articles, the studies are categorized as very high quality and fit for synthesis. Therefore, the findings from this study can be considered credible and upon which policy, practice, and research can be based.

Table 3. Mixed Method Appraisal Tool (MMAT)

Name of study/ author	Type of study	Methodological quality criteria	Y/N	Comment	Score
Kallestrup et al., 2005 Schistosomiasis and HIV-1 Infection in Rural Zimbabwe: Effect of Treatment of Schistosomiasis on CD4 Cell Count and Plasma HIV-1 RNA Load	Randomized controlled trial	2.1. Randomization appropriate?	Y		100%
		2.2. Group comparability at baseline	Y		
		2.3. Completeness (outcome data)	Y		
		2.4. Blinding of intervention	Y		
		2.5 Adherence to the intervention	Y		
Wolday et al., 2002 Treatment of Intestinal Worms Is Associated With Decreased HIV Plasma Viral Load	Randomized controlled trial	2.1. Randomization appropriate?	Y		100%
		2.2. Group comparability at baseline	Y		
		2.3. Completeness (outcome data)	Y		
		2.4. Blinding of intervention	Y		
		2.5 Adherence to the intervention	Y		
Walson et al 2010 Prevalence and Correlates of Helminth Co-infection in Kenyan HIV-1 Infected Adults	Randomized controlled trial	2.1. Randomization appropriate?	Y		100%
		2.2. Group comparability at baseline	Y		
		2.3. Completeness (outcome data)	Y		
		2.4. Blinding of intervention	Y		
		2.5 Adherence to the intervention	Y		
Adeleke et al., 2015 Intestinal helminth infections amongst HIV-infected adults in Mthatha General Hospital, South Africa	Cross-sectional	3.1. Sample representativeness	Y		100%
		3.2. Measurements (outcome/intervention)	Y		
		3.3. Completeness (outcome data)	Y		
		3.4. Accounting for confounders	Y		
		3.5. Timing of the intervention	Y		
Downs et al 2017	Case control	2.1. Randomization appropriate?	Y		80%
		2.2. Group comparability at baseline	Y		

Effects of schistosomiasis on susceptibility to HIV-1 infection and HIV-1 viral load at HIV-1 seroconversion: A nested case-control study		2.3. Completeness (outcome data)	Y	
		2.4. Blinding of intervention	Y	
		2.5 Adherence to the intervention	N	
Walson et al., 2008 Albendazole treatment of HIV-1 and helminth co-infection: A randomized, double blind, placebo-controlled trial	Randomized controlled trial	2.1. Randomization appropriate?	Y	100%
		2.2. Group comparability at baseline	Y	
		2.3. Completeness (outcome data)	Y	
		2.4. Blinding of intervention	Y	
		2.5 Adherence to the intervention	Y	
Brown et al., 2001 Helminth Infection Is Not Associated with Faster Progression of HIV Disease in Coinfected Adults in Uganda	Prospective cohort study	3.1. Sample representativeness	Y	100%
		3.2. Measurements (outcome/intervention)	Y	
		3.3. Completeness (outcome data)	Y	
		3.4. Accounting for confounders	Y	
		3.5. Timing of the intervention		
Mulu et al., 2013 Deworming of intestinal helminths reduces HIV-1 subtype C viremia in chronically co-infected individuals	Prospective observational	3.1. Sample representativeness	Y	100%
		3.2. Measurements (outcome/intervention)	Y	
		3.3. Completeness (outcome data)	Y	
		3.4. Accounting for confounders	Y	
		3.5. Timing of the intervention		

<p>Webb et al.,2012 The effect of anthelmintic treatment during pregnancy on HIV plasma viral load; results from a randomised, double blinded, placebo-controlled trial in Uganda</p>	<p>Randomized controlled trial</p>	<p>2.1. Randomization appropriate? 2.2. Group comparability at baseline 2.3. Completeness (outcome data) 2.4. Blinding of intervention 2.5 Adherence to the intervention</p>	<p>Y Y N Y Y</p>	<p>80%</p>
<p>Rabiu et al.,2021 Malaria, Helminth Infections and Clinical Status Among HIV-Infected Pregnant Women</p>	<p>Cross-sectional</p>	<p>3.1. Sample representativeness 3.2. Measurements (outcome/intervention) 3.3. Completeness (outcome data) 3.4. Accounting for confounders 3.5. Timing of the intervention</p>	<p>Y Y Y Y Y</p>	<p>100%</p>

Study characteristics

Ten studies fulfilled the eligibility criteria. These studies were conducted in Ethiopia, South Africa, Tanzania, Uganda, Nigeria, Zimbabwe and Kenya (See Table 2). Five studies were RCT (Webb et al., 2012; Walson et al., 2010; Walson et al., 2008; Kallestrup et al., 2005; Wolday, et al., 2002). Two studies were cross sectional (Rabiu et al., 2021; Adeleke et al., 2015). The other two were prospective observational studies (Mulu et al., 2013; Brown et al., 2001) and the last one was a case control study (Downs et al., 2017). The studies had the following sample sizes: 287 (RCT), 56 (RCT), 1,541 (RCT), 252 (C/Sectional), 3,146 (C/Control), 1,551 (RCT), 663 (P/Observational), 220 (P/Observational), 264 (RCT), 197 (C/Sectional). Participants' characteristics were as follows: helminths and HIV-1 co-infected persons, and/ or helminths un-infected and HIV-1 un-infected persons, and/ or helminths infected and HIV-1 un-infected persons. All studies were hospital/facility-based and involved adult participants.

Summary of the findings

Studies included in this review were analyzed based on the following outcomes: The primary outcome of the study was plasma HIV-1 RNA Viral load (V/L) amongst helminth-HIV-1 co-infected persons. Secondary outcomes were:

- i. Cluster of Differentiation (CD4+) T-lymphocyte count
- ii. maternal HIV-1 transmission (MTCT)
- iii. mortality and other adverse events

The current method used for staging HIV infection in settings with limited resources is the sole measurement of CD4+ T cells (CD4 count test). WHO recommends a cut-off value of 200–350 CD4+ T cells/ μ l for adults; patients with values below this should be initiated on antiretroviral treatment (WHO, 2003b).

Viral load test result might be reported as “<20”, “<50”, “<200”, “undetectable”, “not detected” (ND), “target not detected” (TND), “below the limit of detection” or “zero”. A normal viral load means less than 20 to 75 copies of the human immunodeficiency virus (HIV) per milliliter of blood. A normal viral load may indicate: Low risk of HIV infection. Zero risk of transmitting infection.

Different sample sizes were used in the studies, ranging from 56 to 3146. All the articles managed to statistically present the findings and clearly indicated whether the results were statistically significant or not using either p-values or confidence intervals.

HIV-1 RNA Viral load (V/L)

Coinfected patients, who received early treatment had a significantly lower increase in plasma HIV-1 RNA load than did those who received delayed treatment ($p < 0.05$). Successful treatment led to a significant decline in HIV plasma \log_{10} VL of $-0.36 (\pm 0.83)$. Individuals who were infected with more than one helminth species experienced a higher mean plasma HIV-1 RNA Viral load than their counterparts who had just a single type of helminths (Kallestrup et al., 2005). Schistosomiasis led to a $0.7 \log_{10}$ increase in viral load at the time of HIV-1 seroconversion thereby increasing the susceptibility of women to HIV-1 infection and viral load, suggesting a critical role of the infection in transmission and disease progression particularly among women (Downs et al., 2017). Hookworm and Trichuris infections were associated with higher mean viral load at enrolment (adjusted mean difference $0.24 \log_{10}$ copies/ml, 95% confidence interval (CI): 0.01 to 0.47, $p = 0.03$ and $0.37 \log_{10}$ copies/ml, 95%CI: 0.00 to 0.74, $p = 0.05$, respectively). Infection with STH was associated with increased HIV load in pregnancy (Webb et al., 2012) and a higher viral load was associated with a lower CD4+ cell count ($p < .001$) and more-advanced clinical stage ($p < 0.001$), (Brown et al., 2001). There was some evidence (though not very strong) that treatment with albendazole reduced viral load at six weeks post-treatment (adjusted mean difference -0.17 , 95% CI: -0.36 to 0.01 , $p = 0.07$), (Webb et al., 2012)

In conclusion, HIV-1 RNA levels were significantly higher at enrolment, in individuals with helminths than those without helminthic infestation ($5.01 \log_{10}$ vs. $3.41 \log_{10}$, $p < 0.001$). The magnitude of effect was variable, ranging from $5.28 \log_{10}$ copies/mL at baseline and $4.67 \log_{10}$ copies/mL, ($p < 0.05$) after successful treatment and a trend for $0.61 \log_{10}$ lower HIV-1 RNA levels. All but one RCT reported decline in plasma HIV-1 RNA levels and significant interactions were seen in the successfully treated groups ($p < 0.001$). Although some variations existed, this study suggests that interactions exist between HIV-1 and helminths infestation that may play a critical role in disease progression.

Cluster of Differentiation (CD4+) T-lymphocyte Count

Early treatment of schistosomiasis led to an increase in CD4+ cell count, whereas late treatment did not ($p < 0.05$), suggesting that treatment of schistosomiasis can boost CD4+ cell count in co-infected hosts if timely commenced (Kallestrup et al., 2005). Treatment with Albendazole resulted in significantly higher CD4+ counts among individuals with *Ascaris lumbricoides* infestation ($+109$ cells/mm³; 95% CI $+38.9$ to $+179.0$, $p=0.003$), (Walson et al., 2008). Low CD4+ count (< 200 cells/ μ L) was significantly associated with intestinal helminths infestation ($p = 0.05$) ($p = 0.05$) (Adeleke, 2015) but there were no significant differences in the median CD4+

counts of persons who were infected with different helminth species ($p = 0.27$), (Walson et al., 2010). Two studies (Downs et al., 2017; Webb et al., 2012) did not provide data on this outcome. All other studies reported statistically insignificant differences in the mean CD4+ cell count ($p = 0.79$) in both groups (Adeleke et al., 2015); inconsistent results (Walson et al., 2010; Brown et al., 2001); insignificant differences relative to those with HIV only, (Robiu et al., 2021). Similarly, other studies (Mulu et al., 2013; Wolday et al., 2002) did not find any significant effect of helminths on CD4+ count.

In conclusion, there were inconsistent results on the effect of helminths on CD4+ T-lymphocyte count as values were not significantly different in the co-infection groups relative to those with HIV-infection alone. We determined the quantity and quality of evidence from studies examining MTCT and mortality as poor owing to the limited number of studies that reported the two as outcomes. We did not find suitable studies that estimated mother to child transmission rates in HIV-1 infected women (vertical transmission). Similarly no study reported about any adverse events as an outcome.

Discussion

Evidence about the effect of helminths infections on HIV disease progression among PLWHA remains mixed and inconclusive as studies have implicated helminths in increasing systemic immune activation, which is linked to an increase in HIV-1 susceptibility and faster progression to AIDS; yet some have reported no association. Mixed opinions have always resulted from contextual factors, or study settings, sampling framework, methodological limitations, characteristics of the study population, and in some cases failure to limit bias on the part of researchers and variations in error tolerance thresholds. In this systematic review, we systematically synthesized evaluated, and summarized the findings of all relevant individual studies in an attempt to resolve the research question. We critically appraised and summarized the published evidence on the effect of helminths infections on HIV disease progression among PLWHA. All the included studies reported plasma HIV-1 RNA Viral load (V/L) and Cluster of Differentiation (CD4+) T-lymphocyte count amongst helminth-HIV-1 co-infected persons as study outcomes and must have been explicitly defined within the abstract. We also reviewed studies that reported the efficacy of antihelminthic treatment on HIV prognostic markers.

Early treatment resulted in significantly higher CD4+ counts among individuals with *Ascaris lumbricoides* infestation (Walson et al., 2008) and lower viral loads. (Downs et al., 2017; Adeleke et al., 2015; Webb et al., 2012; Kallestrup et al., 2005). Specifically, a 1.0 log₁₀ copies per mL drop in plasma viral load translate to a 2-year delay in the development of an AIDS-defining condition. The same amount of plasma HIV-1 RNA decline takes

away half of HIV-1 transmission risk. Our analysis showed a viral-load decline of at least 0.6 log₁₀ copies per mL from the included studies. This evidence supports that even small declines can lead to the slowing down of HIV progression and could positively contribute towards lowering HIV transmission risk amongst the larger population (Modjarrad et al., 2010). Treatment of co-infections prevalent among PLWHA might therefore result in suppression of plasma HIV-1 RNA concentrations, delay time to an AIDS-defining event and substantial public-health risk reduction.

No statistically significant difference was seen between the co-infection groups relative to those with HIV-infection alone. The lack of association between CD4+ count and helminth infection in the present study could be attributable to the small sample sizes that were used in the primary studies (see study characteristics) and the ultimate number of studies that made it to the final selection for this systematic review, some of which were not designed specifically to address this hypothesis. Declining CD4+ counts have been closely linked with higher burdens and severe forms of strongyloides, ascaris and hookworms infestation (Bava et al., 2009). Significant decline in the prevalence of helminths have been reported among persons who are adherent to antiretroviral therapy (ART), suggesting that immune recovery may result in protection against some forms of helminth infestation (Tran et al., 2019; Walson et al., 2010; Bava et al., 2009; Bachur et al., 2008). This can well be extended to the reason of a lack of mortality in helminths-infested subjects in the current study suggesting that CD4+ cells mirrors a real immune advantage in HIV-infected subjects.

The lack of association between helminth infections status and lower CD4+ cell count argues against the second part of our hypothesis and sharply contradicts the results of other previous studies [Brown et al., 2021; Adeleke et al., 2015; Borkow et al., 2000]. We hypothesized that concurrent helminths infections may lead to impaired immune control of HIV-1, resulting in escalating HIV-1 viral loads and reduced levels of CD4+ T-lymphocyte count. Subject to successful treatment, we further hypothesized a decrease in plasma HIV-1 RNA load and slowing down of HIV-1 disease progression. In this study, we have demonstrated that helminths are associated with an increase in HIV-1 RNA levels that accelerate the progression of sub-clinical disease to symptomatic AIDS. In the same way, successful treatment of helminths reduced plasma viral load among co-infected persons. There were inconsistent results on the effect of helminths on CD4+ T-lymphocyte count as values were not significantly different in the co-infection groups relative to those with HIV-infection alone. Plasma human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) viral load and CD4+ cell count are used to predict the likely outcome or course of disease amongst persons infected with HIV.

Limitation of the study

Most studies were not included due to inadequate reporting of some essential data elements. Owing to fewer studies on the concurrent infections with helminths and HIV-1 among persons living in poor resource settings, there is an urgent need for well controlled and double-blinded large scale studies to fully resolve this question.

Implications of the study findings for practice, research, and policy

The World Health Assembly estimates that two billion people are infected by helminths worldwide and that an estimated 160 million still harbor at least one of the following: *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, *Loa loa*, and *Onchocerca volvulus* among the pathogenic phyla (Vanhamme et al., 2020); cestode (tapeworms) and the trematode (flukes) among the Platyhelminthes class (Deoletal., 2019). Attributable causes of helminths infestation remain poor WaSH and bad living conditions among HIV-1 co-infected persons in poor resource settings. PLWHA, children and pregnant women are highly susceptible to complications associated with helminths infestation (Blackwell et al., 2016). While preventive chemotherapy can be attained more cheaply through external donor support, and administered safely to reduce helminthiasis, routine mass campaigns have focused on children. Secondly such campaigns have lost an opportunity to mainstream WaSH as a long-term preventive and sustainable strategy for the control of helminths infestations in the face of potential threats such as drug resistance and donor fatigue. Through an integrated WaSH/HIV approach, substantial behavioral change in handwashing, use of latrines and appropriate food handling practices need to be reinforced. There is need for modelling of WaSH in high HIV sentinel sites to enhance robustness, understandability and validation of a set of WaSH/HIV indicators and outcomes. Geophagy and pica (the craving and purposive consumption of substances not culturally defined as food eg soil/earth by some pregnant women from other tribes) must be discouraged through effective behavior change and health promotion programs that target pregnant women living with HIV.

“The Global strategy on WaSH to combat Neglected Tropical diseases- 2021-2030” aligns with the Sustainable Development Goal targets 6.1 and 6.2 on drinking water and sanitation. Potable water supply and basic sanitation are key towards the attainment of the other SDG targets including good health and well-being (SDG 3), economic growth (SDG 8), and reduced inequalities (SDG 10).

Conclusion

We have demonstrated that WaSH is critical for PLWHA’s health. Evidence from this systematic review suggests that helminths and HIV-1 co-

infections are associated with an increase in HIV-1 RNA levels that accelerate progression of sub-clinical disease to symptomatic AIDS. At the same time, the study found no association between CD4+ count and helminth infection. It follows therefore that efforts to reduce fecal contamination of the environment through WaSH interventions could be essential for the long-term, sustainable control of helminthiasis. This study proposes preventive chemotherapy as a potential preventive HIV service package for PLWHA. This evidence supports that WaSH and HIV/AIDS co-programming could be beneficial for the prevention and control of helminths, suppression of HIV load. Large scale trials are suggested to yield strong evidence.

Conflict of interest: The authors declare no competing interests.

References:

1. Adeleke, O.A., Yogeswaran, P. and Wright, G., 2015. Intestinal helminth infections amongst HIV-infected adults in Mthatha General Hospital, South Africa. *African Journal of Primary Health Care and Family Medicine*, 7(1), pp.1-7.
2. Alsan, M.M., Westerhaus, M., Herce, M., Nakashima, K. and Farmer, P.E., 2011. Poverty, global health, and infectious disease: lessons from Haiti and Rwanda. *Infectious Disease Clinics*, 25(3), pp.611-622.
3. Azoh Barry, J., 2014. Social sciences research on infectious diseases of poverty: too little and too late?. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(6), p.e2803.
4. Bangert, M., Molyneux, D.H., Lindsay, S.W., Fitzpatrick, C. and Engels, D., 2017. The cross-cutting contribution of the end of neglected tropical diseases to the sustainable development goals. *Infectious diseases of poverty*, 6(1), pp.1-20.
5. Bhutta, Z.A., Sommerfeld, J., Lassi, Z.S., Salam, R.A. and Das, J.K., 2014. Global burden, distribution, and interventions for infectious diseases of poverty. *Infectious diseases of poverty*, 3(1), pp.1-7.
6. Blackwell, A.D., 2016. Helminth infection during pregnancy: insights from evolutionary ecology. *International journal of women's health*, 8, p.651.
7. Brown, M., Kizza, M., Watera, C., Quigley, M.A., Rowland, S., Hughes, P., Whitworth, J.A. and Elliott, A.M., 2004. Helminth infection is not associated with faster progression of HIV disease in coinfecting adults in Uganda. *The Journal of infectious diseases*, 190(10), pp.1869-1879.
8. Campbell, S.J., Biritwum, N.K., Woods, G., Velleman, Y., Fleming, F. and Stothard, J.R., 2018. Tailoring water, sanitation, and hygiene

- (WASH) targets for soil-transmitted helminthiasis and schistosomiasis control. *Trends in parasitology*, 34(1), pp.53-63.
9. Deol, A.K., Fleming, F.M., Calvo-Urbano, B., Walker, M., Bucumi, V., Gnadou, I., Tukahebwa, E.M., Jemu, S., Mwingira, U.J., Alkohani, A. and Traoré, M., 2019. Schistosomiasis—assessing progress toward the 2020 and 2025 global goals. *New England Journal of Medicine*, 381(26), pp.2519-2528.
 10. Downs, J.A., Dupnik, K.M., van Dam, G.J., Urassa, M., Lutonja, P., Kornelis, D., de Dood, C.J., Hoekstra, P., Kanjala, C., Isingo, R. and Peck, R.N., 2017. Effects of schistosomiasis on susceptibility to HIV-1 infection and HIV-1 viral load at HIV-1 seroconversion: A nested case-control study. *PLoS neglected tropical diseases*, 11(9), p.e0005968.
 11. Elliott, A.M., Ndibazza, J., Mpairwe, H., Muhangi, L., Webb, E.L., Kizito, D., Mawa, P., Tweyongyere, R. and Muwanga, M., 2011. Treatment with anthelmintics during pregnancy: what gains and what risks for the mother and child?. *Parasitology*, 138(12), pp.1499-1
 12. Engels, D. and Zhou, X.N., 2020. Neglected tropical diseases: an effective global response to local poverty-related disease priorities. *Infectious diseases of poverty*, 9(1), pp.1-9.
 13. Hernández-Bello, R., Nava-Castro, K., Muñiz-Hernández, S., Nava-Luna, P., Trejo-Sánchez, I., Tiempos-Guzmán, N., Mendoza-Rodríguez, Y. and Morales-Montor, J., 2012. Beyond the reproductive effect of sex steroids: their role during immunity to helminth parasite infections. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 12(11), pp.1071-1080.
 14. Kallestrup, P., Zinyama, R., Gomo, E., Butterworth, A.E., van Dam, G.J., Erikstrup, C. and Ullum, H., 2005. Schistosomiasis and HIV-1 infection in rural Zimbabwe: implications of coinfection for excretion of eggs. *The Journal of infectious diseases*, 191(8), pp.1311-1320.
 15. Li, P., Xing, H., Zhao, Z., Yang, Z., Cao, Y., Li, W., Yan, G., Sattabongkot, J., Cui, L. and Fan, Q., 2015. Genetic diversity of Plasmodium falciparum histidine-rich protein 2 in the China–Myanmar border area. *Acta tropica*, 152, pp.26-31.
 16. Mermin, J., Ekwaru, J.P., Were, W., Degerman, R., Bunnell, R., Kaharuza, F., Downing, R., Coutinho, A., Solberg, P., Alexander, L.N. and Tappero, J., 2011. Utility of routine viral load, CD4 cell count, and clinical monitoring among adults with HIV receiving antiretroviral therapy in Uganda: randomised trial. *Bmj*, 343.

17. Modjarrad, K. and Vermund, S.H., 2010. Effect of treating co-infections on HIV-1 viral load: a systematic review. *The Lancet infectious diseases*, 10(7), pp.455-463.
18. Mulu, A., Maier, M. and Liebert, U.G., 2013. Deworming of intestinal helminths reduces HIV-1 subtype C viremia in chronically co-infected individuals. *International Journal of Infectious Diseases*, 17(10), pp.e897-e901.
19. Mpairwe, H., Tweyongyere, R. and Elliott, A., 2014. Pregnancy and helminth infections. *Parasite immunology*, 36(8), pp.328-337.
20. Rabiou, O.R., Dada-Adegbola, H., Falade, C.O., Arinola, O.G., Odaibo, A.B. and Ademowo, O.G., 2021. Malaria, Helminth Infections and Clinical Status Among HIV-Infected Pregnant Women. *International Journal of Maternal and Child Health and AIDS*, 10(1), p.81.
21. Richmond, B.W., Mansouri, S., Serezani, A., Novitskiy, S., Blackburn, J.B., Du, R.H., Fuseini, H., Gutor, S., Han, W., Schaff, J. and Vasiukov, G., 2021. Monocyte-derived dendritic cells link localized secretory IgA deficiency to adaptive immune activation in COPD. *Mucosal immunology*, 14(2), pp.431-442.
22. Sartorius, B., VanderHeide, J.D., Yang, M., Goosmann, E.A., Hon, J., Haeuser, E., Cork, M.A., Perkins, S., Jahagirdar, D., Schaeffer, L.E. and Serfes, A.L., 2021. Subnational mapping of HIV incidence and mortality among individuals aged 15–49 years in sub-Saharan Africa, 2000–18: a modelling study. *The Lancet HIV*, 8(6), pp.e363-e375.
23. Stillwaggon, E. (2005). *AIDS and the Ecology of Poverty*. Oxford University Press.
24. Vanhamme, L., Souopgui, J., Ghogomu, S. and Ngale Njume, F., 2020. The Functional Parasitic Worm Secretome: Mapping the Place of *Onchocerca volvulus* Excretory Secretory Products. *Pathogens*, 9(11), p.975.
25. Walson, J.L., Stewart, B.T., Sangaré, L., Mbogo, L.W., Otieno, P.A., Piper, B.K., Richardson, B.A. and John-Stewart, G., 2010. Prevalence and correlates of helminth co-infection in Kenyan HIV-1 infected adults. *PLoS neglected tropical diseases*, 4(3), p.e644.
26. Walson, J.L., Otieno, P.A., Mbuchi, M., Richardson, B.A., Lohman-Payne, B., Macharia, S.W., Overbaugh, J., Berkley, J., Sanders, E.J., Chung, M. and John-Stewart, G.C., 2008. Albendazole treatment of HIV-1 and helminth co-infection: a randomized, double blind, placebo-controlled trial. *AIDS (London, England)*, 22(13), p.1601.
27. Webb, E.L., Ekii, A.O. and Pala, P., 2012. Epidemiology and immunology of helminth–HIV interactions. *Current Opinion in HIV and AIDS*, 7(3), pp.245-253.

28. Wolday, D., Mayaan, S., Mariam, Z.G., Berhe, N., Seboxa, T., Britton, S., Galai, N., Landay, A. and Bentwich, Z., 2002. Treatment of intestinal worms is associated with decreased HIV plasma viral load. *JAIDS-HAGERSTOWN MD-*, 31(1), pp.56-62.
29. Woodburn, P.W., Muhangi, L., Hillier, S., Ndibazza, J., Namujju, P.B., Kizza, M., Ameke, C., Omoding, N.E., Booth, M. and Elliott, A.M., 2009. Risk factors for helminth, malaria, and HIV infection in pregnancy in Entebbe, Uganda. *PLoS neglected tropical diseases*, 3(6), p.e473.
30. World Health Organization, 2013. Global update on HIV treatment 2013: results, impact and opportunities.
31. World Health Organization, 2012. *Research priorities for helminth infections: technical report of the TDR disease reference group on helminth infections*. World Health Organization.
32. World Health Organization, 2011. *Helminth control in school-age children: a guide for managers of control programmes*. World Health Organization.

Diabete Africain en France

Massi A. W.
Philippon M.
Sejil S.
Delenne B.

Service de Diabétologie du Centre Hospitalier du pays d'Aix
(Aix -en-Provence)

Abodo J.

Service de Diabétologie-Endocrinologie CHU de Yopougon Abidjan,
Cote d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p239](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p239)

Submitted: 30 November 2022

Accepted: 15 February 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Massi A.W., Philippon M., Sejil S., Delenne B. & Abodo J. (2023). *Diabete Africain en France*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 239.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p239>

Résumé

Introduction :

Les auteurs rapportent le cas d'un diabète africain ou diabète atypique désigne un type spécifique de diabète présentant au départ des stigmates d'un diabète de type 1 mais dont l'évolution ultérieure se fait vers un diabète de type 2 avec la possibilité d'une longue phase de rémission. Il s'agit d'un sujet d'origine africaine, des spécificités diagnostiques, métaboliques, physiopathologiques et prise en charge de ce type de diabète. Patients et méthodes : Il s'agit d'une observation clinique d'un patient d'origine africaine vivant en France ayant un diabète atypique. Cas clinique : Patient âgé de 33 ans, a été hospitalisé pour une acidocétose diabétique. Il a un antécédent familial de diabète de type 2, un surpoids (IMC = 28,73 Kg/m²). Une insulinothérapie a été instaurée. Le bilan étiologique de cette décompensation métabolique et la recherche de d'anticorps anti-GAD et anti-IA2 sont négatifs. Après 3 mois d'insulinothérapie, on obtient un équilibre glycémique satisfaisant marqué par une HbA1c à 7 % et un peptide C remonté à 300 pmol/l (pour une GV à 1,09g/l). Au 6ème mois, le patient présente un parfait équilibre glycémique (HbA1C : 6,4 %), avec un peptide C qui s'est normalisé à 870 pmol/l (pour

une GV à 1,29g/l). C'est ce qui a permis de proposer l'arrêt de l'insulinothérapie. Pour des raisons sociales, le patient refuse l'arrêt du traitement. Aucune anomalie n'a été objectivée au fond d'œil, ni à l'électrocardiogramme, ni à l'évaluation de la fonction rénale (Clairance de créatinine normale par MDRD et micro-albuminurie négative). Ce tableau clinique illustre un cas de diabète d'un africain. Il s'agit d'une expression clinique proche du diabète de type 1 (DT1) mais se caractérise par une rémission, plus lente que la lune de miel dans le DT1, avec une absence de stigmates d'auto-immunité. Il est considéré comme diabète atypique ou de type 1 idiopathique. Conclusion : Ce type de diabète évoque plusieurs hypothèses physiopathologiques. L'équilibre glycémique est rapidement obtenu sous insulinothérapie, avec possibilité de rémission

Mots-clés: Diabète, africain, atypique, HLA, cétose

African Diabetes in France

Massi A. W.

Philippon M.

Sejil S.

Delenne B.

Service de Diabétologie du Centre Hospitalier du pays d'Aix
(Aix -en-Provence)

Abodo J.

Service de Diabétologie-Endocrinologie CHU de Yopougon Abidjan,
Cote d'Ivoire

Abstract

Introduction : The authors report the case of African diabetes or atypical diabetes refers to a specific type of diabetes presenting initially with the stigma of type 1 diabetes but whose subsequent evolution is towards type 2 diabetes with the possibility of a long remission phase. This is a subject of African origin, and the diagnostic, metabolic, pathophysiological, and management specificities of this type of diabetes. Patients and methods: This is a clinical observation of a patient of African origin living in France with atypical diabetes. Clinical case: A 33-year-old patient was hospitalized for diabetic ketoacidosis. He had a family history of type 2 diabetes and was overweight (BMI = 28.73 kg/m²). Insulin therapy was initiated. The aetiological assessment of this metabolic decompensation and the search for anti-GAD and anti-IA2 antibodies were negative. After 3 months of insulin therapy, a satisfactory glycaemic balance was obtained, marked by an HbA1c

of 7% and a C-peptide of 300 pmol/l (for a GV of 1.09g/l). At the 6th month, the patient had perfect glycaemic control (HbA1C: 6.4%), with a C-peptide that had normalized to 870 pmol/l (for a GV of 1.29g/l). This was the basis for proposing the discontinuation of insulin therapy. For social reasons, the patient refused to stop the treatment. No abnormalities were observed on the fundus, electrocardiogram, or renal function tests (normal creatinine clearance by MDRD and negative microalbuminuria). This clinical picture illustrates a case of diabetes in an African. It is a clinical expression close to type 1 diabetes (T1DM) but is characterized by remission, slower than the honeymoon period in T1DM, with an absence of autoimmune stigma. It is considered atypical or idiopathic type 1 diabetes. Conclusion: This type of diabetes raises several pathophysiological hypotheses. Glycaemic control is rapidly achieved with insulin therapy, with the possibility of re-emission

Keywords: Diabetes, african, atypical, HLA, ketosis

Introduction

Ces dernières décennies ont été marquées par l'avènement de formes particulières de diabète dites " diabètes intermédiaires" qui ne correspondent pas aux formes traditionnellement décrites par l'Association Américaine du Diabète (ADA), en particulier au diabète de type 1 ou diabète de type 2. (Sjöholm, Å, 2019).

Ces diabètes intermédiaires ont été constatés pour la première fois dans les populations africaines (d'où le nom de « diabète africain »). (Winter et al., 1987). Malgré le manque de données épidémiologiques du fait d'une reconnaissance tardive par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 1997, la prévalence paraît importante, estimée entre 10 à 20 % de la totalité des diabètes sucrés en Afrique (Sobngwi et al., 2001). En outre, des cas similaires ont été rapportés dans d'autres groupes ethniques, notamment chez des Japonais et chez des Caucasiens (Monnier & Colette, 2020).

Évoluant en deux phases bien distinctes, c'est un diabète qui dans son expression inaugurale se présente comme un diabète de type 1 mais dépourvu de sa composante immunologique et, ultérieurement, son évolution rejoint celle d'un diabète de type 2 (Yamada & Nonaka, 1996).

La physiopathologie de ce diabète reste encore mal élucidée, cependant quelques études récentes sur des cohortes tendent d'en comprendre les mécanismes physiopathologiques (BALASUBRAMANYAM, 2019). La description de ce cas clinique nous permettra de mieux décrire leurs caractéristiques épidémiologiques, physiopathologiques, cliniques et évolutives

Cas clinique:

Motif d'Hospitalisation:

Décompensation cétosique révélatrice d'un diabète méconnu

Antécédents:

Sur le plan personnel, on retrouve un surpoids avec un IMC : 28,73 kg/m² (P : 88 kg, taille : 175cm).

Pas d'intoxication alcoolique-tabagique.

Sur le plan familial, ses parents ne sont pas diabétiques, une sœur est connue diabétique (diabète non étiqueté).

Mode de vie:

Mr M, âgée de 35 ans, d'origine sénégalaise, vivant en France depuis 10 ans. Il est marié, cuisinier, et père de 2 filles . Il est à 2 repas par jour avec beaucoup de grignotages et consomme beaucoup de boissons sucrées

Histoire de la maladie:

Il s'agit d'un patient de 35 ans transféré le 7 septembre 2020 de l'Unité d'hospitalisation de courte durée des urgences (UHCD) vers le service de Diabétologie-Endocrinologie du Centre Hospitalier du Pays d'Aix pour poursuite de prise en charge d'une décompensation cétosique révélatrice d'un diabète méconnu.

Le diabète a été découvert dans un contexte de syndrome polyuro-polydipsique ayant débuté 4 semaines avant son admission. A ce syndrome polyuro-polydipsique était associé un amaigrissement progressif d'environ 10 kg sur 3 mois

Le bilan sanguin réalisé en ville revient avec une glycémie à jeun (GAJ) à 3.75 g/l et HbA1c 17.9%.

Aux urgences : la glycémie veineuse était à 7,27 g/l avec une acétonémie positive à 0,6 mmol/l, la gazométrie était normale. Il n'y avait pas de trouble ionique, ni d'altération de la fonction rénale. La conscience était normale. On ne notait pas de fièvre, pas de douleurs abdominales, ni de vomissements. Aucun facteur déclenchant n'est retrouvé. Il a été tout de suite initié un protocole d'insulinothérapie par IVSE ainsi qu'une hydratation.

Ensuite, le transfert a été organisé vers le service de diabétologie pour la suite de la prise en charge.

Examen clinique:

Signes généraux:

L'état général est conservé, la TA est mesurée à 132/79 mm hg, la fréquence cardiaque à 62 bpm, la température à 37,2 °c. Il a un poids de 78 kg, une taille de 175cm réalisant un IMC à 25,47 kg/m² correspondant à un

surpoids, pas d'œdèmes des membres inférieurs. On note un léger pli de déshydratation.

Examen physique:

Examen neurologique : Conscient G 15/15, pas de déficit périphérique, pas de céphalées, pas de vertige, pas de trouble de l'oculomotricité, pas de trouble de la mémoire, l'examen des paires crâniennes est normal, les ROT sont normaux, le Babinski est normal, pas de signe de Kernig, ni de Brudzinski.

Examen cardiovasculaire : pas de douleur thoracique, pas de dyspnée, pas de turgescence des veines jugulaires, pas d'œdèmes, les bruits du cœur sont réguliers, pas de bruits surajoutés

Pulmonaires : pas de dyspnée, pas de déformation thoracique, pas de signe de luttés, le murmure vésiculaire est bien perçu, les vibrations vocales sont bien transmises

Abdomen : pas de dysphagie, langue propre, pas de muguet, pas de cicatrice, pas de douleurs abdominales, l'abdomen est souple sans masse palpable, les bruits hydro-aériques sont bien perçus, à la percussion on note une sonorité normale.

L'examen des autres appareils et systèmes est sans particularité

Hypothèse diagnostique:

Décompensation cétosique inaugurale d'un diabète de type 1 probable ?
Diabète de type africain révélé sous mode cétosique ?

Examens paracliniques:

Le bilan biologique ne retrouve pas d'anomalie notable (l'ionogramme est strictement normal, il a une bonne fonction rénale, il n'y a pas de perturbation au bilan hépatique.

Le bilan lipidique était satisfaisant avec un cholestérol à 1.59 g/l, des triglycérides à 0.74 g/l, un HDL-C à 0.79 g/l et un LDL-C à 0.71 g/l.

L'hémogramme montre 3 000 leucocytes/mm³, la CRP était négative, l'examen cyto bactériologique des urines est stérile), la radiographie thoracique est normale ainsi que l'électrocardiogramme de base.

S'agissant du bilan étiologique du diabète, le scanner abdominal est normal, les AC anti-glutamate décarboxylase (anti-GAD), AC anti-tyrosine phosphatase (anti-IA2) sont revenus négatifs. Seul le peptide C, à 86 pmol/l (N : 260-1730), en regard d'une glycémie normale, est effondré.

Aucune complication n'a été objectivée, la fonction rénale est normale (microalbuminurie à 9 mg/l) et il n'y a pas d'anomalie au fond d'œil.

Diagnostic: diabète africain révélé sous mode cétosique

Traitement: grâce à une insulinothérapie à l'IVSE et une réhydratation hydroélectrolytique efficace initiée depuis les urgences, l'évolution a été rapidement favorable, le relais a été fait par une infusion sous cutanée d'insuline à l'aide d'une pompe, ensuite par un schéma basal-bolus, fait d'une injection d'insuline glargine le soir, et trois bolus d'insuline aspartate avant les repas.

Le patient est sorti d'hospitalisation après avoir bénéficié de conseils diététiques et d'une éducation diabétique (autocontrôles, technique d'injection et adaptation des doses d'insuline et la conduite à tenir en cas d'hypo/hyperglycémie).

Evolution:

Il est revu en consultation de suivi, 3 mois après sa sortie, avec un équilibre glycémique satisfaisant (HbA1c à 7 %) et un peptide C remonté à 300 pmol/l (pour une GV à 1,09g/l).

A la deuxième consultation de suivi 6 mois après sa sortie, le patient présente un parfait équilibre glycémique (HbA1C : 6,4 %), avec un peptide C qui s'est normalisé à 870 pmol/l (pour une GV à 1,29g/l).

Devant la normalisation du peptide C et un équilibre glycémique parfait, il lui a été proposé l'arrêt de l'insulinothérapie au profit d'antidiabétiques oraux mais le patient préfère rester sous l'insuline pour des raisons sociales (il est en « situation irrégulière » et le fait qu'il soit sous insuline justifie la gravité de sa maladie et donc le met à l'abri de l'expulsion).

Discussion

1. Histoire du diabète de type 2 à tendance cétosique (DT2C)

Des données sur des patients africains ou afro-américains dont les caractéristiques cliniques semblaient être intermédiaires entre celles du diabète de type 1 et de type 2 sont apparues depuis la fin des années 1960.

Dans une étude sur le « diabète tropical » publiée en 1967, Dodu (Dodu, 1967) a noté que certains patients avaient besoin de revoir leur type de diabète au fil du temps. En 1968, Adadevoh (Kwaku Adadevoh, 1968) a décrit quelques patients nigériens atteints de diabète "réversible" qui ne présentaient qu'une insulino dépendance transitoire. Une décennie plus tard, Oli (Oli, 1978) a décrit une série de sept patients nigériens qui présentaient une cétose et avaient initialement besoin d'une insulinothérapie, mais qui ont ensuite connu une "rémission" de leur diabète. Dans un article de 1987, Winter et ses collaborateurs (Winter et al., 1987) ont décrit une cohorte d'enfants afro-américains obèses qui étaient atypiques parce qu'ils manquaient d'auto-anticorps des cellules des îlots de Langerhans en présentant une acidocétose comme la manifestation initiale du diabète et devenaient indépendants de l'insuline avec le temps.

Les études de Banerji et al. (Banerji et al., 1994) en 1994 ont décrit un syndrome atypique quelque peu différent chez des patients adultes afro-caribéens en surpoids qui présentaient les caractéristiques cliniques du diabète de type 2 mais se présentaient avec une acidocétose diabétique ; le terme de diabète de Flatbush est entré dans la littérature à ce moment-là. L'année suivante, Umpierrez et ses collaborateurs (Umpierrez et al., 1995) ont soigneusement caractérisé des patients afro-américains obèses d'Atlanta, en Géorgie, qui présentaient un diabète à apparition tardive accompagné d'une acidocétose diabétique. Ils ont noté que la réserve fonctionnelle des cellules β était plus élevée au départ chez ces patients obèses que chez les patients maigres typiques qui avaient développé une acidocétose diabétique, et qu'elle s'améliorait encore après 12 semaines de traitement (Umpierrez et al., 1999). Des études avaient suggéré que ces formes atypiques de diabète étaient peu courantes et peut-être limitées aux personnes d'origine africaine. Toutefois, de 1995 à 2004, des séries de cas et des analyses rétrospectives ont fait état d'un nombre (souvent important) de patients provenant d'un large éventail de zones géographiques et d'origines ethniques, avec pour thèmes communs l'absence d'auto-anticorps des cellules des îlots de Langerhans, la présentation d'une cétose ou d'une acidocétose non provoquée et une évolution fréquente vers l'indépendance vis-à-vis de l'insuline. Il a été signalé des cas de patients japonais (« Ketoacidosis-Onset Noninsulin Dependent Diabetes in Japanese Subjects », 1995), d'Indiens apache (Wilson et al., 1997), d'Afro-Américains dans l'Ohio (Pinhas-Hamiel et al., 1997), de populations américaines multiethniques comprenant des Hispaniques, des Caucasiens et des Amérindiens (Balasubramanyam et al., 1999; PINERO-PILONA et al., 2001; Westphal, 1996) des Européens (Pitteloud & Philippe, 2000), des Pakistanais (Jabbar et al., 2004) et des Chinois (Tan et al., 2000). Le terme "diabète sujet à la cétose" a été introduit en 2002 par Sobngwi et al. dans une étude sur le diabète chez les Africains de l'Ouest (Sobngwi et al., 2002).

En 2003, Maldonado et al. (Maldonado et al., 2003) ont fait état d'une vaste étude prospective longitudinale de patients multiethniques atteints de quatre formes différentes de DT2C à Houston, au Texas, et ont introduit un système de classification basé sur deux critères : les auto-anticorps et la réserve fonctionnelle cellulaire β .

En 2004, Mauvais-Jarvis et al. ont publié une étude longitudinale de 10 ans sur le DT2C chez les immigrants d'Afrique subsaharienne vivant à Paris (Mauvais-Jarvis et al., 2004). Ces auteurs ont classé les patients atteints de DT2C auto-anticorps négatifs en fonction de leur dépendance à l'insuline et ont comparé leur histoire naturelle à celle des patients atteints de diabète de type 1 et de type 2.

En 2006, Ramos-Roman et ses collaborateurs ont rapporté des résultats sur 4 ans chez des patients atteints de diabète atypique par rapport à ceux de

patients atteints de diabète de type 1 et de type 2 typiques à Dallas, Texas (Ramos-Román et al., 2006).

2. Classification du DT2C

À ce jour, les tentatives de différenciation des patients atteints de diabète atypique en sous-groupes cliniquement distincts et pertinents ont abouti à quatre systèmes de classification différents : la classification ADA, un système basé sur l'IMC, une classification ADA modifiée et le système A β . (BALASUBRAMANYAM, 2019).

La première classification correspond à celle retrouvée dans la classification la plus récente de l'ADA sur le diabète en général (PINERO-PILONA et al., 2001) et a été adoptée par les chercheurs de l'école de médecine de l'Université du Texas du Sud-Ouest (Dallas, TX). Tous les patients atteints d'acido-cétose diabétique (ACD) sont définis comme ayant un diabète de type 1 et, parmi ce groupe, ceux qui manquent d'auto-anticorps sont appelés "type 1 idiopathique" ou "type 1b". Interprété strictement, la classification de l'ADA définirait les patients atteints à la fois de diabète de type 1a et de diabète de type 1b comme insulinodépendants, car il ne mentionne pas de retour possible à l'indépendance vis-à-vis de l'insuline dans l'une ou l'autre catégorie ; cependant, le groupe de Dallas considère que les patients atteints de diabète de type 1b se comportent davantage comme des patients atteints de diabète de type 2, certains devenant indépendants à l'insuline.

La deuxième classification est celle développée par les chercheurs de l'université Emory (Atlanta, GA) qui séparent les patients atteints de diabète atypique (DA) en deux catégories : maigres ou obèses (Umpierrez et al., 1999). Les patients "DA maigres" sont ceux qui présentent les caractéristiques cliniques du diabète de type 1 avec une faible fonction des cellules β , tandis que les patients "DA obèses" sont ceux qui présentent les caractéristiques cliniques du diabète de type 2 avec une certaine préservation de la fonction des cellules β .

La troisième classification est issue d'une modification du schéma ADA, utilisée par les chercheurs de l'Université de Paris qui divisent les patients qui ont un diabète à tendance cétosique en trois groupes (Mauvais-Jarvis et al., 2004). Les patients présentant des auto-anticorps des cellules β sont classés comme étant de type 1a comme dans le schéma ADA, tandis que ceux qui ne présentent pas d'auto-anticorps sont identifiés rétrospectivement, sur la base de l'insulinodépendance à long terme, en "DTC insulinodépendant" (DTC-ID) et "DTC non insulinodépendant" (DTC-NID). Les patients de type 1a et DTC-ID présentent à terme tous deux les caractéristiques cliniques du diabète de type 1 avec une fonction cellulaire β médiocre, tandis que les sujets atteints de DTC-NID présentent les caractéristiques cliniques du diabète de type 2 avec une fonction cellulaire β préservée pendant une durée prolongée.

La quatrième équipe, de Baylor Collège of Médecine et de l'Université de Washington utilise encore un autre système de classification qui distingue quatre sous-groupes DT2C en fonction de la présence ou de l'absence d'auto-anticorps et de la présence ou de l'absence de réserve fonctionnelle des cellules β (classification A β) (Maldonado et al., 2003). Les quatre sous-groupes sont les suivants : A+ β - (patients avec auto-anticorps et fonction β -cell absente) ; A+ β + (patients avec auto-anticorps mais avec une réserve fonctionnelle β -cell préservée) ; A- β - (patients sans auto-anticorps mais avec une fonction β -cell absente) ; et A- β + (patients sans auto-anticorps et avec une réserve fonctionnelle β -cell préservée). Les patients A+ β - et A- β - sont immunologiquement et génétiquement distincts les uns des autres mais partagent les caractéristiques cliniques du diabète de type 1 avec une très faible fonction des cellules β , tandis que les patients A+ β + et A- β + sont immunologiquement et génétiquement distincts les uns des autres mais partagent les caractéristiques cliniques du diabète de type 2, avec une réserve fonctionnelle préservée des cellules β .

3. Epidémiologie :

Le DT2 à tendance cétosique (DT2C) est courant en Afrique (Mbanya et al., 2010). Il se voit également parmi les Afro-Américains, les Latino-Américains, les Amérindiens, et dans certaines parties de l'Asie (y compris le Japon), mais est peu signalé chez les Caucasiens (Sjöholm, 2019). Le nom "Flatbush diabetes" est apparu lorsqu'une série de cas a été découverte en 1994 dans le district de l'Est Flatbush à Brooklyn, New York (Sjöholm, 2019). Dans cet article, le terme "cétosis prone T2D" (KPT2) est systématiquement utilisé. En Afrique, environ 15 % des patients hospitalisés pour diabète souffrent de DT2C (Mbanya et al., 2010). L'incidence de ce diabète devrait augmenter puisque l'Afrique est l'une des régions au monde où la prévalence du diabète devrait augmenter le plus ; la Fédération Internationale du Diabète (IDF) prévoit une augmentation de 100 % des cas diabète avéré et 75% de prédiabète (tolérance au glucose altérée) entre 2010 et 2030 dans cette partie du monde (Mbanya et al., 2010).

Le DT2C représente ainsi près de 50 % de tous les Diabétiques afro-américains diagnostiqués avec une acidocétose (Sjöholm, 2019). Aux États-Unis, le DT2C est une forme de diabète très répandue dans les régions peuplée d'une forte proportion d'Afro-Américains (BALASUBRAMANYAM, 2019; Banerji et al., 1996).

Les données exactes sur la prévalence font cependant défaut, car le DT2C n'est reconnu que récemment, comme une entité nouvelle. Sur le plan nosologique, il a fallu attendre 1997 pour que ce dernier soit reconnu comme entité à part entière par l'Association américaine du diabète (ADA) qui l'appelait DT1 idiopathique (Mbanya et al., 2010).

4. Tableau clinique :

Les patients atteints de DT2C sont souvent des hommes d'âge moyen compris entre 35 et 46 ans, avec une prédominance masculine (homme : femme ~3 : 1), d'origine africaine, avec des antécédents familiaux de diabète, de surcharge pondérale et avec des traits dysmétaboliques (obésité abdominale, hypertension, dyslipidémie) (BALASUBRAMANYAM, 2019; Banerji et al., 1996), soit un profil globalement similaire à celui d'un DT2 classique. *(C'est le cas de notre patient, âgé de 36 ans, d'origine africaine, présentant un surpoids androïde, avec un antécédent de diabète dans sa famille).*

L'expression clinique initiale est marquée par une cétose avec parfois une acidocétose, associée à une hyperglycémie importante (Banerji et al., 1996). La cétose est souvent précédée d'un syndrome polyuropolydipsique et d'une perte de poids *(Notre patient présentait une cétose débutante à son arrivée à l'hôpital, qui a été précédée d'un syndrome cardinal évoluant depuis quelques semaines).*

Le déséquilibre glycémique est souvent rapidement jugulé par une insulinothérapie par voie intraveineuse et une correction des troubles hydroélectrolytiques *(Elle a été résolue en moins de 24 heures chez notre patient).*

Aucun facteur décompensant n'est à priori retrouvé (infection, traumatisme ou autre affection intercurrente). *(Cela a été le cas chez notre patient, aucun facteur déclenchant n'a été retrouvé).*

Une fois la phase aiguë passée, l'évolution se fait vers un équilibre glycémique correct sous un schéma classique basal/bolus par voie sous-cutanée, la fréquence des hypoglycémies pousse le médecin traitant à réduire progressivement les doses d'insuline. En quelques jours à quelques mois, l'arrêt de l'insuline est obtenu chez la plupart des patients, au profit des règles hygiéno-diététiques *(il a été proposé à notre patient un sevrage à l'insuline au profit des ADO devant la restauration de sa réserve insulinaire endogène au bout de 6 mois. Ce dernier déclina l'offre du fait de la possibilité de rester en France que lui confère le traitement insulinaire ; il est en effet en situation irrégulière en France).*

L'équilibre glycémique, pendant cette période de « rémission de l'insulinothérapie » qui peut durer plusieurs années (jusqu'à plus de dix ans), est maintenu par les RHD et les ADO. Cette période est à différencier de la « lune de miel » du diabète de type 1 qui est de durée nettement plus courte. Deux études randomisées ont prouvé que les sulfamides permettent une prolongation de cette période de rémission (Banerji et al., 1994; Umpierrez et al., 1995).

Le traitement initial est essentiellement identique à celui de DT1, avec une titration de la dose d'insuline basale-bolus en fonction du degré de cétose

et glycémie. Cependant, l'évolution clinique ultérieure, ressemble à celle du DT2.

Vu l'âge et la présentation clinique initiale, il existait un risque évident de classification erronée en un diabète de type 1(DT1). Ce diabète ne doit pas être méconnu par les cliniciens car, si le DT2C est mal classé en DT1, les patients risquent d'être inutilement et chroniquement traités par l'insuline. Cela peut entraîner des risques et inconvénients, à savoir : le risque hypoglycémique, la prise de poids, l'impact sur la qualité de vie (exigences d'une autosurveillance fréquente et injections quotidiennes multiples). Cela pourrait aussi entraîner des limitations de carrière par l'exclusion de certaines professions et des conséquences pour la couverture d'assurances.

Devant toute découverte de diabète avec une présentation clinique atypique (patient jeune avec une cétose inaugurale de récupération rapide, anticorps anti-GAD et anti-IA2 négatifs, excès pondéral...), surtout si le patient est d'origine africaine, il est primordial de penser au diabète de type 2 cétosique, finalement pas si rare, puisqu'il sera possible in fine de le sevrer de l'insuline durant un certain temps.

Conclusion

Ce cas clinique est typique du « diabète africain » ou diabète de type 2 cétosique, présente en effet des similitudes avec un diabète de type 1 dans sa présentation initiale sur un mode cétosique, mais avec aussi des caractéristiques du diabète de type 2 en particulier par son évolution vers une récupération de l'insulinosécrétion.

References:

1. BALASUBRAMANYAM, A. (2019). SYNDROMES OF KETOSIS-PRONE DIABETES. *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*, 130, 145-55.
2. Balasubramanyam, A., Zern, J. W., Hyman, D. J., & Pavlik, V. (1999). New profiles of diabetic ketoacidosis : Type 1 vs type 2 diabetes and the effect of ethnicity. *Archives of Internal Medicine*, 159(19), 2317-22. <https://doi.org/10.1001/archinte.159.19.2317>
3. Banerji, M. A., Chaiken, R. L., Huey, H., Tuomi, T., Norin, A. J., Mackay, I. R., Rowley, M. J., Zimmet, P. Z., & Lebovitz, H. E. (1994). GAD antibody negative NIDDM in adult black subjects with diabetic ketoacidosis and increased frequency of human leukocyte antigen DR3 and DR4 : Flatbush diabetes. *Diabetes*, 43(6), 741-5. <https://doi.org/10.2337/diab.43.6.741>
4. Banerji, M. A., Chaiken, R. L., & Lebovitz, H. E. (1996). Long-term normoglycemic remission in black newly diagnosed NIDDM subjects. *Diabetes*, 45(3), 337-341. <https://doi.org/10.2337/diab.45.3.337p>

5. Dodu, S. R. (1967). Diabetes in the tropics. *British Medical Journal*, 2(5554), 747-50.
6. Jabbar, A., Farooqui, K., Habib, A., Islam, N., Haque, N., & Akhter, J. (2004). Clinical characteristics and outcomes of diabetic ketoacidosis in Pakistani adults with Type 2 diabetes mellitus. *Diabetic Medicine*, 21(8). <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2004.01249.x>
7. Ketoacidosis-Onset Noninsulin Dependent Diabetes in Japanese Subjects. (1995). *The American Journal of the Medical Sciences*, 310(5), 198-201. <https://doi.org/10.1097/00000441-199511000-00004>
8. Kwaku Adadevoh, B. (1968). "Temporary diabetes" in adult Nigerians. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 62(4), 528-30. [https://doi.org/10.1016/0035-9203\(68\)90138-7](https://doi.org/10.1016/0035-9203(68)90138-7)
9. Maldonado, M., Hampe, C. S., Gaur, L. K., D'Amico, S., Iyer, D., Hammerle, L. P., Bolgiano, D., Rodriguez, L., Rajan, A., Lernmark, Å., & Balasubramanyam, A. (2003). Ketosis-Prone Diabetes : Dissection of a Heterogeneous Syndrome Using an Immunogenetic and β -Cell Functional Classification, Prospective Analysis, and Clinical Outcomes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(11), 5090-5098. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030180>
10. Mauvais-Jarvis, F., Sobngwi, E., Porcher, R., Riveline, J.-P., Kevorkian, J.-P., Vaisse, C., Charpentier, G., Guillausseau, P.-J., Vexiau, P., & Gautier, J.-F. (2004). Ketosis-prone type 2 diabetes in patients of sub-Saharan African origin : Clinical pathophysiology and natural history of beta-cell dysfunction and insulin resistance. *Diabetes*, 53(3), 645-53. <https://doi.org/10.2337/diabetes.53.3.645>
11. Mbanya, J. C. N., Motala, A. A., Sobngwi, E., Assah, F. K., & Enoru, S. T. (2010). Diabetes in sub-Saharan Africa. *Lancet (London, England)*, 375(9733), 2254-2266. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60550-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60550-8)
12. Monnier, L., & Colette, C. (2020). *Diabetología*. Elsevier Health Sciences.
13. Oli, J. M. (1978). Remittant diabetes mellitus in Nigeria. *Tropical and Geographical Medicine*, 30(1), 57-62.
14. PINERO-PILONA, A., LITONJUA, P., AVILES-SANTA, L., & RASKIN, P. (2001). Idiopathic type 1 diabetes in Dallas, Texas : A 5-year experience. *Idiopathic type 1 diabetes in Dallas, Texas: A 5-year experience*, 24(6), 1014-8.
15. Pinhas-Hamiel, O., Dolan, L. M., & Zeitler, P. S. (1997). Diabetic ketoacidosis among obese African-American adolescents with

- NIDDM. *Diabetes Care*, 20(4), 484-486.
<https://doi.org/10.2337/diacare.20.4.484>
16. Pitteloud, N., & Philippe, J. (2000). Characteristics of Caucasian type 2 diabetic patients during ketoacidosis and at follow-up. *Schweizerische Medizinische Wochenschrift*, 130(16), 576-82.
 17. Ramos-Román, M. A., Piñero-Piloña, A., Adams-Huet, B., & Raskin, P. (2006). Comparison of type 1, type 2, and atypical ketosis-prone diabetes at 4 years of diabetes duration. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 20(3), 137-44.
<https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2006.01.005>
 18. Sjöholm, Å. (2019). Ketosis-Prone Type 2 Diabetes : A Case Series. *Frontiers in Endocrinology*, 10.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2019.00684>
 19. Sobngwi, E., Mauvais-Jarvis, F., Vexiau, P., Mbanya, J. C., & Gautier, J. F. (2001). Diabetes in Africans. Part 1 : Epidemiology and clinical specificities. *Diabetes & Metabolism*, 27(6), 628-34.
 20. Sobngwi, E., Mauvais-Jarvis, F., Vexiau, P., Mbanya, J. C., & Gautier, J. F. (2002). Diabetes in Africans. Part 2 : Ketosis-prone atypical diabetes mellitus. *Diabetes & Metabolism*, 28(1), 5-12.
 21. Tan, K. C., Mackay, I. R., Zimmet, P. Z., Hawkins, B. R., & Lam, K. S. (2000). Metabolic and immunologic features of Chinese patients with atypical diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 23(3), 335-8.
<https://doi.org/10.2337/diacare.23.3.335>
 22. Umpierrez, G. E., Casals, M. M. C., Gebhart, S. S. P., Mixon, P. S., Clark, W. S., & Phillips, L. S. (1995). Diabetic ketoacidosis in obese African-Americans. *Diabetes*, 44(7), 790-6.
 23. Umpierrez, G. E., Woo, W., Hagopian, W. A., Isaacs, S. D., Palmer, J. P., Gaur, L. K., Nepom, G. T., Clark, W. S., Mixon, P. S., & Kitabchi, A. E. (1999). Immunogenetic analysis suggests different pathogenesis for obese and lean African-Americans with diabetic ketoacidosis. *Diabetes Care*, 22(9), 1517-1523.
<https://doi.org/10.2337/diacare.22.9.1517>
 24. Westphal, S. A. (1996). The occurrence of diabetic ketoacidosis in non-insulin-dependent diabetes and newly diagnosed diabetic adults. *The American Journal of Medicine*, 101(1), 19-24.
[https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(96\)00076-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(96)00076-9)
 25. Wilson, C., Krakoff, J., & Gohdes, D. (1997). Ketoacidosis in Apache Indians with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Archives of Internal Medicine*, 157(18), 2098-2100.
<https://doi.org/10.1001/archinte.1997.00440390094012>
 26. Winter, W. E., Maclaren, N. K., Riley, W. J., Clarke, D. W., Kappy, M. S., & Spillar, R. P. (1987). Maturity-onset diabetes of youth in

- black Americans. *The New England Journal of Medicine*, 316(6), 285-91. <https://doi.org/10.1056/NEJM198702053160601>
27. Yamada, K., & Nonaka, K. (1996). Diabetic ketoacidosis in young obese Japanese men. *Diabetes Care*, 19(6), 671. <https://doi.org/10.2337/diacare.19.6.671a>

Les Accidents Sur les Sites d'Orpillage Traditionnel : Un Danger Pour la Vision au Niger

Abba Kaka H.Y.

Service d'Ophtalmologie Hôpital National de Niamey, Niger

Moussa M.

Service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale

Hôpital National de Niamey, Niger

Boubacar M.

Roufai L.

Service d'Ophtalmologie Hôpital National de Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p253](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p253)

Submitted: 26 August 2021

Accepted: 27 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Abba Kaka H.Y., Moussa M., Boubacar M. & Roufai L. (2023). *Les Accidents Sur les Sites d'Orpillage Traditionnel : Un Danger Pour la Vision au Niger*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 253. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p253>

Résumé

Nous avons colligé sur 18 mois 36 yeux ayant été victimes de traumatisme chez les orpailleurs clandestins du Niger. Les atteintes étaient bilatérales dans tous les cas mais volontiers asymétriques et touchent une ou plusieurs structures de l'œil et ses annexes, la présence des corps étrangers multiple était vus dans tous les yeux, nous avons retrouvé 9 cas d'éclatement du globe ayant nécessité une éviscération d'emblée. Il y avaient des lésions d'autres systèmes qui étaient dans 55% maxillo-faciales et dans 27% des fractures de membres. Le pronostic visuel était mauvais dans 94,43% des cas. Le manque d'infrastructures d'exploitation adéquates, la mauvaise manipulation des explosifs artisanaux sont à l'origine des accidents responsables de ces traumatismes. L'absence de structures de premiers soins, le manque de moyens de déplacement compliquent d'avantage les cas graves. Une formation substantielle en matière de santé et de sécurité est à envisager de même que des apprentissages pour aider les travailleurs à comprendre les dangers et les moyens de réduire les risques auxquels ils sont exposés.

Mots-clés: Orpillage traditionnel, traumatismes oculaires, mines, Niger

Accidents in the Traditional Gold Panning Sites : A Danger for the Eye in Niger

Abba Kaka H.Y.

Service d'Ophtalmologie Hôpital National de Niamey, Niger

Moussa M.

Service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale
Hôpital National de Niamey, Niger

Boubacar M.

Roufai L.

Service d'Ophtalmologie Hôpital National de Niamey, Niger

Abstract

Over 18 months, we collected 36 eyes that were victims of trauma among niger illegal gold panners. The lesions were bilateral in all cases but willingly asymmetrical and affect one or more structures of the eye and its adnexias. The presence of multiple foreign bodies was seen in all eyes, we found 9 cases of bursting of the globe requiring immediate evisceration. Other systems were also affected in 55% maxillofacial and in 27% limb fractures. The visual prognosis was poor in 94.43% of the cases. The lack of adequate operating infrastructure and the improper handling of homemade explosives are at the origin of the accidents responsible for these traumas. The absence of first aid structures and the lack of means of transportation further complicate serious cases. Substantial health and safety training should be considered, as well as apprenticeship to help workers understand the dangers and how to reduce the risks to which they are exposed.

Keywords: Traditional gold panning, eye trauma, mines, Niger

Introduction

La mine artisanale constitue une réalité profonde au Niger. L'analyse de sa problématique, à travers plusieurs aspects révèle qu'elle comporte d'innombrables faiblesses notamment sur le plan sanitaire. Le pillage des gisements aurifères par des clandestins s'exerce à la périphérie des exploitations autorisées mais aussi en totale autonomie parfois dans les anciens gisements (Emmanuel, 2017). Travail de forçat, l'orpillage donne lieu à de nombreux accidents de travail dans les lieux où le creusement de puits est nécessaire. Ainsi, on assiste à des chutes et des effondrements, ainsi qu'à des accidents dus à une mauvaise manipulation des outils ou des produits dangereux (explosifs, produits toxiques), à cela s'ajoutent les poussières

dégagées des machines qui portent atteinte à la santé des orpailleurs, le développement de maladies et d'épidémies en raison du manque d'hygiène, de la rigueur du climat et du manque de protection (Bana, 2016).

Les conséquences sur la santé sont dramatiques. Sur le plan oculaire les atteintes sont dramatiques et dévastatrices allant des plaies des annexes à l'éclatement du globe, dans tous les cas le pronostic reste sévère. Les auteurs présentent dans ce travail les lésions oculaires retrouvées chez les patients ayant été victimes d'explosion dans les mines aurifères du Niger.

Patients et méthode

Nous avons au total colligé 18 patients sur une période de 15 mois de Janvier 2019 au mois de Mars 2020. Tous les patients étaient de sexe masculin et venaient tous de la mine aurifère de Komabangou dans la région de Tillabery à l'extrême Ouest du Niger. Les patients étaient recrutés par ordre d'arrivée, et tout les patients consentants ont été inclus. L'examen général a la recherche de lésions associées a été faite par le médecin urgentiste et la prise en charge a été faite par une équipe pluridisciplinaire. Sur le plan oculaire l'examen a été faite au cabinet avec un dispositif d'examen ophtalmologique chez un patient rassuré après une anesthésie topique à la cébésine.. un bilan paraclinique orienté par les lésions ont été réalisés selon les moyens du patient.

Nous avons étudié les aspects socio-démographiques, les lésions oculaires occasionnées, les autres lésions associées, la prise en charge faite et le pronostic visuel des yeux atteints. Une fiche d'enquête nous a servi de support de collecte. Les données ont été saisies, traitées et analysées à l'aide des logiciels Microsoft office 2010 (Word et Excel), Epi Info version 3.5.4.

Résultats

Notre échantillon était composé de 36 yeux de 18 patients tous de sexe masculin dont l'âge variait de 16 à 42 ans avec un âge moyen de 28 ans. Parmi eux 13 patients étaient non scolarisés et 5 avaient un niveau primaire. Tous les patients étaient dans l'orpaillage clandestin et aucun n'avait un autre moyen de subsistance. Les traumatismes étaient secondaires à l'explosion des grenades artisanales dans 15 cas soit 83,33% et par effondrement des gisements dans 3 cas soit 16,67%. Les lésions oculaires par structures sont listées dans le tableau ci-dessous

Tableau I. Répartition des lésions par œil atteint

Lésions structure par	Oeil droit	Œil gauche	Atteintes simultanées des 2 yeux
Plaie des paupières	3	10	5
Multiples corps étrangers cornéens	18	18	18
Plaie de la cornée	3	7	3
Plaie sclérale	1	4	2
Plaie cornéo-sclérale	2	2	0
Plaie de cornée + cataracte traumatique	1	3	0
Éclatement du globe	5	4	3

Les atteintes étaient bilatérales dans tous les cas mais volontiers asymétriques et touchent une ou plusieurs structures de l'œil et ses annexes, la présence des corps étrangers multiples était vue dans tous les yeux.

Tableau II. Atteintes associées des autres systèmes

Atteintes	Nombre	Pourcentage
Oculaire et Cérébrale	2	11,11
Oculaire et Maxillo-Faciale	10	55,55
Oculaire et Fracture de membre	5	27,77
Oculaire et Brulure de second degré	1	5,55

Dans 55,55% les patients avaient des lésions maxillo-faciales associées.

Tableau III. La prise en charge des lésions

Traitement	Nombre d'yeux/pourcentage
Suture des plaies	32/88,88%
suture et extraction du cristallin	4/11,11%
Grefe de la cornée	2/5,55%
Enucléation	3/8,33%
Eviscération	9/25%
Ablation corps étrangers	36/100

Tableau IV. Pronostic visuel basé sur l'acuité visuelle

Acuité visuelle	Nombre d'yeux	Pourcentage	Pronostic visuel
PPL	12	33,33	Mauvais
PL	14	38,88	Mauvais
CLD 1m - CLD 5m	8	22,22	Mediocre
1/10 - 3/10	2	5,55	Moyen
Plus de 3/10	0	0	-

Dans 94,43% des yeux le pronostic visuel était mauvais avec 72,21% de cécité irréversible.

Discussion

Le travail minier même dans les conditions optimales expose à des dangers énormes en général et sur la santé en particulier. Toutes les composantes de ce métier représentent un risque à prendre : le forage, les explosifs, les produits chimiques utilisés et parfois même les métaux explorés. Le danger est énorme et la population jeune surtout de sexe masculin y payent un lourd tribut. Dans cette étude tous les patients étaient de sexe masculin certainement à cause de la tradition locale qui extrait les femmes du travail de mine. Cette prédominance masculine est retrouvée à 100% dans l'étude de Waqar MuzaVar et al. (Waqar, 200). Kyeremateng.E et al. ont trouvé 97% d'hommes (Kyeremateng, 2015). D'autres études africaines ont fourni des proportions importantes de femmes dans le secteur minier (Hinton, 2003). Le jeune âge des victimes est aussi une unanimité dans la littérature [3- 7]. Les

traumatismes sont principalement dus aux explosifs, aux substances toxiques utilisés et aux effondrements des puits d'exploitation. Dans cette série 83,33% des traumatismes étaient secondaires à la mauvaise manipulation des engins explosifs, nos chiffres sont inférieurs à ceux de MuzaVar et al. qui ont retrouvé 89.2% d'atteintes oculaires dus aux explosions. Kyeremateng, E. et al. ont retrouvé 12.5% des cas dus aux effondrements et 9.8% aux explosifs. Bien que dans beaucoup d'études les lésions les plus répertoriées n'étaient pas oculaires notre intérêt dans cette série se porte surtout sur les atteintes oculaires. Nous avons retrouvé 55,55 % d'atteintes maxillo-faciales et 27,77 % de fractures de membres associées aux lésions oculaires, ce qui fait de ces patients des polymorbides. Deux patients avaient une atteinte cérébrale (un hématome et un corps étrangers dans le parenchyme cérébral) tableau II.

Sur le plan oculaire l'atteinte de plusieurs structures est la plus souvent retrouvée comme nous le montre le tableau I. La partie la plus exposée est la cornée, à ce niveau les lésions causées par ces dispositifs explosifs sont principalement associées à de multiples fragments incrustés et à des lacérations cornéennes irrégulières partielles et / ou de pleine épaisseur nécessitant une suture et un débridement étendu. L'atteinte de la cornée est gravissime car étant un milieu transparent et réfractif, sa modification est forcément liée à une certaine baisse de l'acuité visuelle. Dans cette présente étude tous nos patients avaient des corps étrangers intra-cornéens dans les deux yeux, les plaies cornéennes étaient vues dans 18 yeux soit 50%, 50.5% de lacération cornéennes ont été rapportées par MuzaVar et al. (MuzaVar 2000). L'éclatement du globe conduisant à une éviscération a été vu dans 9 cas de notre série, 23.1% des cas de l'étude de MuzaVar et al. ont subi la même chirurgie. Il y avait des plaies de paupières dans 13 yeux soit 36,11%. Pour MuzaVar 62.6% avaient présenté des lacérations au niveau des paupières. Les atteintes étaient bilatérales dans tous les cas mais volontiers asymétriques et touchent une ou plusieurs structures de l'œil et ses annexes. La présence des corps étrangers multiples était vue dans tous les yeux, nos chiffres sont plus élevés que ceux de la littérature qui varient de 50–72% (Waqar 2000, Rachel 2015, Jackson 1997, Zerihun 1993, Nakua 2019). Le taux de cécité (telle que définie par l'OMS) dans cette étude est de 94,43%, ce taux est plus élevé que ceux de la littérature qui est de 74–75% (Jackson 1997, Zerihun 1997, Wong 1991), ceci s'expliquerait par le fait que les mineurs nigériens sont démunis et très vulnérables n'ayant aucun dispositif de protection (les exposant à des lésions étendues et gravissimes) et de premier soin disponible (prise en charge tardive et taux élevé d'infections et de complications).

Le travail informel comme celui de la mine clandestine concerne en général l'adulte jeune de sexe masculin comme vu dans cette série, le pourcentage élevé de morbidité fait de cela un danger réel pour la santé publique et de ce fait doit faire l'objet d'attention particulière. On estime que

20 à 30 millions de mineurs sont impliqués dans l'exploitation minière informelle dans le monde, dont la plupart sont dans les pays à faible revenu comme le nôtre (Kyeremateng 2015). Les risques pour la sécurité et pour la santé auxquels ces travailleurs sont exposés sont nombreux et graves pour eux, leurs familles et les communautés environnantes. Les infrastructures et les installations pour la sécurité préventive et la santé sont rares ou inexistantes. Le défi pour les décideurs, les professionnels de la santé et de la sécurité, les organisations de travailleurs, les organisations communautaires et autres agences non gouvernementales, est de développer des stratégies inclusives, appropriées et réalisables, avec l'objectif ultime de la protection des travailleurs informels. L'inspection du travail devrait être modernisée et davantage de ressources devraient être fournies pour superviser et soutenir les travaux dans les mines informelles. Une formation fréquente et substantielle en matière de santé et de sécurité doit être envisagée de même que des apprentissages réguliers pour aider les travailleurs à comprendre les dangers et les moyens de réduire les risques.

Conclusion

La baisse de la vision ou la perte de la vue chez le travailleur manuel est un désastre irréparable, les mineurs informels déjà vulnérables se retrouvent être un fardeau pour la société. Le taux élevé de cécité et de co-morbidité retrouvé dans cette étude montre la précarité de ce secteur. L'œil est l'objet de plusieurs types de lésions parfois à pronostic péjoratif et leur prise en charge impliquerait une multidisciplinarité. La modernisation de ce secteur et la mise en place des dispositifs de protection oculaire pourront contribuer à réduire l'incidence de ces accidents.

Conflits d'intérêts : aucun

References :

1. Emmanuel G, Laurent G (2017) « Ruées vers l'or au Sahara : l'orpillage dans le désert du Ténéré et le massif de l'Aïr (Niger) », EchoGéo [Online], Sur le Vif, Online since 19 May.p 1-21
2. Bana B., Moussa Attaou H (2016) Quelques aspects de l'exploitation de l'or dans l'Ouest du Niger (départements de Gothèye et de Téra). Programme pilote de recherche POLMAF (IRD), 70 p.
3. MuzaVar W, Muhammad D.K, Mohammad D.K, Abdul M.M, Omar M.D. (2000) Mine blast injuries: ocular and social aspects. Br J Ophthalmol 84:626–630.
4. Kyeremateng.E.A, Edith E. C. (2015) Injuries among Artisanal and Small-Scale Gold Miners in Ghana. Int. J. Environ. Res. Public Health 12, 10886-10896.

5. Hinton J, Veiga MM, Beinhoff C. (2017) Women and artisanal mining: gender roles and the road ahead. In: *The Socio-Economic Impacts of Artisanal and Small-Scale Mining in Developing Countries*. City: AA Balkema, Swets Publishers; 2003. Available from: <http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/336099-1163605893612/hintonrolereview.pdf> (accessed 4 Jan)
6. Ofosu-Mensah, E.A. (2011) Gold mining and the socio-economic development of Obuasi in Adanse. *Afr. J. Hist. Cul.*, 3, 54–64.
7. Elenge, M.; Leveque, A.; Christophe, B. (2013) Occupational accidents in artisanal mining in Katanga, DRC. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 26, 265–274.
8. Rachel N.L, Kan S, Richard L.N. (2015) Injury Risk Factors in a Small-Scale Gold Mining Community in Ghana’s Upper East Region. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 8744-8761.
9. Jackson H. Severe ocular trauma due to landmines and other weapons in Cambodia. (1997) *Commun Eye Health*; **10**: 37–9.
10. Zerihun N. Blast injuries of the eye. (1993) *Tropical Doctor*; **23**: 76–8.
11. Nakua.E.K , Owusu-Dabo.E, Newton.S. (2019) Injury rate and risk factors among small-scale gold miners in Ghana. *BMC Public Health* 19:1368.
11. Wong RF, Colin MA, Ryan SJ. (1991) Pathophysiology of posterior segment trauma. *Eye trauma*. St Louis: Mosby Year Book, 204–10.

Annexes



Figure 1. Site d'orpaillage clandestin au Niger



Figure 2. Éclatement du globe avec corps étrangers multiple dans la cornée chez un orpailleur

Variabilité Spatio-temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Climatiques du Burkina Faso: Cas de Bobo –dioulasso, Ouagadougou et Dori

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpo Karambiri
Institut National des Sciences et des Sociales, Burkina Faso
Raogo Noël Gansaonre
Centre universitaire de Gaoua, Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p262](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p262)

Submitted: 23 February 2023

Accepted: 27 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Karambiri B.L.C.N .& Gansaonre R.N. (2023). *Variabilité Spatio-temporelle de la Pluviométrie dans les Zones Climatiques du Burkina Faso: Cas de Bobo –dioulasso, Ouagadougou et Dori*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 262.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p262>

Résumé

L'évolution de la pluviométrie dans la zone sahélienne a connu d'importantes variations depuis les sécheresses des années 70 et 80. Cette zone est considérée par de nombreux auteurs comme la zone la plus affectée par les variations climatiques de ce siècle avec des paramètres climatiques très variables. Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans les trois zones climatiques notamment à Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Pour atteindre cet objectif, les quantités de pluie annuelle de 1921 à 2018 des stations synoptiques de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori, correspondant aux trois zones climatiques que compte le Burkina Faso ont été mobilisées. Ainsi, pour déterminer les différences de variations spatio-temporelles de la pluviométrie, des indices de précipitation ont été calculés pour identifier les années et périodes humides ou sèches. De plus, les ruptures pluviométriques ont été calculées à l'aide du test de Pettitt pour déterminer les différents cycles de l'évolution de la pluviométrie. Les résultats montrent que la pluviométrie a connu une régression depuis 1921 dans les trois localités, mais avec une forte tendance à la baisse à Bobo-Dioulasso où le coefficient directeur est de -0,01. Cependant à Dori la sécheresse est fréquente et rude qui enregistre deux années extrêmement sèches (1926 et 1987). Outre ces résultats, le test de Pettitt a

permis d'identifier des ruptures pluviométriques en 1969 à Dori, en 1970 à Bobo-Dioulasso, puis en 1976 à Ouagadougou. L'ensemble de ces résultats montre une différence d'évolution de ce paramètre dans les différentes zones climatiques.

Mots-clés: Variation spatio-temporelle, pluviométrie, zone climatique, Burkina Faso

Spatio-temporal Variability of Rainfall in the Climatic Zones of Burkina Faso: The Case of Bobo-dioulasso, Ouagadougou and Dori

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa Karambiri
Institut National des Sciences et des Sociales, Burkina Faso
Raogo Noël Gansaonre
Centre universitaire de Gaoua, Burkina Faso

Abstract

The evolution of rainfall in the Sahelian zone has experienced significant variations since the droughts of the 1970s and 1980s. This zone is considered by many authors as the zone most affected by climate variations this century with highly variable climatic parameters. Thus, the objective of this study is to analyse the spatio-temporal variability of rainfall in the three climatic zones of Bobo-Dioulasso, Ouagadougou and Dori. To achieve this objective, annual rainfall amounts from 1921 to 2018 from the synoptic stations of Bobo-Dioulasso, Ouagadougou and Dori, corresponding to the three climatic zones in Burkina Faso, were mobilised. Thus, to determine the differences in spatio-temporal variations in rainfall, rainfall indices were calculated to identify wet or dry years and periods. In addition, rainfall breaks were calculated using the Pettitt test to determine the different cycles of rainfall evolution. The results show that rainfall has been decreasing since 1921 in all three localities, but with a strong downward trend in Bobo-Dioulasso where the leading coefficient is -0.01. However, in Dori the drought is frequent and severe, with two extremely dry years (1926 and 1987). In addition to these results, the Pettitt test identified rainfall breaks in 1969 in Dori, in 1970 in Bobo-Dioulasso, then in 1976 in Ouagadougou. All these results show a difference in the evolution of this parameter in the different climatic zones.

Keywords: Climate zone, spatiotemporal variation, rainfall, Burkina Faso

Introduction

Les variations climatiques restent un sujet très important et d'actualité, non seulement pour le siècle actuel, mais aussi et surtout pour les populations dont la survie en dépend au regard de leur forte dépendance. La région sahélienne est considérée comme la partie du monde la plus affectée par les phénomènes climatiques extrêmes durant le XX^e siècle. Cette région à laquelle appartient le Burkina Faso a connu des périodes de sécheresse et de forte pluviométrie (Sambou et Paturel, 2018). Ainsi, durant les années 1910, 1940, 1970 et 1980, la zone sahélienne a connu de graves sécheresses qui ont fragilisé les systèmes de production et rendu vulnérable les populations. À cette série de sécheresses qui a marqué pendant longtemps le recul de la pluviométrie a succédé une période de reprise pluviométrique depuis les années 1990. Ces variations climatiques observées à l'échelle de la région sahélienne s'imbriquent dans des changements globaux de l'environnement à l'échelle de la planète. Ainsi, l'évolution des paramètres climatiques, notamment de la pluviométrie, a un effet considérable aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. Au Burkina Faso, les constantes variations du climat ont affecté la plupart des secteurs de production. En effet, les principaux secteurs de production, pourvoyeurs d'emplois, de ressources alimentaires et économiques pour plus de 80 % de la population, que sont l'agriculture et l'élevage, ont été profondément impactés au regard à leur forte dépendance à la pluviométrie. La rudesse de ses impacts sur les populations et leurs activités économiques nécessite un suivi constant de l'évolution du climat dans la perspective d'anticiper les éventuelles variations (Ali et Lebel, 2009).

Plusieurs études ont été menées sur la dynamique climatique dans le sahel (Nicholson et al., 2000 ; Ozer et al., 2003 ; Ozer et al., 2010). Ces études ont parfois révélé une reprise pluviométrique dans l'ensemble de la région sahélienne (Sene et Ozer, 2002), alors que dans d'autres cas, elles ont montré une persistance de la sécheresse malgré le regain pluviométrique des dernières décennies (Dai et al., 2004). À ce propos, Ozer et al. (2010) insiste sur la nécessité de nuancer les propos quant à la fin de la période sèche dans le sahel. Tout en demeurant dans une situation de déficit climatique permanente, les variations spatiales et temporelles de la pluviométrie restent importantes à l'intérieur de cette zone climatique (Nicholson, 2000). Ainsi, la distribution des isohyètes montre une répartition des moyennes pluviométriques dans chaque zone de la région sahélienne (Le Houerou, 1980). Au Burkina Faso, cette distribution a permis de distinguer trois zones climatiques dont la zone sahélienne avec une précipitation supérieure ou égale à 500 mm, la zone nord-sahélienne (précipitation supérieure à 900 mm) et la zone soudanienne dont les précipitations varient entre 900 et 1200 mm. Suivant la distribution pluviométrique selon chacune de ces zones, on relève une distribution de types

de végétation et de productions agropastorales qui sont fortement dépendantes des quantités de pluies reçues. Au regard de leur quantité de plus en plus réduite suivant le gradient sud-nord, les populations pratiquent des activités de productions agropastorales en fonction des quantités de pluies qui tombent. Ainsi, d'une année à l'autre la variation des quantités de pluies à l'intérieur d'une même zone climatique influence négativement les productions. Par ailleurs, d'une zone à une autre le stress hydrique ne s'exprime pas de la même manière du fait des besoins en eau. C'est pourquoi il convient d'étudier les différences de variation des moyennes pluviométriques dans ces différentes zones. En effet, la littérature sur le climat dans la zone sahélienne est abondante, cependant la plupart des travaux n'ont pas pris en compte la distribution pluviométrique suivant les zones climatiques. Les projections climatiques actuelles prévoient de fortes variations climatiques avec une tendance à l'accentuation des épisodes de sécheresse surtout dans la zone sahélienne GIEC (2007).

Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans les trois zones climatiques notamment à Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Il s'agira pour chaque localité d'observation dans un premier temps d'analyser l'évolution de la pluviométrie entre 1921 et 2018 à travers le calcul de l'indice standardisé de précipitation et dans un second temps, de déterminer les années de rupture à travers le test de Pettitt. Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie a été mise en œuvre. Elle présente la zone d'étude, les outils et méthodes utilisés. Cette démarche a permis d'obtenir des résultats qui sont présentés puis discutés.

1. Méthodologie

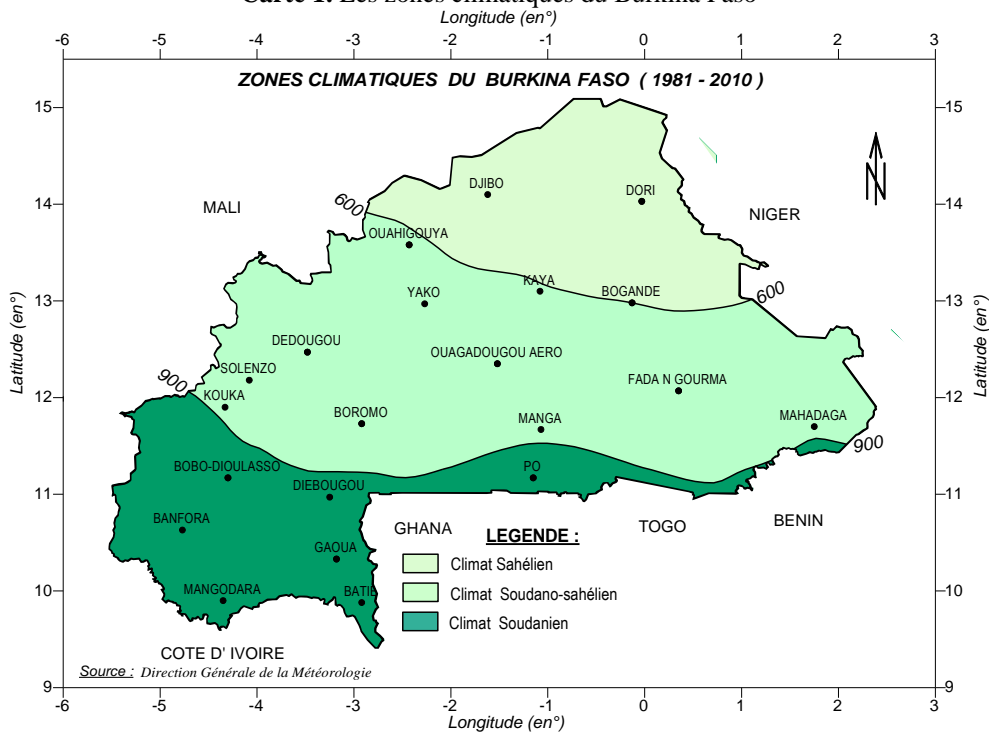
1.1. Présentation de la zone d'étude

La zone de la présente étude est le Burkina Faso. Il est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest. Son climat de type tropical à saisons alternées dont une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse. Son climat résulte d'un mécanisme global assez complexe régi par le balancement saisonnier du Front intertropical (FIT) qui favorise les évènements pluvieux. Les totaux pluviométriques varient en fonction des domaines climatiques allant de 600 à 1100 mm du nord au sud (Wetta et al., 2015). L'arrivée des pluies est liée d'une part aux masses d'air issues des anticyclones des Açores et du Sahara et d'autre part de l'île de Sainte-Hélène qui soufflent respectivement du nord-est vers le sud-ouest et du sud vers l'est. La zone de rencontre de ces deux masses d'air antagonistes constitue la zone de convergence intertropicale (ZCIT). La surface de contact entre les masses d'air produit une trace au sol appelée front intertropical (FIT). Il s'agit en effet d'une convergence (CIT) au regard des conditions aérologiques des masses d'air qui la composent. Son passage sur le territoire burkinabè entraîne l'arrivée des pluies (Dipama, 2005). Elle aborde

la pointe sud du Burkina Faso à partir de mars. La CIT migre en latitude de manière progressive pour arroser les autres parties du pays au mois de mai. En juin, la convergence couvre la totalité du pays. Dès octobre, la CIT amorce sa descente, marquant la fin de la saison pluvieuse.

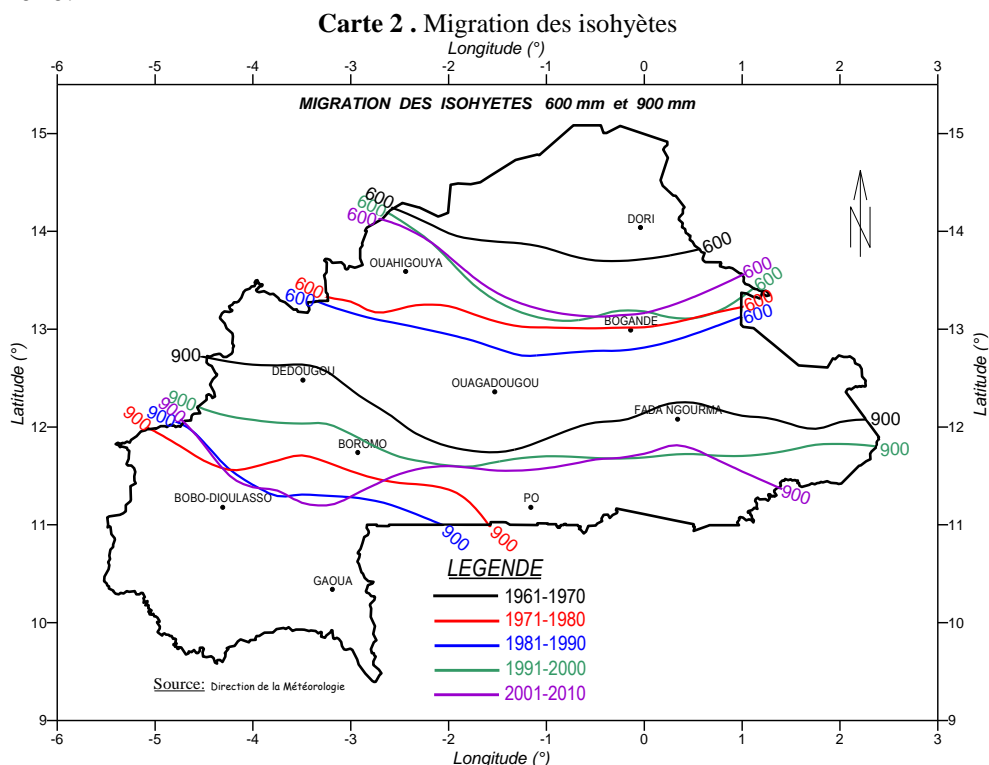
Le territoire du Burkina Faso est subdivisé en trois zones climatiques que sont les zones sahélienne, nord-soudanienne et sud-soudanienne (carte 1). Située dans la partie nord du pays, la zone sahélienne occupe environ 25 % du territoire national (Dipama, 2005). Elle est la moins arrosée avec une pluviométrie moyenne annuelle de 500mm. La zone nord-soudanienne est située entre les isohyètes 600 mm et 900mm. Sa pluviométrie moyenne annuelle est de 800 mm d'eau par an, répartis sur 4 mois. La zone sud-soudanienne occupe l'ouest et le sud du pays. Sa pluviométrie moyenne annuelle est de 1000 mm d'eau par an.

Carte 1. Les zones climatiques du Burkina Faso



Le Burkina Faso est caractérisé par une forte variation spatio-temporelle de la pluviométrie. On enregistre une fluctuation des isohyètes 600 et 900 mm qui constituent les limites de transition entre les trois zones climatiques du pays (carte 2). Ainsi, pendant les décennies 1991-2010 et 2001-2010, l'isohyète 600 mm se positionne successivement en dessous et au-dessus du 13^e parallèle. L'isohyète 900 mm a connu le même basculement vers

le nord dans l'intervalle durant les décennies 1981-1990, 1991-2000 et 2001-2010.



Les variations spatio-temporelles de la pluviométrie entraînent des conséquences sur les activités socioéconomiques des populations. En effet, environ 80 % de la population burkinabè vit en milieu rural. Cette frange importante de la population dont la survie est dépendante des productions agropastorales subit de plein fouet les effets des variations climatiques. Ces situations ont favorisé des vagues de migrations des zones sahéniennes vers les zones soudaniennes, amplifiant ainsi les risques de conflits entre autochtones et migrants (Kaboré et al., 2018).

1.2. Les données de l'étude

La réalisation de l'étude a nécessité l'utilisation de plusieurs données. En effet, des séries de valeurs de la moyenne annuelle de la pluviométrie de 1921 à 2018 ont été collectées. Trois stations synoptiques ont été retenues, à raison d'une station par zone climatique. Il s'agit des stations de Dori, de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso respectivement pour les zones sahéniennes, nord-soudanienne et sud-soudanienne. Les données ont été fournies par l'Agence de la Météorologie nationale (ANAM). Le traitement et l'analyse de ces données ont mobilisé différents outils et méthodes.

1.3. Le traitement et l'analyse des données

1.3.1. Indice standardisé de précipitation

Plusieurs auteurs ont utilisé l'indice standardisé de précipitation (ISP) a été mis au point par Mckee et al. (1993) pour caractériser l'évolution de la pluviométrie (Bodian, 2014 ; Soro et al., 2014 ; Descroix et al., 2015). Cet indice. Contrairement à la multitude d'indices qui servent à caractériser la sécheresse, celui-ci présente l'avantage d'être stable, cohérent statistiquement et plus adapté pour la caractérisation du climat, particulièrement pour la détection des épisodes de sécheresse. Ainsi, de la comparaison établie par Mishra et Singh (2010), il est ressorti que parmi les indices les plus utilisés pour l'étude de la sécheresse, l'ISP présente le plus d'avantages. Selon ces auteurs, l'ISP est capable de détecter l'apparition d'une sécheresse, ses variations spatio-temporelles de manière cohérente. Sa nature probabiliste favorise la comparaison des résultats de zones différentes (Soro et al., 2014). Dans le cadre de cette étude, l'ISP a été calculé afin de mettre en évidence la fréquence des anomalies pluviométriques (positives ou négatives) des zones climatiques étudiées. La démarche qui consiste donc à normaliser (ou « standardiser ») les données de pluviométrie à l'aide d'une transformation centrée réduite. Il est calculé selon la formule suivante :

$$x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$$

où : x'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i

x_i = quantité mensuelle ou annuelle des précipitations dans une certaine année
 \bar{x} = la moyenne annuelle de la série.

$\sigma(x)$ = l'écart type de la série

Selon Mckee et al. (1993), une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur inférieure ou égale à -1. Une période est considérée comme humide lorsque la valeur de l'indice est supérieure ou égale à 1 (tableau n°1). On distingue alors pour chaque épisode de sécheresse ou d'humidité une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit (OMM, 2012).

Tableau 1. Valeurs de l'indice standardisé de précipitations et risques associés

Valeur SPI	Intensité
Supérieure ou égale à 2, 0	Extrêmement humide
De 1, 99 à 1,5	Très humide
De 1, 49 à 1,0	Modérément humide
De 0,99 à -0, 99	Proche de la normale
De -1, 0 à -1, 49	Modérément sec
De -1, 5 à -1, 99	Très sec
Inférieure ou égale à -2,0	Extrêmement sec

Source : OMM, 2012.

Les paramètres de dispersion à eux seuls ne suffisent pas à mesurer la variabilité pluviométrique. En effet, ils ne décrivent pas l'évolution temporelle des séries pluviométriques. Ils peuvent être complétés par la détection de ruptures dans les séries pluviométriques.

1.3.2. Méthode de détection de rupture

Une « rupture » de stationnarité est définie comme étant un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (Lubes et al., 1994). La détection de rupture dans les séries temporelles permet de vérifier la non-stationnarité des séries pluviométriques et valider l'hypothèse sur la baisse ou la hausse de la pluviométrie. La littérature sur l'étude de la dynamique climatique a montré que la corrélation rang, le test de stationnarité de Pettitt, la méthode de segmentation de Hubert et la méthode bayésienne de Lee et Heghinian sont fréquemment utilisés. Bodian (2014), Faye et al. (2015) et Sambou et Paturol (2018) ont travaillé sur la puissance et la robustesse de ces différents tests et ont conclu d'une variation relative des résultats selon la nature et la longueur des séries étudiées. L'ensemble de ces tests s'appuie sur une hypothèse nulle d'absence de rupture au seuil de 1 %.

Le test de Pettitt est un test non paramétrique ne nécessitant aucune hypothèse de distribution des données. Il permet d'identifier les changements de moyenne ou de variance dans la série étudiée. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. Au cas où l'hypothèse nulle serait rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$.

Les changements chronologiques qui interviennent dans une série de données climatiques sont mis en évidence par la méthode de segmentation de Hubert. Ce test est particulièrement sensible à un changement de moyenne et, si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, ils proposent une estimation de la date de rupture (Bodian et al., 2011). La procédure de segmentation des séries chronologiques consiste à découper la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment (s) voisin (s). La procédure de segmentation se présente comme suit :

Toute série x_i où $i = i_1, i_2$ avec $1 \leq i_1 < i_2 \leq N$, constitue un segment de la série initiale des (x_i) avec $i=1, 2, \dots, N$. Toute partition de la série initiale en m segments constitue une segmentation de rang m définit par :

- $Ik, k=1, 2, \dots, m$ le rang dans la série initiale de l'extrémité du $k^{\text{ième}}$;
- $N_k = i_k - i_{k-1}$ la longueur du $k^{\text{ième}}$ segment ;

La quantité $Dm = \sum_{k=1}^{k=m} D_k = ki = \sum_{k=1}^{k=m} \sum_{i=i_k}^{i=i_k} (xi - \bar{x})^2$ est l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée (Athadé, 2014).

1.3.3. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977) ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Toutefois, elle vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. C'est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. Elle est fondée sur l'équation suivante :

$$\begin{aligned} xi &= \mu + \varepsilon i \quad \text{avec } i = 1, 2, 3, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon i & \quad \text{avec } i = 1, 2, 3, \dots, N \end{aligned}$$

Les x_i sont indépendant, normalement distribué, de moyenne nulle et de variance σ^2 . La position de la rupture dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de la moyenne sont représentées respectivement par τ et δ . Le changement éventuel, position et amplitude, correspond au mode des distributions a posteriori de τ et δ . Ainsi, cette méthode fournit la probabilité que le changement se produise au moment τ dans une série où est supposé à priori qu'il y a effectivement un changement à un moment déterminé. Elle donne également une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur δ . La date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible et que la distribution est unimodale (Athadé, 2014 ; Karambiri, 2017).

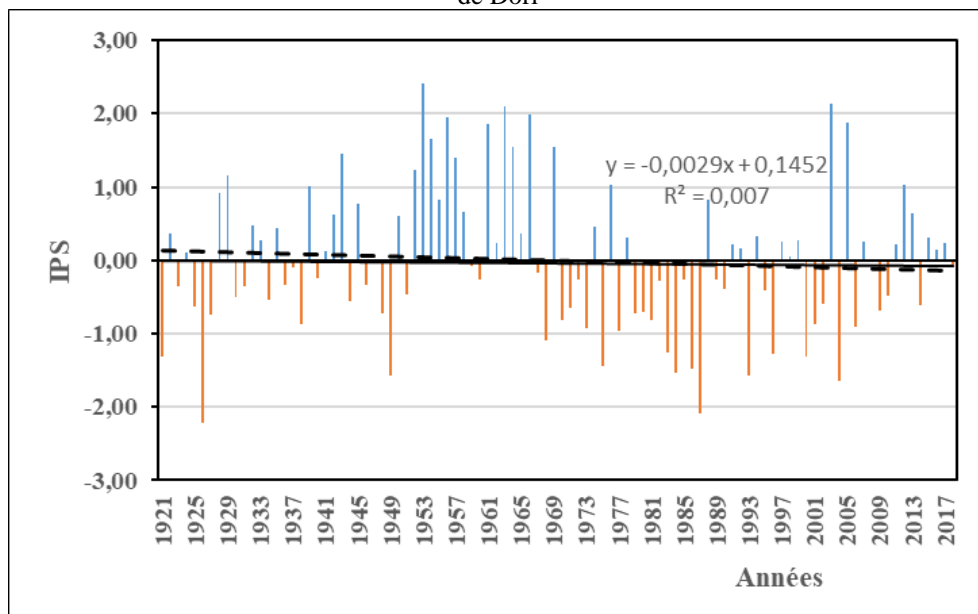
2. Résultats

2.1. Évolution du climat dans les trois stations du Burkina Faso

2.1.1. Évolution du climat à Dori

La moyenne annuelle des totaux pluviométriques de la station synoptique de Dori montre une alternance de déficit et d'excédent pluviométriques. En effet, de 1921 à 2018, il y'a 47 années d'excédent pluviométrique avec des degrés d'humidité différente contre 51 années de déficit pluviométrique avec des degrés de sécheresse variables d'une année sèche à une autre, comme l'indique la figure 1. Les années humides représentent donc 46,39 % contre 51, 54 % d'année sèche sur l'ensemble de la période d'étude. Et 2,06 % des années n'ont connu ni déficit ni excédent pluviométrique. Le tableau 2 présente la distribution temporelle du comportement de la pluie à Dori.

Figure 1. Variation temporelle de l'indice standardisé précipitation de la station synoptique de Dori



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

Tableau 2. Distribution temporelle des années de sécheresse de la station de Dori

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches (%)	Plus longue période de déficit	Fréquence d'années déficitaires (%)
Modérément sec	7 (1986, 1975, 1921, 2000, 1996, 1983, 1968)	7,14	1979-1987	52,05
Très sec	4 (1949, 1984, 1993, 2006)	4,08		
Extrêmement sec	2 (1926, 1987)	2,04		

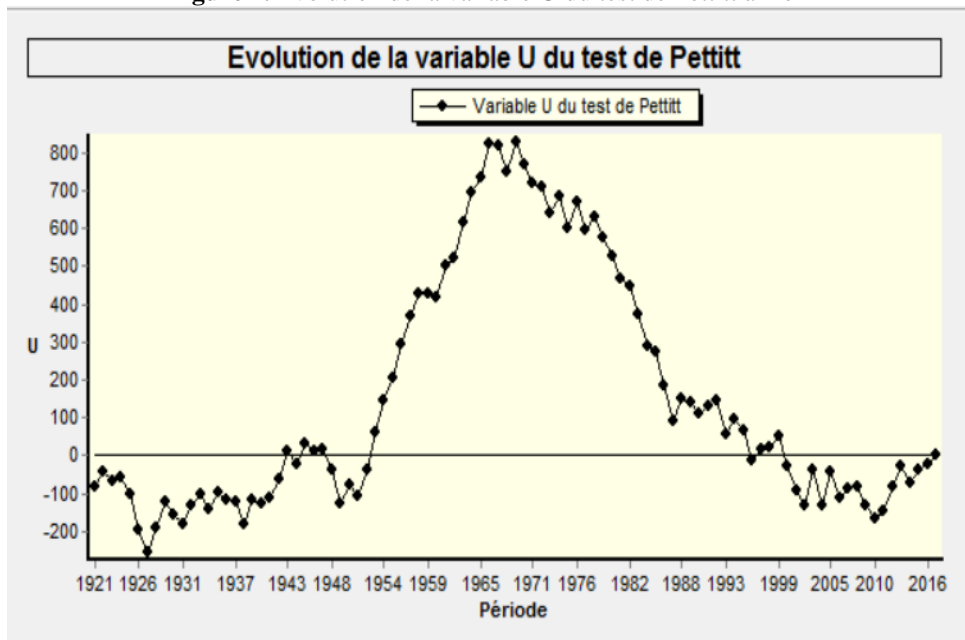
Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

La figure 1 et le tableau 2 montrent une régression continue des quantités de pluies. Les années sèches se répartissent dans le temps sur l'ensemble de la série pluviométrique de l'étude. Treize (13) années, soit environ 13,26 % du nombre d'années d'étude ont connu un déficit pluviométrique assez prononcé. Comme l'indique le tableau, la zone sahélienne a connu par moment des périodes de sécheresse prolongée. Ainsi, de 1979 à 1987, cette zone était dans un déficit pluviométrique important. C'est d'ailleurs à cette période qu'on enregistre l'année la plus sèche (1987),

excepter celle de 1926. Pour davantage appréhender le comportement de la pluviométrie, des moyennes décennales de l'ISP ont été calculées. Sur les neuf décennies et huit ans définis, six décennies (1921-1930 ; 1931-1940 ; 1971-1980 ; 1981-1990 ; 1991-2000 et 2001-2010) se sont révélées être négatives.

Le déficit pluviométrique est plus prononcé en 1926 par rapport aux autres années. Cependant, 2012 a enregistré la plus grande quantité d'eau tombée. L'année 1953 est la plus humide et 1926 est la plus sèche. Selon les normes de l'OMM (2012), 1953 fut une année extrêmement humide tandis que 1926 était une année extrêmement sèche. Cette variation montre des disparités. Effectivement, on constate deux longues périodes d'excédent pluviométriques allant de 1952 à 1958 et de 1961 à 1966. Ce qui veut dire que les années 1960 étaient humides par rapport aux autres années, comme le montre la figure 1. Cette période est suivie d'une succession d'environ 10 années de déficit pluviométrique de 1979 à 1987. Bien avant cette période, la période allant de 1970 à 1973 fut déficitaire. La pluviométrie de la station synoptique de Dori située dans la zone sahélienne n'a pas une tendance détectable. La droite de tendance se confond à l'axe des abscisses, témoignant ainsi d'une forte variation de la pluviométrie dans cette zone. L'application du test de Pettitt permet de voir une rupture pluviométrique en 1969.

Figure 2. Évolution de la variable U du test de Pettitt à Dori



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

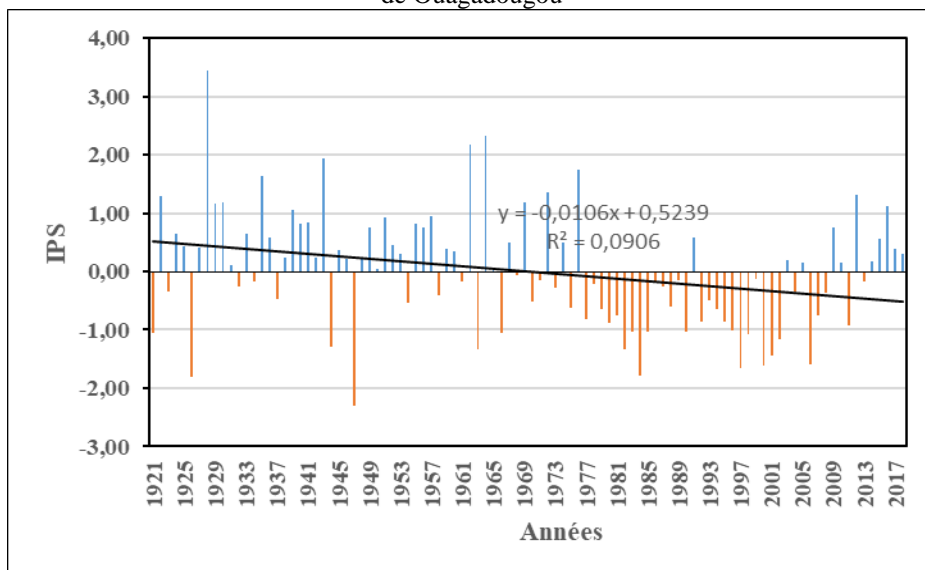
Cette rupture pluviométrique est confirmée par la méthode de segmentation de Hubert qui divise la série de 1921 à 2018 en trois périodes.

Une première période sèche de 1921 à 1951 avec pluviométrie moyenne de 489,80 mm. Une deuxième période relativement plus humide s'étale entre 1952 à 1966 avec une pluviométrie moyenne de 642,28 mm. Enfin une troisième période de 1967 à 2018 qui est la plus sèche de ces trois périodes. La pluviométrie moyenne de cette période est de 470,96 mm.

2.1.2. Évolution du climat à Ouagadougou

L'analyse des relevés pluviométriques de 1921 à 2018 a donné des résultats différents avec les stations synoptiques situées dans les autres zones climatiques du pays. En fait, à la station synoptique de Ouagadougou, les années les plus pluvieuses sont concentrées entre 1928 et 1964. Les quantités de pluie durant cette période variaient entre 1299 et 1962 mm. Les années sèches sont concentrées entre 1977 et 2002. Les déficits sont plus prononcés en 1926, 1947, 1984, 1997, 2000 et 2006 avec respectivement 498,6mm, 571,4mm, 587,8mm, 594,1mm et 596,8mm. Entre l'année la plus humide (1964) et l'année la plus sèche (1947), la différence de pluie est de 643,5mm. L'année 1964 a été une année extrêmement humide et 1947 extrêmement sèche selon les normes de l'OMM (2012). Dans l'ensemble de la série, 49 années soit 50 % des années de la période d'étude sont en excès contre 50 % en déficit pluviométrique (confère la figure 3 et le tableau 3). La tendance générale est à la baisse à Ouagadougou dans la zone nord-soudanienne.

Figure 3. Variation temporelle de l'indice standardisé précipitation de la station synoptique de Ouagadougou



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

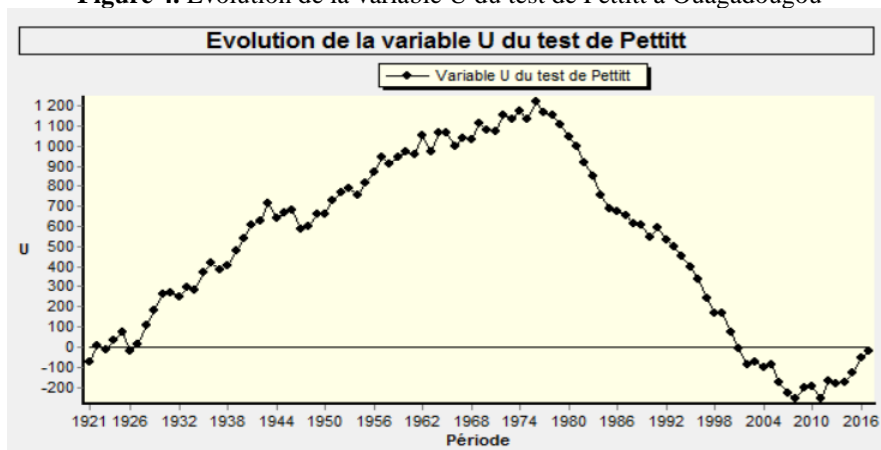
Tableau 3. Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudano-sahélienne

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches (%)	Plus longues périodes de déficit	Fréquence d'années déficitaires (%)
Modérément sec	12 (1921 ; 1944 ; 1963 ; 1966 ; 1982 ; 1983 ; 1985 ; 1990 ; 1996 ; 1998 ; 2001 ; 2002)	12,24	1977-2002	50
Très sec	5 (1926 ; 1984 ; 1997 ; 2000 ; 2006)	5,1		
Extrêmement sec	1 (1947)	1,02		

Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

La tendance générale de l'ISP montre une régression des quantités de pluie qui tombent. Ainsi, dans la zone soudano-sahélienne, le climat temps à sécher, ce qui explique la longue période de déficit pluviométrique qui s'étale entre 1977 et 2002. Sur l'ensemble de la période d'étude, 50 % des années ont un déficit de pluie. Cependant, 18 % des années ont connu une sécheresse relativement importante. Les moyennes décennales de l'ISP calculé sont négatives sur trois périodes (1981-1990 ; 1991-2000 et 2001-2010). Cette caractéristique montre que la décennie 1971-1980 dont la moyenne de l'ISP est nulle constitue la période de début d'une période déficitaire importante et longue. Ainsi, la détermination des ruptures pluviométriques vient confirmer ce changement du comportement de la pluie. L'application des différents tests statistiques permet de montrer une rupture pluviométrique en 1976 au niveau de cette station (Figure 4).

Figure 4. Évolution de la variable U du test de Pettitt à Ouagadougou



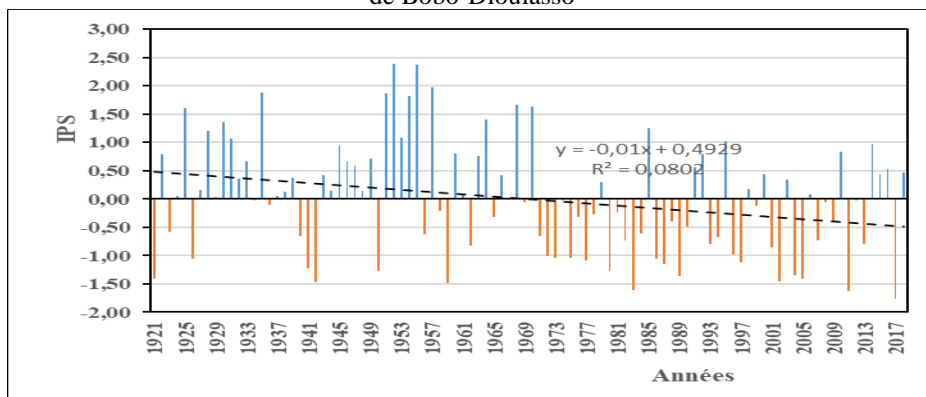
Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

On constate quatre périodes de durées inégales avec des caractéristiques différentes. La première période est humide et s'étend de 1921 à 1928 avec une pluviométrie moyenne de 1054,99 mm. La deuxième période, moins humide, est comprise entre 1929 et 1976, avec une pluviométrie moyenne de 869,01 mm. Quant à la troisième période, elle est sèche et s'étale entre 1977 à 2008 avec 715,37 mm comme moyenne pluviométrique. La quatrième période est plus humide que la troisième et s'étend de 2009 à 2018. Sa pluviométrie moyenne est de 870,12 mm. La différence entre la période la plus humide et la période sèche est de 339,62 mm, ce qui correspond à une baisse de 32,19 % des précipitations.

2.1.3. *Évolution du climat à Bobo-Dioulasso*

La station synoptique de Bobo est marquée par une variation de la pluviométrie qui se présente sous forme d'une alternance des années déficitaires et des années excédentaires. Les excédents les plus prononcés sont enregistrés au cours des années 1925, 1935, 1951, 1952, 1954, 1955, 1957, 1968 et 1970. Cependant, les années déficitaires sont 1983, 2011 et 2017. Au niveau de cette station située dans la zone sud-soudanienne, l'analyse a permis d'identifier trois phases d'évolutions de la pluviométrie. D'abord une phase de succession des excédents de pluie qui sont 1927-1933, 1943-1949, 1951-1955. Ensuite une succession de déficits (1971-1978, 1980-1984, 1986-1990). Et une dernière période qui est caractérisée par une instabilité dans la dynamique pluviométrique. La période de l'étude (1921-2018), montre que 50 années soit 51,02 % ont été humide contre 48 années de déficit pluviométrique soit 48,98 % comme le montre la figure 5. L'année 1952 était la plus arrosée (1551,6 mm) et 2017, la plus sèche (747,9 mm). Ainsi, la tendance pluviométrique reflète bien une importante variabilité pluviométrique entre 1921 et 2018 (figure 5 et tableau 4).

Figure 5. Variation temporelle de l'indice standardisé précipitation de la station synoptique de Bobo-Dioulasso



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

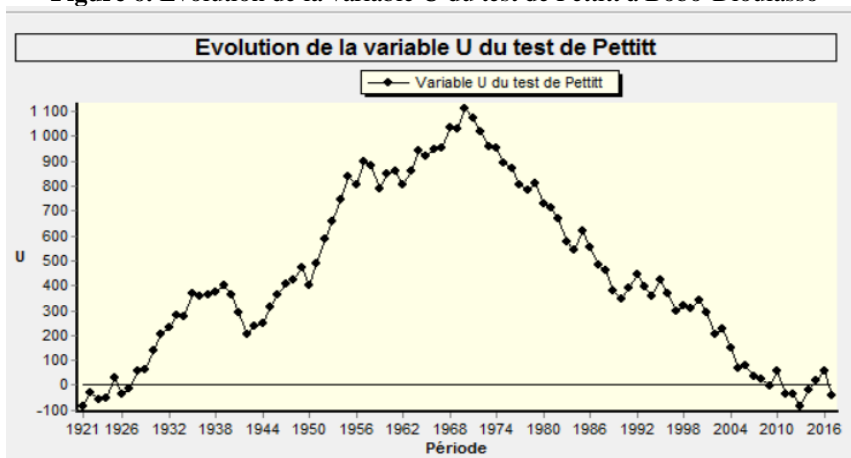
Tableau 4. Distribution temporelle des épisodes de sécheresse dans la zone soudanienne

Intensité de la sécheresse	Nombre d'années	Fréquences des années sèches	Plus longue période sèche	Fréquence des années déficitaires (%)
Modérément sec	18 (1959 ; 1942 ; 2002 ; 1921 ; 2005 ; 1989 ; 2004 ; 1980 ; 1950 ; 1941 ; 1987 ; 1997 ; 1977 ; 1986 ; 1926 ; 1975 ; 1973 ; 1972)	18 %	1971-1978 1986-1990	48,98
Très sec	3 (2017 ; 2011 ; 1983)	3,06		
Extrêmement sec	0	0		

Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

La droite de régression linéaire de la figure 5 montre une régression des quantités de pluies qui tombent. Dans cette zone qui est la plus arrosée du pays, en depuis de la régression de la pluviométrie, des années d'extrême sécheresse n'ont jamais été enregistrées. Les années modérément sèches et très sèches représentent environ 18 % des années de la série d'étude. Ces caractéristiques montrent que cette zone climatique connaît des variations moins sévères. Les moyennes décennales inférieures à zéro concernent six décennies (1941-1950 ; 1971-1980 ; 1981-1990 ; 1991-2000 ; 2001-2010 et 2011-2018). Ce qui traduit une variation plus ou moins régulière et récente des quantités pluviométriques. Cependant, le test de Pettitt montre qu'il y'a eu une rupture dans la série 1921-2018 à Bobo-Dioulasso. La méthode bayésienne de Lee montre que cette rupture pluviométrique a eu lieu en 1970.

Figure 6. Évolution de la variable U du test de Pettitt à Bobo-Dioulasso



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2018
 Conception et réalisation : KARAMBIRI et GANSAONRE, 2022

L'application de la méthode de segmentation de Hubert permet de diviser la série en trois phases distinctes. Deux périodes humides et une période sèche. La première période humide s'étend de 1921 à 1950 avec comme moyenne pluviométrique 1124,76 mm. La deuxième phase, plus humide, va de 1951-1955 avec une moyenne pluviométrique de 1456,78 mm. Elle est très courte. La dernière période est sèche et s'étale de 1956 à 2018. Sa moyenne pluviométrique est de 1042,67 mm. La différence entre la période humide et la période sèche est de 414,11 mm soit une baisse de 28,42 % des précipitations. De façon générale, la tendance de la pluviométrie à Bobo-Dioulasso est à la baisse.

2.2. Une dynamique spatiotemporelle importante de la pluviométrique dans les zones climatiques du Burkina Faso

Les analyses du comportement de l'ISP montrent une grande différence dans la variation pluviométrique dans les zones climatiques du Burkina Faso. En effet, la variation à Dori et à Bobo-Dioulasso a presque la même tendance. En revanche, l'évolution de la pluviométrie à Ouagadougou se démarque de celle des deux zones climatiques. Dori et Bobo-Dioulasso ont le même nombre de périodes en termes de rupture pluviométrique. Elles ont également en commun quatre décennies dont les moyennes de l'ISP sont négatives. En revanche à Dori, on enregistre deux périodes sèches et une période humide. Alors qu'à Bobo-Dioulasso l'analyse révèle deux périodes humides et une période sèche. Ouagadougou est totalement opposé aux autres stations synoptiques avec quatre périodes, dont trois humides et une sèche.

La rupture pluviométrique n'a pas eu lieu à la même période. Elle a eu lieu plutôt à Dori (1969) et à Bobo (1970) et plus tard à Ouagadougou 1976. Toutefois, on retient que c'est au cours de la même décennie que les ruptures sont intervenues dans les stations synoptiques étudiées. De façon générale, les résultats montrent que dans les trois stations synoptiques, la période de sécheresse a débuté vers les années 1968. Elle a sévi jusqu'à la fin des années 1990. Et on constate une légère reprise à partir des années 2010. Cette situation ne tient pas compte des zones climatiques. Donc elle concerne tout le pays et va même au-delà du pays selon la littérature.

Concernant le nombre de périodes de déficit pluviométrique, sur la série 1921-2018, Dori enregistre plus de périodes déficitaires que de périodes excédentaires. Ce pendant à Ouagadougou, le nombre d'année de déficit et d'excédent pluviométriques sont identique. En revanche, à Bobo-Dioulasso, les années d'excédent sont plus nombreuses que les années déficitaires. À la station synoptique de Dori, il y a 4,1 % d'écart au profit du déficit alors qu'à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, l'écart est de 2,04 % en faveur de l'excédent pluviométrique. On note également une sévérité du déficit pluviométrique à Dori (deux années d'extrême sécheresse), qu'à

Ouagadougou (une année d'extrême sécheresse) et à Bobo-Dioulasso où aucune année d'extrême sécheresse n'a été enregistrée. Mais dans toutes les trois stations synoptiques, la tendance générale est à la baisse de la pluviométrie.

Cette différence dans la dynamique pluviométrique de cette série dans ces trois stations synoptiques s'explique par le fait que ces stations sont situées dans des zones climatiques différentes avec des conditions météorologiques particulières à chaque zone. Les résultats de Ouagadougou prouvent sa situation dans une zone de transition entre la zone sahélienne, plus sèche et la zone sud-soudanienne plus humide. La longueur de la saison pluvieuse étant différente d'une zone climatique à l'autre peut expliquer cette disparité dans la dynamique pluviométrique de ces trois stations. La position de ces zones par rapport au CIT est un élément explicatif de cette disparité pluviométrique. En effet, chaque année, la mousson arrive plus tôt à Bobo-Dioulasso et plus tard à Dori et à des périodes différentes. Il va de soi que Bobo-Dioulasso enregistre plus d'excédents que de déficits pluviométriques par rapport à Dori. La position géographique de ces différentes stations explique aussi cette différence. La dynamique pluviométrique est différente d'une zone climatique à une autre.

3. Discussions

Le Burkina Faso a connu une descente des isohyètes du nord vers le sud. Depuis les années 1921, la pluviométrie a évolué en dents-de-scie avec une alternance de périodes de sèches et de périodes d'excédents pluviométriques. Les résultats obtenus montrent une variation de la pluviométrie à Dori, Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, avec une tendance générale à la baisse comme le montrent les droites de tendance linéaire. Cette baisse est plus importante à Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. De nombreux auteurs ayant travaillé sur l'ensemble du territoire burkinabè ont fait des constats similaires. C'est le cas de Ouédraogo (2012 ; 2015) et Ouoba (2013) à Dori, Dipama (2014) et Rouamba (2017) à Ouagadougou et Kaboré et al. (2017) à Bobo-Dioulasso. Ainsi, ces résultats montrent une tendance générale à la baisse des quantités de pluie qui tombent sur le territoire du Burkina Faso. À cette variation temporelle vient s'ajouter une forte variation spatiale des quantités de pluie au regard des moyennes pluviométriques enregistrées dans les trois zones de l'étude. Ces différents résultats sont similaires même si la longueur de la série étudiée n'est pas identique. Au-delà du Burkina Faso, Ozer et al. (2010) ont montré une tendance à la baisse de la pluviométrie dans la frontière sud du Sahara (zone sahélienne). Travaillant sur les mêmes zones climatiques au Sénégal, Bodian (2014) a également montré une rupture plus ou moins similaire.

Le bilan de l'évolution de la pluviométrie montre que le nombre d'années déficitaires est plus élevé à Dori qu'à Bobo-Dioulasso. À Ouagadougou, on note une égalité entre années déficitaires et excédentaires. Les travaux de Ouédraogo (2012) dans la zone sahéenne confirment cette persistance de la sécheresse dans la zone sahéenne caractérisée par une dominance des années sèches. Kaboré et al. (2017) ont montré une faible pluviométrie à Dori par rapport à Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. Par ailleurs, leurs travaux montrent qu'à l'horizon 2050, les hauteurs pluviométriques de Bobo-Dioulasso connaîtront une forte baisse par rapport aux autres zones climatiques.

Ainsi, tandis que les variations interannuelles des quantités pluviométriques sont importantes à Dori, à Bobo-Dioulasso c'est la tendance à la baisse qui est plus prononcée. Cependant, la moindre variation de la pluviométrie à Dori a un impact environnemental et socioéconomique important au regard de la fragilité des écosystèmes Ozer et al. (2010). La rareté des ressources qui s'est accentuée depuis les grandes sécheresses et à la suite des activités agropastorales explique l'importance de l'impact des variations pluviométriques dans la zone de Dori.

La crise climatique qui a eu lieu à la fin des années 1960 dans les trois stations étudiées explique les ruptures pluviométriques constatées en 1969 à Dori, en 1970 à Bobo-Dioulasso et en 1976 à Ouagadougou ; alors que la période des années avant 1950 a été pluvieuse. Des résultats similaires sont également obtenus par d'autres auteurs grâce au test de Pettitt même lorsque les périodes d'analyse sont différentes. Ainsi, à Dori, Ouédraogo (2015) identifie pour la période de 1960 à 1990 une tendance à la baisse de la pluviométrie avec une rupture en 1969. À Ouagadougou, Rouamba (2017) a permis d'identifier une rupture en 1976 sur une série pluviométrique de 1953 à 2013.

Au-delà du Burkina Faso, plusieurs travaux ont montré que les tendances climatiques sont à la baisse dans l'ensemble de la zone sahéenne et que les ruptures pluviométriques dans cette zone se situent autour des années 1960-1970. Dans l'est du Niger (Gouré et Zinder), l'analyse des données pluviométriques de quatre stations montre que la crise climatique a bel et bien commencé à la fin des années 1960 de manière quasi simultanée Ozer et al. (2009). Les ruptures pluviométriques y sont situées en 1967 et 1968 respectivement. Au Sénégal, le test de Pettitt, appliquée à une série de données de 1940-2013 situe la rupture pluviométrique de la zone sahéenne en 1969 et celle des zones soudaniennes en 1967, Bodian (2014). C'est le cas de Sagan et al. (2021) qui, à travers l'application du test de Pettitt, a trouvé des ruptures en 1969 au Bénin et au Burkina Faso et en 1967 au Sénégal. Elle est intervenue plus tard en Côte d'Ivoire dans les années 1981.

Les résultats obtenus montrent que les ruptures pluviométriques dans l'ensemble des pays de l'Afrique de l'Ouest sont apparues après 1960. Cette transition climatique fut d'autant plus violente qu'elle succédait directement à la période la plus arrosée du siècle des années 1950 et 1960.

Certains auteurs ont par la suite noté une certaine reprise de la pluviométrie entre 1990 et 1993, Ozer et al. (2010). Certes, les tests effectués n'ont pas détecté de rupture avec une tendance à la hausse de la pluviométrie et visant à montrer une reprise climatique, mais les graphiques montrent que le SPI a connu une amélioration ces dernières décennies. Ainsi, les conditions climatiques tendent à s'améliorer, avec un impact positif sur les activités de productions agropastorales. Pour davantage améliorer cet impact, de nombreuses actions sont menées pour améliorer les capacités d'adaptation des populations aux nouvelles conditions climatiques. Cependant, ces efforts sont de plus en plus compromis avec la forte croissance démographique enregistrée dans cette zone. De plus, les crises sécuritaires ont accentué la précarité des populations d'autant plus qu'elles ont engendré des déplacements et limité l'intervention des acteurs de développement. Cette situation suscite des questionnements quant à l'avenir de la zone dans les prochaines décennies.

Conclusion

La présente étude a permis de mettre en relief la dynamique climatique dans trois zones climatiques au Burkina Faso. Elle a confirmé les tendances à la baisse déjà démontrées par de nombreux auteurs, avec des périodes de ruptures plus ou moins similaires.

Cependant, cette étude met en exergue les différences d'évolution de la pluviométrie dans les trois zones climatiques en s'appuyant sur les données de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. Le paradoxe qui se révèle est la similarité entre les évolutions pluviométriques de Bobo-Dioulasso et Dori, à la différence d'une fréquence importante des épisodes de sécheresse à Dori et une tendance plus élevée à la baisse de la pluie à Bobo-Dioulasso. Ainsi, on déduit que la variation des quantités pluviométrique est plus importante à Bobo-Dioulasso, mais les faibles quantités de pluie de Dori rendent plus vulnérable cette zone. De plus, des facteurs comme les conditions végétales et le rayonnement solaire peuvent expliquer cette différence d'évolution de la pluviométrie.

References:

1. Ali A. & Lebel T. (2009). The Sahelian standardized rainfall index revisited" in *Int. J. Climatol.* 29, pp. 1705-1714
2. Attiadé G. A. A. (2014). Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation des terres sur les ressources en eau du Bassin versant de

- la rivière Zou dans le Bénin méridional, Thèse de doctorat, université d'Abomey Calavi, 235 p.
3. Bodian A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo*, Volume 8, n°1, pp. 297-312.
 4. Bodian A., Dezetter A., & Dacosta H. (2011). Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique, in *Physio-Géo*, vol. V, pp. 116-133.
 5. Daï A., Lamb P. J., Trenberth K. E., Hulme M., Jones P. D. & Xié P. (2004). Comment: the recent sahel drought is real. *Int. J. Climatol.* 24: pp.1323-1331.
 6. Dipama J. M. (2014). Approche spatiale du phénomène du réchauffement climatique à l'échelle du Burkina Faso et perceptions des populations. *Climat et développement* n° 16, juin 2014. Laboratoire Pierre PAGNY - Climat, Eau, Écosystème et Développement (LACEEDE), pp. 36-49.
 7. Dipama J. M. (2005). Mécanisme général de la genèse des pluies et leur répartition au Burkina Faso, Espace scientifique n°005, juin, juillet, août 2005, pp.7-11.
 8. Descroix L., Niang A. D., Panthou G., Bodian A., Sane Y., Dacosta H., Abdou M. M., Vadervaere J. P. & Quantin G. (2015). Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le bassin du Niger moyen, in *Climatologie*, volume 12, 2015.
 9. Faye C., Sow A. A. & Ndong J. (2015). Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo*, Volume 9, consulté le 27 septembre 2019.
 10. GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Genève, Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, 103 p.
 11. Kaboré O., Dipama J. M. & Sanou K. (2018). Effets de la variabilité climatique sur les migrations et la capacité de résilience des agropasteurs dans les villages de Kabonga 1 et 2 (Burkina Faso). *Rev. Sc. Env. Univ.*, Lomé (Togo), n° 15, vol. 2, pp. 251-272
 12. Kaboré B., Kam S., Ouédraogo G. W. P. & Bathiébo D. J. (2017). Étude de l'évolution climatique au Burkina Faso de 1983 à 2012 : cas des villes de Bobo-Dioulasso, Ouagadougou et Dori. *Arabian journal of earth sciences*, 4 - Issue 2 : pp. 50-59.
 13. Karambiri B. L. C. N. (2017). Variabilité climatique et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Sourou au Burkina

- Faso, Thèse de doctorat, Université Ouaga1/Pr Joseph Ki-Zerbo, 238 p.
14. Lee A.F.S. & Heghinian S.A. (1977). A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables. A Bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4, pp. 503-506.
 15. Le Houerou H. N. (1980). The Rangelands of the Sahel. *Journal of range management*, 33(1), pp. 41-45.
 16. Lubès H., Masson J.M., Servat E., Paturel J.E., Kouamé B. & Boyer J.F. (1994). Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques-étude bibliographique. Rapport n° 3. ORSTOM, Montpellier, France, 1994.
 17. Mckee T. B., Doesken N. J., & Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.
 18. Mishra A.K. & Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
 19. Nicholson S. E., Somé B. & Koné B. (2000). An Analysis of Recent Rainfall Conditions in West Africa, Including the Rainy Seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña Years. *Journal of climate*, vol. 13: pp. 2628- 2640.
 20. OMM (2012). Temps, climat, eau. *Météo Monde*, OMM-Avril 2012, 8 p.
 21. Ouoba P. A. (2013). Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de doctorat unique de géographie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 305 p.
 22. Ouédraogo B. (2015). Stratégies d'adaptation des agropasteurs à la variabilité climatique dans le bassin versant de Yakouta (Burkina Faso). Thèse de doctorat de géographie, Université Ouaga I Pr Joseph Ki-Zerbo, 248 p.
 23. Ozer P., Ercicum M., Demarée G. & Vandiepenbeeck M. (2003). Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. in *Hydrological Sciences-Journal*, 48(3), pp. 489-496.
 24. Ozer P., Hountondji Y. C. & Laminou Manzo O. (2009). Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop.*, 33, pp. 11-30.
 25. Ozer P., Hountondji Y. C., Niang A. J., Karimoune S., Laminou M. O. & Salmon M. (2010). Désertification au sahel : historique et perspectives. *BSGLg*, 54, pp. 69-84.

26. Rouamba S. (2017). Variabilité climatique et accès à l'eau dans les quartiers informels de Ouagadougou, Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, 445 p.
27. Sagna P., Dipama J. M., Vissin E. W., Diomandé B. I., Diop C., Chabi P. A. B., Sambou P. C., Sané T., Karambiri B. L. C. N., Koudamiloro O., Diédhiou Y. M., & Yadé M. (2021). Climate Change and Water Resources in West Africa: A Case Study of Ivory Coast, Benin, Burkina Faso, and Senegal. in DIOP S. SCHEREN P. NIANG A. *Climate Change and Water Resources in Africa Perspectives and Solutions Towards an Imminent Water Crisis*, pp. 87-130.
28. Sambou S. D. H. & Paturel J. E. (2018). Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga/Gêba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau). *Physio-Géo*, Volume 12, consulté le 17 septembre 2019.
29. Soro G. E., Anouman D. G. L., Goula B. I. T. A., Srohorou B., & Savane I. (2014). « Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais : cas de l'extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire ». in *Larhyss Journal*, n°18, pp. 107-124
30. Wetta C., Dipama J. M., Akouweraou D. & Sampana L., 2015. Burkina Faso : revue du contexte socioéconomique, politique et environnemental, rapport d'étude, 76 p.

Quantification de l'Érosion Hydrique au Niveau du Bassin Versant à l'Amont du Barrage Hassan II, Haute Moulouya, Maroc, par l'Équation Universelle de Perte en Sol

Amina Kassou, PhD, Professor

Research team "Georesources-Geo-Environment, Geological and Oasis Heritage", Geosciences Department, Faculty of Sciences and Techniques, Moulay Ismail University, Boutalamine, Errachidia, Morocco

Narjisse Essahlaoui, PhD student

Yassin Azzi, PhD

Ali Essahlaoui, PhD, Professor

Research team "water sciences and environmental engineering", Laboratory of Geo-engineering and Environment, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Zitoune, Meknes, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p284](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p284)

Submitted: 27 August 2022

Accepted: 27 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kassou A., Essahlaoui N., Azzi Y. & Essahlaoui A. (2023). *Quantification de l'Érosion Hydrique au Niveau du Bassin Versant à l'Amont du Barrage Hassan II, Haute Moulouya, Maroc, par l'Équation Universelle de Perte en Sol*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 284. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p284>

Résumé:

L'érosion hydrique et l'envasement des barrages au Maroc sont des problèmes environnementaux importants qui ont des conséquences négatives sur les ressources en eau et l'agriculture du pays. L'érosion est causée par plusieurs facteurs, tant naturelles qu'anthropiques, notamment l'agriculture intensive, la surexploitation des terres et les changements climatiques. Elle entraîne la dégradation de la qualité des sols, la perte de fertilité et la diminution de la productivité agricole. L'envasement des barrages est également un problème majeur environnemental important. Les barrages sont essentiels pour la gestion des ressources en eau et pour la fourniture d'eau pour l'agriculture et la consommation humaine. Cependant, l'envasement des barrages diminue leur capacité de stockage et peut causer des problèmes de sécurité hydrique. Le bassin versant de la Haute Moulouya situé à l'amont du

barrage Hassan II, s'étend sur une surface de 3379 km² et un périmètre de 512 km. L'objectif principal du présent travail est d'estimer les pertes en sol au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II (Haute Moulouya, Maroc). La méthodologie adoptée est basée sur l'établissement des principales cartes thématiques permettant d'estimer les pertes en sol en utilisant le modèle de Wischmeier et de cartographier les zones vulnérables à l'érosion. Les résultats obtenus montrent que le facteur d'érosivité (R) est en moyenne de 72,15 avec une valeur maximale de 99,16. Quant au facteur d'érodibilité des sols (K), il varie de 0,1 à 0,45 avec une moyenne de 0,27. Le facteur topographique (LS) varie de 0 à 322. Concernant le couvert végétal (C), On note une protection faible du sol à l'échelle du bassin. En effet, seulement 16,3% de la superficie du bassin versant se caractérise par une bonne protection de sol avec un facteur C inférieur à 0,01. L'étude a montré que la perte en sol moyenne du bassin est évaluée à 9,12t/ha/an, avec 11,24% de la superficie totale du bassin. Cette valeur correspond à une érosion moyennement faible. En plus, 82,7% de superficie du bassin versant est protégée contre l'érosion, où les pertes en sols sont inférieures à 7t/ha/an (le seuil de tolérance). La superficie soumise à de forte érosion de plus de 28t/ha/an, soit 6,5% de la superficie totale, est en grande partie très accidentée à forte pente avec un réseau hydrographique dense. Par conséquent, la topographie et le réseau hydrographique constituent les principaux facteurs explicatifs de la perte en sol.

Mots-clès : Erosion hydrique, Barrage Hassan II, RUSLE, SIG, Télédétection

Quantification of Water Erosion in the Watershed Upstream of the Hassan II Dam, Upper Moulouya, Morocco, by the Universal Soil Loss Equation

Amina Kassou, PhD, Professor

Research team "Georesources-Geo-Environment, Geological and Oasis Heritage", Geosciences Department, Faculty of Sciences and Techniques, Moulay Ismail University, Boutalamine, Errachidia, Morocco

Narjisse Essahlaoui, PhD student

Yassin Azzi, PhD

Ali Essahlaoui, PhD, Professor

Research team "water sciences and environmental engineering", Laboratory of Geo-engineering and Environment, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Zitoune, Meknes, Morocco

Abstract

In Morocco, Water erosion and siltation of dams are significant environmental issues that have negative consequences on the country's water resources and agriculture. Erosion is caused by several factors, both natural and anthropogenic, including intensive agriculture, overuse of land, and climate change. It leads to the degradation of soil quality, loss of fertility, and reduced agricultural productivity. The siltation of dams is also a major environmental problem. Dams are essential for the management of water resources and for the supply of water for agriculture and human consumption. However, the siltation of dams decreases their storage capacity and can cause water security problems. The Upper Moulouya watershed located upstream of the Hassan II dam covers an area of 3379 km² and a perimeter of 512 km. The main objective of the present work is to estimate the soil losses in the watershed upstream of the Hassan II dam (Upper Moulouya, Morocco). The methodology adopted is based on the establishment of the main thematic maps allowing to estimate of the soil losses using the Wischmeier model and mapping the areas vulnerable to erosion. The results obtained show that the erosivity factor (R) is on average 72,15 with a maximum value of 99,16. As for the soil erodibility factor (K), it varies from 0,1 to 0,45 with an average of 0.27. The topographic factor (LS) varies from 0 to 322. Concerning the vegetation cover (C), There is low soil protection in the basin. Indeed, only 16,3% of the watershed area is characterized by good soil protection with a C factor lower than 0,01. The study showed that the average soil loss in the basin is estimated at 9,12t/ha/year, with 11,24% of the total basin area. This value corresponds to a medium-low erosion. In addition, 82,7% of the watershed

area is protected against erosion, where soil losses are lower than 7t/ha/year (the tolerance threshold). The area subject to high erosion of more than 28t/ha/year, corresponding to 6,5% of the total area, is largely very hilly with a steep slope and a dense hydrographic network. Therefore, the topography and the hydrographic network are the main explanatory factors of soil loss.

Keywords: Water erosion, Hassan II Dam, RUSLE, GIS, Remote sensing

Introduction

L'érosion hydrique constitue la première cause de la dégradation des sols au Maroc. Elle représente un risque naturel multidimensionnel et un défi environnemental de l'écosystème. Elle touche presque toutes les régions du territoire marocain avec bien entendu des intensités différentes. Les pertes en terres annuelles cumulées à cause de l'érosion sont estimées à plus de 100Mt/an, dont près de 60% se dépose dans les retenues des barrages (Ahamrouni, 1996; Debbarh et Badraoui, 2001). Par conséquent, l'envasement des barrages devient alarmant car plus de 75 millions de mètres cubes des capacités des barrages sont perdues chaque année (El Hafid & Akdim, 2018). Ce phénomène est plus préoccupant pour l'aménagement des bassins versants.

Le barrage Hassan II se classe actuellement, de point de vue capacité, comme le plus grand barrage dans le bassin de la Moulouya avec une capacité de stockage maximale de l'ordre de 400 millions de mètres cubes (Mm³). C'est une importante réserve d'eau destinée pour l'irrigation et la production d'eau potable et contribue également à la protection des zones aval contre les inondations ainsi que sa participation à l'allègement de l'envasement du barrage Mohammed V situé en aval (Chahboune et *al.*, 2014). Le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II est une zone soumise à une érosion hydrique importante, due aux conditions naturelles (fragilité du milieu physique, conditions climatiques agressives, dégradation de la végétation) (Combe & Simonot, 1971; Chahboune et *al.*, 2014).

La présente étude a pour objectif l'évaluation de l'ampleur du risque d'érosion dans le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, à travers un modèle spatial de perte en sol à l'aide de la télédétection et du système d'information géographique (SIG).

Par ailleurs, il existe plusieurs modèles pour la quantification de l'érosion hydrique et le choix se fait en fonction des données disponibles. La méthode la plus utilisée à l'échelle nationale est l'équation universelle de perte en sol (RUSLE). Cette équation a été établie par Wischmeier et Smith (1978), puis modifiée par Renard et *al.* (1996). Elle permet de calculer et d'analyser les différents facteurs qui influencent sur l'érosion tels que le facteur d'érosivité des pluies, le facteur d'érodibilité des sols, la topographie, le couvert végétal et les pratiques culturales.

Cette méthodologie adoptée a permis d'établir la carte des zones vulnérables à l'érosion, de reconnaître les facteurs initiateurs du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II et discuter leurs paramètres explicatifs et les incidences pratiques des processus en cours.

Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du barrage Hassan II est de 3379 km² de superficie et de 512 km de périmètre. Il est limité au Sud par le Haut Atlas, au Nord et Nord-Ouest par le Moyen Atlas. La limite Est, est constituée par les massifs primaires d'Aouli. C'est un bassin de montagne où l'altitude varie entre 1255 m et 3750m (ABHM, 2009). Le point culminant est le Jbel El Ayachi avec 3735 m.

D'une forme allongée selon l'axe SW-NE, il est limité (*Figure 1*) :

Au Sud par jbel El Ayachi ;

Au Sud-Ouest par la confluence entre le haut atlas et le moyen atlas ;

Au Nord par le moyen atlas ;

Au Nord-Est par les massifs primaires d'Aouli.



Figure 1. Situation géographique du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II (image extraite de Google Earth)

La zone d'étude est caractérisée par un climat essentiellement aride à semi-aride, une augmentation sensible de la population et une forte hausse de la demande en ressources naturelles (Mokhtari, 2016).

Lithostratigraphie de la zone d'étude

Le zone d'étude est caractérisée par l'affleurement des formations géologiques allant du paléozoïque jusqu'au quaternaire récent.

Le paléozoïque, constituant le socle de la région, est formé par des terrains shisteux intrudés par des pointements granitiques (granite d'Aouli et granite de Bou Mia)

La couverture débute par les terrains détritiques et argileux du trias, ensuite les formations carbonatées du Lias et Dogger. Ces dernières sont couvertes par des terrains du crétacé (infracénomanien, cenomanien, turonien et le sénonien) avec une lithologie diversifiée (marne, marne à gypse, barre caillasse et une alternance marno-calcaire. L'ensemble est couvert par des formations cénozoïque et quaternaire (*Figure 2*).

Matériel et méthodes

Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont très diversifiées et variées. Nous citons entre autres : le modèle numérique d'élévation global à 30 m de résolution spatiale (téléchargé à partir du site *web earth explorer* : <https://earthexplorer.usgs.gov/>) ; la carte géologique du Maroc au 1/1 000 000 ; la carte pédologique de la zone d'étude; la carte d'occupation des sols de la zone d'étude; les données climatiques sur la zone d'étude et les données d'observations sur le terrain.

Méthodologie adoptée

La quantification des pertes en sol au niveau du bassin versant du barrage Hassan II a été réalisée en adoptant l'équation universelle de perte en sol (RUSLE) établie par Wischmeier (1978) puis modifiée par Renard et al. (1996).

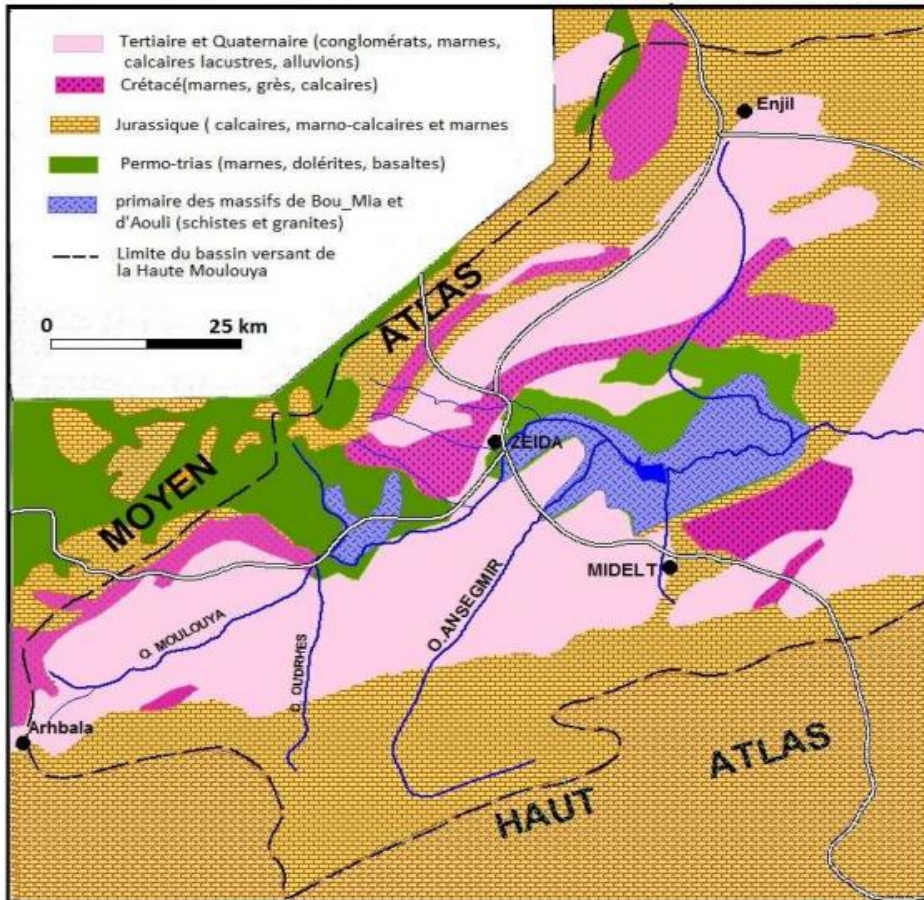


Figure 2. Esquisse lithostratigraphique de la Haute Moulouya (Chaoui, 2013)

La moyenne annuelle de perte en sol (A) est calculée comme suit :

$$A = R * K * LS * C * P$$

Avec :

A= taux annuel moyen de perte en sol en t/ha/an,

R = facteur de l'érosivité des pluies en MJ.mm/ha.H.an,

K =facteur de l'érodibilité des sols en t.ha.H/ha.MJ.mm,

LS =facteur topographique sans dimension combinant la pente (S en %) et la longueur de pente (L en m),

C =facteur du couvert végétal sans dimension,

P =facteur des pratiques culturales antiérosives sans dimension.

L'application de RUSLE dans le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II a nécessité l'évaluation des différents facteurs de l'équation universelle sur toute la superficie du bassin versant et leur expression sous forme de cartes thématiques moyennant l'outil SIG et la télédétection.

L'organigramme au-dessous (*Figure 3*) présente la méthodologie adoptée pour estimer et cartographier l'érosion potentielle. Elle vise à élaborer, à l'échelle du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, une carte des pertes en sol. Cette carte prend en considération la plupart des facteurs figurant dans l'équation de Wischmeier et Smith (1978), eux même exprimés sous forme de cartes thématiques. Le croisement de ces cartes numériques à l'aide du SIG nous a permis d'estimer le taux des pertes en sol à l'échelle du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II.

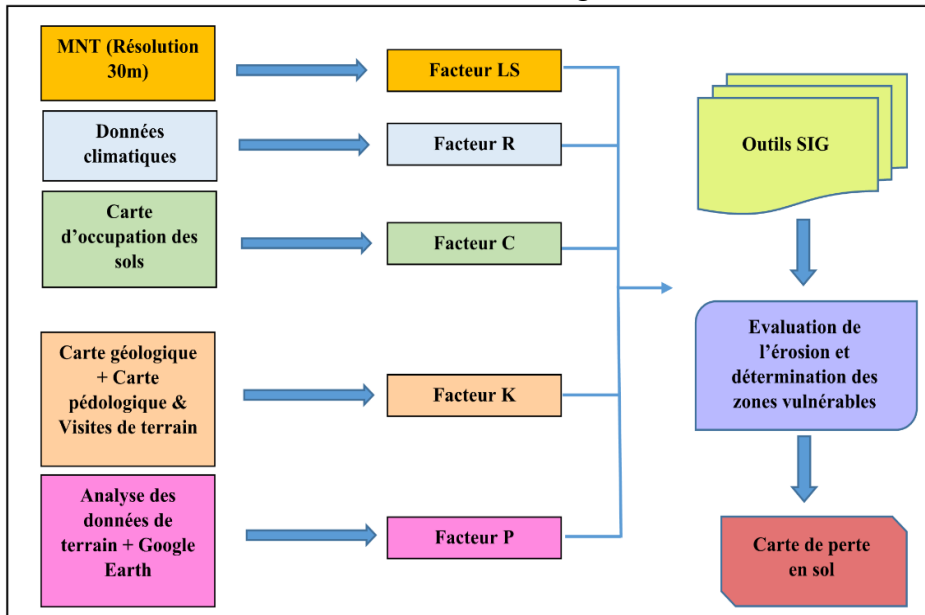


Figure 3. Méthodologie adoptée pour la réalisation de la carte des zones vulnérables au risque d'érosion hydrique dans le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Description des facteurs d'érosion

* / Facteur d'agressivité pluviale R

L'application de la formule de Wischmeier nécessite la disponibilité de données de l'énergie cinétique "Ec" et l'intensité moyenne des pluies en 30mn "I30" suivant l'équation :

$$R = K Ec.I30$$

A défaut de disponibilité de ces données, nous adoptons la relation de Rango et Arnolds (1987), qui permet d'intégrer les données des précipitations mensuelles et annuelles comme suivant :

$$\ln(R)=1.74 \log \sum Pi^2/P+1.29$$

(R = Agressivité pluviale ; Pi = Moyenne des précipitations mensuelles (mm) ; P = Moyenne des précipitations annuelles (mm))

Cette équation est appliquée à quinze stations réparties sur l'ensemble du bassin versant dont les données (précipitations annuelles et mensuelles) sont traitées au niveau de l'analyse climatique (*Tableau 2*). Ensuite on fait appel à une interpolation sur l'ensemble de la zone d'étude.

***/ Facteur indice de pentes LS**

Différentes équations sont disponibles pour calculer le facteur LS. Bizuwerk et *al.* (2008) ont présenté que la longueur de la pente et l'inclinaison de la pente peuvent être utilisés dans un index unique, qui exprime le rapport entre la perte en sol tel que défini par Wischmeier et Smith (1978). Comme indiqué ci-dessous :

$$LS=(X/22,13)^m (0,065+0,045S+0,0065S^2)$$

Avec :

X : longueur de la pente (m) ;

S : Gradient de la pente (%).

Les valeurs de X et Y peuvent être obtenues à partir du modèle numérique d'élévation MNT. Pour calculer la valeur X, l'accumulation de débit a été dérivée à partir du MNT après avoir mené des processus de direction et de remplissage de débit dans ArcGis.

$$X= (accumulation\ de\ débit * la\ résolution)$$

En substituant la valeur X, l'équation LS sera :

$$LS = (accumulation\ de\ débit * résolution / 22,13)^m (0,065 + 0,045S + 0,065S^2)$$

(m= Constante qui est égal à 0,5 pour S >5 % ; à 0,4 pour 3,5 < S < 5 % ; à 0,3 pour 1 < S < 3,5 %, et à 0,2 pour S > 1 %).

***/ Facteur érodibilité des sols K**

Le facteur K est fonction de la matière organique, de la texture, de la structure et de la perméabilité du sol, selon la formule suivante (Wischmeier et Smith, 1978):

$$100K = 2,1.M^{1,14}. 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

(M = (% Sable fin + % Limon)*(100 - % Argile) ; a = pourcentage de la matière organique ; b = code de structure de sol ; c = code de perméabilité).

Afin de tenir compte de la présence ou non des éléments grossiers, on a ajusté le facteur K qui est devenu :

$$\mathbf{K \text{ ajusté} = K. (0,983 - 0,0189 X + 0,0000973 X^2)}$$

(X est le pourcentage des éléments grossiers de taille > 2 mm en surface).

***/ Facteur du couvert végétal C**

C'est un facteur sans dimension qui représente l'effet de la couverture végétale dont sa carte est synthétisée à partir de la carte d'occupation du sol. Il permet d'estimer la capacité du sol à atténuer l'effet des gouttes de pluies. La détermination de ce facteur s'est basée sur la carte des occupations des sols. Le *tableau 1* montre le type du couvert végétal existant dans la zone d'étude ainsi que la valeur de C attribuée.

Tableau 1. Type du couvert végétal et les valeurs de C

Occupation du sol	Valeur du C
Forêts denses	0,1
Forêts claires	0,75
Steppe à armoise	0,55
Steppe à alfa	0,32
Agriculture	0,55
Terrain nu	1

***/ Facteur des pratiques culturales P**

C'est un facteur qui prend en considération les aménagements et les pratiques antiérosives réalisés par la population. Chaque mesure a un degré de protection dont le coefficient est établi suivant son efficacité à réduire ou à atténuer les sources d'érosion. Ces pratiques peuvent être des labours selon les courbes de niveaux, des banquettes de reboisement, le billonnage, le buttage, les bandes alternées, etc. Du fait que la superficie touchée par ces pratiques est très négligeable par rapport à la superficie totale du bassin versant, la valeur de un (1) a été affectée à ce paramètre sur l'ensemble de la zone d'étude.

Résultats et discussions

Facteur R

Le facteur R a été calculé pour chacune des stations climatiques considérées (*Tableau 2*). la valeur minimale est de 31,7 alors que la valeur maximale est de 105,6. les valeurs maximales de R sont généralement observées pour les stations ayant une altitude élevée (forte précipitation) et inversement les valeurs les plus faibles correspondent aux stations à faibles altitude (faible précipitation). A partir des données ponctuelles des différentes stations, une interpolation (rastérisation) en utilisant la méthode statistique

inverse distance (IDW) a été réalisée sur l'ensemble du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II (Figure 4).

Tableau 2. Valeurs du facteur R pour les stations climatiques

station	Précipitation moyenne (mm)											Total	R	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J			A
ZAIDA	12,9	77	53,5	0	17,4	4,9	38,3	12,4	7,5	0,02	19,8	11,4	255,1	64,5
Midelt	13,6	37,3	28,8	0	0,5	1,6	12,5	3,2	0,9	7,3	25,7	5,4	136,8	40,4
Laarichat	35	41,5	15	0	0	0	9,5	0	4	8	15	4	132	44
Anzar Oufounes	-	64,6	104,2	1,8	14,7	11,7	35,6	17,1	10,7	1,8	27	3,2	292,4	81
Ansegnir	19,3	71,2	47	0,3	13	3,8	26,3	12,6	9,5	0,5	9,7	9,4	222,6	59
Tabouazz ant	48,9	61,3	41,1	0	23,1	20	26	8,3	8,6	5,8	12,7	13,5	269,3	55,6
Ksibat	24	27,1	11,7	0	0	4,7	8,5	4	0	9,5	7	0	96,5	31,7
El Aouia	6	45	48,6	5,7	29,7	14,4	53	25,5	31	8	3	31,4	301,3	55
Barrage hassan II	14,6	68,8	22,4	0	3	0	20,6	3,9	6	4	14,3	22,5	180,1	55,6
Louggagh	41	68,6	106	13,7	20,9	4,8	47,6	14,1	34,8	13,9	45,9	18,8	430,1	77,3
El kebab	61	75	78	72	43	18	6	8	23	60	82	90	616	88
Anemzi	46	48	58	56	38	18	11	13	32	53	63	60	496	68,9
Aghbala	134	84	96	70	51	28	6	9	37	56	98	98	767	105,6
Zaouiat Cheikh	72	94	99	82	41	13	3	6	11	52	89	104	666	100,6
Naour	69	79	88	75	40	15	5	8	20	56	81	95	631	91,9

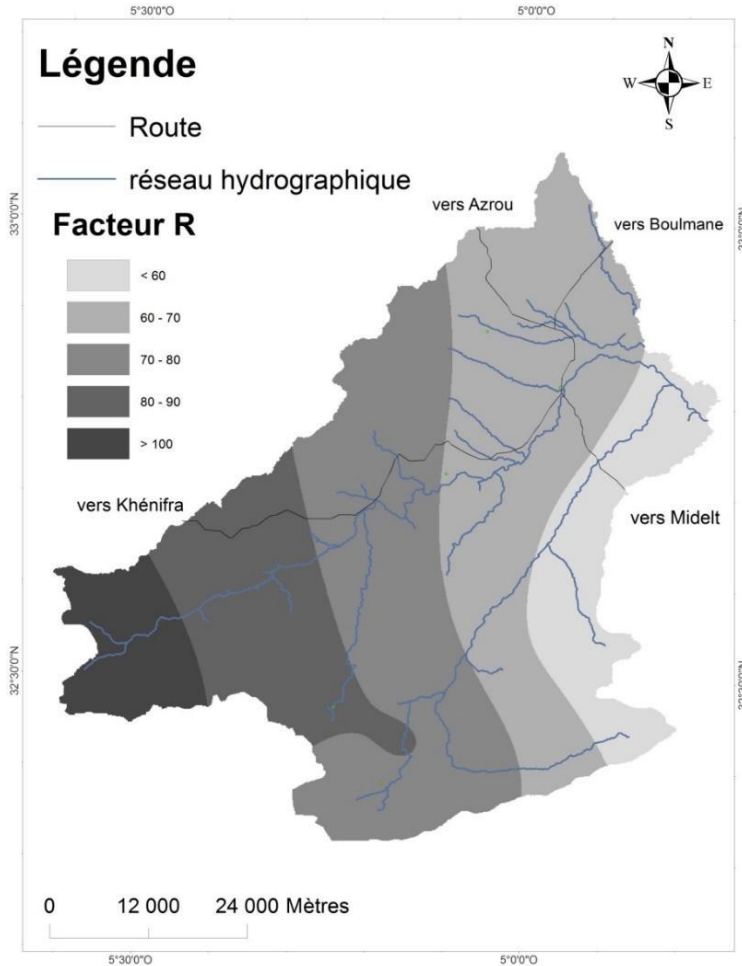


Figure 4. Carte du facteur R au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Dans le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, le facteur R varie de 50,6 au Sud-Est à 99,16 vers l'Ouest, le Sud-Ouest, avec une moyenne de 72,15 (Tableau 3).

Tableau 3. Statistiques de l'érosivité pluviale

Statistiques d'érosivité	
Min	50,6
Max	99,16
Moyenne	72,15
Ecart type	10,68
Ecart (Max - Min)	74,88

Tableau 4. Superficie des classes d'érosivité pluviale

Classe du facteur R	Superficie (km²)	% BV
<60	441	13,22
60 - 70	1070	32,08
70 - 80	1037	31,09
80 - 90	544	16,31
>90	243	7,28
Total	3335	100

A partir du *tableau 4*, on remarque que presque 92% de la superficie a une agressivité pluviale inférieure à 90 tandis que seulement 7,3% a une agressivité dépassant 90.

L'impact du facteur de l'agressivité pluviale se manifeste par les processus de détachement et de transport des sédiments. Vu les valeurs très peu variables mais élevés, on peut conclure que le facteur R ne pourrait engendrer qu'une faible variabilité de l'érosion, par contre, il pourrait accentuer l'érosion linéaire et donc de fortes valeurs de transport solide.

Facteur Ka

Les résultats obtenus à partir du calcul et de la spatialisation du facteur d'érodibilité des sols ajusté sont présentés dans les *tableaux 5 et 6 et la figure 5*. Ce facteur suit la lithologie du bassin versant. Il varie d'une valeur minimale de 0,10 au niveau des roches tendres à une valeur maximale de 0,45 au niveau des substratums résistants.

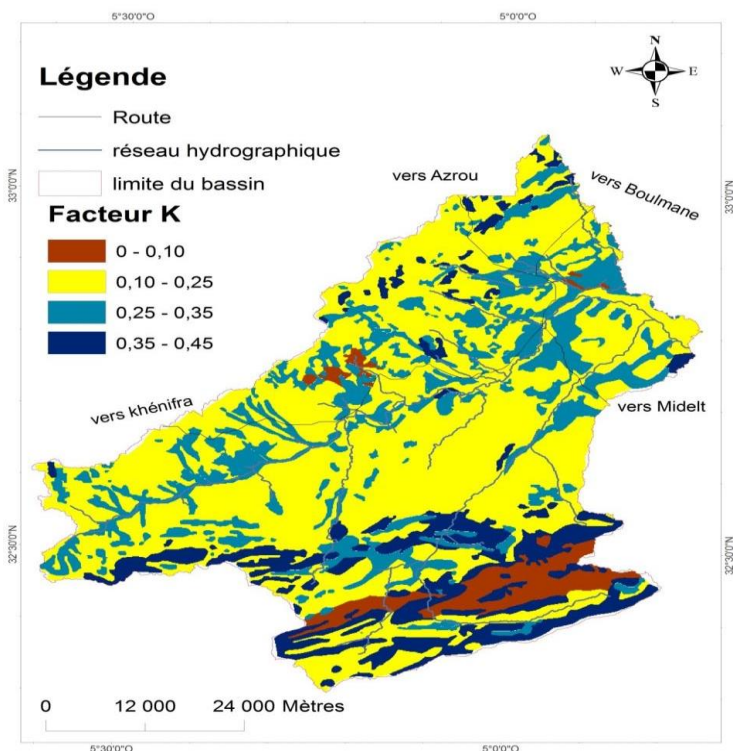


Figure 5. Carte du facteur d'érodibilité des sols ajusté K_a au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Tableau 5. Statistiques du facteur d'érodibilité des sols ajusté K_a

Statistiques d'érodibilité des sols ajusté K_a	
Min	0,1
Max	0,45
Moyenne	0,27
Ecart type	0,09
Ecart (Max - Min)	0,23

Tableau 6. Superficie des classes du facteur d'érodibilité ajusté K_a

Classes du facteur K_a	Superficie (km ²)	% BV
0 - 0,1	158	4,58
0,1 - 0,25	2077	60,27
0,25 - 0,35	754	21,88
0,35 - 0,45	457	13,26
Total	3446	100

A peu près 86% du bassin versant est caractérisé par un facteur K_a inférieur à 0,35 ; et 13% a un facteur K_a supérieur à 0,35. Ceci montre une moyenne fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion.

Facteur LS

Le facteur LS est synthétisé à partir des cartes de pente et de longueur de pente (*Figure 6*). Le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, est dominé par la classe de LS inférieure à 5 couvrant ainsi 94,1% de la superficie totale. Sachant que les fortes valeurs du facteur LS peuvent favoriser tout type d'érosion, essentiellement les formes en rigoles et ravinement. La classe correspondant aux valeurs de LS les plus élevées (>15) couvre seulement 1,7% de la superficie du bassin et se trouve très localisée sur les pentes les plus fortes et plus particulièrement aux points où prennent naissance les cours d'eau. Cette classe pourrait engendrer des valeurs de perte en sol très importantes localement (*Tableau 7*).

Tableau 7. Superficie des classes du facteur LS

Classe du Facteur LS	Superficie (km²)	BV (%)
< 5	3183	94,12
5 - 15	133	3,93
15 - 25	37	1,09
25 - 35	14	0,41
> 35	6	0,17
Total	3379	100

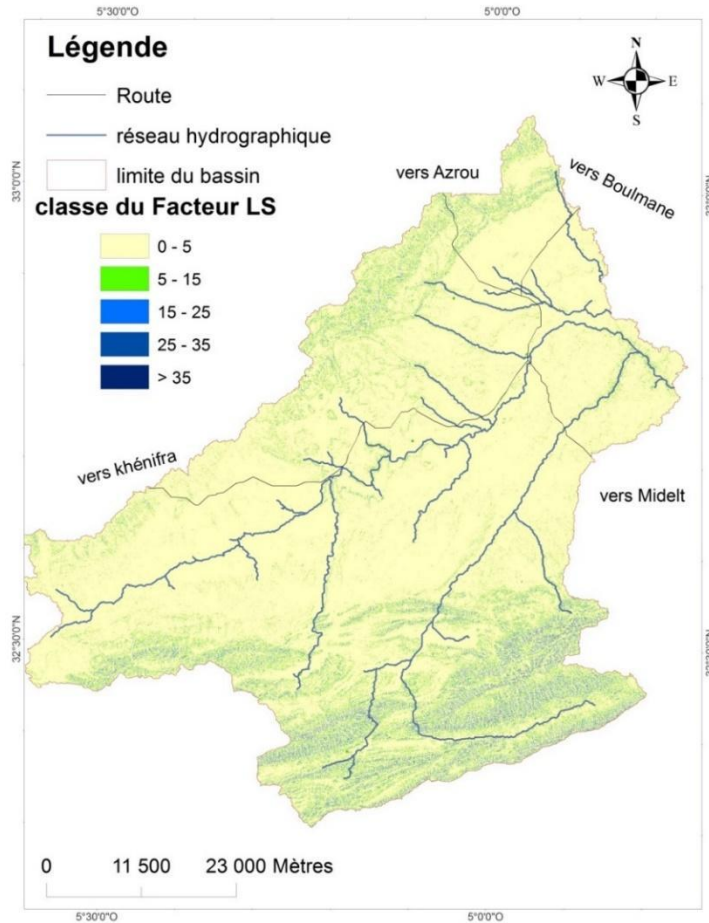


Figure 6. Carte du facteur LS au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Facteur C

L'évaluation des différentes unités de la couverture végétale à l'échelle du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II a été réalisée en se basant sur une carte d'occupation des sols déjà établie sur la zone d'étude. Les valeurs de C varient entre 1 pour une jachère nue et 0,01 pour un sol complètement couvert (Wischmeier et Smith, 1978). Les résultats sont représentés sur le *tableau 8 et la figure 7.*

Tableau 8. Occupations des sols au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Occupation des sols	Superficie (km ²)	% BV
Terrain nu	203	6,07
Agriculture	408	12,21
Steppe à alfa	1130	33,82
Steppe à armoise	685	20,50
Forêts denses	545	16,31
Forêts dégradées	370	11,07
Total	3341	100

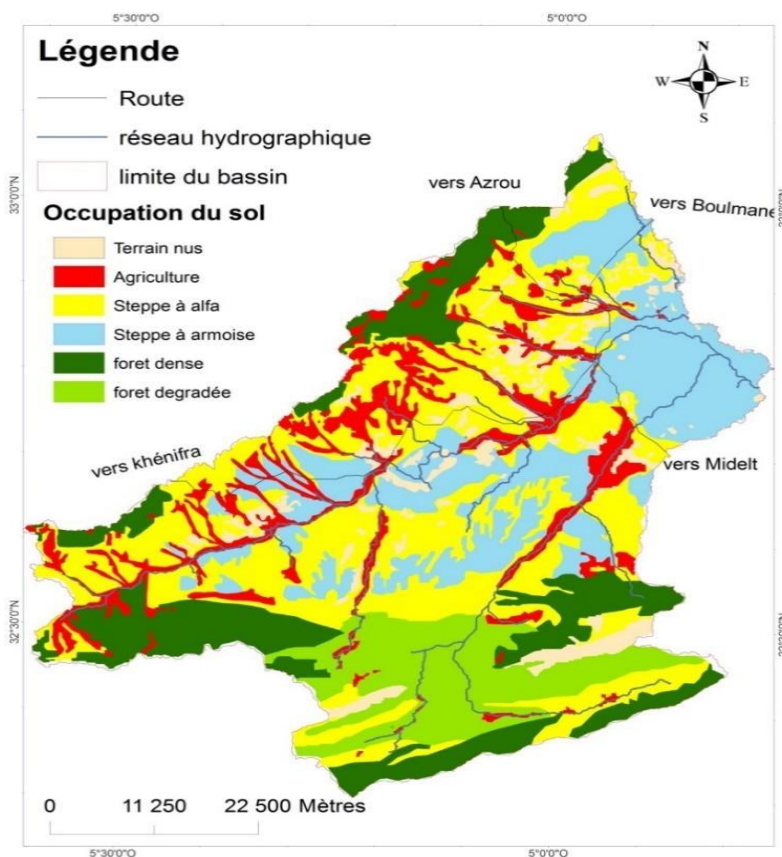


Figure 7. Carte d'occupation de sol du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II (Naimi et al., 2010)

Il en découle que les terrains du Steppe sont le type d'occupation du sol le plus dominant, représentant ainsi 54% de la superficie totale du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II.

Les terrains forestiers viennent en deuxième lieu avec 27,6% de la superficie totale du bassin et sont localisés surtout dans la partie Nord-Ouest

du bassin versant (au piémont du Moyen Atlas) et aussi dans la partie Sud et Sud-Ouest (au piémont du Haut Atlas du Midelt).

Les terrains agricoles couvrent 12% de la superficie totale du bassin versant, on remarque que ce type de la couverture des sols présente un pourcentage faible à cause des conditions qui sont défavorables.

Les terrains nus sont localisés au sein de tous les types des couvertures des sols avec 6% de la superficie totale. Ce sont des terrains où les conditions sont très défavorables ne permettant pas le développement d'une végétation.

Les données de la carte d'occupation de sol ont servi de documents de base pour la détermination du facteur du couvert végétal C. En supposant qu'au niveau des plans d'eau, l'érosion s'annule. L'importance de la distribution des valeurs de C dans le bassin est donnée par *la figure 8 et le tableau 9*.

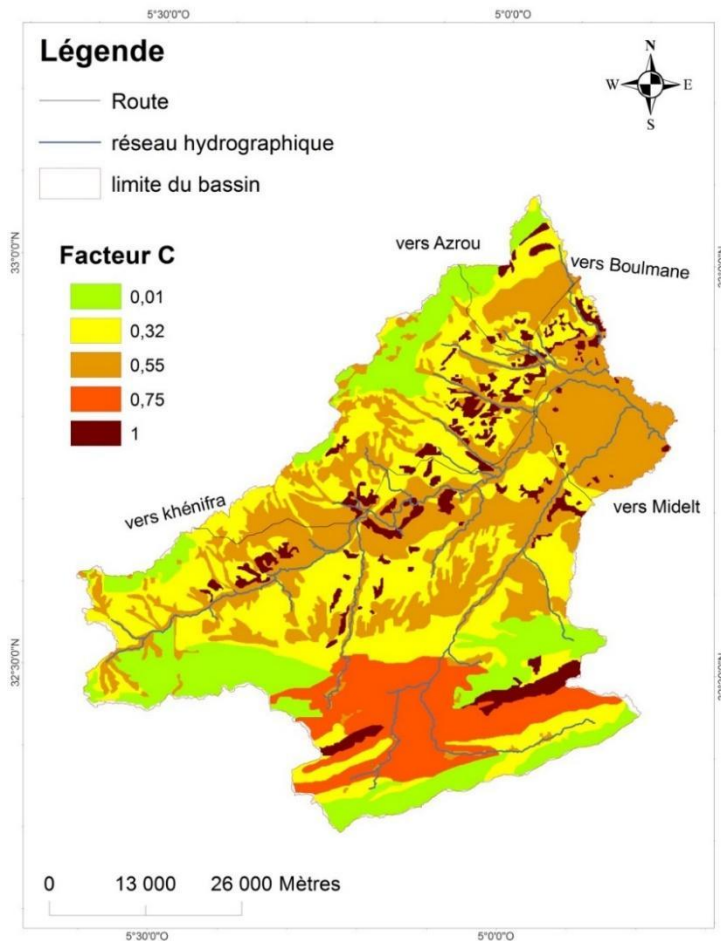


Figure 8. Carte du facteur C au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Tableau 9. Superficie des classes du facteur C

Classe du facteur C	Superficie (km ²)	% BV
0,01	545	16,31
0,32	1130	33,82
0,55	1093	32,71
0,75	370	6,07
1	203	11,07
Total	3341	100

La classe de protection faible (>0,55) couvre plus de 50% de la superficie du bassin. On en déduit que le bassin est caractérisé par une faible protection du sol, expliquée par la dominance des terrains de l'agriculture, de forêt dégradée et de steppe à armoise. Ces types d'occupation sont les moins efficaces en termes de protection contre l'érosion. En effet, l'exposition directe du sol, travaillée en automne ou subissant le parcours et piétinement des bétails aux impacts des gouttes de pluie et du ruissellement, contribue significativement à la diminution de l'efficacité de cette utilisation dans la réduction de l'érosion.

Cependant, on constate que seulement 16,3% de la superficie du bassin versant se caractérise par une bonne protection de sol avec un facteur C faible (0,01). Ce qui pourrait réduire considérablement l'érosion. Cette réduction peut atteindre plus de 90% pour les forêts très denses.

Evaluation des pertes en sol

Après avoir élaboré toutes les cartes thématiques correspondantes aux cinq facteurs du modèle RUSLE, on a procédé au calcul des pertes en sol à l'aide de la fonction « Raster Calculator » du logiciel ArcGis. La carte résultante donne l'information sur les pertes en sol exprimées en t/ha/an à chaque point du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II. La classification de l'érosion prend en considération le seuil de tolérance des sols. La tolérance est définie comme la perte en terre tolérée car elle est équilibrée avec la formation du sol par l'altération des roches. L'érosion tolérée est supposée n'avoir aucune répercussion négative sur la productivité des sols. Cette tolérance varie de 1 à 12 t/ha/an en fonction du climat, du type de roche et de l'épaisseur des sols (Renard et al., 1996). Le seuil considéré dans le cadre de cette étude est égal à 7 t/ha/an, valeur utilisée par d'autres études d'érosion (DREF-FB, 1996 ; Sadiki et al., 2004 ; DREF-NO, 2007 ; El Garouani et al., 2007). Au-delà de 20t/ha/an, la perte est forte et les sols sont très dégradés (Sadiki et al., 2004).

La carte résultante (*Figure 9*) est subdivisée en cinq classes de perte en sol : <7t/ha/an, 7-14 t/ha/an, 14-28t/ha/an, 28 - 60t/ha/an et > 60t/ha/an comme décrites dans le *tableau 10*.

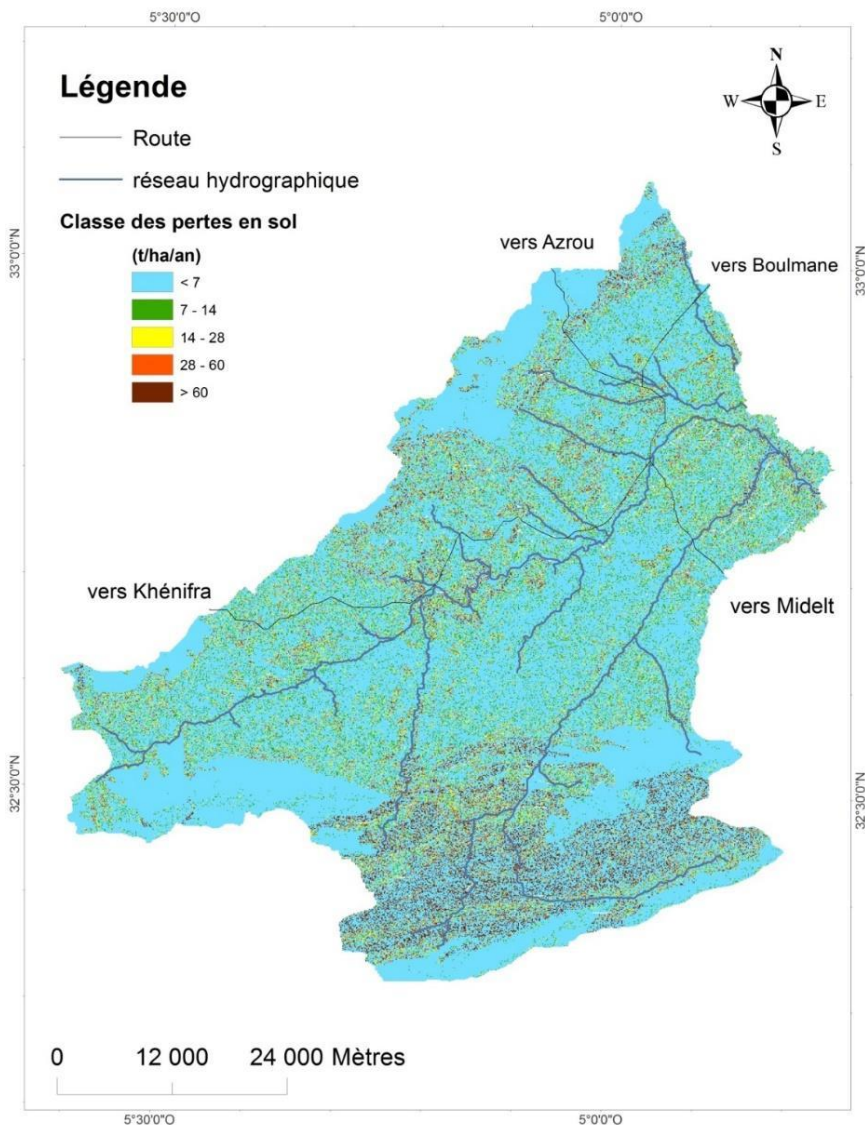


Figure 9. Carte des pertes en sol au niveau du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II

Tableau 10. Superficie des classes de perte en sol en t/ha/an

Classe de perte en sol A (t/ha/an)	Superficie (km ²)	% BV	Degrés d'érosion
< 7	2727	82,68	Faible
7 - 14	200	6,06	Moyennement faible
14 - 28	157	4,76	Moyenne
28 - 60	105	3,18	Forte
>60	109	3,30	Très forte
Total	3298	100	

A partir du *tableau 10*, on remarque que les classes de perte en sol inférieures au seuil de tolérance moyen, qui est de 7t/ha/an, représentent 82,7% de la superficie du bassin versant. Alors que l'érosion très forte dépassant 60t/ha/an attaque 3,3% de la superficie totale. L'érosion moyenne du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II est estimée à 9,12t/ha/an.

A partir d'une analyse comparative entre les cartes des facteurs de l'équation de perte en sol, de l'hydrographie, de pente, d'occupation de sol et de perte en sol, on observe que la répartition spatiale des classes de forte érosion épouse celle des classes de forte pente avec une densité importante de réseau hydrographique. Ceci montre que l'érosion est importante dans les parties accidentées du bassin versant qui ont des pentes très élevées. Elle est accentuée par les cours d'eau.

Les zones à forte érosion correspondent généralement à des terrains de relief accidenté et d'un niveau de protection du couvert végétal faible ou nul. On peut dire, en général, que ce sont les zones les plus menacées par le risque d'érosion.

Le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, étant une zone de transition entre le Haut Atlas et le Moyen Atlas, se caractérise par un relief très contrasté, à caractère montagneux. Par conséquent, l'érosion hydrique peut se manifester sous plusieurs formes, autres que l'érosion en nappe caractéristiques des terrains à pentes faibles. Ces types d'érosion tels que le ravinement ou la solifluxion ne sont pas pris en considération par l'équation de perte en sol de Wischmeier, et donc pourrait amplifier les résultats obtenus et expliquer ainsi l'importance de l'érosion à l'échelle de bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, pouvant dépasser 60 tonnes par hectare annuellement.

Outre le fait qu'il ne s'applique qu'à l'érosion en nappe et que les quantités de pertes estimées n'incluent pas le phénomène de la sédimentation, le modèle considère que toutes les surfaces sont soumises à l'érosion si aucun des facteurs n'est nul. Il ne met pas en évidence les dépôts aussi bien des versants que fluviaux.

Le modèle de Wischmeier néglige certaines interactions entre les facteurs afin de pouvoir distinguer plus facilement l'effet de chacun des facteurs indépendamment des autres (Wischmeier et Smith, 1978). Ce qui explique la répartition des classes de forte érosion suivant la topographie en premier lieu, sans tenir compte de l'effet de la pente combiné au couvert végétal sur l'érosion ni de l'effet du type de sol sur l'effet de la pente.

Ces contraintes étant admises, l'intégration du modèle dans un SIG a présenté en revanche beaucoup d'avantages, surtout ceux liés au grand nombre de résultats relatifs aux facteurs impliqués dans l'érosion. Cette intégration a permis de gérer d'une façon rationnelle une multitude de données qualitatives et quantitatives relatives aux différents facteurs de la dégradation des sols. Elle

a également facilité l'élaboration d'une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion des différentes zones du bassin versant.

Chaque zone du bassin versant est ainsi analysée à travers la combinaison des facteurs intervenant dans le processus érosif.

Il est à reconnaître également l'utilité pratique de ce modèle dont les résultats donnent une très bonne classification des terres selon leur sensibilité aux conditions climatique, topographique, lithologique et de végétation et selon l'importance du phénomène de l'érosion.

Cette équation constitue ainsi un outil de gestion important qui permet d'avoir une visibilité en matière de gestion de l'espace et des techniques antiérosives à mettre en œuvre dans chaque cas particulier de l'aménagement de territoire.

Enfin, la création d'un SIG propre à la zone d'étude a constitué une base de données à actualiser et à enrichir par les données pour permettre de visualiser l'évolution de l'état du bassin dans les années à venir plus particulièrement l'impact des aménagements antiérosifs dans la réduction de l'érosion.

Conclusion

Le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II se caractérise par une érosivité pluviale moyenne de 72,15, avec une valeur maximale de 99,16 atteinte vers la partie Sud-Ouest du bassin et une valeur minimale de 50,6 dans la zone Est et Nord-Est. On note que seulement 8% du bassin est soumis à de forte érosivité dépassant 90.

L'érodibilité des sols peut être qualifiée de faible à moyennement faible du fait que 86% de la superficie totale a un facteur K_a inférieur à 0,35 et 13% a un K_a supérieur à 0,35 avec une valeur moyenne de 0,27 pour l'ensemble du bassin. Ce qui montre une moyenne fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion.

En ce qui concerne le facteur topographique, 94,12% de la superficie totale du bassin se caractérise par un LS inférieur à 5 alors que les fortes valeurs de LS dépassant 15 ne couvrent que 1,7% de la superficie.

Concernant le couvert végétal, on note une protection faible du sol à l'échelle du bassin du fait que la majorité du territoire est occupée par des terrains de cultures et que seulement 16% de la superficie du bassin versant se caractérise par une bonne protection de sol, sachant que plus de 50% de la superficie est caractérisée par un C dépassant 0,55.

L'étude a montré que le bassin versant est à 82,7% de superficie protégée contre l'érosion, celle-ci étant inférieure à 7 t/ha/an (le seuil de tolérance). La perte en sol moyenne du bassin est évaluée à 9,12t/ha/an. Cette valeur correspond à une érosion moyennement faible. La superficie soumise à de forte érosion de plus de 28t/ha/an, soit 6,5% de la superficie totale, est en

grande partie très accidentée à forte pente avec un réseau hydrographique dense. Donc, la topographie et le réseau hydrographique constituent les principaux facteurs explicatifs de telles valeurs, d'autant plus qu'ils sont des facteurs limitant du modèle de Wischmeier. Ces valeurs d'érosion doivent être prise avec prudence vu que le dite modèle ne calcule pas la sédimentation qui pourrait réduire énormément l'impact de l'érosion sur le sol.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le projet thématique 4 « Gestion Intégrée des Ressources en Eau » du Programme de Coopération Universitaire Institutionnel (CUI, VLIR-UOS) pour son soutien quant à la réalisation de ce travail.

Conflits d'intérêts: Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

References:

1. ABHM (Agence du bassin hydraulique de la Moulouya), (2009). Etude du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de la Moulouya (PDAIRE), *Mission II, Développement des ressources en eau du Bassin, 185p.*
2. Ahamrouni, J. (1996). Erosion hydrique dans le bassin versant de la Moulouya (Maroc Oriental) : Recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage Mohamed V. *Thèse de 3cycle, Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal, 147 p.*
3. Bizuwerk, A., Taddese, G. & Getahun, Y. (2008) Application of GIS for Modeling Soil Loss Rate in Awash Basin, Ethiopia. *International Livestock Research Institute, Addis Ababa, Ethiopia*
4. Chahboune, M., Chahlaoui, A. & Zaid, A. (2014). Contribution to comparative study of the physico-chemical quality of waters of Moulouya and Ansegmir rivers in upstream of Hassan II dam (Province of Midelt, Morocco). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES), 4(2), 278-288. ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online).*
5. Chaoui, M. (2013). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et métallique des eaux de surface (Oued Moulouya/ Barrage Hassan II) au voisinage de la mine abandonnée Zeïda (Haute Moulouya). *Université caddi ayad, Marrakech.*
6. Combe, M. & Simonot, M. (1971). La Haute Moulouya, le sillon d'Itzer-Enjil et le massif de Bou-Mia Aouli. Ressources en eau du Maroc (Tome1). Domaine du Rif et du Maroc oriental. *Notes et Mém. Serv. Géol., Maroc : 193-201.*

7. Debbarh, A. & Badraoui, M. (2001). Irrigation et environnement au Maroc : situation actuelle et perspectives. *In Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation (pp. 14-p). Cirad-IRD-Cemagref.*
8. DREF-FB. (1996). Etude d'aménagement du bassin versant de l'oued Sebou en amont du barrage Allal El Fassi.
9. DREF-NO. (2007). Etude d'aménagement de bassin versant de l'Oued Beht en amont du barrage El Kansera.
10. El Garouani, A., Chen, H., Lewis, L., Tribak, A. & Abahrour, M. (2007). Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc). *Acte des JSIRAUF, Hanoi.*
11. El Hafid D. et Akdim B. (2018). Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle RUSLE et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc Oriental). *European Scientific Journal, Vol.14, No.5, ISSN: 1857 – 7881.*
12. Mokhtari N. (2016). etude de la dynamique de la desertification dans le bassin versant de la moulouya en integrant les donnees issues de la teledetection et les donnees socio-economiques. *Thèse de Doctorat de l'Université de Liège-Gembloux agro-bio-tech, Belgique, 326p.*
13. Naimi, M., Ezzine, H., Baghdad, B. & Zante, P. (2010). Evaluation de l'érosion des sols dans le bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, Haute Moulouya, Maroc. *PFE, Institut agronomique et vétérinaire Hassane II, Rabat.*
14. Rango, A. & Arnoldus, H.M.J. (1987). Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO.*
15. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Mccool, D.K., & Yoder, D.C. (1996). Predicting Soil Erosion by Water – A guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *US Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 703. 404 p.*
16. Sadiki, A., Bouhlassa, S., Auajjar, J., Faleh, A. & Macaire, J.J. (2004). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle de perte en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, p 69-79.*
17. Wischmeier, WH. & Smith, DD. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *Washington: US Depart. Agric. Handbook, 282-58 p.*

Performance Technique des Ménages Producteurs d'Anacarde dans la Commune de Bantè au Bénin

Anato Lognidé Serge Eunock

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

Département d'Innovation et de Développement Agricole
Bright Africk ONG, Cotonou, Bénin

Dako Sidoine Aude Sèdami

Laboratoire de Biomathématique et d'Estimation Forestière
Université d'Abomey-Calavi

Tohinnou Houeze Charbel Vivien Gérardy

Laboratoire d'Écologie Appliquée,
Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p308](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p308)

Submitted: 07 September 2022

Accepted: 28 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Anato L.S.E., Dako S.A.S. & Tohinnou Houeze C.V.G. (2023). *Performance Technique des Ménages Producteurs d'Anacarde dans la Commune de Bantè au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 308. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p308>

Résumé

La noix d'anacarde est depuis plusieurs années un produit majeur dans l'économie agricole au Bénin. Cette étude a pour objectif de mesurer l'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde de la Commune de Bantè au Centre du Bénin et d'identifier les déterminants. Les données ont été collectées auprès de 184 chefs de ménages producteurs d'anacarde, identifiés à partir d'un échantillonnage aléatoire. La fonction de production frontière stochastique de type Cobb Douglas a été utilisée pour l'estimation des scores d'efficacité technique tandis que le Fractional Regression Model (FRM) a été utilisé pour l'identification des déterminants de l'efficacité technique. Les résultats ont révélé un rendement moyen de 399,31 kg/ha. Les scores d'efficacité technique sont compris entre 11,68% et 91,59% avec une moyenne de 63,09%. Les producteurs étudiés ont été trouvés peu efficaces et peuvent encore améliorer leur niveau de production avec les ressources actuelles. La

formation, la réhabilitation de plantations, l'utilisation de plants de qualité et la vente aux exportateurs déterminent positivement l'efficacité technique des ménages étudiés alors que le sexe et la vente aux transformateurs ont un effet significatif négatif. En vue de stimuler la performance des producteurs d'anacarde, il est primordial de renforcer leur formation notamment sur l'utilisation des pesticides, de faciliter leur accès à des plants de qualité comme les plants greffés et les plants issus de semences polyclonales et surtout de faciliter la réhabilitation des plantations, de mettre en place un mécanisme efficace de soutien du prix au producteur et enfin promouvoir les femmes.

Mots-clés: Anacarde, efficacité technique, frontière de production stochastique, déterminants, Bénin

Technical performance of cashew nut producing household in Benin: evidence from the Commune of Bantè

Anato Lognidé Serge Eunock

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

Département d'Innovation et de Développement Agricole
Bright Africk ONG, Cotonou, Bénin

Dako Sidoine Aude Sèdami

Laboratoire de Biomathématique et d'Estimation Forestière
Université d'Abomey-Calavi

Tohinnou Houeze Charbel Vivien Gérardy

Laboratoire d'Écologie Appliquée,

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

Abstract

Cashew nuts have been a major product in Benin's agricultural economy for several years. The objective of this study is to measure the technical efficiency of cashew nut-producing households in the Commune of Bantè in central Benin and to identify the determinants. Data were collected from 184 heads of cashew nut-producing households, identified through random sampling. The Cobb-Douglas stochastic production function was used to estimate technical efficiency scores while the Fractional Regression Model (FRM) was used to identify determinants of technical efficiency. The results revealed an average yield of 399.31 kg/ha. Technical efficiency scores ranged from 11.68% to 91.59% with an average of 63.09%. The studied households are not very efficient and can still improve their level of production with the current resources. Training, plantation rehabilitation, use of quality seedlings and sale to exporters are positive determinants of the technical efficiency of the studied households, while gender and sale to processors are negative determinants. In order to stimulate the performance of cashew nut producers, it is essential to reinforce their training, particularly on the use of pesticides, to facilitate their access to quality seedlings such as grafted seedlings and seedlings from polyclonal seeds, and above all to facilitate the rehabilitation of plantations, to put in place an effective mechanism to support the producer price and finally to promote women.

Keywords: Cashew nut, technical efficiency, stochastic production frontier, determinants, Benin

1. Introduction

L'anacardier est un arbre cultivé principalement pour sa noix (Tinlot, 2010) qui est consommée sous diverses formes (UNCTAD, 2021). Cette noix est la troisième noix comestible la plus produite au plan mondial après l'arachide et l'amande (Kolliesuah et al., 2020). L'augmentation de sa consommation et des utilisations de ses sous-produits accroissent sa demande par rapport aux autres fruits à coque (Adesanya et al., 2021). Les dernières tendances montrent un taux de croissance mondiale de 7 à 10% par an avec une demande estimée à 4,5 millions de tonnes en 2023-2024 (Adesanya et al., 2021). Sa demande croît plus vite que son offre depuis 2014. En effet, depuis 2014, où l'offre et la demande se sont rencontrées et équivalaient à environ 3 000 000 T, les tendances sont à la hausse et la demande a été estimée à un peu plus de 4 200 000 T pour une offre d'environ 3 500 000 T à l'horizon 2020 (Gbaguidi, 2020). Ces indications sont des facteurs motivants pour les pays producteurs. Cette croissance s'accompagne d'une augmentation de la compétition sur le marché africain du fait de la baisse de la production en Asie et en Amérique latine (GIZ/ComCashew, 2019). Le continent africain produit plus de 55% de l'offre mondiale (N'djolosse et al., 2020) et l'Afrique de l'Ouest en est devenue le principal pôle de production. Elle fournit constamment au moins 90% de l'offre africaine (Gbaguidi, 2020).

Le Bénin est l'un des plus importants producteurs d'anacarde en Afrique de l'Ouest. Cette culture revêt une importance socioéconomique majeure pour le pays et cristallise une importante attention des agriculteurs, des acteurs publics et des acteurs privés, des organismes de développement et de coopération. Elle est la deuxième culture d'exportation en termes de recettes pour l'État après le coton et contribue à 3% au Produit National Brut et à 7,4% au Produit Intérieur Brut Agricole (N'djolosse et al., 2020). Elle est portée par plus de 200 000 ménages agricoles et génère de nombreux emplois le long de ses chaînes de valeur. Elle est perçue comme ayant un fort potentiel pour l'amélioration de la sécurité alimentaire par la génération de revenu au plus pauvres. Plus de 200 000 hectares de terres sont consacrées à cette culture (MAEP, 2017). La production annuelle moyenne de noix d'anacarde ces cinq dernières années avoisine 150 000 tonnes. Les communes productrices d'anacarde au Bénin sont réparties en trois zones. La zone la plus favorable comprend à elle seule environ 87% des vergers et s'étalent sur 17 communes parmi lesquelles celle de Bantè (MAEP, 2017).

L'anacarde est consacré comme une des filières prioritaires dans la politique agricole béninoise avec pour objectif de porter la production à 300 000 tonnes et d'en transformer la moitié localement (MAEP, 2017). Ceci exige l'amélioration de la performance productive des plantations qui permettrait au pays de renforcer sa position sur le marché et d'être plus compétitif. Pourtant, la majorité des plantations ont des rendements faibles, principalement en

raison des pratiques adoptées par les producteurs lors de l'installation des plantations et du manque d'entretien des parcelles (Ricaud, 2013). Le constat général est que les superficies emblavées augmentent d'année en année pendant que la productivité des plantations reste très faible, de l'ordre de 150 à 300 kg/ha (MAEP, 2017). Or le potentiel peut atteindre 1 000 kg/ha-1 500 kg/ha avec le matériel végétal actuellement disponible (Tandjiekpon, 2005). De même, le potentiel exploité est bien encore éloigné de la moyenne de 800 kg/ha obtenu au Ghana avec du matériel végétal issu du Bénin (Gbaguidi, 2020) et de la moyenne de 1000 kg/ha en Guinée Bissau (Coulibaly et al., 2020) en Afrique et des pays où se trouvent les meilleurs rendements que sont l'Inde, le Vietnam et le Brésil où certaines plantations produisent jusqu'à 2 000 kg/ha de noix brute d'anacarde (Ricaud, 2013). Dans cette perspective, il est observé qu'au Bénin comme dans les autres pays producteurs en Afrique Sub-saharienne, il existe un véritable problème relatif à l'atteinte de la performance en lien avec l'anacarde qui présente des résultats qui sont des standards.

Il se pose un véritable problème d'efficacité technique dans la production d'anacarde au Bénin. Cet état de chose est dû aux mauvaises pratiques culturales, entretiens irréguliers, semence de mauvaise qualité et mauvaises pratiques de récolte (Tandjiekpon, 2010). En effet, l'efficacité technique est la capacité d'une unité à produire un rendement maximal à partir d'un ensemble donné d'intrants qui ne peut servir à produire une quantité plus importante pour un niveau de production donné (Farrell, 1957). L'augmentation de la production n'exige donc pas forcément une augmentation globale des ressources productives mais peut résulter d'une modification dans la façon de gérer les ressources existantes (Arouna et al., 2010). Face à cette situation, de nombreuses programmes et projets de développement de la filière ont été initiés par le gouvernement et diverses organisations de développement. À travers ces interventions, des techniques améliorées d'installation, d'entretien et de gestion des plantations ont été diffusées, de même que l'incitation à l'utilisation de matériel végétal amélioré et à la rénovation des plantations. Ces efforts sont censés avoir entraîné l'amélioration du niveau d'efficacité technique des producteurs et donc les performances productives des ménages producteurs d'anacarde.

Il existe au Bénin plusieurs études sur l'efficacité technique dans le domaine agricole. C'est le cas de celles menées sur la production des œufs de table (Crinot et al., 2019; Houedjofonon et al., 2019; Siéwé Pougoué et al., 2019), la production du maïs (Aminou, 2018; Toléba et al., 2016), la production de riz (Houngue & Nonvide, 2020), la production de soja (Kpenavoun Chogou et al., 2018), la production d'ananas (Kpenavoun Chogou et al., 2017a), la pisciculture (Kpenavoun Chogou et al., 2017b), la production d'anacarde (Arouna et al., 2010; Degla, 2015).

Au regard de ce qui précède, au Bénin, l'analyse de la performance de production des cultures pérennes comme les arbres fruitiers à l'instar de l'anacardier reste marginale. Les études menées par Arouna et al. (2010) et (Degla, 2015) ont été menées à une échelle supra-communale. Arouna et al. (2010) ont utilisé une fonction de production de type Translog pour l'estimation des scores d'efficacité technique et un modèle Tobit pour l'analyse des déterminants. Degla (2015) quant à lui a utilisé une fonction de production de type Cobb-Douglas dans l'estimation des scores d'efficacité technique mais n'a pas analysé les déterminants. La fonction Translog porte des risques de multicolinéarité qui rendent parfois son usage ardu et on lui préfère pour cela la fonction de type Cobb-Douglas malgré ses propriétés limitées, parce qu'elle permet une interprétation plus aisée du modèle (Aminou, 2018). Aussi, Aminou (2018) a-t-il critiqué l'utilisation du modèle Tobit pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique car cette utilisation suppose une double censure des scores d'efficacité technique alors que ceux-ci sont des proportions dont les valeurs sont naturellement distribuées entre 0 et 1. Il a à cet effet suggéré l'utilisation du Fractional Regression Model.

Fort de ce qui précède, ce travail a eu pour objectif d'analyser l'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde de la commune de Bantè, l'une des communes majeures en termes de potentiel de production d'anacarde au Bénin. De façon spécifique, il s'agit de mesurer les scores d'efficacité technique à partir d'une fonction de production frontrière de type Cobb-Douglas et d'identifier les variables sociodémographiques et techniques qui influencent l'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde de la commune de Bantè à partir du Fractional Regression Model (FRM).

2. Méthodologie

2.1.1. Zone d'étude

L'étude a été menée dans la commune de Bantè dans le département des Collines au centre du Bénin. Elle est située aux coordonnées géographiques : 8° 24' 45" Nord, 1° 53' 33" Est. Elle est la deuxième plus grande du département des Collines au centre du Bénin et s'étend sur une superficie de 2 2695 km². Avec 49 villages et quartiers répartis entre 9 arrondissements, elle compte 18215 ménages pour 10427 ménages agricoles. Elle est limitée au Nord par la commune de Bassila, au sud par la commune de Savalou, à l'Est par les communes de Glazoué et de Ouèssè et à l'Ouest par le Togo. Elle se situe dans la zone agroécologique 5 ou zone cotonnière du Centre-Bénin, caractérisée par une transition entre le climat soudano-sahélien du Bénin septentrional à une saison de pluie et le climat soudano-guinéen à deux saisons de pluie de 600 à 1400 mm étalée sur 80 à 110 jours. Les sols qui sont rencontrés à Bantè sont de types argilo-sablonneux, ferrugineux, et hydromorphes. L'agriculture y représente l'activité principale avec plus de 70% d'actifs. L'anacarde y est la culture la plus abondante occupant en moyenne environ 8 ha contre 1 à 2 ha pour les cultures annuelles. Aussi, la Commune fait partie de la bande la plus favorable à la culture de l'anacardier dans le pays et figure parmi les territoires inclus dans le pôle de développement agricole 4 (Borgou sud – Donga – Collines).

2.2. Méthode de collecte de données

L'échantillonnage des ménages producteurs d'anacarde a été effectué dans six villages issus des trois arrondissements les plus importants en termes de production d'anacarde de la Commune. Le nombre de village a été déterminé en divisant la taille de l'échantillon par un quota minimum statistiquement acceptable fixé à 30 ménages pour cette étude. Au sein de chaque arrondissement, deux villages ont été tirés de façon aléatoire. Les unités d'échantillonnage sont les ménages producteurs d'anacarde. La taille de l'échantillon d'analyse a été de 184 ménages producteurs d'anacarde. Les répondants étaient les chefs de ménage. Ils ont été sélectionnés de façon aléatoire dans la liste des producteurs de chaque village. Les informations ont été obtenues au moyen d'un questionnaire structuré qui a permis de collecter des données qui se rapportent à la campagne de production 2020-2021 et concernent principalement : les caractéristiques sociodémographiques des ménages, les caractéristiques du système de production d'anacardier, les facteurs de production et les aspects organisationnels. Les questions ont été adressées individuellement à chaque chef de ménage. La collecte de donnée a été effectuée de Mai à juin 2022.

2.3. Cadre analytique

2.3.1. Méthode d'estimation de l'efficacité technique

Les mesures empiriques modernes de l'efficacité technique ont eu pour fondement les travaux révolutionnaires de Farrell (1957). Il propose une définition de l'efficacité économique comme le produit d'efficacité technique et d'une efficacité allocative. Pour Farrell, l'efficacité technique est la capacité qu'à une entreprise d'atteindre le niveau le plus élevé de production à partir d'un ensemble donné d'intrants qui ne peut servir à produire une quantité plus importante. Plus simplement, c'est la capacité à produire le maximum de produit à partir de la combinaison d'un ensemble donné d'intrants (Battese & Coelli, 1995). Depuis ces travaux pionniers, la littérature sur la mesure de l'efficacité technique permet de distinguer deux approches majeures : l'approche paramétrique et l'approche non paramétrique.

L'approche non paramétrique représentée notamment par la méthode DEA ne pose aucune contrainte préalable à la forme de la fonction de production (Chemak & Dhehibi, 2010; Kpenavoun Chogou et al., 2018). Elle est utile pour la mesure de l'efficacité productive lorsque plusieurs intrants servent à générer plusieurs produits (Houngue & Nonvide, 2020). On reproche à cette approche d'être déterministe, c'est-à-dire qu'elle attribue complètement l'écart à la frontière efficace à l'inefficacité de l'entreprise et ignore les variations aléatoires susceptibles d'influencer l'efficacité ou l'inefficacité de l'entreprise (Kpenavoun Chogou et al., 2018). De plus, elle ne met en œuvre aucune hypothèse statistique pouvant être testée. Aussi est-elle très sensible à la qualité des données et aux valeurs extrêmes (Coelli et al., 2005). Cette approche sert donc davantage dans les domaines caractérisés par des effets aléatoires très faibles. C'est d'ailleurs ce que recommandent Coelli et al. (2005). En conséquence, peu de travaux dans le domaine agricole ont d'ailleurs employé cette méthode.

À l'opposé, l'approche paramétrique repose sur la spécification formelle et explicite préalable de la fonction de production. Cette spécification utilise souvent les formes fonctionnelles de type Cobb-Douglas et Translog. Ces fonctions ont des propriétés statistiques qui permettent la mise en œuvre de tests d'hypothèses. C'est l'approche économétrique de mesure de l'efficacité (Kpenavoun Chogou et al., 2017b). Les considérations autour de la nature et des propriétés de l'écart à la frontière efficace fondent la distinction des méthodes paramétriques déterministes des méthodes paramétriques stochastiques (SFA). En effet, dans les méthodes paramétriques déterministes, l'écart à la frontière efficace est entièrement attribué à l'inefficacité de l'entreprise comme dans l'approche non paramétrique. Par contre, la SFA sépare et spécifie le terme d'erreur entre l'inefficacité technique et les variations aléatoires qui ne sont pas sous le contrôle de l'entreprise (Aminou, 2018; Hounoue & Nonvide, 2020; Kpenavoun Chogou et al., 2018). Dans le domaine de la production agricole marqué par de multiples risques qui vont des conditions environnementales et climatiques, aux instabilités des marchés, ces dernières sont préférées aux méthodes déterministes (Coelli et al., 2005). La littérature la plus fournie pour les travaux sur l'efficacité dans le domaine agricole d'ailleurs fondés sur cette méthode. C'est donc l'approche paramétrique stochastique qui a été adoptée dans cette étude pour le calcul des scores d'efficacité technique étant donné que le domaine agricole est caractérisé par l'importance des risques aléatoires et que plusieurs intrants ont été utilisés pour produire un seul output, la noix d'anacarde. D'après Jondrow et al. (1982), pour un échantillon d'entreprise de taille n , la formulation du modèle de fonction de production stochastique est donnée par :

$$Y_i = f(X_i; \beta)e^{v_i - u_i} \quad (1)$$

Où Y_i représente la production de l'entreprise i ($i = 1, 2, \dots, n$) ; $f(X_i; \beta)$ est la fonction de production ; X_i représente le vecteur des quantités d'intrants utilisés par l'entreprise i pour produire Y_i ; β est le vecteur des paramètres associés à X_i à estimer ; v_i et u_i sont respectivement le terme d'erreur aléatoire lié aux facteurs qui ne sont pas sous le contrôle de l'entreprise i tels que les aléas climatiques, les attaques de ravageur, les épidémies, les erreurs de mesure etc., et, le terme d'erreur représentant l'inefficacité technique de l'entreprise i lorsque le terme d'erreur unique ε_i est décomposé en deux composantes comme l'ont suggéré Aigner et al. (1977) et Meeusen et van den Broek (1977).

Selon Battese (1992), les $\{v_i\}$ sont supposés être distribués de façon symétrique, indépendamment et identiquement selon la loi normale $N(0, \sigma_v^2)$ et les $\{u_i\}$ sont supposées être distribuées de façon asymétrique et indépendamment des v_i , satisfaire $u_i > 0$ et être issues d'une distribution $N(0, \sigma_u^2)$ tronquée (semi-normale).

En situation de parfaite efficacité, on obtient le niveau de production efficace donnée par :

$$Y = f(X_i; \beta)e^{v_i} \quad (2)$$

On définit donc l'efficacité technique de l'entreprise i comme le rapport de son niveau de production observée par le niveau de production efficace tel que :

$$ET_i = \frac{f(X_i; \beta)e^{v_i - u_i}}{f(X_i; \beta)e^{v_i}} = e^{-u_i}$$

À partir des écarts types des deux composantes de l'erreur, on définit des expressions mathématiques qui sont utiles dans l'interprétation des résultats.

Ainsi d'après Battese (1992) on a :

$\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$, est la variabilité totale de l'output ;

$\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$, est la composante idiosyncratique ;

$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$, avec $0 \leq \gamma \leq 1$ est le ratio de variance et sert à mesurer la part de la variabilité totale due à l'inefficacité technique.

La fonction de production frontière stochastique de type Cobb-Douglas a été utilisée pour la spécification du modèle empirique.

À partir de (2), on a : $\ln(Y_i) = \ln(f(X_i; \beta)) + v_i - u_i$, donc :

$$\begin{aligned} \ln(QPNCB_i) = & \beta_0 + \beta_1 \ln \ln(SUP_i) + \beta_2 \ln \ln(QSEM) + \beta_3 \\ & \ln \ln(QENGRAIS) + \beta_5 \ln \ln(QPEST) + \beta_6 \ln \ln(QEMPL) \\ & + \beta_7 \ln \ln(SUP_i) \ln \ln(SUP_i) + v_i - u_i \end{aligned}$$

avec :

$QPNCB_i$: quantité de noix brute d'anacarde récoltée à l'issu de la campagne de production par le producteur i (en kilogramme) ;

$QPSEM$: nombre d'arbre de la plantation du producteur i ;

$QENGRAIS$: quantité d'engrais utilisée au cours de la campagne de production par le producteur i (en kilogramme) ;

$QPEST$: quantité de pesticides utilisée au cours de la campagne de production par le producteur i (en litre) ;

$QEMPL$: somme de toute la main d'œuvre utilisée au cours de la campagne de production par le producteur i (en homme-jour) ;

v_i : terme d'erreur aléatoire ;

u_i : inefficacité technique.

Les paramètres du modèle ont été estimés avec la méthode du maximum de vraisemblance (*maximum likelihood estimation*).

2.3.2. Spécification du modèle d'estimation des déterminants de l'efficacité technique

L'inefficacité technique des entreprises dépend de plusieurs facteurs sociodémographiques et techniques qu'il importe de déterminer dans une analyse pertinente de l'efficacité technique. D'après Battese et Coeli (1995), cette relation peut s'écrire : $u_i = z_i\beta + \varepsilon_i$,

Où :

z_i est un vecteur de variables sociodémographiques ;

β est le vecteur des paramètres à estimer ;

ε_i est le terme d'erreur qui suit une distribution normale tronquée défini par $\varepsilon_i \leq -z_i\beta$.

La procédure d'estimation du β a souvent soulevé de vives controverses dans l'étude des déterminants de l'efficacité. Deux approches s'opposent en la matière. La première, défendue par Ray (1988) et Kalirajan (1991), est une procédure en deux étapes consistant à estimer en amont les scores d'efficacité avant de procéder dans une seconde étape à leur régression contre les facteurs en cause. La deuxième, portée par Kumbhakar et al. (1991) et Battese et Coeli (1995) est une procédure en une étape consistant à incorporer les facteurs en cause directement dans le modèle d'estimation de la fonction de production frontière. Les critiques relatives à l'approche en deux étapes reposent principalement sur l'idée qu'elle ne respecte pas l'hypothèse selon laquelle "les effets d'inefficience sont identiquement et indépendamment distribués de la frontière stochastique" (Battese et al., 1996). Pourtant, l'approche en deux étapes permet de limiter les biais liés à la spécification aux seuls coefficients des variables utilisées dans la seconde étape contrairement à l'approche en une étape où les biais peuvent aussi affecter les coefficients de la frontière (Albouchi et al., 2007), ce qui est moins désirable. En définitive, la procédure en deux étapes demeure la plus mise en œuvre au regard de la littérature concernant les études sur l'efficacité. C'est celle-là qui a été adoptée dans la présente étude.

En s'inspirant d'Aminou (2018), les déterminants de l'efficacité technique ont été analysés à travers le Fractional Regression Model (FRM) car les scores d'efficacité technique sont des proportions prenant naturellement des valeurs allant de 0 à 1.

Le modèle retenu s'écrit :

$$\begin{aligned} \text{efficacité}_i = & a_0 + a_1\text{Sexe}_i + a_2\text{Formation}_i + a_3\text{Pordinaire}_i \\ & + a_4\text{Rehabilitation}_i + a_5\text{Export}_i + a_6\text{Transfor}_i + a_7\text{Achat}_i \\ & + a_8\text{Don}_i \dots + \varepsilon \end{aligned}$$

Les variables du modèle sont présentées dans le **Tableau 1** :

Tableau 1. Description des variables du modèle d'analyse des déterminants de l'efficacité technique

Variable	Description
Efficacité	il s'agit du score d'efficacité technique du ménage. C'est une variable quantitative continue. C'est la variable dépendante
Variables explicatives	
Sexe	elle représente le sexe du chef de ménage. C'est une variable muette qui est égale à 1 si le sexe est masculin et 0 sinon
Formation	elle représente la formation sur l'anacarde au cours de cinq dernières années. C'est une variable muette qui est à 1 si le ménage a suivi une formation sur l'anacarde et 0 sinon
Pordinaire	elle représente l'utilisation de plants ordinaires issus de pépinière et transplantés. C'est une variable muette qui prend la valeur 1 si le ménage a utilisé des plants ordinaires et 0 sinon

Rehabilitation	elle représente la réhabilitation de la plantation du ménage au cours des cinq dernières années. C'est une variable muette qui est égale à 1 si la plantation a été réhabilitée et 0 sinon
Export	elle représente la vente d'une partie de la récolte directement aux exportateurs. C'est une variable muette qui est égale à 1 si une partie de la récolte est vendue à des exportateurs et 0 sinon
Transfor	elle représente la vente d'une partie de la récolte directement aux transformateurs. C'est une variable muette qui prend la valeur 1 lorsqu'une partie de la récolte est vendue aux transformateurs et 0 sinon
Achat	elle représente l'acquisition de parcelle par achat. C'est une variable muette qui est égale à 1 si la terre a été achetée et 0 sinon
Don	elle représente l'acquisition de parcelle par don. C'est une variable muette qui est égale à 1 si la terre a été donnée et 0 sinon

2.3.3. Statistique descriptive

La statistique descriptive a été utilisée pour décrire les variables impliquées dans cette étude. Ainsi, la moyenne et l'écart type ont été utilisés pour les variables quantitatives et la fréquence absolue et la fréquence relative pour les variables qualitatives. Pour décrire l'efficacité technique, les paramètres de statistique descriptive (moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartiles) ont été estimés à partir des scores d'efficacité technique calculés. Ces scores ont été aussi groupés en classe de pas constant. La moyenne des scores d'efficacité technique a été utilisée comme seuil de distinction des producteurs les plus efficaces des producteurs moins efficaces. Ainsi, un producteur est considéré efficace lorsqu'il a obtenu un score d'efficacité technique supérieur ou égale à la moyenne et inefficace dans le cas contraire. Un test de différence d'efficacité techniques entre les chefs de ménages des deux sexes et un test de significativité du coefficient de corrélation entre le rendement et le score d'efficacité technique ont été effectués.

2.3.4. Outils d'analyse de données

L'ensemble des analyses de données a été effectuée dans le logiciel R version 4.1.0 (R Core Team, 2020) et R version 3.2.2 (R Core Team, 2015). La bibliothèque frontier (Coelli & Henningsen, 2020) a été utilisée pour l'estimation de l'efficacité technique et la bibliothèque frm (Ramalho et al., 2011) a été utilisée pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique. Les graphiques ont été générés avec le tableur Excel 2013.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des répondants et pratiques culturelles

Les caractéristiques socioéconomiques des répondants et les pratiques culturelles adoptées par les ménages étudiés ont été présentées dans le **Tableau 2**. Les répondants avaient un âge moyen de 49 ans et une expérience moyenne en culture d'anacardier de 21 ans. Les résultats ont révélé que la majorité, soit 88,04% des répondants étaient de sexe masculin alors que seulement 11,96% d'entre eux étaient de sexe féminin. Ceci indique que l'activité de production d'anacarde est davantage masculine que féminine. Plus de la moitié d'entre eux n'a reçu aucune

éducation formelle. Leurs ménages comptaient environ 10 membres. Par ailleurs, l'âge moyen de leurs plantations était de 21 ans et les terres exploitées ont été essentiellement obtenues par héritage et don. Seuls 27,17% des producteurs avaient accès au conseil agricole. Aussi, 38,59% d'entre eux ont eu accès à des crédits formels au cours de la campagne. Mieux, 82% n'appartenaient pas à une coopérative ou à un groupe de producteurs. Enfin, seuls 10,87% pratiquaient la vente groupée.

Il ressort aussi de ce tableau que seulement 1,63% des ménages échantillonnés ont utilisé des plants greffés. 52,17% d'entre eux ont utilisé des plants ordinaires issus de pépinières pour transplantation et 46,2% ont utilisé des semences par semis direct. Seuls 20,11% des ménages enquêtés ont réhabilité leurs plantations au cours des cinq dernières années. Par ailleurs, 15,22% ont pratiqué l'association culturale, 13,53% le labour et 5,98% la fertilisation. Ils ont tous réalisé le désherbage. Aucun d'eux n'a utilisé la lutte avec les fourmis rouge et seulement 1% ont opéré des traitements phytosanitaires. Seuls 9,24% ont réalisé des éclaircies et 1% la taille de formation. Des pare-feux ont été réalisés par 53,8% de ces producteurs et 51,09% ont réalisé des élagages. 1% seulement ont installé des ruches dans les plantations. Le tri des noix n'a été effectué par aucun de ces producteurs mais 88% d'entre eux ont effectué le séchage des noix.

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques et pratiques culturelles des ménages producteurs d'anacarde de Bantè

Caractéristiques sociodémographiques		
Variabiles qualitatives		
Variable	Fréquence absolue	Fréquence relative (%)
Sexe		
Féminin	22	11,96
Masculin	162	88,04
Niveau d'éducation		
Aucune	104	56,52
Primaire	40	21,74
Secondaire	36	19,57
Supérieur	4	2,17
Mode d'acquisition de la terre		
Achat	3	1,63
Don	30	16,3
Héritage	151	82,07
Accès au conseil agricole		
Non	134	72,83
Oui	50	27,17
Accès aux crédits formels		
Non	113	61,41
Oui	71	38,59

Pratique de la vente groupée

Non	164	89,13
Oui	20	10,87

Appartenance à un groupe

Non	151	82,07
Oui	33	17,93

Variables quantitatives

Variable	Moyenne	Écart-type
Age du producteur	49	12,5
Taille du ménage	10,1	5,13
Age de la plantation	21	9,31
Expérience dans la culture de l'anacarde	21	9,75

Pratiques culturelles

Variable	Fréquence absolue	Fréquence relative (%)
Matériel végétal		
Plants greffés	3	1,63
Plants ordinaires	96	52,17
Semences	85	46,2

Réhabilitation de la plantation

Non	147	79,89
Oui	37	20,11

Association culturelle

Non	156	84,78
Oui	28	15,22

Désherbage

Oui	184	100
-----	-----	-----

Labour

Non	159	86,41
Oui	25	13,59

Éclaircies

Non	167	90,76
Oui	17	9,24

Fertilisation

Non	173	94,02
Oui	11	5,98

Pare-feux

Non	85	46,2
-----	----	------

Oui	99	53,8
Taille de formation		
Non	182	98,91
Oui	2	1,09
Élagage		
Non	90	48,91
Oui	94	51,09
Traitements phytosanitaires		
Non	182	98,91
Oui	2	1,09
Utilisation des fourmis rouges		
Non	184	100
Ruche		
Non	182	98,91
Oui	2	1,09
Trie des noix		
Non	184	100
Séchage des noix		
Non	22	11,96
Oui	162	88,04

3.2 Description des facteurs de production

Les paramètres de statistique descriptive, relatifs aux facteurs de production ont été présentés dans le **Tableau 3**. La superficie moyenne des parcelles exploitées pour la culture de l'anacardier a été de 7,18 ha. Le nombre moyen d'arbres à l'hectare était de 174 arbres. La quantité moyenne d'engrais utilisée était de 7,20 kg/ha. La quantité moyenne de Pesticides était de 0,39 L/ha. La quantité moyenne de main d'œuvre a été estimée à 72,64 homme-jour/ha. La quantité annuelle moyenne de noix d'anacarde récoltée a été de 2 279,78 kg, soit un rendement de 399,31 kg/ha.

Tableau 3. Description des variables incluses dans la fonction de production

Variable	Moyenne	Écart-type
Rendement	399,31	189,94
Superficie (ha)	7,18	9,09
Nombre d'arbre par ha	174	22,20
Quantité d'engrais (kg/ha)	7,20	34,31
Quantité de Pesticides (L/ha)	0,39	0,66
Quantité de travail (homme-jour/ha)	72,64	52,44

3.3 Analyse de la fonction de production

Les résultats de l'estimation de la fonction de production frontière stochastique ont été présentés dans le **Tableau 4**. Le modèle estimé est globalement significatif au seuil de 1%. Seuls les facteurs superficie et quantité de Pesticides ont un effet significatif sur la production d'anacarde respectivement au seuil de 1% et de 10%. Le coefficient associé au facteur superficie est positif et indique que l'accroissement de la production est lié à l'extension des superficies dans l'échantillon étudié. Ce coefficient de 0,73 indique que la superficie a un effet moyen de 73% sur la production. Le coefficient du facteur quantité de Pesticides est quant à lui négatif. Cela indique que la production d'anacarde est négativement corrélée à la quantité de Pesticides utilisée. Le coefficient obtenu pour ce facteur est de 0,32 et indique que l'effet moyen des pesticides sur la production est de 32%.

La présence d'inefficacité technique a été analysée à partir du paramètre σ_u^2 . Le coefficient de ce paramètre est significativement différent de Zéro au seuil de 1% et indique qu'une partie de l'inefficacité observée provient des erreurs techniques. Le paramètre γ a été utilisé pour mesurer la contribution de l'erreur due à l'inefficacité technique dans la variabilité totale de la production observée. Le coefficient de ce paramètre est significativement différent de zéro au seuil de 1%. La valeur de ce paramètre estimée à 90% indique que seulement 10% de l'écart entre la production potentielle et la production obtenue provient des effets aléatoires et des erreurs de mesure.

Aussi, le coefficient du paramètre σ_v^2 relatif aux erreurs dues aux facteurs aléatoires non contrôlables est significatif au seuil de 5% et indique que l'efficacité technique des producteurs d'anacarde est significativement influencée par ces facteurs aléatoires non contrôlables. De plus, le coefficient associé à la composante idiosyncratique λ , est aussi significatif au seuil de 1%. Cela indique que les effets dus à l'inefficacité technique sont trois fois plus importants que les effets dus aux facteurs aléatoires non contrôlables.

3.4 Niveau d'efficacité technique des producteurs d'anacarde

Les paramètres de statistique descriptive des scores d'efficacité technique estimés ont été aussi présentés dans le **Tableau 4**. Les scores d'efficacité technique des ménages étudiés variaient entre 11,68% et 91,59%. Aucun des ménages ne se situe à la limite de la fonction de production stochastique. Le score moyen d'efficacité technique était de 63,09%. Seuls 54,35% d'entre eux avaient obtenu un score d'efficacité technique supérieur ou égal à la moyenne. La valeur du quartile d'ordre 1 indique que 25% des producteurs avaient des scores d'efficacité technique inférieurs ou égaux à 48,48%. La valeur du score médian indique que 50% des producteurs avaient des scores d'efficacité technique inférieurs ou égaux à 65,46%. Et la valeur du quartile d'ordre 3 indique que 75% des producteurs avaient des scores d'efficacité technique inférieurs ou égaux à 78,77%.

Tableau 4. Estimation de la fonction de production frontière stochastique

Variables	Coefficients	Erreur standard
		**
Constante	6,26	* 1,22
Superficie	0,73	** 0,28
Nombre d'arbres	0,00	0,23
Quantité d'engrais	0,01	0,03
Quantité de pesticides	-0,32	* 0,19
Travail	0,10	0,06
Superficie ²	0,00	0,05
		**
σ^2	0,49	* 0,09
		**
γ	0,90	* 0,06
		**
σ_u^2	0,44	* 0,10
σ_v^2	0,05	** 0,02
		**
σ	0,70	* 0,06
		**
σ_u	0,67	* 0,08
		**
σ_v	0,23	* 0,05
		**
Lambda	2,95	* 0,95
log likelihood	-110,96	
		**
Chi-carré (9)	168,72	*
Nombre d'observation	184,00	
Efficacité technique moyenne	63,09%	0,18
Efficacité technique minimale	11,68%	
Efficacité technique maximale	91,59%	
Quartile d'ordre 1	48,48%	
Médiane	65,46%	
Quartile d'ordre 3	78,77%	

Seuil de significativité: ***=1%; **=5%; *=10%

La Figure 1 présente la distribution des scores d'efficacité technique des ménages étudiés. L'analyse de cette distribution montre que la classe modale est [0,6-0,8[. On note aussi que seuls 22,83% des ménages étudiés ont un score compris entre 80% et 92% et peuvent être considéré comme les producteurs de tête avec les meilleures performances techniques.

Par ailleurs, les résultats révèlent que les ménages dirigés par les femmes ont un score moyen d'efficacité technique de 68,27% contre 62,39% pour les ménages dirigés par des hommes ($P < 0,05$).

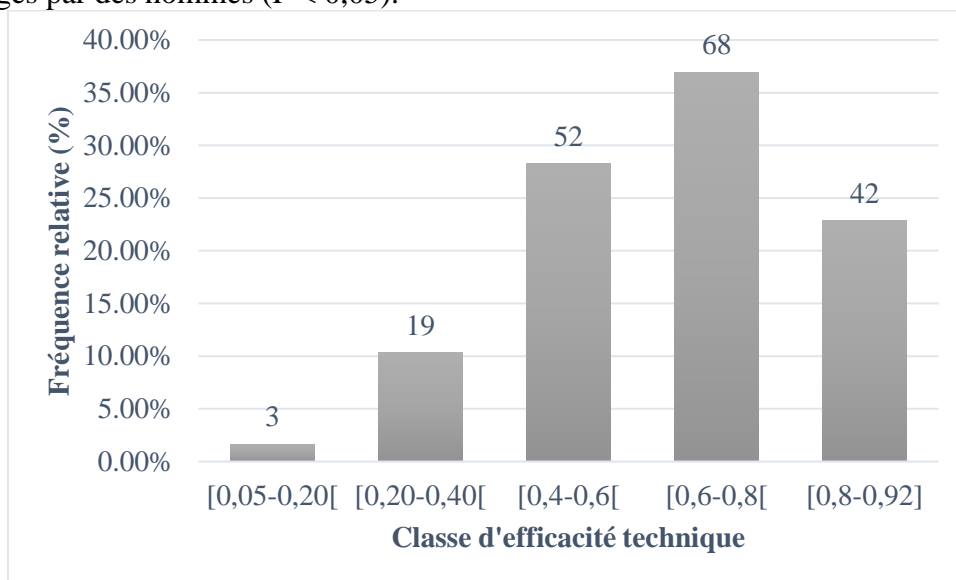


Figure 1. Distribution en classe des scores d'efficacité technique

La Figure 2 présente l'évolution du rendement en fonction du niveau d'efficacité technique. Elle illustre une corrélation positive et significative au seuil de 1% entre les deux paramètres. Les producteurs les moins performants ont un rendement moyen de 49,31 kg/ha alors que les producteurs les plus performants ont un rendement moyen de 632,73 kg/ha.

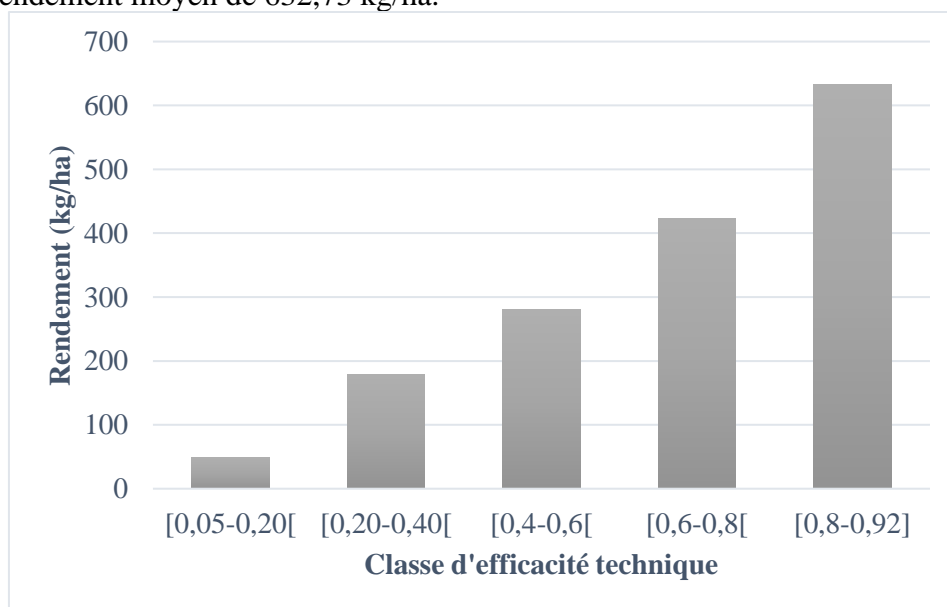


Figure 2. Évolution du rendement d'anacarde en fonction du niveau d'efficacité technique

3.5 Analyse des déterminants de l'efficacité technique

Les résultats de l'estimation du Fractional Regression Model sont présentés dans le Tableau 5. Ce modèle est significatif au seuil de 1%. Six variables ont été identifiées comme influençant l'efficacité technique des ménages étudiés. Le sexe a un effet significatif et négatif au seuil de 5% sur l'efficacité technique des ménages. Cela signifie que les ménages dirigés par les femmes sont techniquement plus efficaces que ceux dirigés par les hommes. De même, la vente aux transformateurs a un effet significatif et négatif au seuil de 10% sur l'efficacité technique des ménages. Les ménages opérant à des niveaux d'efficacité technique élevés ne vendent pas directement aux transformateurs. Par contre, la participation à une formation sur l'anacarde au cours des cinq dernières années, la réhabilitation de plantation et la vente aux exportateurs ont chacune un effet significatif et positif au seuil de 10% sur l'efficacité technique des ménages. Ces trois facteurs accroissent donc l'efficacité technique des ménages étudiés. Enfin, l'utilisation des plants ordinaires a un effet significatif et positif au seuil de 5%. Le score d'efficacité technique des ménages qui ont installé leurs plantations à partir des plants ordinaires s'avèrent plus important que celui de ceux qui ont utilisé directement les semences.

Tableau 5. Déterminants de l'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde de Bantè

Variables	Coefficients	Erreur standard	T-Student	Pr (> T)
Constante	0,15	0,38	0,41	0,684
Sexe (Masculin)	-0,39	** 0,18	-2,16	0,031
Formation ces 5 dernières années (Oui)	0,25	* 0,13	1,89	0,058
Utilisation de plant ordinaire (Oui)	0,24	** 0,11	2,09	0,037
Réhabilitation de plantation au cours des 5 dernières années (Oui)	0,26	* 0,16	1,65	0,099
Vente aux exportateurs (Oui)	0,71	** 0,35	2,03	0,043
Ventes aux transformateurs (Oui)	-0,41	** 0,19	-2,13	0,033
Achat (Oui)	0,56	0,35	1,6	0,11
Don (Oui)	-0,22	0,18	-1,22	0,222
Nombre d'observation	184			
R-squared	0,12			

Seuil de significativité: ***=1%; **=5%; *=10%

4 Discussion

4.2 Production et Rendement de la production d'anacarde

Le rendement moyen obtenu a été de 399,31 kg/ha sur une campagne de production. Ce rendement est supérieur à ceux obtenus au Burkina-Faso par Belem (2017) et Somé (2014). Il est inférieur aux résultats de 431 kg/ha obtenus par Degla (2015), et aux 564 kg/ha calculés par Coulibaly et al. (2019). Il est donc évident que le niveau de rendement des ménages étudiés est encore faible et bien loin des 1 000

kg/ha en Inde et en Guinée Bissau et des 2 000 kg/ha au Vietnam (Coulibaly et al., 2020).

La superficie moyenne emblavée en anacardier était de 7,18 ha. Cette superficie est supérieure à celles obtenues par Dieng et al. (2019), Arouna et al. (2010), Coulibaly et al. (2020), Degla (2015) et Adegbola et Crinot (2022). Il est proche de la superficie moyenne calculée par Belem (2017). Les résultats révèlent une forte densité dans les plantations des ménages étudiés. Les plantations contiennent en moyenne 174 arbres/ha. Ces résultats sont largement au-dessus de la densité moyenne de 71 arbres/ha obtenue en Tanzanie par Akyoo et Mpenda (2014) et de la densité moyenne de 107,5 arbres/ha relevée par Adégbola et Crinot (2022) dans la zone très favorable à la culture de l'anacarde au Bénin. Ces résultats pourraient indiquer la forte présence de vieilles plantations dans l'échantillon d'étude. Or la forte densité affecte négativement la production d'anacarde (Degla, 2015 ; Dieng et al., 2019) et pourrait donc expliquer les faibles rendements obtenus. Il est donc nécessaire de recommander et de faire respecter une densité n'excédant pas 100 arbres/ha.

La quantité moyenne de travail utilisée correspond à une charge de 73 homme-jour/ha. Ces résultats sont semblables à ceux de Coulibaly et al. (2020). Les résultats indiquent une utilisation moyenne d'engrais de 7,20 kg/ha. Les ménages étudiés utilisent peu les fertilisants comme l'ont aussi constaté Coulibaly et al. (2019) et Dieng et al. (2019). Ceci confirme les tendances à une faible utilisation des fertilisants notamment chimique dans la production de l'anacarde au Bénin. Les ménages utilisent en moyenne 0,4 L/ha de pesticides. Degla (2015) a trouvé une moyenne de 3,28 L/ha, ce qui indique une très faible utilisation de pesticide dans l'échantillon étudié.

Les résultats de l'estimation de la fonction de production stochastique montrent que seules la superficie et la quantité de pesticides ont chacun un effet significatif sur la production d'anacarde. L'augmentation de la production d'anacarde dépend donc essentiellement de l'augmentation des superficies cultivées dans le milieu d'étude. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Degla (2015), Dieng et al. (2019), Coulibaly et al. (2020) et Wongnaa (2013). Ces résultats sont contraires à ceux d'Akyoo et Mpenda (2014) qui ont observé une influence négative de la superficie sur la production en Tanzanie.

Par contre, l'utilisation des pesticides déterminent négativement la production d'anacarde. Ces résultats contrastés indiquent un gaspillage des ressources par les ménages étudiés et pourraient s'expliquer par des erreurs dans l'application des produits phytosanitaires. En effet, selon Akyoo et Mpenda (2014), l'efficacité de l'application des pesticides requiert des compétences particulières. L'utilisation de la main d'œuvre familiale mal formée dans cette activité serait donc à la base de ce gaspillage qui ne permet pas de traiter l'agression ou la pathologie identifiée mais réduit le potentiel de production des arbres.

4.3 Niveau d'efficacité technique des producteurs d'anacarde

Les ménages étudiés ont une efficacité technique moyenne de 63,09%. Cela indique que les ménages sont encore assez loin de leur capacité de production optimale. Le ménage le moins efficace a seulement atteint un niveau d'efficacité technique de 11,68% et le plus efficace 91,59%. Pour atteindre le ménage le plus efficace, le ménage le moins efficace doit améliorer son efficacité technique de 87,25% ($91,59 - 11,68/91,59$) alors que le ménage moyen devrait améliorer le sien de 31,11% ($91,59 - 63,09/91,59$). En considérant les ménages appartenant à la classe [0,80-0,92] comme les ménages de tête c'est-à-dire les plus efficaces, ils représentent seulement 22,83% des ménages. Le niveau moyen d'efficacité technique obtenu est supérieur à ceux obtenus dans d'autres études. En effet, Coulibaly et al. (2020) ont estimé le niveau d'efficacité technique des producteurs d'anacarde en Côte d'Ivoire en utilisant la méthode DEA à 49% en considérant les rendements d'échelle variable et à 38% en considérant les rendements d'échelle constant. Akyoo et Mpenda (2014) a obtenu un niveau d'efficacité technique moyen de 51% en étudiant les producteurs d'anacarde en Tanzanie. Arouna et al. (2010) ont estimé à 46% le niveau d'efficacité technique des producteurs d'anacarde dans les départements de l'Atacora, du Borgou, des Collines et de la Donga au Bénin. Par ailleurs, les résultats obtenus sont proches du niveau de 57% obtenu par Dieng et al. (2019) dans les grandes régions de production au Sénégal et pareil que ceux obtenus par Degla (2015) à partir des producteurs de la zone savanicole du Bénin. L'ensemble de ces auteurs ont considéré ces niveaux d'efficacité technique assez faibles et susceptibles d'être améliorés. Les producteurs étudiés sont donc globalement peu efficaces. Ils peuvent donc produire des quantités plus importantes de noix en utilisant mieux les mêmes ressources. Comparé à d'autres cultures d'importance au Bénin, les ménages étudiés ont un niveau d'efficacité technique semblable aux 61% estimés par Kpenavoun Chogou et al. (2018) pour les producteurs de soja et aux 65% obtenus par Aminou (2018) pour les producteurs de maïs. Ce niveau moyen des ménages producteurs d'anacarde est légèrement inférieur aux 67% obtenus par Kpenavoun Chogou et al. (2017a) pour les producteurs d'ananas, et largement inférieur aux 78% et 80% obtenus respectivement pour les producteurs de riz du Mono et du Couffo et les producteurs de maïs dans 11 départements du Bénin par Houngue et Nonvide (2020) et Toléba et al. (2016). Aussi, le score d'efficacité estimé dans ce travail reste largement inférieur à celui de 92% obtenu par Siéwé Pougoué et al. (2019) dans le cadre de l'analyse de la performance des exploitations avicoles productrices d'œufs au Sud du Bénin.

Cette étude a également confirmé que l'amélioration de l'efficacité technique entraînait une amélioration du rendement. Les ménages de tête, avec un score moyen d'efficacité technique de 85% ont un rendement moyen de 632,73 kg et le ménage le plus efficace a obtenu un rendement de 1000 kg/ha. Les ménages producteurs gagneraient donc à appliquer convenablement les bonnes pratiques de production car une amélioration du rendement s'accompagne de possibilités de gains plus importants.

4.4 Déterminants de l'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde étudiés

Le sexe, la formation, les plants ordinaires, la réhabilitation, la vente aux exportateurs et la vente aux transformateurs ont été identifiés comme déterminant l'efficacité technique des producteurs d'anacarde étudiés. Les ménages ayant un chef de sexe féminin ont dans cette étude un niveau moyen d'efficacité technique supérieur à ceux de sexe masculin. Selon Toléba et al. (2016), l'étendue des superficies de production limite le potentiel de production des femmes. Cela suggère que les femmes sont plus efficaces sur de petites superficies. Dans la présente étude, la superficie moyenne gérée par les ménages dirigés par les femmes est de 3,45 ha alors que les ménages dirigés par les hommes exploitent en moyenne 7,69 ha. Ceci pourrait expliquer les meilleurs scores obtenus par les femmes qui arriveraient à mieux gérer les ressources sur de petites superficies. Aussi, les femmes ont difficilement accès aux ressources agricoles et ont tendance à mieux les gérer (Houngue & Nonvide, 2020). Elles sont donc capables d'adopter les technologies et les utiliser convenablement pour être davantage performantes dans l'activité de production d'anacarde. En effet, elles peuvent encore améliorer leur niveau en moyenne de 25,46% par rapport au meilleur producteur alors que les hommes doivent encore progresser en moyenne de 31,88%. Des résultats similaires ont été obtenus par Houngue et Nonvide (2020), Gniza (2019), Ndiaye (2018) et Dadzie et Dasmani (2010). Les ménages ayant utilisé les plants ordinaires issus de pépinières ont un meilleur niveau d'efficacité technique que ceux qui ont utilisé directement des semences et des plants greffés. Peu de plantations cultivées en plants greffés sont présents dans l'échantillon. Ces plantations sont toutes en début de production. Ceci pourrait expliquer l'absence d'effet des plants greffés sur l'efficacité technique et l'influence significative de l'utilisation des plants ordinaires par rapport aux semences (Arouna et al., 2010). Cette analyse met en évidence l'importance de l'adoption de matériel végétal performant pour l'amélioration globale de la productivité. De même, les ménages ayant suivi une formation sur l'anacarde au cours des cinq dernières années sont plus efficaces que ceux qui n'en ont pas suivi. Les producteurs d'anacarde ont besoin d'être formés et accompagnés. Pour cela, il est important que le dispositif du conseil agricole leur soit accessible et s'intéresse à la résolution des problèmes spécifiques des producteurs. L'accès à l'information relative aux actions des projets et programmes dans la filière sera déterminant. Par ailleurs, la réhabilitation des plantations influence positivement l'efficacité technique. Cette opération permet la création de plantations à haut rendement (Kambou et al., 2019). Ce résultat attendu confirme toute la pertinence des programmes de rénovation des plantations entrepris pour améliorer la productivité des plantations. Aussi, la vente des récoltes aux exportateurs améliore l'efficacité technique des producteurs étudiés. Cette étude permet de mettre en évidence ce lien peu documenté entre l'efficacité technique des producteurs d'anacarde et la vente aux exportateurs. Cette influence positive pourrait s'expliquer par le fait que ce type de marché procure sous certaines conditions (réduction des intermédiaires) un revenu

important qui permet en retour aux ménages d'investir dans l'entretien des plantations. En effet l'amélioration du revenu est la voie par laquelle la commercialisation impacte positivement l'engagement du producteur dans son activité. Arouna et al. (2010) ont montré que la part du revenu annuel issue de la commercialisation de la noix d'anacarde améliorait l'efficacité technique des producteurs d'anacarde. Ahouangninou et al. (2020) et Houngue et Nonvide (2020) ont tiré les mêmes conclusions respectivement pour les producteurs de grande morelle et de riz au Bénin. À contrario, les résultats obtenus révèlent que la vente aux transformateurs réduit l'efficacité technique des producteurs étudiés. Le besoin de compétitivité des unités de transformation locale par rapport au marché global exige de celles-ci de capter la noix d'anacarde à un coût relativement bas. Cette situation couplée à l'exigence de noix de qualité et au rejet des noix inappropriées offrirait une faible rémunération aux producteurs. Celle-ci réduit les possibilités d'investissement dans l'entretien des plantations dans un contexte où l'accès au crédit agricole est faible. Ces résultats indiquent aussi un faible accompagnement des ménages étudiés par des dispositifs d'encadrement émanant des unités de transformation. Dans le contexte actuel de suppression de l'exportation des noix brutes d'anacarde au profit de la transformation de l'entièreté de la production nationale, ces résultats révèlent que le modèle de commercialisation doit être bien pensé pour ne pas constituer un goulot d'étranglement pour les producteurs.

Conclusion et recommandations

La présente étude a eu pour objectif d'analyser le niveau d'efficacité technique des ménages producteurs d'anacarde de la commune de Bantè dans le département des Collines au Bénin en se basant sur une fonction de production frontière stochastique de type Cobb Douglas et en utilisant un modèle de régression linéaire pour l'identification des déterminants de l'efficacité technique. Les résultats obtenus ont révélé que la superficie cultivée en anacarde et la quantité de pesticides sont les principaux déterminants de la production des ménages producteurs étudiés. Il en ressort que les forts niveaux de production dépendent de l'extension des superficies cultivées en anacardières et que les pesticides sont mal utilisés. Les résultats obtenus ont également montré que les producteurs d'anacarde étudiés sont peu efficaces et ont encore des marges pour obtenir de meilleurs rendements avec les mêmes niveaux de ressources.

Six facteurs ont été identifiés comme déterminant de l'efficacité technique des ménages étudiés. Les ménages dirigés par les femmes ont été trouvés plus efficaces que ceux dirigés par les hommes. Étant capables d'une meilleure gestion sur de petites superficies, elles gagneraient à se constituer en coopérative pour un meilleur accès au marché. Les interventions dans la filière devraient aussi les cibler particulièrement vu la contribution importante qu'elles peuvent apporter à la croissance de la production.

Aussi, les producteurs ayant suivi des formations techniques spécifiques sur l'anacarde au cours des cinq dernières années ont été plus efficaces que ceux qui n'en ont pas suivi. De même, les producteurs dont les plantations ont été réhabilitées au

cours des cinq dernières années ont eu un niveau d'efficacité technique plus élevé que les autres. Il en est de même des producteurs ayant utilisé des plants issus de pépinière. Cela suggère la nécessité de l'adoption des plants améliorés par les producteurs. Par ailleurs, la vente aux exportateurs améliore l'efficacité technique contrairement à la vente aux transformateurs qui tend à la réduire. Cela suggère que la vente directe aux exportateurs contribue mieux à l'amélioration du revenu du producteur qui lui offre les possibilités d'un engagement plus accru dans l'activité. Ce résultat suggère aussi que, dans le contexte nouveau de suppression des exportations de noix brutes, un mécanisme de fixation de prix qui garantit un gain conséquent au producteur doit être pensé et mis en application.

Au total, il faut retenir que la faiblesse des rendements observés est essentiellement due aux erreurs techniques des ménages producteurs d'anacarde étudiés. Pour leur permettre d'être plus efficace, il est nécessaire de renforcer les actions de formation à leur égard sur l'itinéraire technique de production et spécifiquement sur les modes d'utilisation des pesticides, de leur faire bénéficier des programmes de réhabilitation des plantations, de favoriser leur accès à des plants de qualité et mettre en place un mécanisme efficace de soutien du prix qui contribue à l'amélioration du revenu qu'ils tirent de la culture d'anacarde. Il faut aussi investir particulièrement dans les femmes dont le potentiel doit être davantage valorisé au profit du développement intégral de la filière.

Enfin, cette étude ouvre des pistes pour explorer en profondeur le lien entre l'efficacité technique et les conditions de vie des ménages producteurs d'anacarde pour montrer comment les gains de productivité peuvent influencer le niveau de vie.

References:

1. Adégbola, P. Y., & Crinot, F. G. (2022). *Analyse approfondie de la structure des coûts de production des noix brutes de cajou* [Rapport d'étude]. Ministère de l'Industrie et du Commerce (MIC).
2. Adesanya, K. A., Agboola-Adedoja, M. O., Adelusi, A. A., Ogunwolu, Q. A., Ugwu, C. A., Alli, M. A., & Akinpelu, A. O. (2021). Opportunities in Nigerian cashew nut value chain. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 9(1), 168-174. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4625385>
3. Ahouangninou, C., Boko, S. Y. W., Arouna, A., Logbo, J., Fayomi, B., & Martin, T. (2020). Performance environnementale et économique dans la production de la grande morelle (*Solanum macrocarpon*) au sud du Bénin : Une évaluation des efficacités technique, allocative, économique. *Agronomie Africaine*, 32(2), 135-149.
4. Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5)

5. Akyoo, A. M., & Mpenda, Z. T. (2014). Policy Imperatives For Control Of Market Exchange Failure In The Cashew Nut Industry In Tanzania. *European Scientific Journal, ESJ, 10(7)*, 314-325. <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n7p%p>
6. Albouchi, L., Salah, B., & Jacquet, F. (2007). Efficacités productives comparées des zones irriguées au sein d'un bassin versant. *Review of Agricultural Economics, 6(3)*, 4-13.
7. Aminou, F. A. A. (2018). Efficacité Technique des Petits Producteurs du Maïs au Bénin. *European Scientific Journal, ESJ, 14(19)*, 109-134. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n19p109>
8. Arouna, A., Adégbola, P. Y., & Adekambi, S. (2010). *Estimation of the economic efficiency of cashew nut production in Benin*. Third African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, Cape Town, South Africa.
9. Battese, G. E. (1992). Frontier production functions and technical efficiency: A survey of empirical applications in agricultural economics. *Agricultural Economics, 7(3)*, 185-208. [https://doi.org/10.1016/0169-5150\(92\)90049-5](https://doi.org/10.1016/0169-5150(92)90049-5)
10. Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics, 20(2)*, 325-332. <https://doi.org/10.1007/BF01205442>
11. Battese, G. E., Malik, S. J., & Gill, M. A. (1996). An investigation of technical inefficiencies off production of wheat farmers in four districts of Pakistan. *Journal of Agricultural Economics, 47*, 37-49.
12. Belem, B. C. D. (2017). *Analyse des déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de production de l'anacarde au Burkina Faso* [Mémoire de master]. Université de Laval.
13. Chemak, F., & Dhehibi, B. (2010). Efficacité technique des exploitations en irrigué. Une approche paramétrique Versus non paramétrique. *New Medit, 9(2)*, 32-41.
14. Coelli, T., & Henningsen, A. (2020). *frontier : Stochastic Frontier Analysis*. <https://CRAN.R-Project.org/package=frontier>
15. Coelli, T., Rao, D. S., O'Donnell, C., & Battese, G. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. In *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
16. Coulibaly, N., Siaka, K., Magloire, Y. Y., & Sally, T. (2020). Technical Efficiency of Farms, and Fight Against Poverty : Case of the Cashew Sector in Côte d'Ivoire. *The Journal of Agricultural Science, 12(2)*, 106.

17. Coulibaly, N., Siaka, K., Yapi, Y., & Sally, T. (2019). Analysis of the Financial Profitability of Cashew Farms in Côte d'Ivoire : Case of the Gbêkê, Hambol, Poro and Worodougou Regions. *Economics*, 8(3), 98-105. <https://doi.org/10.11648/j.eco.20190803.12>
18. Crinot, G. F., Adegbola, P. Y., Atacolodjou, A. L., Mensah, S. E., & Kouton-Bognon, B. Y. (2019). *Analyse de l'efficacité technique des producteurs d'œufs de volaille en République du Bénin*. 6th African Conference of Agricultural Economists, Abuja, Nigeria.
19. Dadzie, S. K. N., & Dasmani, I. (2010). Gender Difference and Farm Level Efficiency : Metafrontier Production Function Approach. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 2(12), 441-451.
20. Degla, P. (2015). Technical efficiency in producing cashew nuts in Benin's Savanna zone, West Africa. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 54(2), 117-132.
21. Dieng, F., Ngom, D., Dia, D., & Sy, R. (2019). Efficience technique de la production d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.) dans les grandes régions de production du Sénégal Technical efficiency of cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) production in Senegal's major production regions. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(6), 2627-2645. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.16>
22. Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2343100>
23. Gbaguidi, Ignace. (2020). *Commerce et chaînes de valeur dans les activités porteuses d'emplois (TRAVERA) : Cas de l'anacarde au Bénin* (1e éd.). ILO.
24. GIZ/ComCashew. (2019). *Opportunities and challenges in cashew processing in Africa*.
25. Gniza, I. D. (2019). Analyse des différences d'efficacité entre les sexes des exploitations de riz dans le département de Divo, en Côte d'Ivoire. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 10(6), 63-69.
26. Houedjofonon, E. M., Ahoyo Adjovi, N. R., Adeoti, R. A., Mignouna, D., Kpenavoun Chogou, S., & Honfoga, B. (2019). Analyse de l'efficience technique des exploitations avicoles productrices d'œufs de table : Cas des jeunes entrepreneurs au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 194-204.
27. Houngue, V., & Nonvide, G. M. A. (2020). Estimation and determinants of efficiency among rice farmers in Benin. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1819004. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1819004>

28. Jondrow, J., Knox Lovell, C. A., Materov, I. S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19(2), 233-238. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5)
29. Kalirajan, K. P. (1991). The Importance of Efficient Use in the Adoption of Technology : A Micro Panel Data Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 2(2), 113-126. JSTOR.
30. Kambou, D., Soumahoro, B. A., Toure, Y., Kone, T., Sulie, N., Rullier, N., Kone, D., & Kone, M. (2019). Evaluation de la technique de surgreffage pour le renouvellement des vieillissants vergers d'anacardier [*Anacardium occidentale* (L.)] dans la région du Gontougo en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15(6), 304-329.
31. Kolliesuah, N. P., Saysay, J., Zinnah, M. M., Freeman, A. T., & Chinenye, D. (2020). Trend Analysis of Production, Consumption, and Export of Cashew Crop in West Africa. *African Crop Science Journal*, 28, 187-202. <https://doi.org/10.4314/acsj.v28i1.14S>
32. Kpenavoun Chogou, S., Gandonou, E., Adegbedi, A., & Abokini, E. (2017). Mesure et déterminants de l'efficacité technique des pisciculteurs du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2194-2208. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.20>
33. Kpenavoun Chogou, S., Gandonou, E., & Fiogbe, N. (2017). Mesure de l'efficacité technique des petits producteurs d'ananas au Bénin. *Cahiers Agricultures*, 26, 25004. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017008>
34. Kpenavoun Chogou, S., Okry, F., Santos, F., & Hounhouigan, D. (2018). Efficacité technique des producteurs de soja du Bénin. *Annales des sciences agronomiques*, 22(1), 93-110.
35. Kumbhakar, S. C., Ghosh, S., & McGuckin, J. T. (1991). A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms. *Journal of Business & Economic Statistics*, 9(3), 279-286. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/1391292>
36. MAEP. (2017). *Plan Stratégique du Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissement Agricole et de la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN 2017-2021)* (p. 131).
37. Meusen, W., & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2525757>

38. Ndiaye, M. (2018). Analyse De L'efficacité Technique Des Exploitations Agricoles Familiales À Maurice. *European Scientific Journal*, 14(9), 143-160.
39. N'djolosse, K., Adoukonou-Sagbadja, H., Maliki, R., Kodjo, S. D., Badou, A., & Ahoyo Adjovi, R. N. (2020). Performances agronomiques des arbres-mères d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) sélectionnés dans les plantations paysannes au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5), 1536-1546.
40. R Core Team. (2015). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
41. R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
42. Ramalho, E. A., Ramalho, J. J. S., & Murteira, J. M. R. (2011). Alternative estimating and testing empirical strategies for fractional regression models. *Journal of Economic Surveys*, 25(1), 19-68.
43. Ray, S. C. (1988). Data envelopment analysis, nondiscretionary inputs and efficiency: An alternative interpretation. *Socio-economic Planning Sciences*, 22, 167-176.
44. Ricau, P. (2013). *Connaître et comprendre le marché international de l'anacarde* (p. 49). RONGEAD.
45. Siéwé Pougoué, E. B., Manu, I., Labiyi Adédédji, I., & Bokossa, T. (2019). Technical efficacy of laying hen farms in Southern Benin. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop*, 72(1), 23-32. <https://doi.org/doi:10.19182/remvt.31728>
46. Somé, L. F. M. C. (2014). *Analyse socio-économique des systèmes de production d'anacarde au Burkina Faso: Cas des régions des Cascades et des Hauts-Bassins* [Mémoire de master]. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso.
47. Tandjiekpon, A. M. (2005). *Caractérisation des systèmes et agrosystèmes forestiers à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* linnaeus) en zone de savane au Bénin* (p. 122).
48. Tandjiekpon, A. M. (2010). *Analyse de la chaîne de valeur du secteur anacarde du Bénin* (p. 64) [Rapport d'étude]. GTZ.
49. Tinlot, M. (2010). *Intégration des filières dans la mitigation au changement climatique: Cas de la filière anacarde au Burkina Faso* (p. 37) [Rapport de mission].
50. Toléba, S. M., Biauou, G., Zannou, A., & Saïdou, A. (2016). Evaluation du niveau d'efficacité technique des systèmes de production de maïs au Bénin. *European Scientific Journal*, 12(27), 276-299.

51. UNCTAD. (2021). *Commodities at a glance : Special issue on cashew nuts* (N° 14). United Nations.
52. Wongnaa, C. (2013). Analysis of factors affecting the production of cashew in Wenchi municipality, Ghana. *Journal of Agricultural Sciences*, 8(1), 8-16. <https://doi.org/10.4038/jas.v8i1.5377>