

European Scientific Journal, *ESJ*

September 2024

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

September 2024 edition vol. 20, No. 27

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrücken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

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

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella 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 Olavegogeoascoechea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglanis,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascersinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Natalia Sizochenko
Dartmouth College, USA

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliq,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katsarska,
Air Force Academy, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Holy Family University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmel Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehualashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islamabad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Universidad Internacional de Valencia, Spain

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore "Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael's Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproptetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

Ehsaneh Nejad Mohammad Nameghi,
Islamic Azad University, Iran

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Belo,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
"Barleti" University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,
Mount Kenya University, Kenya

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

Foldi Kata,
University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,
University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,
University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzlez,
University of Holguin, Cuba

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

Maria Elena Jaime de Pablos,
University of Almeria, Spain

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

Compaore Inoussa
Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro
University of Lome, Togo

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

Compaore Inoussa

Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro

University of Lome, Togo

Kouakou N'dri Laurent

Alassane Ouattara University, Ivory Coast

Jalila Achouaq Aazim

University Mohammed V, Morocco

Georgios Farantos

University of West Attica, Greece

Maria Aránzazu Calzadilla Medina

University of La Laguna, Spain

Tiendrebeogo Neboma Romaric

Nazi Boni University, Burkina Faso

Dionysios Vourtsis

University of West Attica, Greece

Table of Contents:

**Recent Trends in Air Pollution in the Most Important City of The
Romanian Black Sea Coast.....1**

Miruna-Amalia Nica

Valentina-Mariana Mănoiu

**Evaluación del Balance de Carbono en una Planta de Tratamiento de
Aguas Residuales Basada en Humedales Artificiales.....25**

Fernanda Estefanía Mejía Peralta

Durá Vicent Benedito

Carmen Hernández Crespo

**Advancements in Nanoparticle-Based Precision Drug Delivery: A
Review of Development and Optimization for Targeted Therapy in
Preclinical Models.....49**

Mehrasa Nikandish

Hanzhi Wang

Xinqi Bao

Mohamad Nikandish

Diversity and abundance of birds devastating rice-growing in the town of Daloa and its outskirts (Centre-West, Cote d'Ivoire).....67

Allou Dimitri Kouadio

Dibie Bernard Ahon

Gnininte Maxime Zean

Wadja Mathieu Egnankou

Bene Jean-Claude Koffi

Yao Tano

Genetic Variability, Heritability, Genetic Advance, Path Coefficient Analysis, and Inter-Character Relationships in Colocynthis (*Citrullus colocynthis* [L.] Schrad.) from Southeastern Villages of the Benin Republic.....82

A. Seraphin Zanklan

Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle de la région autonome du Grand Lomé.....113

Yaovi Mignazonzon Afassinou

Yao Israël Sossou

Souleman Pessinaba

Labite Kpoti Tokou

Komla Afanlovi

Koffi Koudouvo

Amegnona Agbonon

Désarticulation de la hanche secondaire à une gangrène du membre pelvien droit : A propos d'un cas au Centre Hospitalier Universitaire la renaissance de Ndjamena.....129

Magloire Dingamnodji

Valentin Andjeffa

Daniel Mossalmbaye Adendjingue

Siniki Fandebnet

Kaimba Madoué Bray

Moussa Kali

Ngamai Kotyade

Mohamed Tall

Impact of dietary Diversification on the nutritional status of children aged 0 to 59 months in the municipality of Tori-Bossito.....136

Parfait Segla Alohoutade

Alphonse Sako Avocefohoun

Gbèssöhele Justin Behanzin

Mohamed Kanazoe

Alassane Youssao Abdou Karim

Nicodeme Chabi

Lamine Said Baba-Moussa

**Résultats du traitement chirurgical des fractures malléolaires de l'adulte
au Centre Hospitalier Régional de Sokodé.....152**

Yaovi Yanick Dellanh

Batarabadja Bakriga

Kolima Ehlissou Akloa

Apollinaire Saouwada Paul Beme

Gamal Ayouba

Anani Abalo

**Reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de
régénération de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Tsama-
Mbama en comparaison avec la forêt primaire, département de la
Cuvette-Ouest (République du Congo).....165**

Mondzali Lenguiya Romarick

Koubouana Félix

Née Goma Irène Marie Cécile Mboukou Kimbatsa

Ndzai Saint Fédriche

**Pratiques thérapeutiques traditionnelles des fractures des membres à
Bébouo-Sibouo, Côte d'Ivoire.....189**

Konan Bah Modeste Gnamien

Ahouansou Stanislas Sonagnon Houndji

Adjoua Ange Christelle Brou

**Caractérisation et évaluation de l'aptitude culturale d'un sol pour la
production de tomate sous climat tropical semi-aride.....208**

Koulibi Fidèle Zongo

Daouda Guebre

Aboubacar Coulibaly

Pakisba Anicet Wenceslas Daramkoun

Issouf Sanou

Edmond Hien

**Etude de la reproduction de *Cardium costatum* (Linné, 1758) de la Zone
Economique Exclusive de la Côte d'Ivoire.....236**

Fulgence Kouato

Fokouo Kessia Irène Kouakou

Jean Baptiste Aman

Atcho Otchoumou

Profil de la Transition Sanitaire en République du Congo.....255

Etienne Paka

**Prise en charge des infections ostéo-articulaires en milieu sahélien :
étude prospective à propos de 82 cas.....277**

Dalatou Malam Maman Mahamadou Habibou

Abdoulwahab Allassane Mohamed

Moussa Niandou Ali

Yafoutane Djaba Pacôme

Souna Badio Seyni

Recent Trends in Air Pollution in the Most Important City of The Romanian Black Sea Coast

Miruna-Amalia Nica, MSc

Valentina-Mariana Mănoiu, Associate Professor

Faculty of Geography, University of Bucharest, Romania

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p1)

Submitted: 23 August 2024

Accepted: 13 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nica, M-A. & Mănoiu, V-M. (2024). *Recent Trends in Air Pollution in the Most Important City of The Romanian Black Sea Coast*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p1>

Abstract

Air pollution is one of the greatest environmental issues of contemporary society, affecting virtually all major cities worldwide, including those in Romania. Consequently, evaluating the dynamics of pollution conditions in urban environments is essential for designing control measures and adaptation strategies to this environmental disruption. This paper aims to analyze the recent dynamics of pollution and air quality in Constanta, the largest city on the Romanian coastline and one of the most important cities along the entire Black Sea coast. The investigations were based on the official concentrations of major atmospheric pollutants recorded at air quality monitoring stations located within or near Constanta. The dynamics of pollutant concentrations were explored at annual and seasonal levels, and the results showed a mixed picture of changes in the atmospheric pollutant concentrations, in recent years. Essentially, the findings highlighted both increases and decreases in air pollution conditions, emphasizing the need for constant air quality monitoring and controlling throughout Constanta city.

Keywords: Constanta, air pollution, air quality, port city, chemical pollutants

Introduction

Environmental pollution remains one of the most important global threats to the environment and humanity, being a major cause of human morbidity and mortality (Ukaogo et al, 2020). This environmental disturbance

involves the introduction of substances or energies into the natural environment that cause significant harm to human health, ecosystem balance, and the quality of natural resources (Nica et al, 2024).

Environmental pollution is an emerging environmental problem in many regions of the world, which triggers many ecological and socio-economic problems (Gaur et al, 2024). This phenomenon is driven by anthropogenic activities such as industrialization, urbanization, and intensive agriculture, which can trigger a significant degradation of air, water, and soil environmental components, leading to biodiversity loss or climate change (Farhan et al, 2022).

Air pollution consists of the presence of substances or particles in the air at concentrations high enough to cause adverse effects on human health, ecosystems, and climate (Rentschler and Lenova, 2023). It may contain gases such as sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO), volatile organic compounds (VOCs), and particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), as well as tropospheric ozone (O₃), which is a secondary pollutant formed through chemical reactions between primary pollutants in the presence of sunlight (Sicard et al, 2023).

Air quality is determined by emissions into the air from natural and anthropogenic sources, such as industry, road transport, agriculture, and other human activities (Vohra et al, 2021). These sources contribute to the release of primary pollutants, which can be directly harmful or react with each other to form secondary pollutants, thus exacerbating their impact on human health and the environment. Meteorological factors, such as temperature, humidity, wind speed, and direction, are also crucial in pollution dynamics, influencing their dispersion and concentration in the atmosphere (Zhu et al, 2021).

Air pollution can pose a major health problem, especially due to the risks associated with simultaneous exposure to various atmospheric pollutants (Chen et al, 2024). The interaction between pollutants such as particulate matter (PM), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), and ground-level ozone (O₃) can exacerbate respiratory and cardiovascular conditions, leading to a higher incidence of chronic diseases (Contini and Costabile, 2024).

Air pollution and other pollution sources represent a significant environmental issue also in Romania, which ranks 13th on the list of the most polluted countries in Europe, according to the 2021 Global Air Quality Report (Mahler et al, 2023). Thus, large cities such as Bucharest, Cluj-Napoca, Timisoara, Iasi and Constanta exhibit deteriorated air quality due to emissions from transportation, industrial activities, fossil fuel-based heating and other pollution sources.

Constanta city, the largest and most important port city situated on the Romanian Black Sea coast and the largest city port along the entire Black Sea coast (Partene et al, 2023), faces significant issues related to atmospheric and

environmental pollution (Rata and Rusu, 2019). Port activities, including handling and transporting goods, generate significant emissions of gases and particles into the atmosphere (Song et al, 2022). Additionally, the intense vehicular traffic, both maritime and road, contributes to increased pollutant concentrations. The local industry, along with refineries and other production units, represents a major source of pollutant emissions.

Moreover, the city's diverse industrial profile, which includes the largest refinery in the country, Petromidia Refinery, as well as the Palas Thermal Power Plant and other production units, constitutes a significant source of pollutant emissions (Tiscovschi, 2005). The city (with the surrounding areas) is also a major tourist pole in the country, which further complicates the atmospheric pollution, through the generally high traffic conditions (Anton, 2021).

In these circumstances of socio-economic relevance, the assessment of air quality across Constanta city is crucial. Therefore, this study aims to examine the recent dynamics of atmospheric pollution in the Constanta city area, based on some air quality data which are freely available and highly relevant for the analysis of air pollution. Exploring changes in air pollution and providing up-to-date air quality information can be useful for the key policies that address the urban pollution issue in southeastern Romania.

Data and methodology

Study area

The study area is located in the southeastern part of Romania (Fig. 1a), in Dobrogea, Constanta County (Fig. 1b), and is situated on the western shore of the Black Sea, being a coastal city (Fig. 1c). The county seat, with the same name, is one of the oldest settlements in the country, with origins dating back to the 7th century BC (Cracu et al, 2024). Constanta is close to the localities of Agigea, Navodari, Techirghiol, Cumanana, Valu lui Traian, and Murfatlar, with direct access to the Black Sea to the east. This location provides a significant advantage in terms of economic and tourist development, playing an important role in maritime transport networks and regional commercial activities.



Figure 1. The study area and geographic distribution of Constanta Environmental Protection Agency, air quality monitoring stations and major pollution sources

Constanta is among the top five largest cities in Romania (Population HUB, 2024). For 2024, the estimated population is approximately 249,423

inhabitants, according to the World Population Review (WPR, 2024). When considering the peri-urban area, which includes nearby localities like Navodari, the population increases, emphasizing the city's significance. Constanta also experiences a substantial influx of tourists annually, further adding to its demographic importance during peak seasons.

In recent years, Constanta has recorded an average of over 1 million tourists per year, with peaks during the summer season (June-August). For example, in the summer of 2023, more than 1.5 million tourists were registered in Constanta County, according to the National Institute of Statistics (NIS, 2024), most of whom were attracted by the beaches in Mamaia and the events organized in the city. These factors, combined with its multi-industrial profile and extensive spatial expansion, make the city and its surrounding area particularly relevant for studies on atmospheric pollution due to the various emission sources present.

Data

This study examines the dynamics of atmospheric pollution in the municipality of Constanta, based on data collected from the environmental reports of the Agency for Environmental Protection (AEP) Constanta, an institution subordinated to the National Administration for Environmental Protection. The data used in this study refer to the monthly average concentrations of the following atmospheric pollutants: carbon monoxide (CO), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), benzene (C₆H₆), ozone (O₃) and particulate matter with a diameter smaller than 10 micrometers but larger than 2.5 micrometers (PM₁₀) (AEPC, 2024).

The data are recorded by the five air quality monitoring stations located along the urban and peri-urban areas of the city (Fig. 1d). The analysis period covers the years 2017-2022, which is limited to just 6 years due to the fact that AEP Constanta began building an online database, in the form of environmental reports, only from 2016. This period is not included in the current study due to the large amount of missing data. It should also be noted that 2 out of the 5 stations do not monitor all the pollutants mentioned earlier. Thus, station S1 does not monitor O₃, while station S5 does not monitor C₆H₆.

Therefore, all the data used in this study were collected from the air quality monitoring network consisting of five automatic stations (Fig. 1d): a traffic-type station (station S1, located near the Cultural Center in Constanta) – which evaluates the impact of emissions from linear pollution sources; an urban background station (station S2, located in the park near the Constanta City Hall) – which measures the average pollution level in a well-defined urban area; a suburban background station (station S3, located near the Victoria Camp in Navodari) – with a role similar to that of the urban background station, measuring the impact of suburban activities; and two

industrial stations (station S5, on Prelungirea Liliacului Street in Constanta, and station S6, near Lazar Edeleanu High School in Navodari) – both analyzing the impact of industrial activities on air quality.

All these five monitoring stations are managed by AEP Constanta (Fig. 1d), which continuously records pollutant concentrations. The automatically collected data are compiled into monthly reports by the same institution, which are then made available to the public for various purposes, including research.

Methods

The methodology adopted in this study was based on the graphic analysis of atmospheric pollutant concentrations, which enabled the identification of trends and concentration fluctuations, as well as on the comparative analysis of the differences and similarities between the collected datasets. The entire processing of the collected data was carried out using Excel software, in five main working steps, each with a specific role in extracting relevant information about pollution dynamics and atmospheric quality.

The first step (1) involved calculating the average concentrations of monitored atmospheric pollutants, on annual and seasonal timescales, for each of the five air quality monitoring stations. This mathematical averaging process included collecting and processing the monthly data provided by the air quality monitoring stations. Raw data were processed in Excel, where arithmetic means were applied to each dataset annually and for each season (spring – with the period of March- May, summer – June-August, autumn – September-November, winter – December-February). Seasonal averaging is crucial for identifying the variability of pollution and air quality in relation to seasonal climate changes and different pollution sources that may be active at certain times of the year.

The second step (2) involved the graphical processing of the averaged data, generating basic charts that illustrate the dynamics of atmospheric pollutant concentrations over the 6 years, for each station and timescale (annual and seasonal). In the third step (3), linear trends were plotted for each air quality monitoring station, annually and seasonally.

In these two working steps, each station was analyzed separately to highlight whether there are increasing, decreasing, or stable trends in pollutant concentrations at each monitoring point. This individual analysis is crucial for understanding how pollution and air quality differ across various areas of the city and for identifying local pollution sources.

After these individual processings, the calculation of a mean concentration for all 5 monitoring stations was performed, in the fourth working phase (4). Finally, in the last working step (5), the equation of the

average linear trend was extracted, based on the mean concentrations calculated in the previous phase.

Although the concentrations averaged and plotted as mean trends may obscure the local variations, these procedures can still be useful for the overall dynamics of air pollution. Consequently, calculating the mean concentrations and extracting the mean trend slopes were considered useful steps for a general assessment of pollution changes, in Constanta and in the surrounding areas.

Results

The graphical results of this study highlight the mean concentrations (on the left) and their trends / mean trend (on the right) of atmospheric pollutants, both on annual and seasonal timescales (Figs. 2–6). This organization of the findings was considered useful because it allowed a detailed assessment of the annual and seasonal variability of pollutants, providing a clear picture of their dynamics during different times of the year.

On the annual time scale (Fig. 2), carbon monoxide (CO) exhibits an interesting dynamic over the period 2017-2022, with two notable peaks in 2020 and 2022. Station S1 recorded the highest average concentration in 2021 – 0.45 mg/m³. These two increases might seem counterintuitive given the mobility restrictions and reduction in road traffic during the early COVID-19 pandemic. However, a possible explanation could be changes in vehicle usage patterns and heating sources. The annual average trend, at 0.0111 mg/m³ / yr, shows a slight increase from year to year.

Nitrogen monoxide (NO) showed a surprising trend, marking an average annual increase of 0.3463 µg/m³. This pollutant, predominantly associated with road traffic emissions and industrial activities, reached a notable peak in 2020, especially at station S1 – 37.20 µg/m³. Although a decrease might have been expected due to the pandemic, the explanation likely lies in the persistence of industrial emissions and increased traffic in central areas, similar to the area where station S1 is located, which might have been intensified by goods transport, possibly increased in central areas for supply purposes. Thus, in 2020, this station recorded a concentration of 37.20 µg/m³, exceeding the annual critical level of 30 µg/m³ set for vegetation protection, but remaining below the 40 µg/m³ threshold considered safe for human health. Nitrogen dioxide (NO₂), a key pollutant associated with severe respiratory problems, recorded a peak concentration of 54.05 µg/m³ in 2020 at station S1 (Fig. 2), due to the high traffic density in central Constanta. This value exceeds the maximum allowable limit of 40 µg/m³ set for human health protection. Additionally, station S1 also recorded values exceeding the critical threshold for vegetation protection in the years 2017, 2018, and 2022. However, the annual average trend shows a decreasing trend of 0.6685 µg/m³ per year.

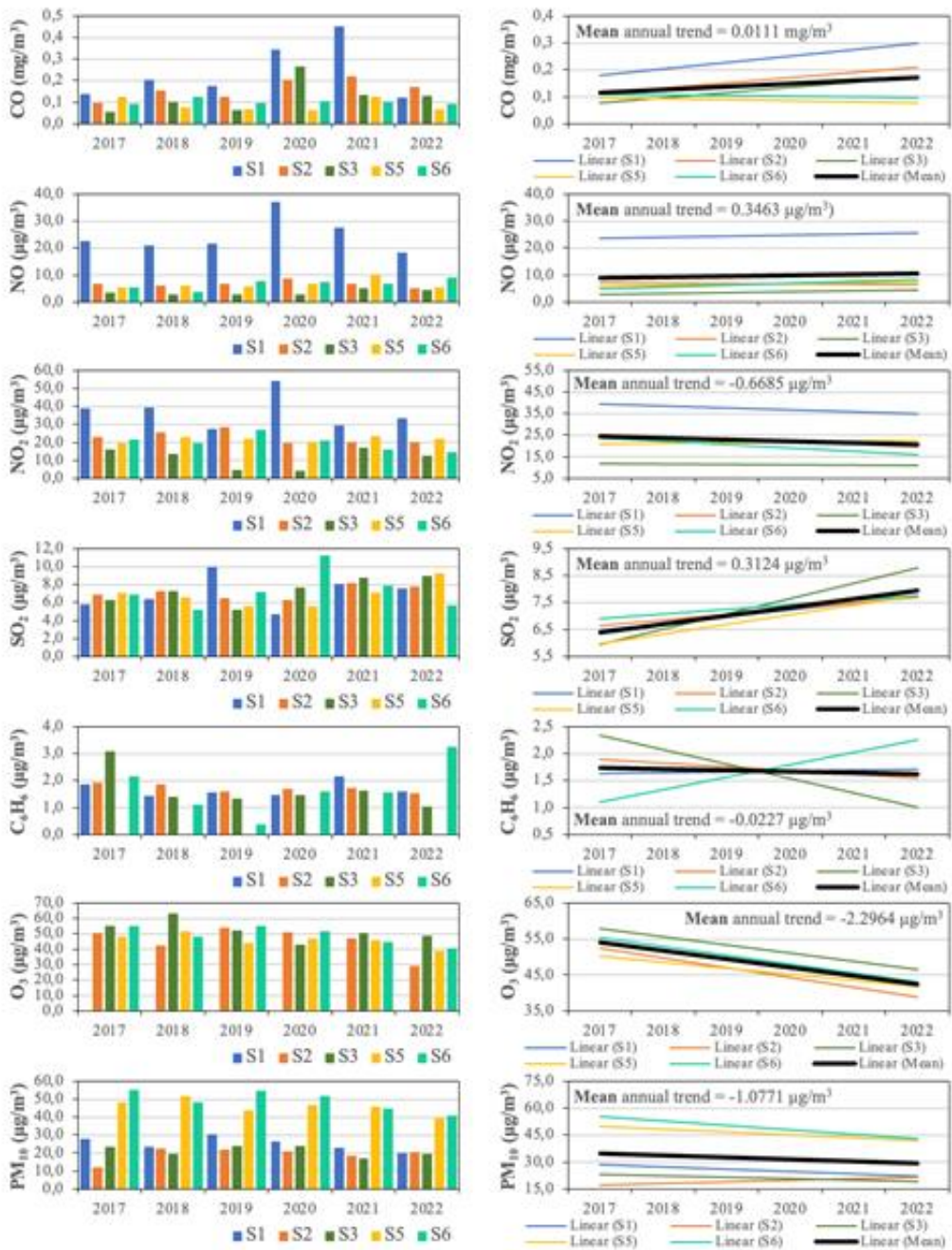


Figure 2. Annual mean concentrations of the main air pollutants and their trends during 2017–2022, at 5 air quality monitoring stations (S) located in the Constanta city area. Note: some data are missing in the case of C₆H₆ (S5) and tropospheric O₃ (S1), for which no air quality data were freely available in the official inventories; the mean linear trend was processed based on the averaged values of all 5 air quality monitoring stations, and the mean annual trend value was extracted from the mean linear trend equation

Regarding sulfur dioxide (SO_2), exhibited a slight increasing trend ($0.3124 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{yr}$), although with minor fluctuations in concentrations between stations. The moderate increase observed in 2022 may be associated with the intensification of industrial activities in Constanta and Navodari following the resumption of economic activities post-pandemic. It is also noteworthy that the industrial station located in Navodari (station S6) recorded the highest annual average concentration of $11.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which was observed in 2020. This elevated value can be explained by the station's proximity to the Petromidia Refinery, the largest and most significant oil processing facility in Romania. Emissions from the refinery, including sulfur dioxide from fossil fuel combustion and specific industrial processes, significantly contributed to the concentrations recorded by this station.

Benzene (C_6H_6), a volatile organic compound and a known carcinogen, monitored by 4 out of the 5 stations, exhibited marked fluctuations, particularly at stations S3 and S6 in the first and last years of the analysis, respectively, both of which are located near the Petromidia Refinery. However, the average trend indicates a slight annual decrease of $0.0227 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tropospheric ozone (O_3), a dangerous pollutant at ground level in the troposphere, revealed an interesting dynamic in recent years. Analyzed at 4 out of the 5 air quality monitoring stations, this gas showed an annual concentration regime with values that do not exhibit significant fluctuations and an average annual trend that is decreasing by $2.2964 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{yr}$. This suggests an improvement in air quality, potentially due to a reduction in its precursors, nitrogen oxides (NO and NO_2), as well as changes in meteorological conditions and pollutant dispersion.

Suspended particulate matter PM_{10} , known for its harmful effects on respiratory health, has shown a moderate decrease over the analyzed period, with an average annual trend of $1.0771 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per year. It is noteworthy that, despite the slight decrease in PM_{10} concentrations, the industrial stations (S5 and S6) in Constanta and Navodari showed relatively high values compared to the other three stations, reflecting the impact of activities carried out by the Petromidia Refinery and Palas Thermal Power Plant, as well as heavy traffic.

The seasonal picture of pollutant dynamics is, as expected, more complex. Fig. 3 illustrates the concentrations of pollutants during the winter season from 2017 to 2022. During winter, air quality in Constanta and Navodari is influenced by a range of factors interacting complexly, from intensified heating activities to the strategic placement of monitoring stations.

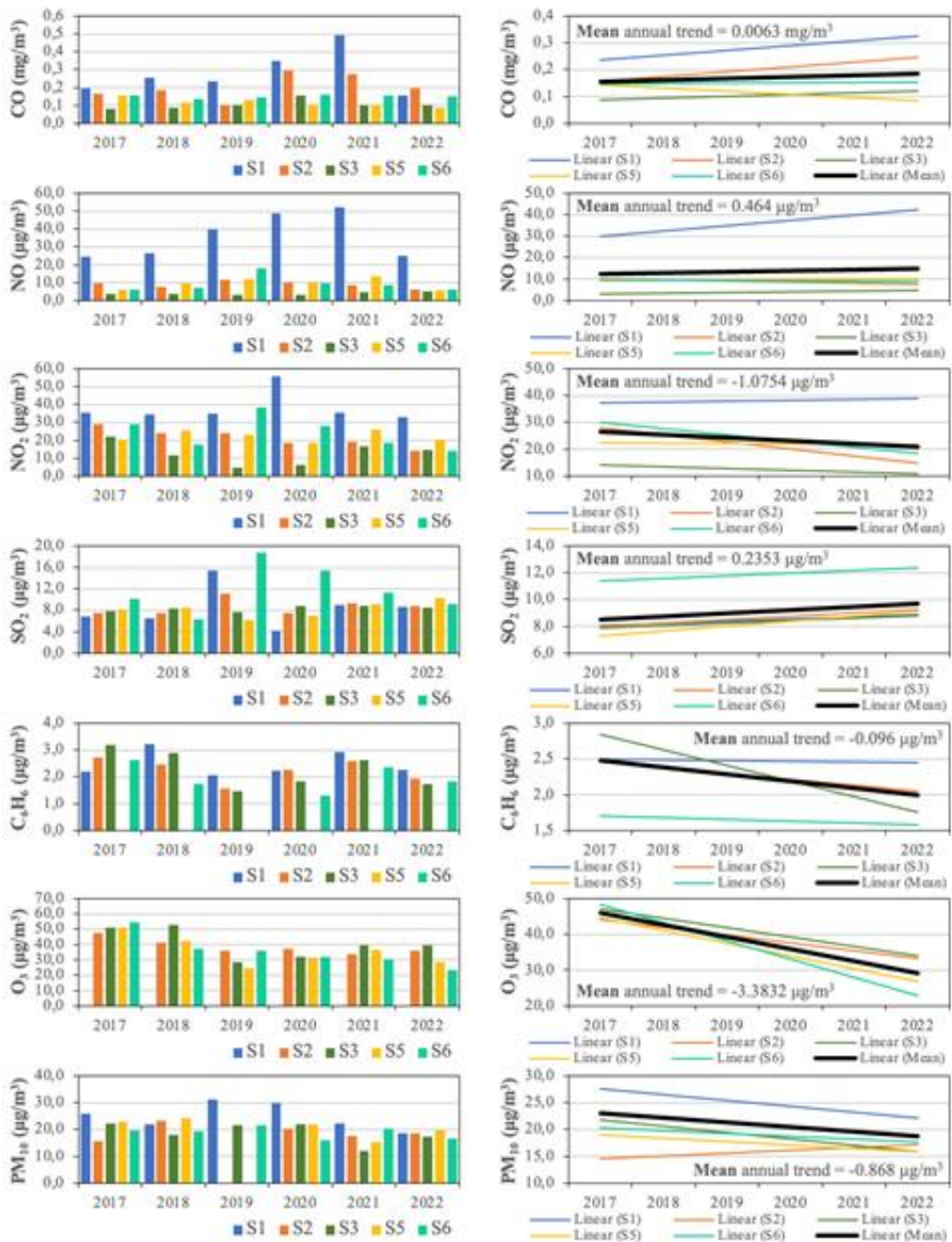


Figure 3. Seasonal (winter) mean concentrations of the main air pollutants and their trends during 2017–2022, at 5 air quality monitoring stations (S) located in the Constanta city area. Note: some data are missing in the case of C₆H₆ (S5) and tropospheric O₃ (S1), for which no air quality data were freely available in the official inventories; the mean linear trend was processed based on the averaged values of all 5 air quality monitoring stations, and the mean annual trend value was extracted from the mean linear trend equation

The concentrations of CO during winter have followed a generally stationary trend, with a seasonal average trend of $0.0063 \text{ mg/m}^3/\text{yr}$. Notably, the graph showing the seasonal regime of pollutant concentrations highlights a significant increase in 2021 at the S1 station, a traffic-type station, where values are higher compared to other stations. This can be explained by the intensive use of fossil fuel-based heating, combined with increased road traffic during the cold period, especially in the city center considering the location of the monitoring station. Additionally, pandemic restrictions, although they reduced general traffic, shifted activity from public transport to private transport, amplifying CO emissions in dense urban areas.

Regarding NO, there is an average seasonal increase of $0.464 \text{ }\mu\text{g/m}^3$, with a notable increase at station S1 in 2021. In 2019 and 2022, average concentrations exceeded the critical threshold of $30 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ established for vegetation protection. Moreover, in 2020 and 2021, values were above the maximum allowable limit of $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ set for human health protection. The upward seasonal trend reflects the impact of emissions from vehicles and, particularly, the intensive use of fossil fuel-based heating sources, while specific winter meteorological conditions limit dispersion and lead to the accumulation of pollutants in the air.

The seasonal regime of NO₂ indicates a constant increase from 2017 until 2020, when the highest value is recorded, $55.87 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ at station S1, exceeding the maximum allowable concentration of $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ for human health protection. This suggests that during the cold season, traffic density and industrial activity significantly contribute to pollution, especially in central areas. Furthermore, the traffic-type station S1 recorded values exceeding the maximum allowable level of $30 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ for vegetation protection each year. In addition to these exceedances at station S1, station S6 also recorded an exceedance of the maximum allowable threshold for vegetation protection in 2019. Since 2021, values have started to gradually decrease, with the average trend showing a decrease of $1.0754 \text{ }\mu\text{g/m}^3/\text{yr}$.

SO₂ exhibits an average increasing trend of $0.2353 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ per year, with higher concentrations during winter closely linked to industrial activities and residential heating. Consequently, the industrial-type station S6, for instance, captures direct SO₂ emissions from industrial burning processes and the use of fossil fuels for heating, intensifying concentrations in the winter season.

C₆H₆ shows fluctuations in average concentrations, but the average trend indicates a slight decrease of $0.096 \text{ }\mu\text{g/m}^3/\text{yr}$. Winter values of O₃ remain low due to unfavorable climatic conditions for its formation—low temperatures and limited sunlight. Thus, this pollutant shows a descending seasonal average trend, decreasing by $3.3832 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ each year.

The average trend of PM₁₀ has moderately decreased during winter, with an average trend of 0.868 µg/m /yr and the average concentration regime of PM₁₀ does not exhibit significant fluctuations. Thus, despite seasonal changes, PM₁₀ concentrations remain relatively stable.

During spring (Fig. 4), some important nuances in pollutant concentrations are also highlighted, influenced by both local factors and the specific climatic dynamics of this season. CO shows a slight increase in the average trend compared to the trend observed during winter, an evolution that may seem paradoxical given the typical expectations for spring when the need for heating decreases. However, this increase can be attributed to intensified road traffic in urban areas, such as near station S1, which recorded a notable peak in 2021 (0.41 mg/m³). During this period, the seasonal transition is marked by increased population mobility and economic activities, generating emissions that may not be efficiently dispersed due to thermal inversions typical of spring.

Spring favors the dispersion of pollutants due to higher temperatures and air circulation, so the average trend of NO concentrations showed a smaller increase compared to that recorded during winter. Nevertheless, traffic in the central area of Constanta, as well as economic activities, cause station S1 to record the most significant fluctuations in concentrations, with some instances exceeding the maximum concentration limit of 30 µg/m³ for vegetation protection.

Spring brings a seasonal decrease in emissions from heating sources, but road traffic remains a major source of NO₂, especially in densely populated urban areas such as those monitored by station S1. At this station, constant exceedances have been recorded each year analyzed, with values exceeding the critical level of 40 µg/m³ for human health protection in 2017, 2018, and 2020. Additionally, a similar concentration was observed in 2019 at station S2. However, specific spring weather conditions, such as stronger winds, can contribute to the dispersion of this pollutant, which partially explains the decreasing trend of 0.7583 µg/m³ per year.

SO₂, known for its impact on acid rain formation, has shown a moderate increase of 0.3958 µg/m³ /yr (Fig. 4). This is more evident in the industrial area monitored by station S6, located near the Petromidia Refinery. In spring, increased industrial activities, combined with specific weather conditions such as marine breezes, contribute to the accumulation of this pollutant in the air. This is particularly relevant for areas where industrial activity is predominant, as milder temperatures can reduce the effectiveness of emission dispersion.

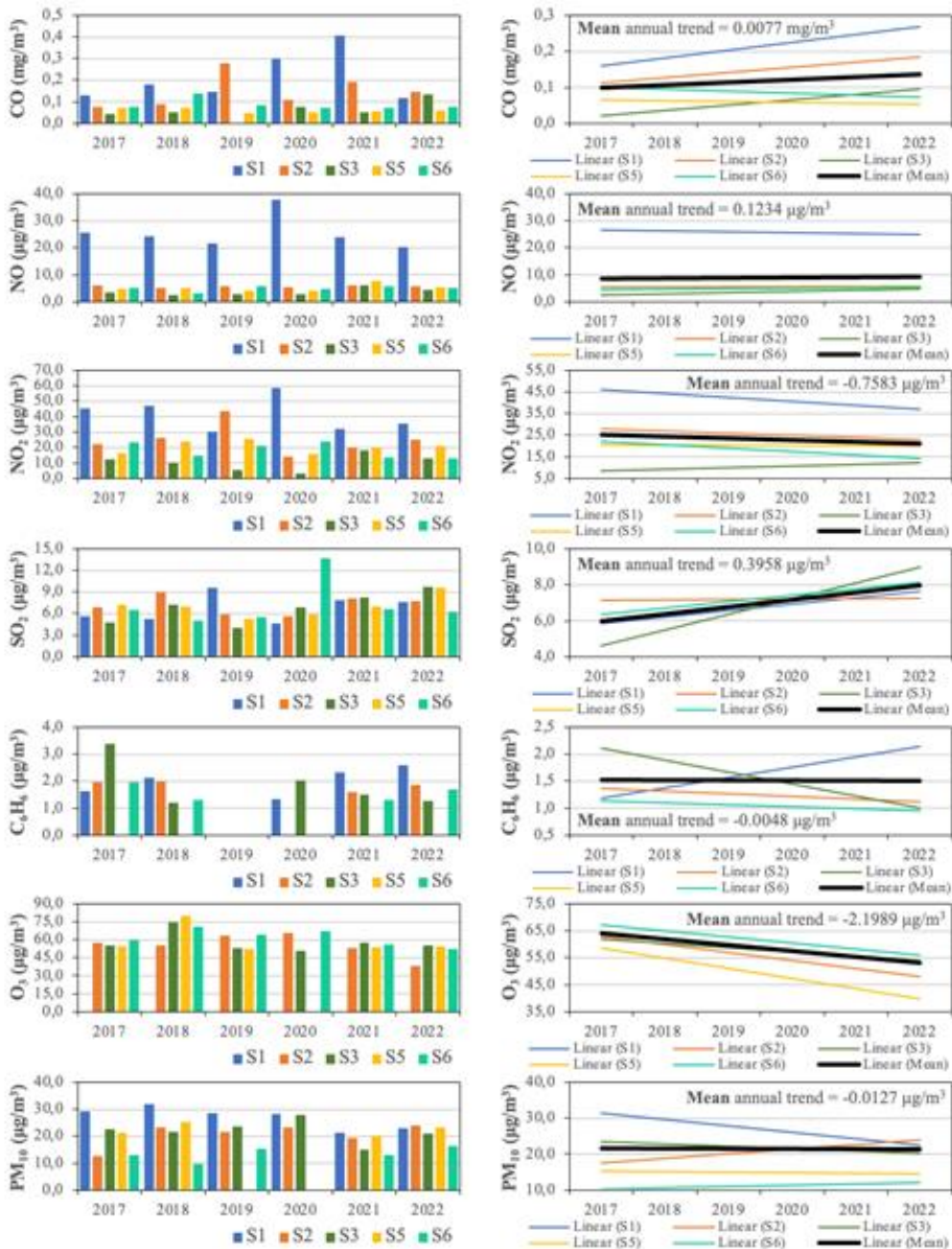


Figure 4. Seasonal (spring) mean concentrations of the main air pollutants and their trends during 2017–2022, at 5 air quality monitoring stations (S) located in the Constanta city area. Note: some data are missing in the case of C₆H₆ (S5) and tropospheric O₃ (S1), for which no air quality data were freely available in the official inventories; the mean linear trend was processed based on the averaged values of all 5 air quality monitoring stations, and the mean annual trend value was extracted from the mean linear trend equation

Fluctuations in C_6H_6 concentrations observed, especially at station S3, indicate the direct influence of nearby industrial sources. In spring, the resumption of industrial activities and increased traffic contribute to higher levels of C_6H_6 , which are significantly captured at these stations, reflecting both local and regional pollution.

The decreasing average trend of O_3 by $2.1989 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /yr suggests a slight improvement in air quality, which may be due to both the decrease in its precursors, nitrogen oxides (NO_x), and seasonal meteorological changes that favor pollutant dispersion. In spring, the intensity of solar radiation combined with higher humidity can influence the formation of ground-level ozone.

PM_{10} shows a relatively stationary average trend compared to the trend recorded during winter. This can be explained by the increase in industrial and construction activities in spring, contributing to temporary increases in concentrations. Meteorological conditions such as spring rains can help reduce particulate matter, but these reductions are temporary and depend on the frequency and intensity of precipitation.

The summer season (Fig. 5) records pollutant concentrations that are generally lower than those in winter but higher than in spring, primarily due to increased traffic and tourist activities. CO concentrations during the summer remain relatively low compared to winter but are closer to those recorded in spring. The average trend for the period 2017-2022 indicates an approximately stationary trend, with a value of $0.0076 \text{ mg}/\text{m}^3$ /yr. During summer, the rise in road traffic typical of the tourist season should increase concentration levels. However, natural dispersion due to marine breezes and higher temperatures reduces CO concentrations compared to the colder months. Stations in Constanta have reported higher values, especially at station S1, a traffic station, reflecting the significant influence of vehicles.

NO shows a significant peak at station S1 in 2020, exceeding the maximum allowable limit of $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the protection of vegetation, reflecting the increase in road traffic during the tourist season. The average trend is rising by $0.504 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per year, indicating a consistent impact from anthropogenic activities, particularly in the context of the growing seasonal population.

During the summer, NO_2 values are lower than those in winter but similar to those in spring, reflecting a slight decrease in residential heating activities and an increase in road traffic. Traffic and urban stations reported higher concentrations, with exceedances of the maximum allowable limits. For example, at station S1 in 2017, 2018, 2022, and at station S2 in 2019 and 2020, NO_2 concentrations exceeded the maximum limit of $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for vegetation protection. Notably, 2020 recorded the highest NO_2 concentration during the entire study period (2017-2022), surpassing the maximum allowable threshold of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for human health protection. However, the

average trend indicates a decrease of $0.4439 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per year (Fig. 5), suggesting a progressive reduction in NO_2 pollution in the area.

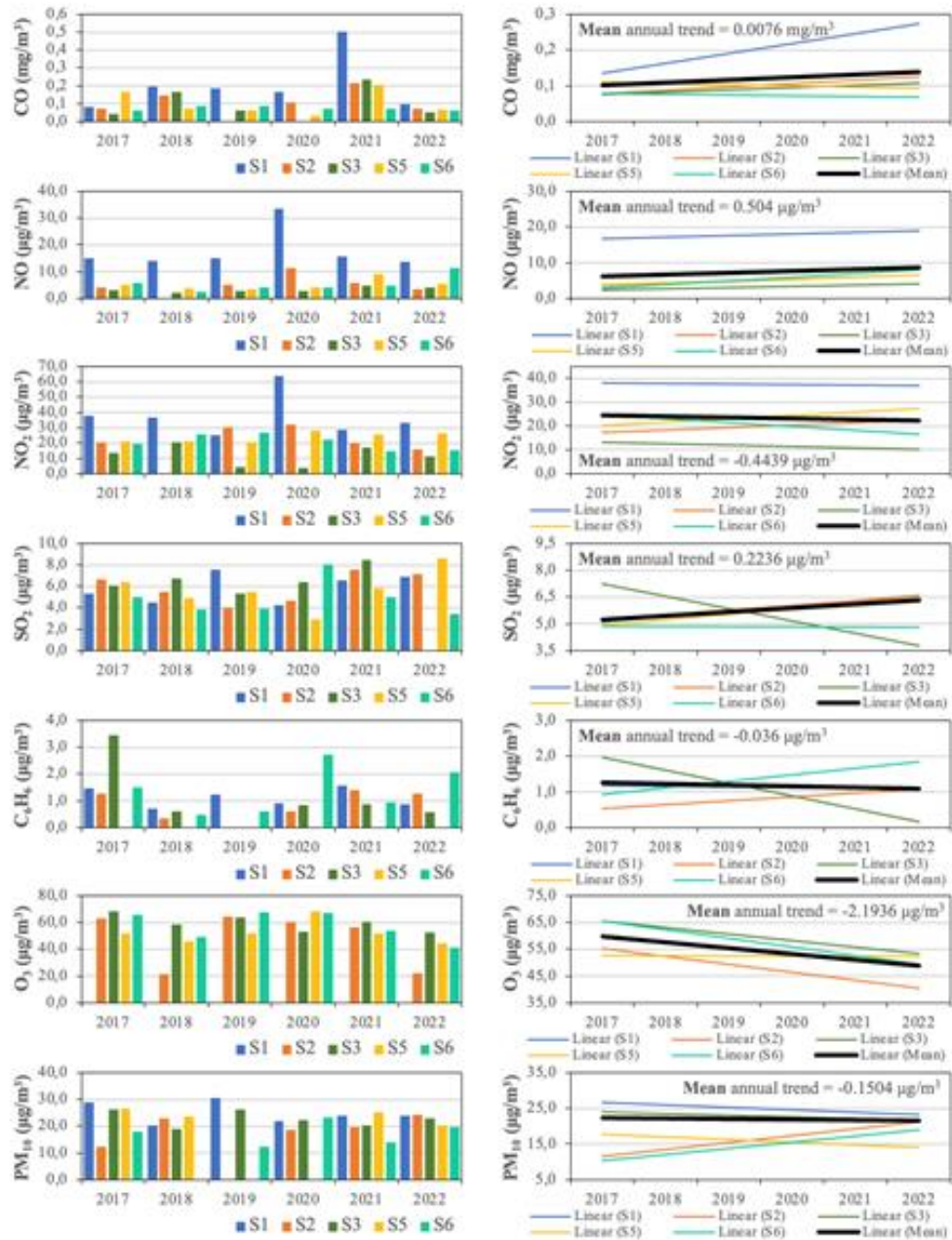


Figure 5. Seasonal (summer) mean concentrations of the main air pollutants and their trends during 2017–2022, at 5 air quality monitoring stations (S) located in the Constanta city area. Note: some data are missing in the case of C₆H₆ (S5) and tropospheric O₃ (S1), for which no air quality data were freely available in the official inventories; the mean linear trend was processed based on the averaged values of all 5 air quality monitoring stations, and the mean annual trend value was extracted from the mean linear trend equation

SO₂ maintains moderate values, but a slight increase is observed in 2022 at stations S3 and S6, located near industrial zones. Industrial activity and increased maritime traffic during the summer may explain these increases. High summer temperatures can limit pollutant dispersion, creating conditions for SO₂ accumulation in the air.

C₆H₆ concentrations are higher at stations located in Navodari (S3 and S6) during the summer due to emissions from the refinery area and increased volatilization at high temperatures. Nevertheless, the average trend is decreasing by 0.036 µg/m³ /yr.

O₃ records the highest values in the summer season due to intensified photochemical reactions at high temperatures. The annual trend indicates a decrease of 2.1936 µg/m³, suggesting a reduction in ozone precursors, such as NO₂, but it remains a significant pollutant during the summer.

PM₁₀ shows the highest concentrations at the traffic station S1, likely due to the intense traffic during the summer season. The average trend shows a decrease of 0.1504 µg/m³ per year, but the summer season continues to be marked by significant particulate pollution. Nonetheless, meteorological conditions, such as sea breezes, can favor the dispersion of these particles.

Autumn (Fig. 6) typically brings more humid weather and lower temperatures, which can influence pollutant dispersion. It is also a transitional season for industrial and tourist activities.

Regarding CO, the graphs indicate higher variability at the traffic station S1 and the suburban station S3 in Navodari, but with generally lower values compared to other seasons. Reduced traffic activity outside the tourist season and cooler temperatures contribute to decreased CO emissions. The average trend shows a slight increase of 0.0115 mg/m³ /yr, which can be associated with increased use of fossil fuels as the transition to the colder season occurs.

NO shows a slight decrease compared to the values recorded in the summer. This reduction can be explained by the drop in temperatures and tourist traffic, leading to a reduction in direct vehicle emissions. Additionally, the onset of the cold season favors better dispersion of pollutants due to more stable atmospheric conditions and more frequent winds. The average trend, however, indicates a slight increase of 0.0179 µg/m³ per year.

NO₂ concentrations follow a similar trend to NO, showing a decrease compared to the summer. This is due to both the reduction in traffic and more favorable dispersion conditions, including lower temperatures and increased frequency of precipitation. Overall, NO₂ concentrations remain low, but station S1 still shows exceedances of the maximum permissible limit for vegetation protection in 2017, 2018, and 2020. The average trend indicates a decrease of 1.0255 µg/m³ per year (Fig. 6).

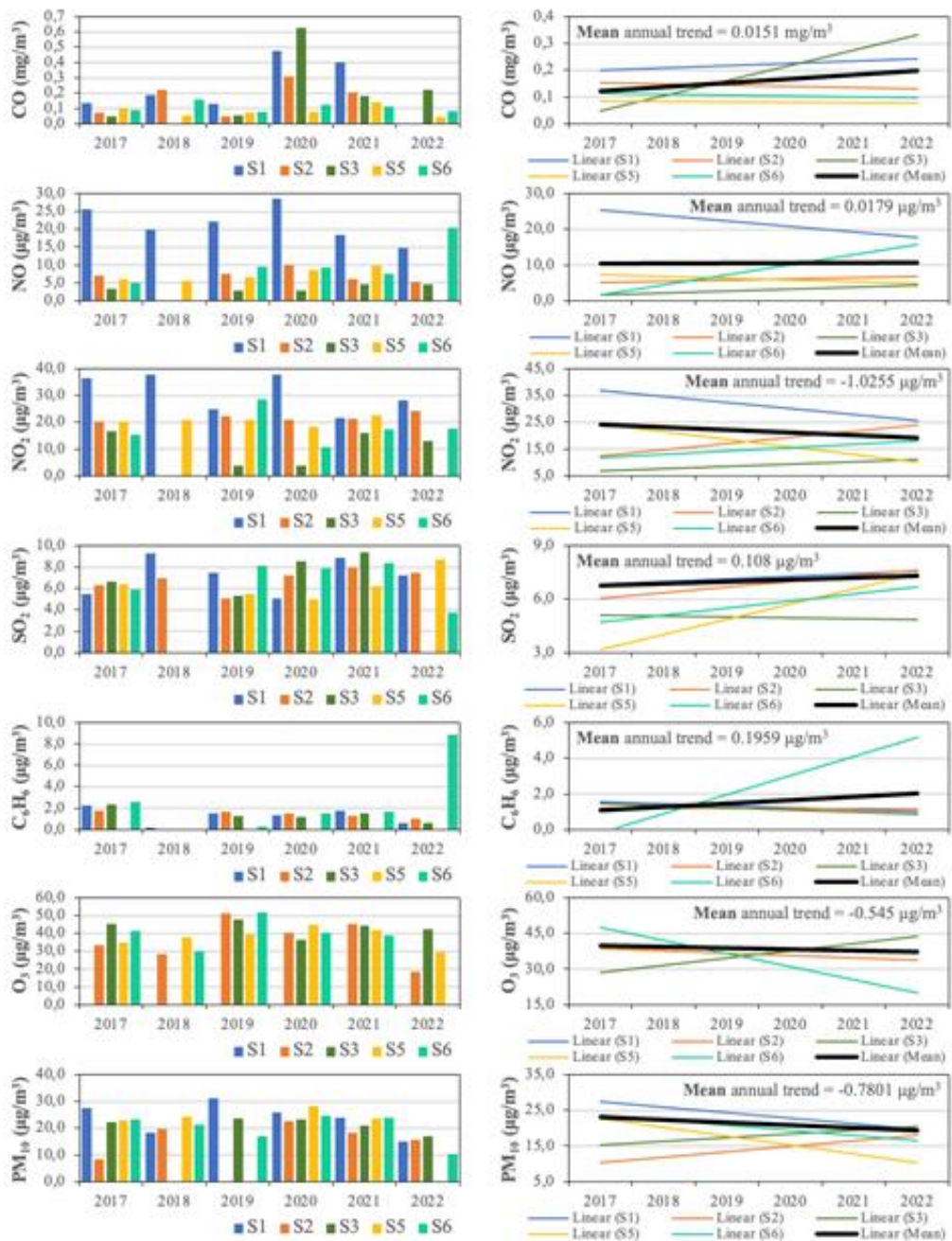


Figure 6. Seasonal (autumn) mean concentrations of the main air pollutants and their trends during 2017–2022, at 5 air quality monitoring stations (S) located in the Constanta city area. Note: some data are missing in the case of C₆H₆ (S5) and tropospheric O₃ (S1), for which no air quality data were freely available in the official inventories; the mean linear trend was processed based on the averaged values of all 5 air quality monitoring stations, and the mean annual trend value was extracted from the mean linear trend equation

SO₂ shows slight increases compared to summer. Industrial sources, such as the Palas Thermal Power Plant and the Petromidia refinery, continue to influence the values of this pollutant at the beginning of the heating season, but the gradual cooling of the weather and more frequent winds help disperse emissions.

C₆H₆ exhibits little variation during autumn, remaining at similar levels, except for the autumn of 2022, which recorded a peak likely due to intensified industrial activities near station S6. Additionally, C₆H₆ shows a slightly upward trend, increasing by 0.1959 µg/m³ /yr.

O₃ decreases significantly compared to summer, as light intensity and temperature drop, thereby reducing the photoreactions that form ground-level ozone. This makes autumn a season with a lower risk of O₃ pollution compared to summer, and the average trend shows a slight decrease of 0.545 µg/m³ per year.

A slight increase is also observed in PM₁₀ concentrations, with the highest values still recorded at the traffic station S1, reaching a maximum of 30.68 µg/m³. The average trend shows a decrease of 0.1504 µg/m³ /yr.

Discussions

Air pollution and the deterioration of air quality are major issues in modern cities, and Constanta is no exception. Given the specifics of this city, located on the coast and characterized by heavy road traffic, significant industrial activities, and pronounced seasonal tourism, pollution sources can be classified into two main categories: stationary sources and mobile sources. (Panaitescu et al, 2020).

The Palas Thermal Power Plant (Fig. 1d), located in the southwestern part of Constanta, is one of the main stationary sources of pollution in the city. It uses fossil fuels such as coal and oil to generate thermal and electrical energy, and the burning of these fuels releases pollutants into the atmosphere, including nitrogen oxides, sulfur dioxide, and particulate matter, significantly contributing to air pollution.

Additionally, the Petromidia Refinery (Fig. 1d), the largest refinery in Romania, situated in Navodari, northwest of Constanta, represents another major stationary source of pollution. The oil refining activities carried out here produce significant emissions of sulfur dioxide, nitrogen oxides, and volatile organic compounds, and through its distillation processes, dangerous pollutants such as benzene can be released into the air.

Furthermore, Constanta hosts various industries, including metal processing, chemical, and textile factories, which contribute to atmospheric pollution through the emission of sulfur dioxide, nitrogen oxides, volatile organic compounds, and particulate matter. Specific industrial processes, such

as metal casting or processing, often generate metallic dust and toxic chemical compounds.

In addition to these, waste treatment facilities in Constanta represent another stationary source of pollution. Methods such as incineration and composting of municipal waste produce emissions of gases, including carbon dioxide and nitrogen oxides, along with particulate matter, which impact the air quality in the area.

Road traffic proves to be the primary mobile source of pollution. Vehicles traveling around the city contribute to the emissions of nitrogen oxides, volatile hydrocarbons, and particulate matter generated through the combustion of fuels in engines. In this study, nitrogen oxides (NO and NO₂) have recorded exceedances of the maximum permissible concentrations. These pollutants are known for their adverse health effects, including irritation of the eyes, nose, and throat, and can exacerbate allergic and asthmatic symptoms (Latza et al., 2009). For example, research has demonstrated that individuals exposed to high levels of atmospheric pollutants face an increased risk of developing bronchial asthma, characterized by inflammation and narrowing of the airways, and COPD, a chronic condition that reduces airflow and causes breathing difficulties (Manoiu et al, 2018). Additionally, nitrogen oxides significantly contribute to the formation of photochemical smog (Colbeck and MacKenzie, 1994), a harmful mixture of atmospheric pollutants, and to acid rain, which can damage aquatic and terrestrial ecosystems, affecting biodiversity and soil health. Moreover, the layout and structure of the city's streets, particularly the major boulevards such as Tomis, Mamaia, Alexandru Lapusneanu, and I.C. Bratianu, significantly influence atmospheric pollution levels, a factor with a direct impact on residents' health and quality of life.

Some large boulevards existing along the city, such as Tomis, Mamaia, Alexandru Lapusneanu, and I.C. Bratianu are the main thoroughfares of the city, playing a crucial role in managing traffic flow. These streets are heavily trafficked, serving as key routes for both locals and tourists. For instance, Boulevard Mamaia, which runs parallel to the coastline, experiences high traffic volumes, especially during the tourist season, leading to significant emissions of pollutants such as carbon dioxide, nitrogen oxides, and particulate matter. Similarly, Boulevard I.C. Bratianu, acting as a major entry point into the city from the A2 Motorway, handles a large volume of traffic, thus contributing to elevated pollutant concentrations in the air.

The layout and orientation of the streets in Constanta significantly affect how air circulates and, consequently, the distribution of atmospheric pollutants. For example, Boulevard Mamaia benefits from maritime air currents, which can aid in dispersing pollutants. In contrast, on Boulevards Tomis and Lapusneanu, where buildings are tall and closely spaced, air

circulation is obstructed, creating urban microclimates. In these areas, pollutants can accumulate, increasing the risk of exposure to poor air quality.

Maritime transportation is another significant mobile source of pollution. The largest port on the Black Sea, Port of Constanta (Fig. 1d), hosts a variety of vessels that use diesel engines and other types of propulsion, emitting various hazardous pollutants.

In the end, the results of this study should be interpreted with caution, considering that this analysis was based on a relatively short data series, covering only the period from 2017 to 2022. This limitation is due to the availability of pollution data, which is only freely accessible for this period. While the available data provides an initial insight into trends in pollutant concentrations, the relatively short time frame may not be sufficient to clearly detect and characterize all long-term patterns.

Given this limitation, our study did not use some more appropriate methods for quantifying the magnitude and statistical significance of pollution trends, such as the Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975) and *Sen's slope* estimator (Sen, 1968; Gilbert, 1987; Salmi et al., 2002), which require longer environmental data series. Therefore, future research is recommended to use more extensive data series over longer periods, which would allow the application of more robust statistical methods, such as the Mann-Kendall test and *Sen's Slope* procedure. The integration of more extended datasets would contribute to a more robust assessment of trends and help achieve more solid conclusions regarding the medium and long-term dynamics of air pollution.

Conclusions

Based on the statistical data investigated, it seems that the Constanta city area has not experienced a clear intensification of pollution conditions in recent years. The annual and seasonal analysis of major air pollutants reveals significant variations, potentially driven by climatic factors and local emission sources, suggesting that air quality issues are largely seasonal and localized. It is important to note that, in terms of mean concentrations, most pollutants concentrations were observed below the maximum permissible limits, indicating relatively acceptable air quality, even in the context of seasonal variations. However, the only exceptions were observed for nitrogen oxides (NO and NO₂), where exceedances of the maximum allowed concentrations were noted.

On the annual timescale, Constanta exhibits significant variations in air quality, influenced by potential factors such as industrial activity, road traffic, weather conditions, and the intensity of tourism activities. During the whole year, the concentrations of atmospheric pollutants show significant fluctuations, while the average annual trends highlight predominantly decreases, which may indicate an improvement in air quality. However,

nitrogen oxides register persistent excesses of the maximum allowed concentrations, indicating a consistent level of pollution that is not limited to a certain season, but is maintained throughout the year.

The seasonal analysis of air pollutants in the studied area reveals distinct results, with each season contributing uniquely to the overall pollution profile. Winter is marked by high levels of SO₂, CO, NO_x, and PM₁₀, most likely due to increased heating and industrial activities, combined with temperature inversions that potentially hinder pollutant dispersion. Spring brings a gradual reduction in CO and SO₂, likely owing to decreased heating demands, along with a slight increase in O₃ as solar radiation intensifies. Summer sees the highest O₃ levels, most probably as a result of strong photoreactions. However, improved dispersion conditions during summer potentially reduce other pollutants like CO, SO₂, and PM₁₀. In autumn, industrial activities and heating likely lead to moderate increases in CO and SO₂, while O₃ levels decrease as solar radiation weakens, indicating a probable balance between the seasonal drivers of air quality. Average trends show both increases and decreases in pollutant concentrations.

All this picture of anthropogenic gas concentrations revealed that Constanta city area did not recorded severe trends of pollution intensification in recent years, but rather experienced some important annual and seasonal fluctuations in air quality. However, the positive trends of atmospheric pollutants, detected in many cases in this research, require adaptive monitoring and management strategies to prevent negative impacts on public health and the environment.

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

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

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

References:

1. AEPC. (2024). Monthly average concentrations of CO, NO, NO₂, SO₂, C₆H₆, O₃ and PM₁₀, *Agency for Environmental Protection Constanta*, retrieved August 11, 2024, from <http://www.anpm.ro/web/apm-constanta/rapoarte-lunare1>.
2. Anton C. (2021). Disadvantages of Developing Mass Tourism in Constanta (Romania), *Journal of Tourism & Hospitality*, S5: 001, DOI: 10.35248/2167-0269.21.
3. Chen Z.-Y., Petetin H., Méndez Turrubiates R.F., Achebak H., Garcia-Pando C.P., Ballester J. (2024). Population exposure to multiple air

- pollutants and its compound episodes in Europe, *Nat Commun* 15, 2094, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46103-3>.
4. Colbeck I., MacKenzie A. R. (1994). Air pollution by photochemical oxidants, Netherlands.
 5. Contini D., Costabile F. (2024). Air Pollution, Health Effects Indicators, the Exposome, and One Health, *Atmosphere* 15, no. 5: 618, <https://doi.org/10.3390/atmos15050618>.
 6. Cracu G.-M., Schwab A., Prefac Z., Popescu M., Sîrodoev I. (2024). A GIS-based assessment of pedestrian accessibility to urban parks in the city of Constanța, Romania, *Applied Geography*, Volume 165, 103229, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103229>.
 7. Farhan A., Imtiaz A., Shazia K, Saira A. (2022). The environmental impact of industrialization and foreign direct investment: empirical evidence from Asia-Pacific region. *Environmental Science and Pollution Research*, 29. 1-15. 10.1007/s11356-021-17560-w., DOI: 10.1007/s11356-021-17560-w.
 8. Gaur N., Sharma S., Yadav N. (2024). Chapter 2 - Environmental pollution, Editor(s): Vinod Kumar Garg, Anoop Yadav, Chandra Mohan, Sushma Yadav, Neeraj Kumari, In *Advances in Green and Sustainable Chemistry, Green Chemistry Approaches to Environmental Sustainability*, Elsevier, Pages 23-41, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18959-3.00010-0>.
 9. Gilbert R. O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*, Van Nostrand Reinhold, New York.
 10. Kendall M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*, fourth ed. Charles Griffin, London.
 11. Latza U., Gerdes S., Baur X. (2009). Effects of nitrogen dioxide on human health: Systematic review of experimental and epidemiological studies conducted between 2002 and 2006, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Volume 212, Issue 3, Pages 271-287, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2008.06.003>.
 12. Mahler B., Băiceanu D., Panciu T. C., Florea R. M., Iorga A. L., Gnat M., German C. F., Pârvu S., Paraschiv D., Manea D., Mihai M., Ibraim E., Timar B., Mihălțan F. D. (2023). Air Pollutants and Their Impact on Chronic Diseases—A Retrospective Study in Bucharest, Romania, *Atmosphere* 14, no. 5: 867, <https://doi.org/10.3390/atmos14050867>.
 13. Mann H. B. (1945). Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13, 245–259.
 14. Manoiu V.-M., Tiscovschi A.A., Craciun A.-I. (2018). A Deep Dive into the Chronic Air Pollution Reality in Baia Mare. Part III: Air Pollution Effects on the Local Population between 1980 and 2006,

- INTCESS 2018- 5th International Conference on Education and Social Sciences, February 5-7, 2018, Istanbul, Turkey, ISBN: 978-605-82433-2-3, ISI Conference Abstracts and Proceedings: http://www.ocerint.org/intcess18_e-publication/papers/167.pdf.
15. Nica M.-A., Costache M.-S., Marin M.-I., Mănoiu V.-M, (2024). A Review of Water Pollution in Israel and Palestine, *European Scientific Journal*, *ESJ*, 20(18), 285. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p285>.
 16. NIS. (2024). Statistical data regarding tourism in 2023, *National Institute of Statistics*, retrieved August 18, 2024, from https://constanta.insse.ro/wp-content/uploads/2024/04/comunicatDJSCT_nr4_2024_TurismAn2023.pdf.
 17. Panaitescu M., Panaitescu F.-V., Panait C., Bardasu O., Merla V.-A. (2020). Assessment and risk prevention of air pollution in urban sites, *E3S Web of Conferences*, 180. 04014, DOI: 10.1051/e3sconf/202018004014.
 18. Partene G-C., Simion D., Ionescu S., Nicolae F., Cotorcea A. (2023). Analysis of maritime container traffic in the ports of the Black Sea basin, *International Conference of Management and Industrial Engineering*, 11, 139–146. <https://doi.org/10.56177/11icmie2023.20>.
 19. Population HUB. (2024). List of cities in Romania 2024, retrieved August 18, 2024, from <https://population-hub.com/en/ro/list-of-cities-in-romania-by-population.html>.
 20. Rata V., Rusu L. (2019). Air pollutant products resulting from port activity of ships in Constanta harbour, 10.5593/sgem2019/4.1/S19.104, DOI: 10.5593/sgem2019/4.1/S19.104.
 21. Rentschler J., Leonova N. (2023). Global air pollution exposure and poverty, *Naure Communications* 14, 4432, <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39797-4>.
 22. Salmi T., Maatta A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann–Kendall Test and Sen's Slope Estimates – The Excel Template Application Makesens, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.
 23. Sen P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau, *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389.
 24. Sicard P., Agathokleous E., Anenberg S.C., Alessandra De Marco, Paoletti E., Calatayud V. (2023). Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective, *Science of The Total*

- Environment*, Volume 858, Part 2,
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064>.
25. Song S.-K., Shon Z.-H., Moon S.-H., Lee T.-H., Kim H.-S., Kang S.-H., Park G.-H., Yoo E.-C. (2022). Impact of international Maritime Organization 2020 sulfur content regulations on port air quality at international hub port, *Journal of Cleaner Production*, Volume 347, 131298, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131298>.
 26. Tiscovschi A.A. (2005). Climate and air pollution in Southern Dobrogea (in Romanian), *Univeristy Publishing House*, Bucharest, Romania.
 27. Ukaogo P.O., Ewuzie U., Onwuka C.V. (2020). 21 - Environmental pollution: causes, effects, and the remedies, Editor(s): Pankaj Chowdhary, Abhay Raj, Digvijay Verma, Yusuf Akhter, *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, Elsevier, Pages 419-429, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>.
 28. Vohra A., Vodonos A., Schwartz J., Marais E.A., Sulprizio M.P., Mickley L.J. (2021). Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem, *Environmental Research*, Volume 195, 110754, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>.
 29. WPR. (2024). Demographic statistical data of Romanian cities, retrieved August 18, 2024, from <https://worldpopulationreview.com/cities/romania/constantia>.
 30. Zhu Z., Qiao Y., Liu Q., Lin C., Dang E., Fu W., Wang G., Dong J. (2021). The impact of meteorological conditions on Air Quality Index under different urbanization gradients: a case from Taipei. *Environ Dev Sustain* 23, 3994–4010, <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00753-7>.

Evaluación del Balance de Carbono en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Basada en Humedales Artificiales

Mejía Peralta Fernanda Estefanía

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción, carrera de Ingeniería Civil. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

Vicent Benedito Durá

Carmen Hernández Crespo

IIAMA (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universitat Politècnica de València, España

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p25](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p25)

Submitted: 13 August 2024

Accepted: 20 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mejía Peralta, F. E., Vicent Benedito, D., & Hernández Crespo, C. (2024). *Evaluación del balance de carbono en una planta de tratamiento de aguas residuales basada en humedales artificiales*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 25.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p25>

Resumen

Los humedales artificiales han demostrado su utilidad en el tratamiento de aguas residuales siendo herramientas claves en las acciones para mitigar el cambio climático al actuar como sumideros de carbono. No obstante, esta capacidad de captura se ve contrarrestada por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas durante los procesos bacterianos de descontaminación que ocurren en el sustrato de los humedales. Por lo tanto, es crucial establecer un balance de carbono que considere el carbono capturado por la vegetación a través de fitodepuración y el sustrato, frente a los GEI emitidos, los cuales son expresados en términos de CO₂ equivalente (CO₂e), considerando el potencial de calentamiento global a 100 años. En este estudio, el balance incluye las emisiones directas de CH₄ y N₂O, así como las emisiones indirectas de N₂O, calculadas utilizando la metodología del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Las emisiones de CO₂ no biogénico fueron despreciadas, y el CO₂ biogénico no fue considerado como GEI. Se evaluaron dos alternativas de tratamiento de aguas residuales utilizando humedales artificiales de flujo subsuperficial

horizontal (HAFSsH) y de flujo vertical (HAFSsV) como tratamiento biológico secundario: i) Pretratamiento + Tanque Imhoff + HAFSsH; y ii) Pretratamiento + Tanque Imhoff + HAFSsV. Ambas alternativas incluyen un HAFSsV para el tratamiento de fangos primarios. El balance de carbono se calculó para evaluar la capacidad de los humedales artificiales tanto de forma independiente como dentro de un sistema integral de tratamiento de aguas residuales. Los resultados demostraron que, en ambas tipologías de humedales, la fijación de carbono supera a las emisiones de GEI, permitiéndoles funcionar como sumideros de carbono. Notablemente, el HAFSsV fue más eficiente en la captura de carbono por unidad de área de implantación en comparación con el HAFSsH, considerando estándares similares de calidad del agua efluente. Por otro lado, el sistema integral de tratamiento de aguas residuales resultó ser una fuente neta de carbono, siendo los tanques Imhoff los principales responsables de las emisiones de CO₂e en ambas alternativas evaluadas. Se recomienda investigar alternativas de tratamiento de aguas residuales que permitan prescindir de las unidades de tratamiento primario, con el objetivo de que el sistema integral funcione como un sumidero de carbono, logrando una mayor eficiencia tanto en la depuración del agua como en la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Humedales artificiales, tratamiento, aguas residuales, gases efecto invernadero, balance de carbono, metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, sumidero

Evaluation of the Carbon Balance in a Wastewater Treatment Plant Based on Artificial Wetlands

Mejía Peralta Fernanda Estefanía

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción, carrera de Ingeniería Civil. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador

Vicent Benedito Durá

Carmen Hernández Crespo

IIAMA (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universitat Politècnica de València, España

Abstract

Constructed wetlands have demonstrated their usefulness in wastewater treatment as key tools in climate change mitigation actions by acting as carbon sinks. However, this capture capacity is offset by greenhouse gas (GHG) emissions generated during the bacterial decontamination

processes that occur in the wetland substrate. Therefore, it is crucial to establish a carbon balance that considers the carbon sequestered by the vegetation through phytodegradation and the substrate versus the GHG emitted, which are expressed in terms of CO₂ equivalent (CO₂e), considering the 100-year global warming potential. In this study, the balance includes direct CH₄ and N₂O emissions, as well as indirect N₂O emissions, calculated using the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Non-biogenic CO₂ emissions were disregarded, and biogenic CO₂ was not considered as a GHG. Two wastewater treatment alternatives were evaluated using horizontal subsurface flow (HAFSSh) and vertical flow (HAFSSv) constructed wetlands as a secondary biological treatment: i) Pretreatment + Imhoff Tank + HAFSSh; and ii) Pretreatment + Imhoff Tank + HAFSSv. Both alternatives include a HAFSSv for primary sludge treatment. The carbon balance was calculated to evaluate the capacity of constructed wetlands both independently and within an integrated wastewater treatment system. The results showed that in both wetland typologies, carbon sequestration exceeds GHG emissions, allowing them to function as carbon sinks. Notably, HAFSSv was more efficient in carbon sequestration per unit area of implantation compared to HAFSSh, considering similar effluent water quality standards. On the other hand, the integrated wastewater treatment system turned out to be a net source of carbon, with the Imhoff tanks being the main responsible for CO₂e emissions in both alternatives evaluated. It is recommended to investigate wastewater treatment alternatives that make it possible to dispense with the primary treatment units, so that the integrated system can function as a carbon sink, achieving greater efficiency in both water purification and climate change mitigation.

Keywords: Constructed wetlands, treatment, wastewater, greenhouse gases, carbon balance, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, sink

Introduction

Un ecosistema se basa en la interacción de diversas especies, desde micro y macroinvertebrados, macrófitas hasta microorganismos, los cuales son esenciales para mantener un equilibrio funcional. La especie humana forma parte de este ecosistema; sin embargo, sus actividades antrópicas alteran los usos del suelo en las cuencas que alimentan los cuerpos de agua, degradando las capas naturales del suelo y reemplazándolas con grandes extensiones de campos agrícolas, ganaderos, y áreas urbanas. Este cambio en el uso del suelo aumenta la descarga de aguas residuales, tanto tratadas como sin tratar, en los medios acuáticos y reduce la capacidad de los sumideros naturales de carbono (IPCC, 2019). Como resultado, el planeta enfrenta un incremento del calentamiento global, ya que la capacidad del ecosistema para

absorber las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por estas actividades se ve cada vez más comprometida. Expertos en calentamiento global han informado que se estima que las actividades humanas han provocado un aumento de la temperatura global de aproximadamente 1.0 °C en comparación con los niveles preindustriales, con un rango probable de entre 0.8 °C y 1.2 °C. Además, se proyecta que el calentamiento global podría alcanzar 1.5 °C (alta confianza) entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2018), incluso se identifican puntos críticos en los que este incremento podría llegar hasta 2.5 °C (confianza media) (IPCC, 2022).

Dentro de las acciones para mitigar la contaminación por descarga de aguas residuales, se han desarrollado diversas tecnologías conformadas por líneas de tratamiento de agua y tratamiento de fangos. La línea de tratamiento de agua consta de un sistema de pretratamiento (enrejados, canal de sedimentación, y atrapa grasas), el cual impide el paso de sólidos flotantes y sedimentables de mayor a menor tamaño hacia el tratamiento primario (Ferrer Polo & Seco Torrecillas, 2005). El tratamiento primario está conformado por elementos como fosas sépticas, tanques Imhoff, y sedimentadores primarios, disminuyendo la concentración de sólidos suspendidos en el agua residual mediante procesos físicos, produciendo un efluente clarificado, y una leve reducción de contaminantes biodegradables debido a la remoción de sólidos con contenido de materia orgánica (CEDEX, 2010). Esta reducción de la concentración de sólidos sedimentables es fundamental para evitar problemas de colmatación en las etapas sucesivas del tratamiento (Salas et al., 2007).

El tratamiento secundario descontamina el agua residual mediante procesos biológicos para la oxidación de contaminantes biodegradables; para esto se han desarrollado sistemas intensivos con suministros externos de oxígeno y extensivos, los cuales son sistemas que imitan la capacidad de la naturaleza para depurar el agua (García & Corzo, 2008). En ambos casos, se han reportado altos rendimientos de eliminación de materia orgánica (DBO₅), DQO, componentes nitrogenados (NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N) y eficiencias moderadas de remoción de PO₄³⁻ y SO₄²⁻ (CEDEX, 2010 y Dotro et al., 2017). Como etapa final de esta línea de tratamiento, está el tratamiento terciario, generalmente conformado por unidades de radiación UV, filtros de arena fina, y humedales artificiales con el objetivo de eliminación de patógenos. Paralelamente, la línea de tratamiento de fangos digiere y deshidrata los lodos generados por los tratamientos primario y secundario. Los elementos que conforman cada una de las líneas y etapas del tratamiento obedecen a las características de la población de servicio como demografía, disponibilidad de energía, localidad urbana o rural y a la índole del agua residual. Sin embargo, independientemente de las combinaciones de tecnologías, el objetivo es cumplir con los límites de vertido establecidos por la normativa ambiental vigente y aplicable a la zona de influencia.

Como resultado de los procesos microbiológicos de degradación de los contaminantes nitrogenados (nitrificación y desnitrificación) que tienen lugar en el cuerpo receptor, se producen emisiones de óxido nitroso (N_2O), estas emisiones se conocen como “indirectas”, ya que son consecuencia de los contaminantes que no han sido eliminados en la depuración de las aguas residuales, y se producen fuera de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Además de las emisiones indirectas, existen las emisiones directas producidas principalmente en las líneas de tratamiento primario y secundario de la línea de aguas, y en los elementos de digestión y deshidratación de la línea de fangos, producto de los procesos microbiológicos en ambientes aerobios, anóxicos, e incluso anaerobios (dependiendo el tipo de elemento de tratamiento), que degradan la materia orgánica y nutrientes. Estos procesos como la metanogénesis generan CH_4 como producto final, y N_2O de la nitrificación y desnitrificación. Estos gases son considerados de efecto invernadero (GEI) con un potencial de calentamiento global (PCG) de 28 y 265 veces al del CO_2 , respectivamente (IPCC, 2014). En lo que respecta a las emisiones de CO_2 generadas por los procesos bacterianos en la descontaminación de aguas residuales, estas no se consideran en el cálculo de emisiones de GEI, ya que son de origen biogénico (IPCC, 2013). Las fuentes biogénicas no contribuyen al cambio climático (Garfí et al., 2017).

Las emisiones de GEI en el tratamiento primario se debe a que estos elementos al ser constituidos, en general, por profundidades altas, cuentan con zonas anaerobias sumada a la disponibilidad de materia orgánica, se propician procesos químicos de degradación como la metanogénesis, convirtiendo a estos elementos como puntos importantes de emisión de CH_4 (IPCC, 2006). Similarmente, en la línea de fangos, los procesos de digestión tienen lugar en ambientes anaerobios y los fangos provenientes principalmente del tratamiento primario, contienen alta concentración de materia orgánica (Dotro et al., 2017).

El tratamiento secundario de la línea de aguas cumple un papel fundamental tanto en la calidad final del efluente de la PTAR, como en la emisión de GEI. Existen diversas alternativas de tratamiento, como lo sistemas intensivos, los cuales idealmente funcionan de manera controlada y con altos niveles de eficiencia de descontaminación, utilizando fuentes externas de oxígeno como los difusores de O_2 , para potenciar las cinéticas de oxidación de la materia orgánica y nitrógeno Kjeldahl (NKT). Existen variantes de estos elementos en las que se generan periodos anóxicos con el fin de propiciar la desnitrificación como último proceso de eliminación de nitrógeno, produciendo altas tasas de emisión de N_2O (Ferrer Polo & Seco Torrecillas, 2005). En estos sistemas con aporte externo de O_2 , la producción de CH_4 es menor a la de CO_2 de origen biogénico (no considerado como GEI); por lo tanto, el N_2O es la principal fuente de GEI. A esto se suma las emisiones de

CO₂ de origen no biogénico (consideradas GEI), debido a la generación de energía para la provisión de O₂. Las emisiones de gas efecto invernadero pueden ser expresadas como una unidad de contaminación ambiental, en CO₂ equivalentes (CO₂e), al realizar el producto de la emisión del GEI (gN₂O, gCO₂) por su Potencial de Calentamiento Global (PCG) (IPCC, 2014). Estas emisiones son netas, ya que en este tipo de elementos no tiene lugar la captura de carbono, resultando en una de las principales desventajas de los sistemas intensivos.

En las últimas décadas han ganado protagonismo a nivel mundial, los sistemas *extensivos*, que imitan la capacidad de la naturaleza para depurar el agua, como, los humedales artificiales, que pueden ser aplicados como tratamiento secundario o terciario, incluso para la deshidratación de lodos. Estos elementos tratan el agua mediante fitodepuración y están conformadas por plantas cuya estructura permite el paso del oxígeno desde la atmósfera, a través de sus tallos y hojas, hacia sus raíces y rizomas que están soportados por un lecho granular; el cual además de ser el soporte de la vegetación, aloja a las comunidades bacterianas (aerobias, facultativas, y anaerobias), las cuales son los principales agentes de descontaminación del agua residual (García & Corzo, 2008). En principio, estos elementos a diferencia de los sistemas intensivos o convencionales, tienen la capacidad de capturar carbono (Fuchs et al., 2010), y permiten cumplir con los límites de vertido del efluente.

La acumulación de carbono en los humedales artificiales se realiza en dos grupos principales: la biomasa vegetal y el sustrato que los conforman. Sin embargo, en el sustrato se llevan a cabo procesos anaerobios, como la metanogénesis cuyo producto final es CH₄, y la nitrificación y desnitrificación, que originan emisiones de N₂O (IPCC, 2013). Por lo cual es crucial, no sobrestimar la capacidad de los humedales artificiales para capturar carbono; sino generar un balance entre el carbono capturado frente al emitido, en términos de CO₂e (Hernández, 2009). De este modo, al determinar que un humedal artificial diseñado, funciona como sumidero de carbono, el sistema de tratamiento permitiría descontaminar el agua residual, y a su vez disminuir las emisiones de GEI provenientes del tratamiento secundario. No obstante, debido a que el tratamiento primario puede emitir altas emisiones de CH₄, se debe plantear un balance de carbono para el tratamiento completo; esto resulta útil para determinar una perspectiva integral del CO₂e emitido o capturado en el tratamiento de aguas residuales.

Los factores de emisión de GEI varían según las tecnologías utilizadas y la concentración de materia orgánica y nutrientes presentes en el agua residual de alimentación. Este estudio investigó la capacidad de capturar carbono de un sistema de depuración de aguas residuales basado en humedales artificiales como unidades de tratamiento secundario (biológico). En una población con menos de 2000 habitantes, considerada como pequeña (Huertas

& Marcos, 2012), asentada en la Comunidad Valenciana en España. Se utilizaron factores de emisión de GEI establecidos por el IPCC para el cálculo de las emisiones de CO_{2e} producidas en los elementos del sistema de depuración de agua. Para la estimación de captura de carbono en la vegetación y sustrato se utilizaron valores sugeridos por la literatura. Se plantearon dos balances de carbono en términos de CO_{2e} para: i) Determinar, de manera independiente, la capacidad de los humedales artificiales para capturar carbono, en base a la concentración de materia orgánica y nutrientes presente en el agua residual de estudio. ii) Evaluar la capacidad de emisión o captura de carbono, de manera integral, en todo el sistema de tratamiento (línea de agua y línea de fangos).

Metodología

Sitio de estudio

El estudio se desarrolla sobre la propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para una población urbana de 250 habitantes en la comunidad Valenciana en España. Esta población gestiona las aguas residuales (AR) y pluviales a través de redes separativas. La red de alcantarillado sanitario conduce el caudal de aguas residuales hacia una PTAR existente conformada por un sistema compacto de lodos activados, el efluente final es vertido hacia uno de los barrancos más extensos de la comunidad Valenciana, conocido como Carraixet. El volumen anual de agua residual tratada vertido por la PTAR hacia el barranco Carraixet es de 27375.00 m³, con una medida de contaminación de 400 habitantes equivalentes (he) (Confederación Hidrográfica del Júcar, O.A., 2021).

Alternativas de estudio

Como alternativa para la sustitución de la PTAR existente en la población urbana de estudio, se propuso la implementación de una PTAR que utilice humedales artificiales como tratamiento secundario (biológico). Esta opción es adecuada dado que la población es de menos de 2000 habitantes, clasificada como pequeña (Huertas & Marcos, 2012), donde existe el espacio necesario para la instalación del sistema.

Se plantearon dos configuraciones para la PTAR con respecto a la línea de aguas. La primera configuración consiste en: (i) Pretratamiento (rejas manuales, canal de desarenado) + un tanque Imhoff + Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; PT+TI+ HAFSSH y la segunda configuración de: (ii) Pretratamiento + un tanque Imhoff + Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical; PT+TI+ HAFSSV.

La línea de lodos se diseñó en base a un sistema de tratamiento de lodos primarios mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, siguiendo las consideraciones de diseño de estudios como el de Nielsen (2012)

y Uggetti et al. (2009). La Figura 1 muestra los diagramas del proceso de las dos alternativas propuestas.

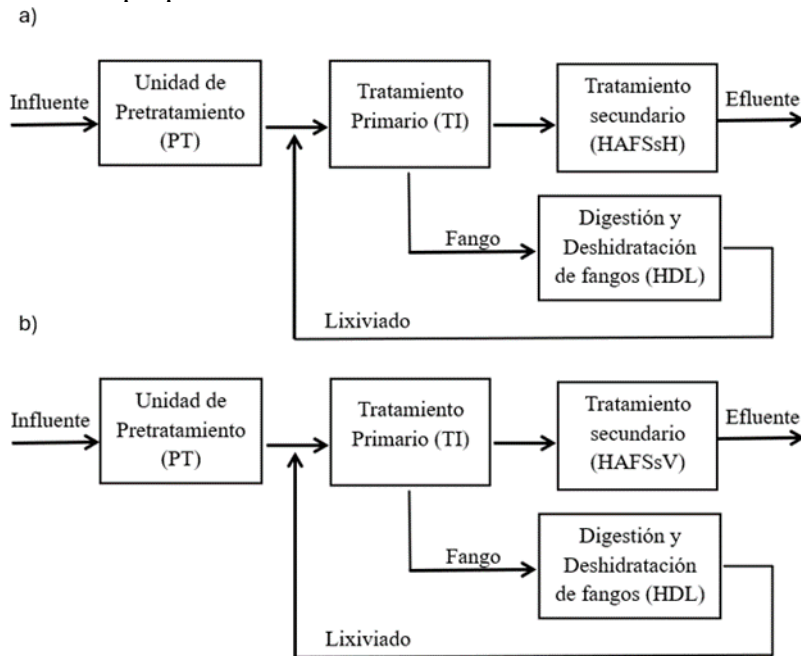


Figura 1. Diagrama de proceso de las Alternativas de tratamiento de AR. a) Alternativa 1, b) Alternativa 2

Balance de CO₂e

Los términos del balance de carbono, tanto para los humedales artificiales de manera individual como para el sistema de tratamiento integral, se expresaron en CO₂ equivalente (CO₂e). Esto implica que la medida de contaminación se determinó considerando el efecto del CO₂ como gas de efecto invernadero (GEI) a lo largo de un horizonte de 100 años. Para ello, las emisiones de CH₄ y N₂O fueron convertidas a CO₂e multiplicándolas por sus respectivos potenciales de calentamiento global (PCG) en relación con el CO₂: 28 para el CH₄ y 265 para el N₂O (IPCC, 2014). Para asegurar la coherencia de las unidades en las operaciones matemáticas del balance, el carbono capturado en la vegetación y en el sustrato de los humedales se expresó en términos de CO₂ y se multiplicó por su PCG, que es 1.

Fijación de carbono en vegetación y sustrato

Para realizar el balance de carbono, la captura de carbono en la vegetación de humedales artificiales puede medirse para cada caso de estudio o mediante valores bibliográficos. Investigaciones recientes han establecido una producción anual de 2.52 kg m⁻² de biomasa seca aérea y 1.18 kg m⁻² subterránea (Kadlec & Wallace, 2009), estos resultados son útiles para

calcular la fijación de carbono en la vegetación, específicamente para carrizo (*Phragmites australis*), especie más utilizada en España para la fitodepuración de AR (García & Corzo, 2008). Sin embargo, estas estimaciones subestiman la productividad primaria neta provocada por la rotación de biomasa durante la temporada de crecimiento debido a su fluctuación durante todo el año. La literatura reporta tasas de rotación (productividad/biomasa) en el rango de 1.10 a 1.50 para especies sumergidas, de 1.05 a 1.50 para especies emergentes pequeñas, desde 1.05 hasta 1.30 para especies emergentes altas y 1.15 para gramíneas altas (Kadlec & Wallace, 2009). En el presente estudio esta variación de la biomasa no será considerada, con el fin de desarrollar un cálculo conservador. Así mismo, la variación de rizomas será despreciada debido a que disminuye después del crecimiento neto de la raíz, manteniéndose estable la biomasa de raíces a lo largo de la temporada (Engloner, 2008).

Para determinar el carbono fijado en la vegetación a partir del peso de biomasa seca total, en la Ecuación (1), se considera que el 58% de la biomasa seca corresponde al contenido de carbono orgánico (C), acorde con el factor de Van Bemmelen (Marín et al., 2011).

$$C_{f,v} = BS * 0.58 \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde:

$C_{f,v}$: Carbono fijado en la vegetación, ($\text{kgC m}^{-2} \text{año}^{-1}$)

BS: Producción anual de biomasa seca total (aérea más subterránea) 3.70 (Kadlec & Wallace, 2009), ($\text{kgBS m}^{-2} \text{año}^{-1}$)

0.58: Factor de Van Bemmelen, (kgC kgBS^{-1})

Para incluir $C_{f,v}$ en el balance de carbono, el CO_2e fijado en la vegetación de un humedal determinado, se puede estimar a partir de la Ecuación (2), en base a la metodología desarrollada por (Montero et al., 2020).

$$\text{CO}_2\text{e}_{f,v} = C_{f,v} * S * 3.67 * 1 \quad \text{Ecuación (2)}$$

donde:

$\text{CO}_2\text{e}_{f,v}$: CO_2 equivalente fijado por la vegetación, ($\text{kgCO}_2\text{e año}^{-1}$)

$C_{f,v}$: Carbono fijado en la vegetación (biomasa aérea más subterránea), ($\text{kgC m}^{-2} \text{año}^{-1}$)

S: Superficie total del humedal artificial, (m^2)

3.67: Factor de conversión de C a CO_2

1: Potencial de calentamiento global para el CO_2 (IPCC, 2014).

La fijación de carbono en el sustrato puede determinarse mediante un análisis para cada caso de estudio o a través de estimaciones basadas en estudios relacionados. En este sentido, el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio

Ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia, ha divulgado resultados inéditos sobre humedales artificiales sembrados con carrizo en una estación depuradora de aguas residuales, donde se demostró que el sustrato puede fijar 512 g C m⁻² en un período de 2.50 años (0.21 kgC m⁻² año⁻¹) (Mejía, 2021). El CO₂e fijado en el sustrato se determina mediante la Ecuación (3), en base a lo estudiado por (Montero et al., 2020).

$$CO_{2e_{f,s}} = C_{f,s} * S * 3.67 * 1 \quad \text{Ecuación (3)}$$

donde:

CO_{2e_{f,s}}: CO₂ equivalente fijado en el sustrato, (kgCO₂e año⁻¹)

C_{f,s}: Carbono fijado en el sustrato, (kgC m⁻² año⁻¹)

S: Superficie total del humedal artificial, (m²)

3.67: Factor de conversión de C a CO₂

1: Potencial de calentamiento global para el CO₂, (IPCC, 2014).

Emisión de gases efecto invernadero en tratamiento primario y secundario (humedal artificial)

En el contexto del tratamiento primario de aguas residuales en PTARs, los sistemas de depuración, como los tanques Imhoff y las fosas sépticas, facilitan la degradación anaerobia de la materia orgánica sedimentada, generando fangos o lodos. Debido a este ambiente anaerobio, caracterizado por la ausencia de oxígeno y nitratos, se calculan únicamente las emisiones de metano (CH₄) y no las de óxido nitroso (N₂O). Esto se debe a que los procesos de nitrificación y desnitrificación son irrelevantes en esta etapa de tratamiento (CEDEX, 2010).

Para determinar las emisiones de CH₄, Arias, (2018) propone la Ecuación (4) para el tratamiento anaeróbico en PTARs, basada en la metodología de cálculo establecida en el capítulo 6 del volumen 5 de las Directrices del IPCC de 2006. Esta metodología se aplica cuando no se dispone de información detallada sobre la separación de lodos y la recuperación de CH₄ (IPCC, 2006).

$$CH_{4 \text{ Emisión}} = TOW * FE - MR \quad \text{Ecuación (4)}$$

donde:

CH₄ Emisión: Emisiones de metano, (kg CH₄ año⁻¹)

TOW: Materia orgánica total degradada, (kg DBO₅ año⁻¹)

FE: Factor de emisión de metano en la operación anaeróbica

MR: Recuperación de metano, (kg CH₄ año⁻¹). El valor por defecto es cero, a menos de que se disponga información al respecto (IPCC, 2006).

El factor de emisión de metano (FE) se determina mediante la Ecuación (5):

$$FE = B_o * MCF \quad \text{Ecuación (5)}$$

donde:

FE: Factor de emisión de metano, ($\text{kgCH}_4 \text{ kgDBO}_5^{-1}$)

B_o : Capacidad o máximo potencial de producción de metano, ($\text{kgCH}_4 \text{ kgDBO}_5^{-1}$)

MCF: Factor de corrección de metano, (adimensional)

Para la producción de metano (B_o) es factible usar por defecto el valor de $0.60 \text{ kgCH}_4 \text{ kgDBO}_5^{-1}$ degradada; y un factor de corrección de metano (MCF) de 0.80 para sistemas anaeróbicos (ausencia de oxígeno disuelto en el agua). Luego, la materia orgánica total degradada se calcula a partir de la Ecuación (6) (IPCC, 2006).

$$TOW = DBO_{5,elim.} * Q_i * 0.001 * 365 \quad \text{Ecuación (6)}$$

donde:

TOW: Materia orgánica total degradada, ($\text{kg DBO}_5 \text{ año}^{-1}$)

$DBO_{5,elim.}$: Desechos orgánicos totales degradados, ($\text{mgDBO}_5 \text{ L}^{-1}$)

Q_i : Caudal influente al sistema o elemento de tratamiento, ($\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$)

La demanda biológica de oxígeno eliminada ($DBO_{5,elim.}$) se refiere a la fracción de DBO_5 que es removida a través de procesos anaerobios en las unidades de tratamiento primario. En este estudio, se ha asumido que el tratamiento primario (TI) elimina el 30% de la DBO_5 (CEDEX, 2010) presente en el agua residual influente a esta etapa del sistema.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en humedales artificiales son generadas por la actividad bacteriana involucrada en el tratamiento de aguas residuales urbanas. Como se ha mencionado anteriormente, los principales GEI emitidos durante esta fase de tratamiento son CH_4 y N_2O .

Por otro lado, las emisiones de CO_2 resultantes de las actividades bacterianas para la descontaminación de la materia orgánica presente en el agua residual no se incluyen en los inventarios de GEI, ya que se consideran de origen biogénico (IPCC, 2013). Las fuentes biogénicas, al no contribuir al cambio climático, no se contabilizan en este contexto (Garfí et al., 2017).

Para la determinación de las emisiones de CH_4 y N_2O , el IPCC (2013), establece la siguiente metodología:

La emisión de CH_4 se calcula utilizando la Ecuación (7), que se aplica específicamente a aguas residuales de origen doméstico, como es el caso en este estudio.

$$CH_4 \text{ Emisión} = \sum_j (TOW_j * EF_j) \quad \text{Ecuación (7)}$$

donde:

$CH_4 \text{ Emisión}$: Emisiones de metano, ($\text{kgCH}_4 \text{ año}^{-1}$)

TOW_j : Carga orgánica de ingreso de aguas residuales domésticas, ($kgDBO_5$ año⁻¹)

EF_j : Factor de emisión en tratamientos de aguas residuales domésticas, ($kgCH_4$ $kgDBO_5^{-1}$).

j: Tipo de humedal artificial

Empleando la Ecuación (8) se obtiene el factor de emisión de metano respecto a la materia orgánica de ingreso al humedal.

$$EF_j = B_o * MCF_j \quad \text{Ecuación (8)}$$

donde:

EF_j : Factor de emisión en tratamientos de aguas residuales domésticas, ($kgCH_4$ $kgDBO_5^{-1}$)

B_o : Máxima capacidad de producción de metano, ($kgCH_4$ $kg DBO_5^{-1}$)

MCF_j : Factor de corrección de metano, (adimensional)

El IPCC (2013) recomienda utilizar para B_o , 0.60 $kgCH_4$ $kgDBO_5^{-1}$, para aguas residuales domésticas. Los valores del factor de corrección del metano (MCF), en función de la presencia de condiciones anaerobias en cada tipo de humedal, se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Factor de corrección de emisión de metano. Fuente: (IPCC, 2013)

	MCF	Rango
HAFS	0.40	0.08 – 0.70
HAFSsH	0.10	0.07 – 0.13
HAFSsV	0.01	0.004 – 0.016

La carga orgánica de ingreso es calculada a través de la Ecuación (9) para aguas residuales domésticas.

$$TOW_j = Pe_j * DBO_5 * I * 0.001 * 365 \quad \text{Ecuación (9)}$$

donde:

TOW_j : Carga orgánica de ingreso en las aguas residuales domésticas, ($kg DBO$ año⁻¹)

DBO_5 : Carga orgánica por habitante equivalente, ($g DBO_5$ he^{-1} día⁻¹)

I: Factor de corrección para DBO_5 industrial adicional descargado en el alcantarillado, (1.25 si hay ingreso de aguas industriales ó 1.00 si no existen aportes de aguas industriales en el alcantarillado sanitario), (adimensional).

Pe_j : habitantes equivalentes (he): Unidad de medición de la contaminación biodegradable presente en las aguas residuales urbanas, que toma el valor de 60 $gDBO_5$ he^{-1} día⁻¹ (Huertas & Marcos, 2012)

Las emisiones de N_2O , resultantes de los procesos de nitrificación y desnitrificación, pueden generarse como emisiones directas en las PTARs o como emisiones indirectas a partir de los efluentes vertidos en medios acuáticos (ríos, lagos, mares, etc.) (IPCC, 2014).

Las emisiones directas de N₂O, son generalmente menores en comparación con las emisiones indirectas. Por lo tanto, es recomendable estimar las emisiones de N₂O de efluentes (indirectas) utilizando el método descrito en el capítulo 6 del volumen 5 de las Directrices del IPCC de 2006 para inventarios nacionales de GEI (IPCC, 2006). Además, las emisiones directas generadas en humedales artificiales deben calcularse siguiendo las pautas establecidas en el capítulo 6 del suplemento de las Directrices del IPCC de 2006 (IPCC, 2013). En el cálculo de la emisión directa de N₂O se aplican la Ecuación (10) y Ecuación (11) :

En este estudio, para el cálculo de la emisión de N₂O se emplea la Ecuación (10) y Ecuación (11), que se aplican específicamente a aguas residuales domésticas.

$$N_2O_{Emisión\ dir.} = \sum_j (N_j * EF_j * 44/28) \quad \text{Ecuación (10)}$$

donde:

N₂O_{emisión dir.}: Emisiones de N₂O, (kgN₂O año⁻¹)

EF_j: Factor de emisión en tratamientos de aguas residuales domésticas, (kgN₂O-N kgN⁻¹)

N_j: Nitrógeno total de entrada en el agua residual doméstica, (kgN año⁻¹)

j: Tipo de humedal artificial

44/28: factor de conversión de kg N₂O-N a N₂O.

En cuanto al factor de emisión (EF) de N₂O, el IPCC (2013), establece los valores de 0.0013 kgN₂O-N kgN⁻¹, 0.0079 kgN₂O-N kgN⁻¹ y 0.00023 kg N₂O-N kgN⁻¹, para humedales artificiales de flujo superficial, subsuperficial horizontal y subsuperficial vertical; respectivamente.

$$N_j = P_j * PR * F_{NPR} * F_{NON-CON} * F_{IND-COM} \quad \text{Ecuación (11)}$$

donde:

P_j: Población, (habitantes)

PR: Consumo per cápita de proteína, (kgPR hab⁻¹ año⁻¹)

F_{NPR}: fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto es 0.16, kgN kgPR⁻¹, (IPCC, 2013)

F_{NON-CON}: factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

F_{IND-COM}: factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

En los países desarrollados que emplean trituradores de desechos, el valor por defecto para la proteína no consumida descargada en flujos de aguas servidas es de 1.40, mientras que en los países en desarrollo esta fracción es de 1.10. Las aguas residuales de origen industrial o comercial que se descargan

en los alcantarillados pueden contener proteína, y el valor por defecto para esta fracción es 1.25 (IPCC, 2006).

En España, el consumo per cápita de proteínas es 77.34 gPR habitante⁻¹ día⁻¹ (Ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico, 2021).

Las emisiones indirectas de N₂O se determinan a partir de la Ecuación (12).

$$N_2O_{emisión\ ind.} = N_{efluente} * EF_{efluente} * \frac{44}{28} \quad \text{Ecuación (12)}$$

donde:

N₂O_{emisión ind.}: Emisiones indirectas de N₂O, (kg N₂O año⁻¹)

N_{efluente}: Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, (kgN año⁻¹)

EF_{efluente}: factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la eliminación de NT en aguas servidas, (kgN₂O-N kgN⁻¹)

44/28: factor de conversión de kg N₂O-N a N₂O.

El EF_{efluente} por defecto para las emisiones de N₂O derivadas de aguas servidas con efluentes con contenido de nitrógeno, es de 0.005 (0.0005 – 0.25) kgN₂O-N kgN⁻¹ (IPCC, 2006).

Balance de carbono en términos de CO₂e:

Para determinar si los humedales artificiales funcionan en equilibrio, como fuente o como sumidero de carbono, se propone el uso de la Ecuación (13) ; sin embargo, estos elementos son una etapa del tratamiento de aguas residuales total, por tanto, es importante evaluar el comportamiento de la emisión o captura de carbono del tratamiento total, en términos de CO₂e, para esto se plantea la Ecuación (14) .

$$\Delta_{CO_2e} = CO_2e_{f,v} + CO_2e_{f,s} - CH_4\text{ Emitido} - N_2O_{Emisión\ dir.} \quad \text{Ecuación (13)}$$

donde:

Δ_{CO₂e}: Variación de equivalentes de dióxido de carbono, (CO₂e)

CO₂e_{f,v} : Fijación de carbono en la vegetación del humedal artificial, (CO₂e)

CO₂e_{f,s} : Fijación de carbono en el sustrato del humedal artificial, (CO₂e)

CH₄ Emitido: Emisión de metano procedente de los procesos biológicos de depuración de agua en el humedal, (CO₂e)

N₂O_{Emisión dir.} : Emisión de óxido nítrico procedente de los procesos biológicos de depuración de agua en el humedal, (CO₂e)

$$\Delta_{CO_2e} = \sum CO_2e_{Fijado,i} - \sum CO_2e_{Emitido\ dir,i} - \sum CO_2e_{Emitido\ ind.} \quad \text{Ecuación (14)}$$

donde:

$CO_2e_{Fijado,i}$: CO_2e fijado en la vegetación y sustrato de los elementos de tratamiento del sistema.

$CO_2e_{Emitido\ dir,i}$: Emisiones de CH_4 y emisiones directas de N_2O

$CO_2e_{Emitido\ ind,i}$: Emisiones indirectas de N_2O

Para los dos balances de carbono, el resultado se interpreta bajo las siguientes condicionantes: Cuando $\Delta_{CO_2e} = 0$, existe balance o equilibrio entre el carbono capturado y el emitido por el sistema en análisis. Si, $\Delta_{CO_2e} > 0$, funciona como sumidero de carbono; y si, $\Delta_{CO_2e} < 0$, el sistema es fuente de carbono (Fuchs et al., 2010; Hernández, 2009).

Resultados y Discusión

El diseño de las dos alternativas de tratamiento de aguas residuales demostró que la calidad del agua efluente cumple con los límites de vertido señalados por las normas de calidad ambiental establecidas en el ordenamiento jurídico aplicable en España, para vertidos procedentes de PTARs urbanas en cuerpos de agua dulce sin riesgo a eutrofización. Los parámetros evaluados fue DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos (SS), Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT), Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT). El cálculo de las concentraciones de salida (C_s) de cada unidad de tratamiento se ejecutó en base a los porcentajes de eliminación (% Elim) de estos contaminantes, señalados por Dotro et al. (2017). Los resultados se resumen en la Tabla 2 donde se observa, por ejemplo, que la concentración de salida de DBO_5 , tanto en el humedal de flujo horizontal (alternativa 1) como en el de flujo vertical (alternativa 2), está por debajo del límite de vertido normado ($25\text{ mg}DBO_5\text{ L}^{-1}$) (DIRECTIVA 91/271/CEE, 1991).

Tabla 2. Concentraciones de salida de cada etapa de tratamiento según los porcentajes de eficiencia de eliminación de contaminantes

	Unidades	Co	TI		HAFSSH		HAFSSV	
			%Elim.	Cs	%Elim.	Cs	%Elim.	Cs
DBO_5	$mgDOB_5\text{ L}^{-1}$	320.00	30%	224.00	89%	23.98	90%	22.40
DQO	$mgDQO\text{ L}^{-1}$	666.67	30%	466.67	85%	70.00	90%	46.67
SS	$mgSS\text{ L}^{-1}$	480.00	60%	192.00	85%	28.80	90%	19.20
NKT	$mgN\text{ L}^{-1}$	58.67	10%	52.80	20%	42.24	90%	5.28
NT	$mgP\text{ L}^{-1}$	64.00	10%	57.60	30%	40.32	15%	48.96
PT	$mgN\text{ L}^{-1}$	16.00	10%	14.40	10%	12.96	10%	12.96

La Tabla 3 muestra los resultados del cálculo de la fijación de carbono en la vegetación y el sustrato de los humedales artificiales en las dos alternativas de diseño. Se estimó que el HAFSSH tiene una capacidad para fijar 2.76 veces más carbono en comparación con el HAFSSV, como

tratamiento secundario. Este resultado se atribuye a que el HAFSsH requiere una mayor área de implantación, lo que implica un mayor volumen de vegetación y sustrato en comparación con el sistema de flujo vertical.

Tabla 3. Estimación del carbono total fijado (vegetación más sustrato) en los humedales artificiales

	Superficie	Carbono		CO ₂	CO ₂ e
	m ²	kgC m ⁻² año ⁻¹	kg C año ⁻¹	kg CO ₂	kg CO ₂ e
HAFSsH	4872.04	2.35	11453.19	42033.21	42033.21
HAFSsV	1762.25	2.35	4142.70	15203.70	15203.70
HDL	132.66	2.35	311.86	1144.52	1144.52

En cuanto al cálculo de las emisiones directas de GEI, los resultados se muestran en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4, en las cuales las emisiones de CH₄ y N₂O se expresan en CO₂e, obtenidas al multiplicar la cantidad de emisión de cada gas por su potencial de calentamiento global (PCG) para un horizonte de 100 años.

Los resultados presentados en la Figura 2 muestran que las emisiones de CH₄ son superiores a las de N₂O, a pesar de que el PCG del CH₄ (28) es menor que el del N₂O (265); por ejemplo, esto se ve marcado en el HAFSsV, en el cual las emisiones de metano son 7.77 veces las emisiones de óxido nitroso, en términos de CO₂e. En el HAFSsH esta relación es de 2.26, porque los humedales artificiales funcionan en mayor medida bajo condiciones anaerobias, las zonas aerobias, en principio, se limitan a las primeras capas de los humedales hasta el alcance de las raíces y rizomas (Dotro et al., 2017), La predominancia de las emisiones de CH₄ sobre las de N₂O ha sido reportada en estudios previos, como el de Fuchs et al. (2010). Así también, esta relación es mayor en el HAFSsV frente al HAFSsH, dado que este último funciona permanentemente inundado generando zonas anóxicas, por tanto, es más eficiente en la eliminación de NT (emiten más N₂O) que el HAFSsV.

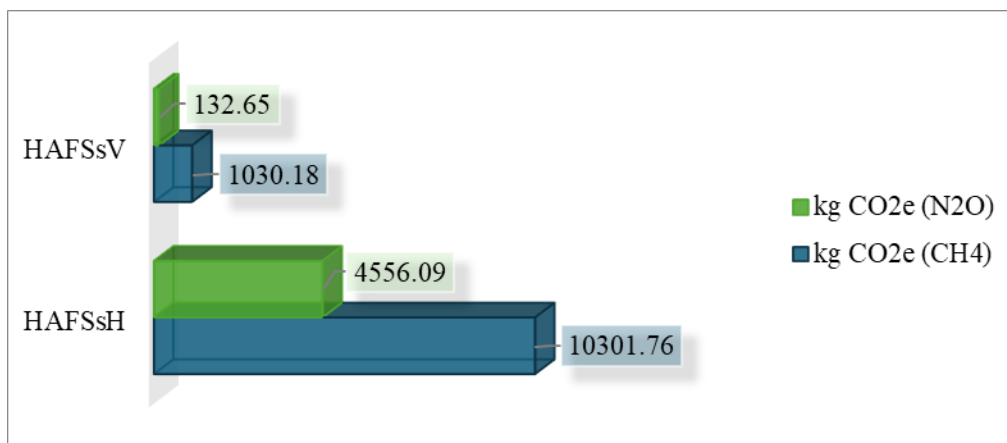


Figura 2. Emisiones de CO₂ equivalente asociadas al N₂O (verde) y al CH₄ (azul)

Por otro lado, en el TI se ha calculado únicamente las emisiones de CH₄, debido a que se ha considerado que el 80% de la DBO₅ sedimentada será eliminada anaeróbicamente, en base a un MCF = 0.8, el cual es propuesto por el IPCC para elementos de digestión anaerobia (Arias, 2018), y las emisiones de N₂O se han despreciado por las bajas condiciones aerobias en estos elementos, al igual que en el HDL que funciona de manera similar a los HAFSsV (Silva, 2019), obteniendo que las emisiones de CH₄ en el TI son superiores a las emisiones en los tres tipos de humedales analizados, como se observa en la Figura 3. Por ejemplo, al comparar en esta figura el CO₂e del TI con el CO₂e asociado a las emisiones de CH₄ del HAFSsH (humedal que más emite este gas) en términos de CO₂e, se encuentra que el TI emite 3.43 veces frente al HAFSsH, esto se debe a que el cálculo de emisiones de CH₄ se realiza bajo la hipótesis de que la zona de degradación del TI se comporta como un digestor anaerobio (IPCC, 2006), bajo temperaturas más altas que los TI y tiempos de digestión más largos en los TI (Mejía, 2021).

Sobre esta base, en las unidades de tratamiento de aguas residuales estudiadas, las emisiones directas de gases efecto invernadero están conformadas principalmente por CH₄, las emisiones de N₂O son bajas, como se muestra en la Figura 4; sin embargo, por su alto PCG es una buena práctica contabilizarlas principalmente en las unidades de tratamiento secundario, en donde los procesos de eliminación de NT tienen lugar en mayor o menor medida, dependiendo del tipo de unidad de tratamiento.

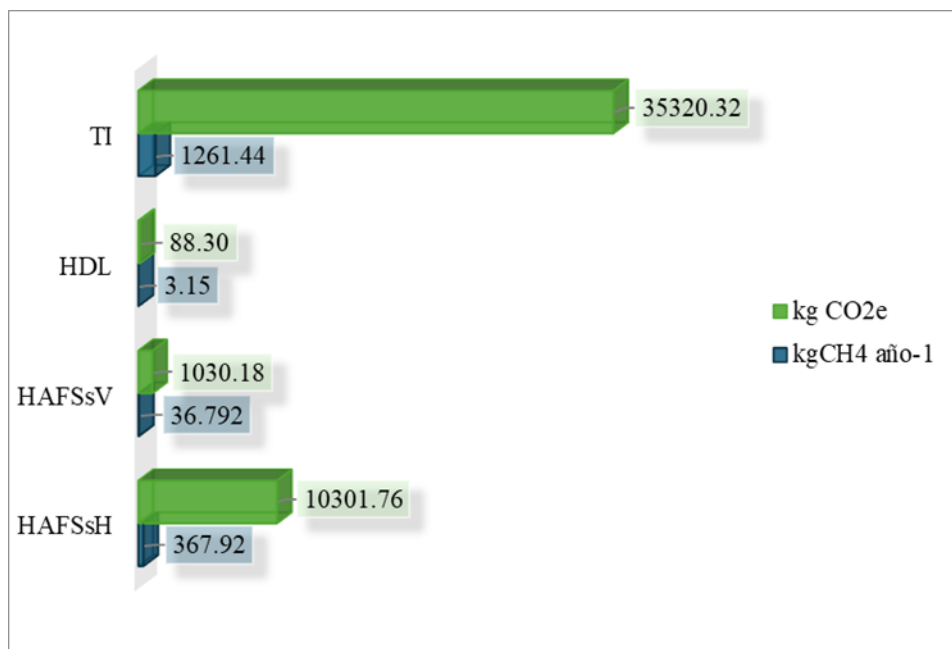


Figura 3. Emisiones de metano (CH₄)

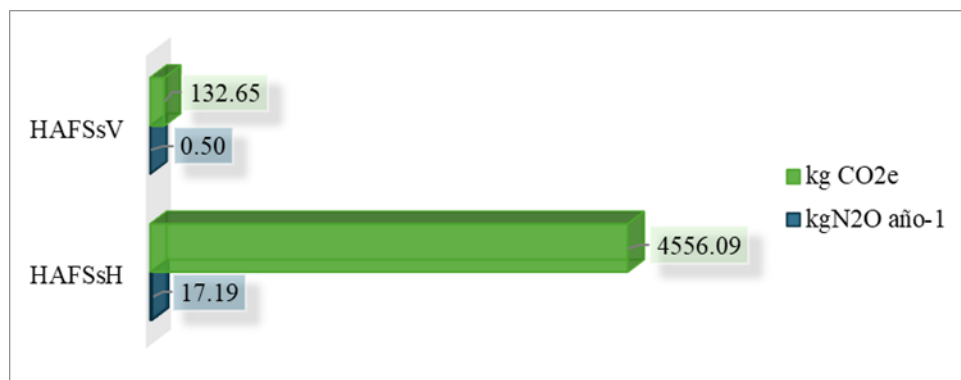


Figura 4. Emisiones de óxido nitroso (N₂O)

El balance de carbono en los humedales artificiales (Ecuación (2), se efectuó en los tres tipos de humedales (HAFSsH, HAFSsV y HDL) estudiados. La Tabla 4 muestra los resultados, donde se demostró que los humedales artificiales exhiben una capacidad de fijación de carbono superior al carbono emitido, en términos de CO₂e; por tanto, se estima que estos elementos de tratamiento de aguas residuales funcionan como sumideros de carbono, esto concuerda con los resultados de los estudios de Mitsch et al., (2012) y Whiting & Chanton, (2000). Los cuales reportaron un balance entre la emisión de CH₄ y fijación de CO₂ en humedales naturales, debido a que los humedales artificiales son diseñados para que imiten el funcionamiento de los naturales. Incluso, se ha demostrado en estudios recientes que esta capacidad de fijación de carbono en la vegetación y sustrato es mayor que las emisiones asociadas a las fases de construcción y uso de estos sistemas de tratamiento (Lopsik, 2013). Esto indica que los humedales artificiales pueden actuar como sumideros de carbono no solo durante su etapa operativa, sino también a lo largo de su ciclo de vida.

Tabla 4. Balance de carbono en los humedales artificiales

	HAFSsH	HAFSsV	HDL
Carbono fijado, CO ₂ e	42033.21	15203.70	1144.52
Emisión de CO ₂ e directa	14857.85	1162.82	88.30
Δ CO ₂ e	27175.36	14040.88	1056.21
Funcionamiento	Sumidero	Sumidero	Sumidero
kg CO ₂ e fijado m ⁻²	5.58	7.97	7.96
kg CO ₂ e fijado he ⁻¹	67.94	35.10	2.64

En cuanto a la fijación de carbono por unidad de área de implantación de humedal, se observa que el HAFSsV fijó 7.97 kg CO₂e m⁻², siendo más eficiente frente al HAFSsH que alcanzó 5.58 kg CO₂e fijado m⁻². Esto se debe a que a pesar de que la fijación de carbono en la vegetación y sustrato es mayor en el HAFSsH, la contaminación producida (emisiones de CO₂e) en este tipo de elementos es más alta que en los HAFSsV porque estos últimos se

consideran 10% anaerobios frente a los HAFSsH (IPCC, 2013). Se concluye que los HAFSsV tienen menos impactos ambientales debido a una mejor eficiencia del tratamiento (remoción de nitrógeno, principalmente amoniacal, en un humedal más pequeño) por unidad de área, en concordancia con el estudio de (Fuchs et al., 2010).

Por otro lado, al analizar la capacidad de fijación de carbono por unidad de contaminación de materia orgánica (he), se obtiene que el HAFSsH fijó $67.94 \text{ CO}_2\text{e he}^{-2}$, suponiendo una mayor eficiencia frente al HAFSsV, que capturó $35.10 \text{ CO}_2\text{e he}^{-2}$, esto se debe a que los HAFSsH tratan el agua residual en una mayor área (mayor fijación de carbono en vegetación y sustrato) para alcanzar niveles de descontaminación similares a los HAFSsV. Sin embargo, este requerimiento superior de área de implantación significa que las emisiones de GEI en la etapa de construcción será superior frente a los de flujo vertical. Investigaciones han demostrado que la etapa de mayor impacto ambiental corresponde a la fase de construcción (Dixon et al., 2003); en este estudio el área del HAFSsH diseñado es 2.76 veces el área del HAFSsV (ver Tabla 3), esto ejemplifica una de las principales desventajas de los HAFSsH con respecto a los HAFSsV. El estudio de Fuchs et al., (2010), concluyó que los HAFSsV tienen un impacto ambiental mucho menor frente a los HAFSsH, ya que requieren menos materiales y equipos de construcción en el montaje (debido a que demandan áreas menores) y además producen menos emisiones de GEI durante la fase de uso (tratamiento de aguas residuales).

Sobre esta base, los HAFSsV suponen una menor huella de carbono en el tratamiento de aguas residuales frente a los HAFSsH, sin embargo, es importante evaluar los procesos de operación de los HAFSsV, ya que la alimentación de estos elementos debe ser intermitente, para lo cual, existen casos en los que se requiere el uso de equipos de bombeo, lo que se traduce en emisiones de CO_2 no biogénico (considerado GEI), esto podría reducir la capacidad de fijación de CO_2e de estos elementos, al realizar el balance de carbono en la etapa de funcionamiento.

La Tabla 5 resume los resultados del balance de carbono en el sistema integral de tratamiento de las dos alternativas de diseño (ver Figura 1), aplicando la Ecuación (3). En las dos alternativas se obtuvo que $\Delta\text{CO}_2\text{e} \leq 0$, lo cual significa que el sistema de tratamiento de aguas residuales funciona como fuente de carbono. Esto se debe a la influencia de las emisiones indirectas de N_2O y en mayor grado a las emisiones de CH_4 producidas en el TI.

La Figura 5 muestra los porcentajes de emisión de carbono que corresponden a la emisión total del sistema integral de tratamiento de aguas residuales para las dos alternativas de diseño. En ambos casos, se observa que las emisiones producidas por el tanque Imhoff representan sobre el 70% de la totalidad. Esto se debe a que la conformación de estos elementos no da lugar

a la fijación de carbono; por el contrario, son fuente directa de CH₄. Esto podría significar una fuente importante de aprovechamiento energético de este biogás, en concordancia con el estudio realizado por (Arias, 2018).

Tabla 5. Balance de carbono en las alternativas de tratamiento de aguas residuales

	Alternativa 1	Alternativa 2
Carbono fijado, CO ₂ e	43231.28	16401.77
Emisión directa de CO ₂ e	50266.47	36571.44
Emisión indirecta de CO ₂ e	2298.60	2791.07
ΔCO ₂ e	-9333.79	-22960.74
Funcionamiento	Fuente	Fuente

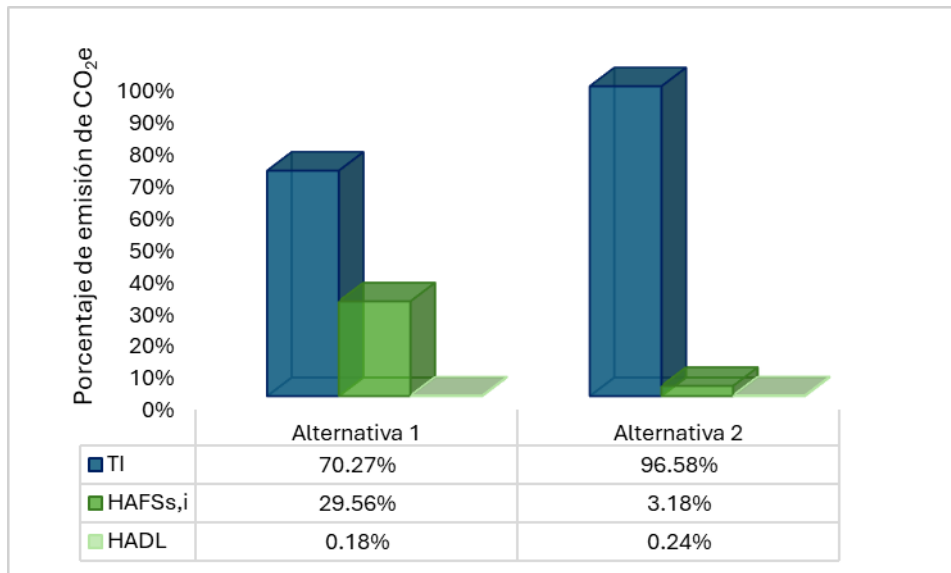


Figura 5. Porcentaje de emisión de CO₂e de cada unidad de tratamiento frente a la emisión total

En la Figura 5 se observa que el porcentaje de emisiones de CO₂e del HAFSSV en la alternativa 2, es menor frente al del HAFSSH en la alternativa 1. Por tanto, es factible que el tratamiento de aguas residuales prescindiera del elemento de tratamiento primario (tanque Imhoff), y únicamente basar la descontaminación del agua residual mediante HAFSSV. Por ejemplo, los sistemas de humedales de tipo francés (Dotro et al., 2017). De este modo, se plantearía la hipótesis de que el sistema integral funcione como sumidero de carbono. Sin embargo, se ha de tomar en cuenta las emisiones de CO₂e no biogénico generadas en los procesos operativos del sistema, en el bombeo de agua, por ejemplo, a través de las etapas del sistema francés, las cuales están conformadas por HAFSSV. Los resultados de este estudio indican que los HAFSSV son más eficientes en la captura de carbono que los HAFSSH, manteniendo estándares de calidad de efluente similares. La Tabla 6 resume

las principales similitudes y diferencias en el funcionamiento de las dos tipologías de humedales evaluadas en las alternativas de estudio.

Tabla 6. Comparación del funcionamiento de los HAFSsH y HAFSsV

	HAFSsH (Alternativa 1)	HAFSsV (Alternativa 2)
Superficie (m2)	4872.04	1762.25
Cumple con límites de vertido	Sí	Sí
Emisión de GEI por unidad de área (CO ₂ efijado m ⁻²)	3.05	0.66
Funcionamiento según balance de CO ₂ e	Sumidero	Sumidero
Fijación de carbono por unidad de área (CO ₂ emitido m ⁻²)	5.58	7.97

Conclusiones

Este estudio ha demostrado que los humedales artificiales, utilizados como tratamiento secundario en PTARs, tienen un potencial significativo para actuar como sumideros de carbono. Específicamente, el sistema de flujo subsuperficial vertical (HAFSsV) mostró una capacidad de fijación de carbono por unidad de área de implantación 1.43 veces superior en comparación con los sistemas de flujo horizontal (HAFSsH). Estos resultados indican que la elección del régimen hidráulico de los humedales es importante para reducir los impactos ambientales. Además de su función principal en la depuración de aguas residuales, los humedales artificiales pueden contribuir de manera importante a la mitigación del cambio climático (Whiting & Chanton, 2000).

Estos hallazgos coinciden con estudios publicados que enfatizan el rol crucial de los humedales artificiales en la reducción de la emisión de GEI asociados al tratamiento de aguas residuales (Fuchs et al., 2010), reforzando la viabilidad de su implementación en comunidades rurales o urbanas pequeñas (Garfí et al., 2017). Sin embargo, es importante considerar las limitaciones del presente estudio, como la evaluación estacional y las variaciones climáticas, que podrían afectar la capacidad de captura de carbono. Para fortalecer la comprensión de estos sistemas, futuras investigaciones deberían centrarse en estudios a largo plazo que incluyan la variabilidad estacional y geográfica, así como en la evaluación de diferentes especies vegetales que puedan aumentar la eficiencia de captura de carbono. Además, sería beneficioso llevar a cabo mediciones directas o indirectas de las emisiones de GEI en humedales artificiales destinados al tratamiento de aguas residuales en la región estudiada, lo que permitiría obtener coeficientes de emisión de GEI más específicos para cada caso de estudio. Adicionalmente, se debería explorar la integración de estos sistemas en análisis de ciclo de vida completo, considerando la captura de carbono no solo durante su operación, sino también durante su construcción y desmantelamiento. Actualmente, en

España no existe información específica al respecto, lo que destaca la importancia de esta línea de investigación.

El tratamiento primario mediante tanques Imhoff es el principal responsable de las emisiones de CO₂e, lo que convierte a ambas alternativas estudiadas en fuentes netas de CO₂e, a pesar de que los humedales actúan como sumideros. En este contexto, se sugiere que futuros estudios incluyan el análisis de la capacidad de fijación de carbono de los sistemas de humedales artificiales de tipo francés, que eliminan la necesidad de tanques Imhoff al realizar el tratamiento primario en la primera fase del sistema de humedales. Esto podría reducir significativamente las emisiones de CO₂e del tratamiento global.

Agradecimientos

Este material se basa en el trabajo apoyado por el Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España; así como, la Cátedra de Cambio Climático – UPV. La autora corresponsal aprecia el apoyo de la Coordinación de la Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en el proceso de revisión y edición del manuscrito.

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

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

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

References:

1. Arias, A. (2018). Gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del metano generado en los biodigestores Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá – Ayacucho, 2015.
2. CEDEX. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.
3. Confederación Hidrográfica del Júcar, O.A. (2021, julio). Confederación Hidrográfica del Júcar, O.A.: Censo de vertidos autorizados.
4. DIRECTIVA 91/271/CEE. (1991). Sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Manual de interpretación y elaboración de informes.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/03_Manual_Directiva_91_271_CEE_tcm30-214069.pdf

5. Dixon, A., Simon, M., & Burkitt, T. (2003, junio 30). Assessing the environmental impact of two options for smallscale wastewater treatment: Comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach.
6. Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Serling, M. (2017). Biological wastewater treatment series. Volume 7 (Treatment wetlands).
7. Engloner, A. (2008). Structure, growth dynamics and biomass of reed (*Phragmites australis*) – A review.
8. Ferrer Polo, J., & Seco Torrecillas, A. (2005). Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales. UPV.
9. Fuchs, V. J., Mihelcic, J. R., & Gierke, J. S. (2010, diciembre). Life cycle assessment of vertical and horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment considering nitrogen and carbon greenhouse gas emissions.
10. García, J., & Corzo, A. (2008, noviembre). Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.
11. Garfí, M., Flores, L., & Ferrer, I. (2017). Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds.
12. Hernández, M. E. (2009, mayo). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano.
13. Huertas, R., & Marcos, C. (2012). Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones.
14. IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 6: Tratamiento y eliminación de aguas residuales.
15. IPCC. (2013). Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.
16. IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
17. IPCC. (2018). Calentamiento global de 1,5 °C. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf
18. IPCC. (2019). Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land

- management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf>
19. IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
 20. Kadlec, R., & Wallace, S. (2009). Treatment wetlands. Second edition.
 21. Lopsik, K. (2013, noviembre 1). Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system.
 22. Marín, J. L., Hernández, M., & Moreno, P. (2011). Secuestro de carbono en suelos de humedales costeros de agua dulce en Veracruz.
 23. Mejía, F. (2021, septiembre). Propuesta de implementación de humedales artificiales en las EDARs de Vall de Flors y Marines (Valencia) para la mejora de la calidad de las aguas, fijación de carbono y mejora de la conectividad ecológica del barranco Carraixet.
 24. Ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico. (2021). Informe de Inventario Nacional: Gases de efecto invernadero. Edición 2021 (1990 -2019).
 25. Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, U., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E., & Brix, H. (2012, junio 12). Wetlands, carbon, and climate change.
 26. Montero, G., López, C., Ruiz, R., Lopez, E., Onrubia, R., & Pasalodos, M. (2020). Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Secretaría General Técnica).
 27. Nielsen, S. (2012). Sludge Treatment in Reed Beds Systems – Development, design, experiences.
 28. Salas, J. J., Pidre, J. R., & Sánchez, L. (2007, enero 1). Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. CENTA.
 29. Silva, L. (2019). Diseño de sistemas para el tratamiento de lodos mediante tecnologías de bajo coste para la EDAR Vall Dels Alcalans (Valencia).
 30. Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., & García, J. (2009, diciembre). Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art.
 31. Whiting, G., & Chanton, J. (2000, agosto). Greenhouse carbon balance of wetlands: Methane emission versus carbon sequestration.

Advancements in Nanoparticle-Based Precision Drug Delivery: A Review of Development and Optimization for Targeted Therapy in Preclinical Models

Mehrasa Nikandish

Clinical Pharmacology student, King's College London, Researcher

Hanzhi Wang, MSc Student

Clinical Pharmacology, King's College London

Dr. Xinqi Bao, Research Associate

department of Biomedical Engineering at King's College London

Mohamad Nikandish

Biotechnology student, University of Kashan, Researcher

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p49](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p49)

Submitted: 01 February 2024

Accepted: 29 August 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nikandish, M., Wang, H., Bao, X., & Nikandish, M. (2024). *Advancements in Nanoparticle-Based Precision Drug Delivery: A Review of Development and Optimization for Targeted Therapy in Preclinical Models*. *European Scientific Journal, ESJ*, 20 (27), 49.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p49>

Abstract

In recent years, the widespread adoption of nanoparticles has expanded across a broad spectrum of clinical domains. These nanoparticles have been specifically engineered to address the limitations associated with conventional therapeutics and to navigate various biological barriers—ranging from systemic to cellular levels—that manifest heterogeneity across different patient populations and disease states. The advent of precision treatments, wherein interventions are tailored to individual patients, has contributed to mitigating this variability among patients. Nonetheless, the predominant focus in current nanoparticle research remains on enhancing the uniformity of delivery systems. The realization of precision medicine appears imminent as lipid-based, polymeric, and inorganic nanoparticles are increasingly crafted with heightened precision, facilitating more individualized approaches to medication delivery. In this review, we delve into the advanced designs of nanoparticles employed in both precision and generalized applications, offering insights into their potential to advance precision medicine. Our

discussion centers on the innovations in nanoparticle design aimed at overcoming various delivery challenges, suggesting that ingenious nanoparticle engineering holds promise for enhancing performance across a broad spectrum of delivery applications and facilitating tailored designs for specific therapeutic targets, ultimately leading to improved patient outcomes.

Keywords: Nanoparticles, Clinical applications, biological barriers, Systemic barriers, Microenvironmental barriers, Cellular barriers, Patient heterogeneity, Precision therapeutics, Personalized interventions, Optimization

Introduction

Nanomedicine has risen as a significant area of scholarly exploration, directly influencing human health. Although an initial wave of products has been effectively brought to market, greatly improving patient well-being, advancements in material engineering and the arrival of novel therapeutics are propelling the creation of more intricate systems. With the field evolving, it becomes crucial to grasp the hurdles associated with nanoparticle commercialization to streamline the journey to clinical application with greater effectiveness and predictability (Ragelle et al. 2017). Engineered nanomaterials show great potential in diagnostics and treatment of diseases with a higher accuracy achieved. It is a nanotechnology application that helps to overcome some problems with drug delivery by traditional routes, for instance, biodistribution and crossing intracellular barriers. For example, targeting cells and sliding the molecules to specific organelles create room for more scientific breakthroughs. The establishment of the National Nanotechnology Initiative (NNI) by the US National Science and Technology Council (NSTC) in 2000 was done to bring nanotechnologies to the commercially viable stage, with special focus being given to nanoparticle (NP) research.

Nanoparticles (NPs) have recently emerged as promising alternatives to increase intravenous drug stability, solubility, efficiency, and longevity for better safety and efficacy (Zhuang et al., 2019). Hence, there is a high activity of NP research labs that yield superb findings from in vitro and animal model studies. Despite the fact NNI has certain financial resources and major progress in nanomedicine, there is still the barrier of not enough nanomedicines in use by the patients that comes from the translational gap between animal trials and the human application. This gap widens further when there is insufficient knowledge of the physiological and pathological differences between animal models and humans concerning nanomedicine function and behavior in vivo. Moreover, the issue of patient heterogeneity further increases the complexity of clinical translation, with insufficient data on the interactions between nan medication and many patient groups. The

implementation of these biological delivery barriers has been a pitfall for early formulated NPs, but recent NP design developments based on ingenious creation techniques have expanded the options of intricate architecture, adaptive components, and targeting ligands. Consequently, these NPs have become sophisticated systems that can overcome different complications such as drug resistance mechanisms and specific cell cycle phases to provide a more potent therapy.

The growing trend of creating NPs targeted at eroding biological barriers unique to a particular patient sub-group or condition is also linked partly to the development of precision medicine which was epitomized through the Precision Medicine Initiative (PMI) which kicked off in 2015 (Joseph et al., 2023). The goal of personalized medicine is to move beyond one-size-fits-all treatments and to focus on specific patient data, such as genetic information and environmental parameters, to maximize therapeutic outcomes. Nevertheless, biological delivery barriers still limit the effectiveness of precision therapies. Thus, novel NP designs on data from patients engineered to fight different patient barriers in different populations have the potential to improve the delivery of precision medicine treatments. This review focuses on recent advancements in nanomedicine that have the potential to facilitate the clinical translation of precision medicines and improve patient-specific therapeutic outcomes. It advocates for the utilization of biomaterials and medical engineering inventions to overcome biological limitations and deal with the concept of patient variability. A review of the progress on objectives of NNI and PMI will be made as well as strategies used by NPs to provide precision medicine therapeutics as the latter barrier will be explored. For the second part, the article describes distribution and delivery patterns encountered in NP studies and the role that they play in creating effective responses. These insights consequently are the basis on which the progress of NPs to the precision treatment of clinical cancers, immunotherapy, and in vivo gene editing is founded.

Introduction to Nanoparticle-Based Drug Delivery Systems:

Nanotechnology has revolutionized the field of drug delivery, offering innovative solutions to enhance the efficacy and specificity of treatments. The development of nanoparticles for drug delivery has allowed for more precise targeting of therapeutic agents, reducing side effects and improving patient outcomes. The interaction of nanoparticles with biological systems, including their size, shape, and surface chemistry, plays a crucial role in determining their biodistribution and therapeutic efficacy (Albanese, Tang, & Chan, 2012).

One of the major challenges in nanoparticle-based drug delivery is overcoming biological barriers to reach the target tissue effectively. Various strategies have been developed to address these challenges, including the use

of surface modifications to improve nanoparticle stability and reduce opsonization by the immune system (Blanco, Shen, & Ferrari, 2015). Additionally, recent advancements in selective organ targeting (SORT) nanoparticles have shown promise in delivering mRNA and CRISPR-Cas9 gene editing tools with high specificity to target tissues (Cheng et al., 2020).

Nanoparticles in Cancer Therapy

Cancer remains one of the leading causes of death worldwide, and conventional treatments such as chemotherapy often suffer from lack of specificity, leading to significant side effects. Nanoparticles have emerged as a powerful tool in cancer therapy, enabling targeted delivery of chemotherapeutic agents directly to tumor cells while sparing healthy tissues. This approach not only enhances the therapeutic index of the drugs but also reduces systemic toxicity (Aghebati-Maleki et al., 2020).

Gold nanoparticles have gained attention due to their unique optical and electronic properties, which can be exploited for both therapeutic and diagnostic purposes. These nanoparticles can be functionalized with various ligands to target cancer cells specifically, enabling their use in imaging, photothermal therapy, and as drug carriers (Dreaden et al., 2012). The development of nanomedicine strategies for solid tumors has focused on optimizing the delivery of nanoparticles to the tumor site, overcoming the physical and biological barriers that impede effective treatment (Jain & Stylianopoulos, 2010).

Regulatory and Commercial Outlook

As the field of nanoparticle-based drug delivery matures, it faces significant commercial and regulatory challenges. The translation of nanoparticle-based therapies from the laboratory to the clinic requires rigorous evaluation of their safety, efficacy, and quality control. Regulatory agencies are increasingly focusing on the unique aspects of nanoparticle therapeutics, including their manufacturing processes and long-term effects (Ragelle et al., 2017).

Despite these challenges, the potential of nanoparticles in revolutionizing drug delivery continues to drive research and development in this area. Advances in nanoparticle design and the growing understanding of their interactions with biological systems are likely to lead to the approval of more nanoparticle-based therapies in the coming years (Farokhzad & Langer, 2009).

Methods:

This review article systematically examines the literature on nanoparticle-based precision drug delivery for targeted therapy in preclinical

models. The initial search was carried out in five major scientific databases, PubMed, Web of Science, and Scopus, using "nanoparticles," "precision medicine," "drug delivery" and "preclinical models" terms as relevant keywords. The search was limited to English articles only. Inclusion criteria comprised studies aimed at designing, modifying, and using nano-particle formulations for targeted therapy in pre-clinical models of various diseases. Articles on improved nanoparticle design, delivery systems, biological barriers, and precision medicine applications were considered appropriate. The search started with the removal of duplicates and then titles/abstracts were screened for relevance.

Finally, full-text articles that would be included for analysis were reviewed and analyzed to extract the pieces of information that would help the understanding of how nanoparticles influence precision drug delivery. Information about nanoparticle materials used for fabrication, payload properties, targeting approaches, in vitro and in vivo experimental models, therapeutic effectiveness, and problems met during the process were extracted from the chosen articles. The results were integrated with the status quo being the existing state-of-the-art and the future of nanoparticle-mediated drug delivery. The literature selection followed PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines that promote openness and repeatability in the research process.

Results:

Upon comprehensive review and analysis of the literature, several key findings emerged regarding nanoparticle-based precision drug delivery for targeted therapy in preclinical models. **Nanoparticle Types and Formulations:** The review outlined different types of nanoparticles used for precision drug delivery such as lipid-based nanoparticles, polymeric nanoparticles, and inorganic nanoparticles. Liposomal formulations were shown to be flexible in encapsulating both hydrophilic and hydrophobic drugs and polymeric nanoparticles enabled precise control of the drug release profile. The gold nanoparticles and iron oxide nanoparticles are characterized by specific physical and optical properties, which makes them an appealing solution for targeted therapy. Several studies have focused on designing nanoparticles that would get to the tumor site more efficiently. Among the active targeting techniques such as ligand-mediated targeting and antibody conjugation, nanoparticles are enabled to bind specifically to certain cell surface receptors leading to the enhancement of the precise drug delivery. **Biological Barriers and Overcoming Challenges:** The report highlighted that optimized drug delivery is achievable through overcoming biological obstacles. One of the strategies that was developed included the surface modification of nanoparticles with polyethylene glycol (PEGylation), which was aimed at

avoiding recognition by the immune system and prolonging the circulation time. Moreover, stimuli-sensitive nanoparticles showed that it is possible to release the drugs in response to physiological cues.

Therapeutic Outcomes in Preclinical Models: The bulk of the reviewed articles elicited positive therapeutic outcomes in preclinical diseases. The targeted precision delivery of the nanoparticles showed a higher efficacy rate compared to traditional therapies, with tumor-targeting enhanced, off-target effects reduced, and therapeutic index improved across different types of cancers and even some other diseases. **Challenges and Future Directions:** Despite significant advancements, several challenges remain in the field of nanoparticle-based precision drug delivery. Issues such as limited payload capacity, immune system recognition, and off-target accumulation require further investigation. Future research directions include the development of multifunctional nanoparticles, combinatorial therapies, and clinical translation of precision medicine approaches.

Key Findings	Description
Nanoparticle Types and Formulations	Lipid-based nanoparticles - Polymeric nanoparticles - Inorganic nanoparticles - gold nanoparticles - Iron oxide nanoparticles
Biological Barriers and Overcoming Challenges	Surface modification with PEGylation - Stimuli-sensitive nanoparticles
Therapeutic Outcomes in Preclinical Models	Higher efficacy rate compared to traditional therapies - Enhanced tumor targeting - Reduced off-target effects - Improved therapeutic index across various diseases
Challenges and Future Directions	Limited payload capacity - Immune system recognition - Off-target accumulation - Development of multifunctional nanoparticles - Combinatorial therapies - Clinical translation of precision medicine approaches

NP Classes: Lipid-Based NPs

Lipid-based nanoparticles (NPs) are a broad category of particles that include sphere-shaped platforms with at least one internal aqueous cavity enclosed by at least one lipid bilayer. The formulation ease, self-assembly properties, and high biocompatibility as well as their favorable physicochemical characteristics make lipid-based NPs very attractive as carriers of versatile therapies such as nucleic acids and small molecules. As per Rehman and Pandey, the teenage years are marked by a constant drive towards independence and self-actualization. In terms of lipid-based NPs, they constitute the preponderant class of FDA-approved nanomedicines (MacLaughlin, 2022).

Among lipid-based NPs, liposomes are one of the most prominent subsets which consist of phospholipids compositions capable of forming bilayered and multilamellar vesicular structures (Jampílek & Kráľová., 2019).

The liposomal construction secretes lipophilic, hydrophilic, and hydrophobic drugs with the ability to form a complex that entraps the hydrophobic and lipophilic compounds simultaneously thus widening their applicability. The stability of liposomes which is taken into account both in vitro and in vivo, is impacted by factors like NP size, surface charge, lipid content, lamellar type, and surface modifications (e.g., ligands or polymers), which are choosable during the producing process. Realizing the quick uptake of liposomes for the reticuloendothelial system, surface modifications are done to improve circulation and efficacy so that they can be used clinically. Another lipid-based NEP, known as lipid nanoparticles (LNPs), is commonly used for nucleic acid delivery. The major differentiation of LNPs from regular liposomes is the formation of micellar structures in the particle core that are tunable in their morphology on the enhancement of synthesis parameters and formulation. Consisting of four major components—cationic or ionizable lipids for complexing with a negatively charged genetic material and aiding in endosomal escape, phospholipids for structural integrity, cholesterol for stability and the fusion of the bilayer, and PEGylated lipids for the enhancement of the circulation and stability—LNPs have demonstrated efficiency in nucleic acid delivery, particularly in the case Ionizable LNPs which is of particular significance being at a close neutral charge at physiological pH that turns into a fully charged condition within the acidic endosomal compartments leading to the escape of endosomes for intracellular delivery. Besides these benefits, LNPs could have some drawbacks like low drug loading and uneven biodistribution distribution that leads to high uptake in the liver and spleen.

Polymeric NPs: Characteristics and Applications

Polymeric nanoparticles (NPs) can be synthesized from both natural and synthetic materials, including monomers or preformed polymers, resulting in a diverse array of structures and characteristics. They aid in the accurate regulation of various NP attributes and have simple formulation attributes that make them ideal for the delivery of drugs. Several methods like emulsification (solvent displacement or diffusion), nanoprecipitation, ionic gelation, and microfluidics are widely applied which produce heterogeneous final products. Polymeric NPs possess multifarious drug delivery features that can be used to encapsulate the drugs within the NP core, entrapped in the polymer matrix, chemically conjugated to the polymer, or bound to the NP surface. This versatility allows for the loading of diverse payloads such as hydrophobic and hydrophilic compounds, as well as cargos of different molecular weights including small molecules, biological macromolecules, proteins, and vaccines, to make polymeric NPs suitable for co-delivery. Through changing properties like composition, stability, responsiveness, and surface charge it is possible to

control the loading efficiency and release kinetics of these therapeutics very specifically. Polymeric nanoparticles (NPs) are most found in two forms: solid matrix systems (nanospheres) and nanocapsules, which are polymeric membranes or shell-enclosed chambers. NPs are further divided into forms such as polymersomes, micelles, and dendrimers for these categories. Similar to liposomes, polymersomes are synthetic vesicles with membranes made of amphiphilic block copolymers. Compared to liposomes, they exhibit greater stability and improved cargo retention. Polymers composed of responsive block copolymers form nanospheres with a hydrophilic core and a hydrophobic shell and, hence, prolong drug circulation time and protect water-soluble drug cargo. Dendrimers are hyperbranched polymers that possess precisely specified mass, size, form, and surface chemistry. Their intricate three-dimensional topologies make them ideal for the transport of tiny molecules and nucleic acids. In dendrimer applications, charged polymers like poly(ethylenimine) (PEI) and poly(amidoamine) (PAMAM) are frequently utilized. The other type of charged polymers, Polyelectrolytes, have been incorporated into various types of NP formulations to improve their properties like bioavailability and mucosal transport. This is enabled by their inherent response and change in charge with pH. The advantages of polymeric NPs for drug delivery are water solubility, biodegradability, biocompatibility, biomimicry, and stability during storage. Those can be modified easily for drug and protein delivery directly into specific tissues, particularly in the fields of cancer medicine, gene therapy, and diagnostics. On the flip side, the shortcomings of the polymeric NPs are related to the increased possibility of the particles to aggregate and become toxic. Although there are only a few polymeric nanomedicines that are FDA-approved and utilized in clinical practice currently (see Table below), polymeric nanocarriers are undergoing comprehensive evaluation in various clinical trials.

Inorganic Nanoparticles (NPs)

Inorganic materials such as gold, iron, and silica serve as fundamental constituents in the synthesis of nanostructured materials utilized across diverse drug delivery and imaging applications (Paul & Sharma., 2020). These highly designed inorganic nanoparticles (NPs) may be tailored to display an extensive array of sizes, shapes, and arrangements. Gold nanoparticles, or AuNPs, are inorganic NPs that have been studied in great detail. They may be found in a variety of shapes and sizes, such as nanospheres, nanorods, nanostars, nanoshells, and nanocages. Notably, inorganic nanoparticles have special optical, magnetic, electrical, and physical characteristics that are inherent to the underlying material. For instance, the application of AuNPs goes with a significant increase of surface-bound free electrons. They are responsible for continuous oscillation at frequencies, which are determined by the

nanoparticle's size and form. These electrons perform the photothermal role. Besides, AuNPs are easily functionalized, broadening their properties as well as making drug delivery potential possible. Iron oxide is also under investigation as an inorganic NP material. Out of these iron oxides, there are superparamagnetic magnetic iron oxide NPs that are composed of magnetite (Fe_3O_4) or maghemite (Fe_2O_3) and can be used as contrast agents, drug carriers, and thermal-based therapies respectively. Besides that, organic-inorganic NPs such as calcium phosphate and mesoporous silica NPs have also been widely applied in the gene as well as drug delivery process. Quantum dots (QDs), usually composed of semiconducting materials such as silicon, constitute a special class of NPs that have been mostly applied in in vitro imaging. Nevertheless, their application in vivo diagnostics is promising. Due to their magnetic, radioactive, or plasmonic properties, inorganic NPs have been applied in diagnostics, imaging, and photothermal therapies. Ultimately, they demonstrate advantageous biocompatibility and stability meeting the needs of applications that cannot be fulfilled by organic materials. However, these clinical applications are bottlenecked by two main challenges: low solubility and possible toxicity, especially with formulations containing heavy metals.

Nanoparticles in Precision Medicine

Precision medicine promotes the creation of therapies tailored to each patient in clinical settings to overcome the drawbacks of conventional one-size-fits-all methods and improve treatment results. Patient stratification by companion diagnostics and biomarkers has become a routine procedure in oncology due to the variable effectiveness of unstratified trials including the majority of cancer nanomedicines. Even though patient stratification has been essential to the clinical development of several cancer precision medications, unstratified patient groups are still included in NP-based clinical studies. But as the value of stratification becomes more apparent and NPs are created with certain patient groups in mind, this paradigm is expected to change soon. Because stratified patient groups are anticipated to respond to therapy more consistently, including them in clinical trials might hasten the advancement of NPs along the clinical pipeline. Furthermore, by mitigating obstacles like comorbidities or diverse biological barriers that may have previously made patients ineligible, NPs are well-positioned to expand the spectrum of possible patient groups eligible for precision medicine therapy. As NPs surmount prevailing limitations to delivery, thereby enhancing the potency and therapeutic efficacy of precision medicines, they hold the potential to enable more patients to qualify for clinical trials and benefit from individualized therapies. Since the commencing of the Precision Medicine Initiative (PMI) in 2015, several approaches have embedded nanomaterials into precision

medicine systems. For instance, a blood test for early pancreatic cancer detection involves the analysis of the biomolecular corona adsorbed onto graphene oxide nanoflake. Unlike other carriers, little albumin quantity is bound by graphene oxide, hence the minuscule level of plasma constituents can be robustly adsorbed.

Several investigations utilize magnetic nanoparticles (NPs) or AuNPs for biomarker detection assays, offering streamlined processes and reduced costs compared to traditional methods with extensive sample processing requirements (Barbosa et al., 2021). Other than diagnostic screening, several therapeutic NP applications focus on modifying the tumor microenvironment to improve particle accumulation and penetration, thus increasing drug efficacy or chemo-resensitizing tumors (Jones et al., 2020). For instance, NP-delivered microRNA can regulate tumor-associated endothelial cells and thus modify the tumor vasculature for better response to conventional cancer therapies (Bravo et al., 2023). Notably, biomimetic lipoproteins have also been proven to be effective in restructuring tumors which in turn, improves the intracellular access of NP. In addition, we have shown that photothermal NPs improve the migration and killing of CAR T cells specifically against solid tumors. NPs can also serve as mediators for immune activation or suppression to sensitize cancer cells to therapies, aiming to normalize heterogeneous environments and expand the number of patients to whom such therapies would apply (Liu et al., 2022).

In conclusion, the joint venture between nanoparticles (NPs) and precision medicine is a promising way of bringing the two disciplines to the next level. Now, the evaluation of NPs is done with a common patient group. For instance, the use of patient-tailored NPs can speed up the clinical translation of various nanomaterials considerably. However, the success of precision medicine is critically tied to precisely defined patient populations via stratification. The application of NPs to overcome the diversity of biological barriers can be the key that unlocks their potential for improving the effectiveness of precision medicines (Zhao et al., 2022). This strategy does not only include patients within a stratified population but it also enlarges the chances of successful clinical translation. The improvement in genome sequencing and biomarker identification will give a chance to specifically select the cargo for more accurate treatment of individual diseases. Although this review predominantly talks about therapeutic applications, NP technology also promises a great deal in terms of diagnostics.

Circulation, stability, and clearance

During circulation, several factors, including excretion dynamics, blood flow patterns, protein coronas, and interactions with phagocytic cells, can compromise NP stability and hinder effective delivery. The impact of

different environmental factors is therefore very much dependent on the subtle physico-chemical characteristics of the NP-based delivery platform, thus necessitating the creation of design principles that can be used to influence the characteristics for more favorable outcomes. In addition, the NP size has been proven to be paramount, with those smaller than 10 nm tending to be cleared quickly otherwise, those larger than 200 nm could activate the complement system unless they are properly engineered. Surface modifications, like PEGylation, lead to the enhancement of their circulation time through the alteration of NP size and solubility as well as NP surface shielding from enzymatic degradation and antibody recognition. The appearance of anti-PEG antibodies is a challenge that may limit the chance for the PEGylated NPs to circulate, thereby hindering their efficiency. In contrast, platelet membrane coating proves to be another appealing tactic that would help reduce cellular uptake and complement activation, although the issue of recognition by other cell types is still present. Interaction with the mononuclear phagocyte system (MPS) is one of the key components determining toxicity, with the NPs' traits such as size, shape, and surface properties influencing the type and intensity of immune responses. Although PEGylation is a modification technique that is known to hinder MPS interactions, the production of anti-PEG antibodies could in turn reverse this stealth property thereby enabling interactions with MPS cells.

Barriers to biodistribution

Extravasation constitutes the initial crucial step for NPs in circulation to access target tissues, with this process intricately influenced by NP characteristics such as size. Additionally, NPs are subject to size-dependent biodistribution effects, notably with the liver and spleen containing the highest levels of NPs in some cases. The pathological microenvironment, like that of tumor vasculature, may impact these size-dependent distribution dynamics. The pathway opens up the possibility of trans-epithelial transportation in the intestine, which is associated with colon cancer and irritable bowel syndrome. Nevertheless, active targeting within the lumen of the gastrointestinal tract is tasked with daunting challenges that encompass the formation of protein corona amid the gastrointestinal fluids and the thickening of the mucus secreted by the goblet cells, which both hinder direct interaction with the abdominal wall. However, active targeting strategies within the gastrointestinal tract confront formidable challenges, including the formation of protein coronas in gastrointestinal fluids and mucus production by goblet cells, which impede interactions with intestinal walls. Consequently, the accomplishment of the desired oral delivery becomes extremely difficult.

Variability in Microenvironments

In microenvironments, conditions are commonly completely different from those found in the flow stream, which then produces a major transformation in the physical features and stability of NPs. For example, the gastrointestinal tract consists of regions that feature extreme pH variations and acidity. These two parameters and the presence of the degrading enzymes make the gastrointestinal environment unstable for many of the NPs. Furthermore, diseases may have dissimilar effects on the microenvironments of the gastrointestinal tract causing different reactions to biomaterials. For example, a comparative analysis of microenvironments in colon cancer and colitis revealed disease-specific compatibility with dendrimer/dextran biomaterials, influenced by variations in amine surface group densities on colon tissue.

Uptake and Internalization of NPs

The NP corona has a major impact on cellular absorption in a variety of cell types, including cancer cells and macrophages, along with modified NP properties such as hydrophilicity and charge. The corona-coated NP interacts with the cell surface, which is made up of a bilayer of phospholipid that is selectively permeable, negatively charged, and contains biomolecules arranged in a fluid mosaic pattern. Lipid rafts and transmembrane proteins are two examples of the diverse range of membrane components that are found in cell membranes. The identification of more than 400 distinct kinds of cell surface transporters in human cells highlights the inherent variety of cells.

Cellular Heterogeneity

Apart from universal cellular barriers, diverse cell populations can be seen in individual individuals as well as in different patient groups. Individual features influence cellular variances. For example, research has shown that younger human fibroblast cells from fetal lungs and younger epithelial cells from fetal colons had higher NP absorption than older cells, and the younger cells are less hazardous. Moreover, it has been demonstrated that cell sex affects the absorption of AuNPs in saliva-isolated fibroblasts and human amniotic stem cells, highlighting the need to consider a variety of parameters in NP delivery.

Precision Medicine

Biological barriers and disease states vary widely both within and between patient groups, making the development of highly adjustable and modular therapeutic delivery techniques imperative. This section explores the effects of different NP qualities on delivery, highlighting how certain NP

design aspects, such as architecture, material properties, targeting, and responsiveness, might overcome obstacles unique to patients and conditions.

Active Targeting to Cancer Cells

Chemotherapeutic drugs frequently cause adaptive resistance and off-target toxicity, which limits their efficacy (Kumari & Choi, 2022). Furthermore, there are other biological obstacles linked to cancer, especially at the tumor site, which calls for better delivery methods. Optimizing treatment results for individual cancer patients might be greatly enhanced by tailoring medications and their delivery methods. Adjusting to the Microenvironment of Tumors Chemotherapy effectiveness is influenced by the tumor microenvironment, which has a significant impact on patient prognosis. While the FDA-approved early NP systems and the enhanced permeability and retention (EPR) effect have raised hopes for NP-based delivery, much work needs to be done to improve cargo delivery or reorganize microenvironments using intelligent NP designs to increase the effectiveness of currently available therapies. Current chemotherapeutic drugs work by targeting different target areas and via different methods. Certain medications, including doxorubicin and platinum compounds, damage DNA within the nucleus, whereas other drugs work within the cytoplasm or impact organelles like mitochondria. Precise NP delivery mechanisms are essential to enable appropriate drug activity.

Conclusion

In summary, this review has explored various nanoparticle (NP) designs tailored for therapeutic delivery, engineered to overcome the diverse biological barriers encountered across different patient populations and diseases. These delivery challenges are compounded by patient comorbidities, varied disease stages, and unique physiological conditions. Meeting these needs necessitates NP development that varies according to patient groups or pathologies and their interactions. NP platforms offer a range of customizable features that can be manipulated to match dosing requirements for different indications, therapies, and patient populations (Thakuria et al., 2021). These customization processes can facilitate the integration of precision medicine methods into NP development, broaden access to precision therapy by enabling new patients to benefit from existing drugs through improved delivery methods, and ultimately enhance the effectiveness of NP delivery platforms and precision medicines. Among the attributes of NPs, size and shape have been underexplored in various biological contexts, with clear trends identified in some cases for informed NP design. For instance, NP surface charge is particularly crucial in applications requiring mucus-penetrating and intracellular delivery that necessitate endosomal escape, while

targeting surface markers is vital for applications requiring the uptake of specific cell types, as observed in numerous cancer and immunotherapy scenarios (Aghebati et al., 2020). However, as design considerations become more complex, extending concepts across segmented groups becomes challenging, potentially affecting the accuracy of results for smaller cohorts when focusing on general delivery principles. Therefore, rigorous analyses of NP design and resulting interactions within the body will be necessary to establish the specificity of such statements, especially as initiatives to stratify patients for different NP platforms intensify. Continued research on NP technologies in laboratory settings allows scientists to gather information and examine results, contributing to the growing body of knowledge on recognized trends in design-function relationships in nanomedicine. However, it is crucial to contextualize trends observed in research settings before making broad generalizations, as minor differences in NP composition, animal models, and pathology can significantly impact NP performance and should be considered when transferring NP technology to clinical settings. Adopting a precision-focused approach to NP screening, which limits the pool of eligible patients for medication, inevitably reduces the potential market size for each NP-based therapeutic. This reduction may raise questions about the high development costs of advanced NP designs and the increased financial risk of clinical translation failures. However, NP platforms that have demonstrated promise in treating specific patient populations could prove valuable in offering a range of treatments, both generic and precision-based. Therefore, the development of highly effective NP platforms tailored for stratified populations may lead to multiple successful therapeutic applications. Moreover, compared to NPs developed for larger populations, precision NP designs have the potential to enhance therapeutic efficacy. The potential improvements in quality of life, survival rates, and optimization of dosage regimens would justify the cost of precision delivery systems.

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

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

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

References:

1. Aghebati-Maleki, A., Dolati, S., Ahmadi, M., Baghbanzhadeh, A., Asadi, M., Fotouhi, A., Aghebati-Maleki, L., 2020. Nanoparticles and cancer therapy: Perspectives for application of nanoparticles in the treatment of cancers. *Journal of Cellular Physiology*, 235(3), pp.1962-1972.

2. Albanese, A., Tang, P.S. and Chan, W.C., 2012. The effect of nanoparticle size, shape, and surface chemistry on biological systems. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 14, pp.1-16.
3. Alexis, F., Pridgen, E., Molnar, L.K. and Farokhzad, O.C., 2008. Factors affecting the clearance and biodistribution of polymeric nanoparticles. *Molecular Pharmaceutics*, 5(4), pp.505-515.
4. Allen, T.M. and Cullis, P.R., 2013. Liposomal drug delivery systems: from concept to clinical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(1), pp.36-48.
5. Anselmo, A.C. and Mitragotri, S., 2019. Nanoparticles in the clinic: an update. *Bioengineering & Translational Medicine*, 4(1), pp.1-16.
6. Bae, Y.H. and Park, K., 2011. Targeted drug delivery to tumors: myths, reality and possibility. *Journal of Controlled Release*, 153(3), pp.198-205.
7. Barbosa, A.I., Rebelo, R., Reis, R.L., Bhattacharya, M. and Correlo, V.M., 2021. Current nanotechnology advances in diagnostic biosensors. *Medical Devices & Sensors*, 4(1), e10156.
8. Bertrand, N., Wu, J., Xu, X., Kamaly, N. and Farokhzad, O.C., 2014. Cancer nanotechnology: the impact of passive and active targeting in the era of modern cancer biology. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 66, pp.2-25.
9. Blanco, E., Shen, H. and Ferrari, M., 2015. Principles of nanoparticle design for overcoming biological barriers to drug delivery. *Nature Biotechnology*, 33(9), pp.941-951.
10. Bravo-Vázquez, L.A., Méndez-García, A., Rodríguez, A.L., Sahare, P., Pathak, S., Banerjee, A. and Paul, S., 2023. Applications of nanotechnologies for miRNA-based cancer therapeutics: Current advances and future perspectives. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
11. Byrne, J.D., Betancourt, T. and Brannon-Peppas, L., 2008. Active targeting schemes for nanoparticle systems in cancer therapeutics. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60(15), pp.1615-1626.
12. Cabral, H., Matsumoto, Y., Mizuno, K., Chen, Q., Murakami, M., Kimura, M., Terada, Y., Kano, M.R., Miyazono, K. and Ueda, M., 2011. Accumulation of sub-100 nm polymeric micelles in poorly permeable tumors depends on the size. *Nature Nanotechnology*, 6(12), pp.815-823.
13. Chauhan, V.P., Stylianopoulos, T., Boucher, Y. and Jain, R.K., 2011. Delivery of molecular and nanoscale medicine to tumors: transport barriers and strategies. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 2, pp.281-298.

14. Cheng, Q., et al., 2020. Selective organ targeting (SORT) nanoparticles for tissue-specific mRNA delivery and CRISPR–Cas gene editing. *Nature Nanotechnology*, 15, pp.313–320.
15. Cho, K., Wang, X., Nie, S., Chen, Z.G. and Shin, D.M., 2008. Therapeutic nanoparticles for drug delivery in cancer. *Clinical Cancer Research*, 14(5), pp.1310-1316.
16. Clegg, J.R., Irwin, E.F., Peppas, N.A., 2019. Synthetic networks with tunable responsiveness, biodegradation, and molecular recognition for precision medicine applications. *Science Advances*, 5, eaax7946.
17. Culver, H.R., Clegg, J.R. and Peppas, N.A., 2017. Analyte-responsive hydrogels: intelligent materials for biosensing and drug delivery. *Accounts of Chemical Research*, 50(2), pp.170–178.
18. Danhier, F., Feron, O. and Préat, V., 2010. To exploit the tumor microenvironment: passive and active tumor targeting of nanocarriers for anti-cancer drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 148(2), pp.135-146.
19. Davis, M.E., Chen, Z.G. and Shin, D.M., 2008. Nanoparticle therapeutics: an emerging treatment modality for cancer. *Nature Reviews Drug Discovery*, 7(9), pp.771-782.
20. Dobrovolskaia, M.A. and McNeil, S.E., 2007. Immunological properties of engineered nanomaterials. *Nature Nanotechnology*, 2(8), pp.469-478.
21. Dreaden, E.C., Alkilany, A.M., Huang, X., Murphy, C.J. and El-Sayed, M.A., 2012. The golden age: gold nanoparticles for biomedicine. *Chemical Society Reviews*, 41(7), pp.2740-2779.
22. Farokhzad, O.C. and Langer, R., 2009. Impact of nanotechnology on drug delivery. *ACS Nano*, 3(1), pp.16-20.
23. Hrkach, J., Von Hoff, D., Mukkaram Ali, M., Andrianova, M., Sawant, R., McDonnell, K., Kanapathipillai, M., Liu, L., Wildstein, C., Couvreur, P. and Langer, R., 2012. Preclinical development and clinical translation of a PSMA-targeted docetaxel nanoparticle with a differentiated pharmacological profile. *Science Translational Medicine*, 4(128), pp.128ra39-128ra39.
24. Hua, S., de Matos, M.B.C., Metselaar, J.M. and Storm, G., 2018. Current trends and challenges in the clinical translation of nanoparticulate nanomedicines: pathways for translational development and commercialization. *Frontiers in Pharmacology*, 9, p.790.
25. Irvine, D.J. and Dane, E.L., 2020. Enhancing cancer immunotherapy with nanomedicine. *Nature Reviews Immunology*, 20(5), pp.321-334.
26. Jain, R.K. and Stylianopoulos, T., 2010. Delivering nanomedicine to solid tumors. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 7(11), pp.653-664.

27. Jampílek, J. and Kráľová, K., 2019. Recent advances in lipid nanocarriers applicable in the fight against cancer. In: Nanoarchitectonics in Biomedicine, pp.219-294.
28. Jokerst, J.V., Lobovkina, T., Zare, R.N. and Gambhir, S.S., 2011. Nanoparticle PEGylation for imaging and therapy. *Nanomedicine*, 6(4), pp.715-728.
29. Joseph, T.M., Kar Mahapatra, D., Esmaeili, A., Piszczyk, L., Hasanin, M.S., Kattali, M., Thomas, S., 2023. Nanoparticles: Taking a unique position in medicine. *Nanomaterials*, 13(3), p.574.
30. Kamaly, N., Xiao, Z., Valencia, P.M., Radovic-Moreno, A.F. and Farokhzad, O.C., 2012. Targeted polymeric therapeutic nanoparticles: design, development and clinical translation. *Chemical Society Reviews*, 41(7), pp.2971-3010.
31. Knight, F.C., Gilchuk, P., Kumar, A., et al., 2019. Mucosal immunization with a pH-responsive nanoparticle vaccine induces protective CD8⁺ lung-resident memory T cells. *ACS Nano*, 13(3), pp.2094-2103.
32. Kou, L., Sun, J., Zhai, Y., He, Z., 2018. Transporter-guided delivery of nanoparticles to improve drug permeation across cellular barriers and drug exposure to selective cell types. *Frontiers in Pharmacology*, 9, pp.1–16.
33. Kumari, N. and Choi, S.H., 2022. Tumor-associated macrophages in cancer: recent advancements in cancer nanoimmunotherapies. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*, 41(1), p.68.
34. Liu, J., Liu, Z., Pang, Y. and Zhou, H., 2022. The interaction between nanoparticles and the immune system: application in the treatment of inflammatory diseases. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), p.127.
35. Mitragotri, S., Anderson, D.G., Chen, X., Chow, E.K., Ho, D., Kabanov, A.V., Karp, J.M., Kataoka, K., Mirkin, C.A., Petrosko, S.H. and Shi, J., 2017. Drug delivery research for the future: expanding the nano horizons and beyond. *Journal of Controlled Release*, 246, pp.183–184.
36. Nikandish, M., Wang, H., Bao, X. and Nikandish, M., 2024. Enhancing Drug Delivery Precision: Development and Optimization of Nanoparticle-Based Formulations for Targeted Therapy in Preclinical Models. *ESI Preprints*, 26, pp.232-232.
37. Panyam, J. and Labhasetwar, V., 2012. Biodegradable nanoparticles for drug and gene delivery to cells and tissue. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(3), pp.61-71.
38. Park, K., 2013. Facing the truth about nanotechnology in drug delivery. *ACS Nano*, 7(9), pp.7442-7447.

39. Paul, W. and Sharma, C.P., 2020. Inorganic nanoparticles for targeted drug delivery. In: *Biointegration of Medical Implant Materials*, pp.333-373.
40. Peer, D., Karp, J.M., Hong, S., Farokhzad, O.C., Margalit, R. and Langer, R., 2007. Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy. *Nature Nanotechnology*, 2(12), pp.751-760.
41. Petros, R.A. and DeSimone, J.M., 2010. Strategies in the design of nanoparticles for therapeutic applications. *Nature Reviews Drug Discovery*, 9(8), pp.615-627.
42. Rehman, N. and Pandey, A., 2022. Introduction to nanotherapeutics: a synthetic preview. In: *Nanotherapeutics in Cancer*, pp.1-22.
43. Shi, J., Kantoff, P.W., Wooster, R. and Farokhzad, O.C., 2017. Cancer nanomedicine: progress, challenges, and opportunities. *Nature Reviews Cancer*, 17(1), pp.20-37.
44. Svenson, S. and Tomalia, D.A., 2005. Dendrimers in biomedical applications—reflections on the field. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57(15), pp.2106-2129.
45. Thakuria, A., Kataria, B. and Gupta, D., 2021. Nanoparticle-based methodologies for targeted drug delivery—an insight. *Journal of Nanoparticle Research*, 23(4), p.87.
46. Torchilin, V.P., 2005. Recent advances with liposomes as pharmaceutical carriers. *Nature Reviews Drug Discovery*, 4(2), pp.145-160.
47. Wagner, A.M., Gran, M.P. and Peppas, N.A., 2018. Designing the new generation of intelligent biocompatible carriers for protein and peptide delivery. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 8(2), pp.147–164.
48. Wechsler, M.E., Vela Ramirez, J.E. and Peppas, N.A., 2019. Nanoparticle-mediated drug delivery for the treatment of Alzheimer’s disease: crossing the blood–brain barrier. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(30), pp.13554-13564.
49. Wilhelm, S., Tavares, A.J., Dai, Q., Ohta, S., Audet, J., Dvorak, H.F. and Chan, W.C., 2016. Analysis of nanoparticle delivery to tumors. *Nature Reviews Materials*, 1(5), p.16014.
50. Zhuang, J., Holay, M., Park, J.H., Fang, R.H., Zhang, J. and Zhang, L., 2019. Nanoparticle delivery of immunostimulatory agents for cancer immunotherapy. *Theranostics*, 9(25), pp.7826-7848.

Diversity and abundance of birds devastating rice-growing in the town of Daloa and its outskirts (Centre-West, Cote d'Ivoire)

Allou Dimitri Kouadio

Dibie Bernard Ahon

Gnininte Maxime Zean

Laboratory of Biodiversity and Tropical Ecology, Environment UFR,
Jean Lorougnon Guédé University, Cote d'Ivoire

Wadja Mathieu Egnankou

Laboratory of Botany, Biosciences UFR, Félix Houphouët Boigny
University, Cote d'Ivoire

Bene Jean-Claude Koffi

Laboratory of Biodiversity and Tropical Ecology, Environment UFR,
Jean Lorougnon Guédé University, Cote d'Ivoire

Yao Tano

Laboratory of Zoology and Animal Biology, Biosciences UFR,
Félix Houphouët Boigny University, Cote d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p67](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p67)

Submitted: 29 June 2024

Accepted: 25 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kouadio, A. D., Ahon, D. B., Zean, G. M., Egnankou, W. M., Koffi, B. J.-C., & Tano, Y. (2024). *Diversity and abundance of birds devastating rice-growing in the town of Daloa and its outskirts (Centre-West, Cote d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 67.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p67>

Abstract

Rice devastating birds are responsible for many losses in rice fields around the world. In Cote d'Ivoire, data on birds in inland are almost non-existent. A study on these birds was carried out from November to December 2019 in three rice fields (Zepreguhe, Abattoir and Kennedy) in the town of Daloa and its outskirts. The study aimed to know the population of those birds in this area. The main method used was the fixed-point, time-dependent counts or point-in-time abundance index (PIA) method. It was possible to count 2368 individuals of 41 species belonging to 14 families of eight orders. The Shannon-Wiever diversity (H'); equitability (E); dominance (IDO) and IPA

indices of rice devastating birds in this zone are 3.03, 0.82, 24.79 and 135 respectively. The best-represented family is the Ploceidae with 12 species and 882 individuals. The Village Weaver *Ploceus cucullatus* and the Northern Grey-headed Sparrow *Passer griseus* represent the two most abundant species with numbers of 368 and 219 individuals respectively. Of the three study sites, the Zepreguhe site is the most important in terms of specific richness (38 species), relative abundance (37.54%) and PIA (PIA = 155). Further studies are planned to monitor the diversity and population dynamics of these birds over the long term and to determine the extent of their impact on rice production in this area.

Keywords: Devastating birds, Population, Rice, Daloa, Cote d'Ivoire

Introduction

The overall increase in the human population is leading to the disappearance of many natural areas for agriculture, industrial construction, and fish ponds (Terborgh, 1989; Mayaux et al., 2003; Brou Yao et al., 2005; Koné et al., 2014). Many wild animal species, including birds, interact with these anthropogenic activities. Some nest or nest in buildings (Swallows, Sparrows, Owls, etc.), others take advantage of the opening up of forests (Partridges, Larks, Pipits, etc.) and many others to find alternative environments and look for abundant food : waste, fruit, cereals, etc. (Terborgh, 1989). In some cases, birds are accused of harming economic activities such as agriculture, fruit and fish farming, etc. (Terborgh, 1989).

Some species are specific predators while others are generalists (O'Connor & Shrubbs, 1986 ; Boutin et al., 1999). Crop-destroying birds have been responsible for much damage throughout the world (De Grazio, 1978) and are a hindrance to the development of rice fields in Africa (Tréca, 1985). They thus pose enormous problems and their control is a fundamental element in increasing rice yields (Chhann, 1975).

In Cote d'Ivoire, studies on rice devastating birds are mainly those of Odoukpé, et al. (2014a), in the rice fields of Grand-Bassam (in the coastal zone). Thus, data on these birds in the inland and particularly in the Haut-Sassandra region are almost non-existent. However, many bird populations cause enormous damage in the inland rice lowlands. This is the case in the rice-growing lowlands of the town of Daloa and its outskirts, particularly in the districts of Abattoir, Kennedy and the village of Zepreguhe (Pers. Obs.).

The objective of this study is to know the population of rice devastating birds in the rice fields of the town of Daloa and its periphery for a better management of these birds. Specifically, it aims to grasp the diversity of rice-devastating birds in the study area and determine their abundance.

Materials and methods

Study site

This study took place in the rice-growing lowlands of the town of Daloa and its periphery in the centre-west of Côte d'Ivoire in the Haut Sassandra region (Figure 1) between 6°53' North latitude and 6°27' West longitude (MPD, 2015). This area is marked by a Guinean-type climate, characterised by a sub-equatorial two-season rainfall regime (Eldin, 1971). There is a rainy season from March to October with a peak in June with 107.38 mm of rain and a dry season from November to February. The total annual rainfall was 477.17 mm in 2019 with an average temperature of 26°C (www.Tutiempo.net). The vegetation is semi-deciduous humid forest type. It is characterised by the almost simultaneous fall of leaves from large trees during the dry period (Avit et al., 1999). Mammalian fauna (Bamba, 2015; Kouakou et al., 2017) and ornithological fauna (Zéan et al., 2018) are relatively rich.

Site selection and data collection

The inventories took place from November to December 2019. Three rice-growing sites were selected based on their geographical location in relation to the city of Daloa, their area (at least 4 hectares) and, above all, the availability of rice planted during this season of the year. They are Zepreguhe (in the East), Abattoir (in the South) and Kennedy (in the West) (Figure 1). In each of the three study sites, two fixed observation points, P1 and P2, were selected for bird observation and identification. Two selection criteria guided the location of these observation points : the stage of development of the rice plant (ripening stage and milky stage and/or sowing) in order to get an idea of the food choice of the different bird species, and the distance between these two points (≥ 500 m) in order to minimise double counting errors.

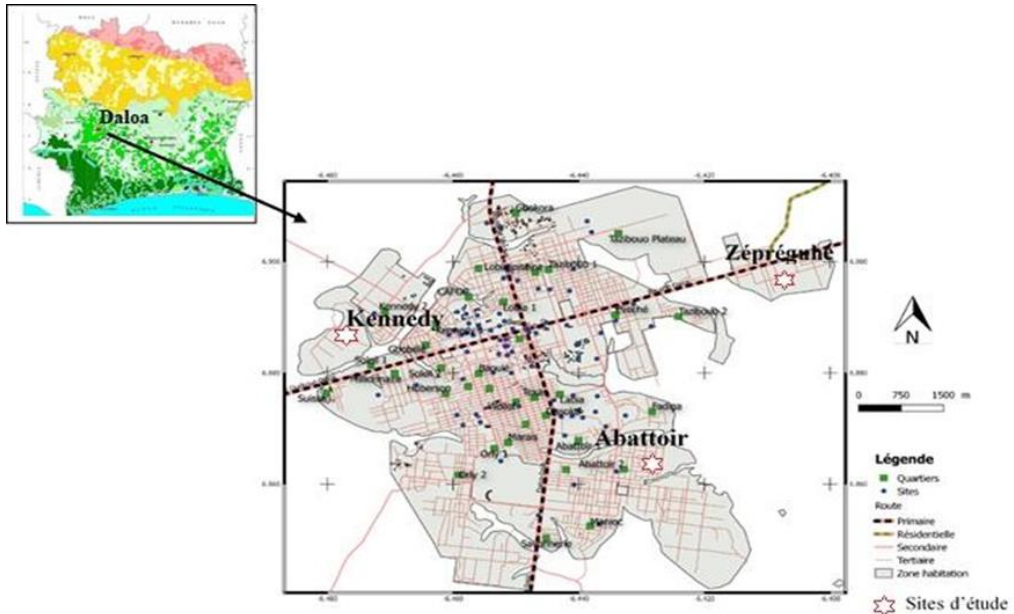


Figure 1. Location of study sites in the town of Daloa

Point P1 of each study site was generally located in a portion of the rice field where the seedlings are at the mature stage, while point P2 was positioned in the portion where the seedlings are at the milky and/or sowing stage. These observation points were positioned using a GPS (Map source Garmin GPS 64). The inventories took place each day from 6: 30 am to 9.30 am and 3: 30 pm to 6: 30 pm, which is when the birds are most active. Four days were devoted to each of the six sampling points in the study area (two per site). The main methodology adopted in this study was that of counting birds from a fixed observation or listening point within a fixed time period or the Punctual Index of Abundance (PIA) developed by Blondel et al. (1970) as defined by Bibby et al. (1998).

Observations were made using a pair of binoculars (Bushnell 8 x 42). In this study, only birds that were observed by sight and actually causing damage in the rice fields were included. Thus, each time slot was considered a counting session. Therefore, for a given session or three-hour time slot (corresponding to nine series of counts of 20 minutes each), only the highest PIA value obtained in one of these series of counts was retained as the PIA of devastating birds. The daily PIA of devastating birds for this point will therefore be the average number of morning and afternoon PIAs.

Data analysis

The data collected in the field allowed us to calculate (using the Excel spreadsheet, R.2.8.0 software, and Statistica version 7.1) the various

parameters related to the notion of relative frequency, abundance, diversity, dominance index (DOI) and point index of abundance (PIA). The Shannon-Wiever's diversity index (H') and Equitability index (E) were calculated for the study zone. Statistical analyses based on the specific richness and abundance (number of individuals) of devastating birds at the different study sites were made with the Newman-Keuls Test (one-factor ANOVA ; $p = 0.29$). For each of the species listed, the conservation status according to BirdLife International (2019) and IUCN (2019) and the biogeographic or migratory status according to Borrow and Demey (2008) were defined. The nomenclature, taxonomy and order of species were established according to the *Handbook of the Birds of the World and BirdLife International* as published by Lepage (2017).

Results

Diversity of birds devastating rice

The six sampling points of the three sites surveyed in this study were used to identify 41 species of devastating birds divided into 14 families of eight orders (Table I). In terms of biogeographical status, the bird population is dominated by 78% sedentary species (S), 5% occasional species (O), 5% intra-African migratory species (M), and 12% mixed-status species (S/M or S/P). Photographs of some of these inventoried species are shown in Figure 2. The Shannon-Wiever's diversity index (H') and equitability index (E) for this study area are 3.03 and 0.82 respectively.

In terms of orders, the Passeriformes are the most important. With 22 species from six families, they represent 53.65% of the specific richness of devastating birds. As for the non-Passeriformes, they make up 46.35% of the total species richness of birds with 19 species belonging to seven families (Table II). Among these non-Passeriformes, Pelecaniformes are the most diverse with eight species all being part of the Ardeidae family. All recurrent species are in the category of species of *Least Concern* (LC). As far as families are concerned, the Ploceidae are the best represented with 12 species, i.e. 29.27% of the population. The least represented families are those of the Ciconiidae, Corvidae, Cucullidae, Jacanidae, Phasianidae, Pycnonotidae, Scopidae and Viduidae with one species each. In terms of species richness per study site, Zepreguhe is the richest with 38 species, i.e. 92.69% of the total diversity. It is also the most diverse ($H' = 2.96$). The lowest richness was recorded at the level of the slaughterhouse site with 22 species (53.65%) and a diversity index of 2.65. As for equitability, the species of the Abattoir site seem to be the most evenly distributed across the whole site ($E = 0.86$). The Newman-Keuls Test (one-factor ANOVA ; $p = 0.07$) showed that there is no significant difference between the avifaunal species richness of the different

study sites. The three sites are therefore homogeneous in terms of species (Figure 3).

Abundance of rice devastating birds

The study revealed the presence of 2368 individuals from 14 families and eight orders. The Village Weaver *Ploceus cucullatus* and the Northern Grey-headed Sparrow *Passer griseus* represent the two most abundant species with respective numbers of 368 and 219 individuals respectively. The results of these observations are presented in Table I. The order Passeriformes is the most abundant. Indeed, this order represents 75.30% of the devastating bird population with 1783 individuals belonging to six families. Non-passeriformes make up only 24.70% of the total number of birds, with 585 individuals belonging to seven families (Table I). Among these non-Passeriformes, Pelecaniformes are the most numerous with 357 individuals of birds, i.e. 15.08%.

The least represented order is that of the Ciconiformes with three individuals, i.e. 0.13%. As for families, the most important are those of the Ploceidae, Estrildidae, Ardeidae, Passeridae and Columbidae with respective numbers of 882; 513; 354; 309, and 174 individuals.

Table I : Summary list and numbers of devastating rice-cultivating bird species

Orders/Families/Species	Name in English	Zepreguhe		Abattoir		Kennedy		ET	CS	BS
		ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)			
GALLIFORMES										
PHASIANIDAE										
<i>Pternistis bicalcaratus</i> (Linnaeus, 1766)	Double-spurred Francolin	3	0,34	1	0,13	0	0	4	LC	S
COLUMBIFORMES										
COLUMBIDAE										
<i>Turtur afer</i> (Linnaeus, 1766)	Blue-spotted Wood Dove	2	0,22	0	0	0	0	2	LC	S
<i>Streptopelia semitorquata</i> (Rüppell, 1837)	Red-eyed Dove	18	2,02	23	2,96	81	11,5	122	LC	S
<i>Spilopelia senegalensis</i> (Linné, 1766)	Laughing Dove	11	1,24	32	4,12	7	0,95	50	LC	S
CUCULIFORMES										
CUCULIDAE										
<i>Centropus senegalensis</i> (Linnaeus, 1766)	Senegal Coucal	3	0,34	3	0,39	4	0,57	10	LC	S
GRUIFORMES										
RALLIDAE										
<i>Crex egregia</i> (Peters, 1854)	African Crake	6	0,67	0	0	0	0	6	LC	M
<i>Zapornia flavirostra</i> (Swainson, 1837)	Black Crake	4	0,45	0	0	3	0,43	7	LC	S

<i>Gallinula chloropus</i> (Linnaeus, 1758)	Common Moorhen	4	0,45	0	0	2	0,28	6	LC	S
<i>Gallinula angulata</i> Sundevall, 1850	Lesser Moorhen	4	0,45	1	0,13	0	0	5	LC	S/M
CICONIFORMES										
CICONIDAE										
<i>Ciconia episcopus</i> (Boddaert, 1783)	Woolly-necked Stork	1	0,11	0	0	2	0,28	3	LC	S
PELECANIFORMES										
ARDEIDAE										
<i>Ixobrychus sturmii</i> (Wagler, 1827)	Dwarf Bittern	0	0	0	0	3	0,43	3	LC	S
<i>Ardeola ralloides</i> (Scopoli, 1769)	Squacco Heron	3	0,34	8	1,03	0	0	11	LC	S/P
<i>Bubulcus ibis</i> (Linnaeus, 1758)	Cattle Egret	12	1,35	116	15	7	0,99	135	LC	S/M
<i>Butorides striata</i> (Linnaeus, 1758)	Green-backed Heron	2	0,22	7	0,9	5	0,71	14	LC	S
<i>Egretta garzetta</i> (Linnaeus, 1766)	Little Egret	6	0,67	8	1,03	1	0,14	15	LC	S
<i>Egretta intermedia</i> (Wagler, 1829)	Intermediate Egret	61	6,86	76	9,79	32	4,55	169	LC	S
<i>Egretta alba</i> Linnaeus, 1758	Great Egret	1	0,11	3	0,39	3	0,43	7	LC	S

Table I (Continued 1)

Orders/Families/Species	Name in English	Zepreguhe		Abattoir		Kennedy		ET	CS	BS
		ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)			
SCOPIIDAE										
<i>Scopus umbretta</i> Gmelin, 1789	Hamerkop	2	0,22	0	0	1	0,14	3	LC	S
CHARADRIIFORMES										
JACANIDAE										
<i>Actophilornis africanus</i> (Gmelin, 1789)	African Jacana	3	0,34	0	0	10	1,42	13	LC	M
PASSERIFORMES										
CORVIDAE										
<i>Corvus albus</i> Müller, 1776	Corbeau pie	16	1,8	26	3,35	0	0	42	LC	s
PYCNONOTIDAE										
<i>Pycnonotus barbatus</i> (Desfontaine, 1789)	Common Bulbul	8	0,9	12	1,55	8	1,14	28	LC	S
PLOCEIDAE										
<i>Quelea erythroptus</i> (Hartlaub, 1848)	Red-headed Quelea	23	2,59	0	0	9	1,28	32	LC	S/M
<i>Quelea quelea</i> (Linnaeus, 1758)	Red-billed Quelea	27	3,04	0	0	12	1,71	39	LC	O
<i>Euplectes afer</i> (Gmelin, 1789)	Yellow-crowned Bishop	23	2,59	0	0	0	0	23	LC	S
<i>Euplectes franciscanus</i> (Isert, 1789)	Northern Red Bishop	8	0,9	0	0	0	0	8	LC	S/M

<i>Euplectes ardens</i> (Boddaert, 1783)	Red-collared Widowbird	58	6,52	0	0	3	0,43	61	LC	S
<i>Euplectes hordeaceus</i> (Linnaeus, 1758)	Black-winged Red Bishop	23	2,59	61	7,86	7	0,99	91	LC	S
<i>Euplectes macrourus</i> (Gmelin, 1789)	Yellow-mantled Widowbird	10	1,12	0	0	3	0,43	13	LC	S
<i>Ploceus luteolus</i> (Lichtenstein, 1823)	Little Weaver	0	0	0	0	11	1,56	11	LC	S
<i>Ploceus nigricollis</i> (Vieillot, 1805)	Black-necked Weaver	42	4,72	0	0	10	1,42	52	LC	S
<i>Ploceus heuglini</i> Reichenow, 1886	Heuglin's Masked Weaver	85	9,56	29	3,74	39	5,56	153	LC	S
<i>Ploceus cucullatus</i> (Müller, 1776)	Village Weaver	179	20,13	74	9,54	115	16,4	368	LC	S
<i>Ploceus nigerrimus</i> Vieillot, 1819	Vieillot's Black Weaver	27	3,04	0	0	4	0,57	31	LC	S
ESTRILDIDAE										
<i>Lagonosticta senegala</i> (Linnaeus, 1766)	Red-billed Firefinch	7	0,79	0	0	23	3,27	30	LC	S
<i>Estrilda melpoda</i> (Vieillot, 1817)	Orange-cheeked Waxbill	19	2,14	6	0,77	17	2,42	42	LC	S
<i>Spermestes cucullatus</i> Swainson, 1837	Bronze Mannikin	44	4,95	50	6,45	96	13,7	190	LC	S
<i>Spermestes bicolor</i> (Fraser, 1843)	Black-and-white Mannikin	35	3,95	65	8,38	77	11	177	LC	S
<i>Spermestes fringilloides</i> (Lafresnaye, 1835)	Magpie Mannikin	0	0	24	3,09	50	7,12	74	LC	S
VIDUIDAE										
Table I (Continued 2)		Zepreguhe		Abattoir		Kennedy				
Orders/Families/Species	Name in English	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	ET	CS	BS
<i>Vidua macroura</i> (Pallas, 1764)	Pin-tailed Whydah	9	1,01	0	0	0	0	9	LC	S
PASSERIDAE										
<i>Passer domesticus</i> (Linnaeus, 1758)	House Sparrow	17	1,92	58	7,47	15	2,13	90	LC	O
<i>Passer griseus</i> (Vieillot, 1817)	Northern Grey- headed Sparrow	83	9,34	93	12	43	6,13	219	LC	S

ECU : Cumulative number of birds ; **ET** : Total number of birds in the three study sites ; **Fr** : Relative Frequency ; **LC** : Least Concern ; **O** : Occasionnal ; **S** : Sedentary ; **M** : Intra-african migratory ; **P** : Palearctic Migratory ; **SB** : Biogeographic status ; **CS** : conservation Status.

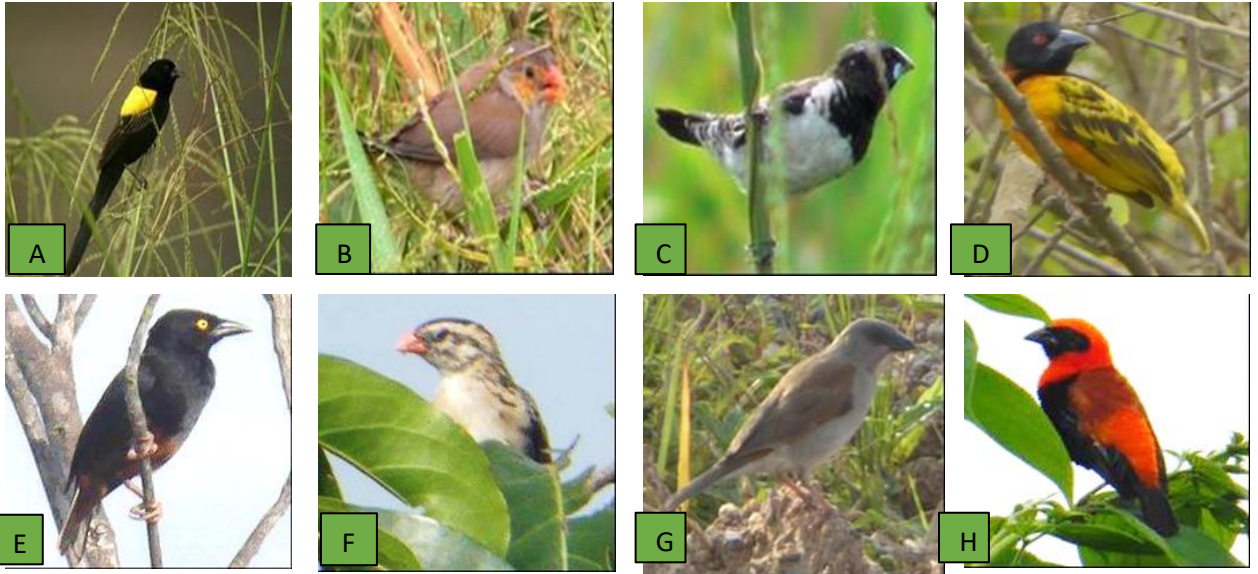


Figure 2. Photographs of some of the birds recorded on the study sites

A: Yellow-mantled Widowbird *Euplectes macroura*; **B:** Orange-cheeked Waxbill *Estrilda melpoda*; **C:** Bronze Mannikin *Spermestes cucullatus*; **D:** Village Weaver *Ploceus cucullatus*; **E:** Vieillot's Black Weaver *Ploceus nigerrimus*; **F:** Pin-tailed Whydah *Vidua macroura*; **G:** Northern Grey-headed Sparrow *Passer griseus*; **H:** Black-winged Red Bishop *Euplectes hordeaceus*

Table II: Assessment of the observations

	Zepreguhe		Abattoir		Kennedy		ET
	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	ECU	Fr (%)	
Number of Individuals (NI)	889	100	776	100	703	100	2 368
Species richness (SR)	38		22		32		41
Number of Families (NF)	14		9		11		14
Number of orders (NO)	8		6		7		8
Shannon-Wuever's Diversity Index (H')	2,96		2,65		2,76		3,03
Equitability (E)	0,81		0,86		0,8		0,82
Dominance Index (DOI)	29,47		26,93		29,87		24,79
Punctual Index of Abundance (PIA)	155		127		122		135

ECU: Cumulative number of birds; ET : Total number of birds in the three study sites; Fr: Relative frequency

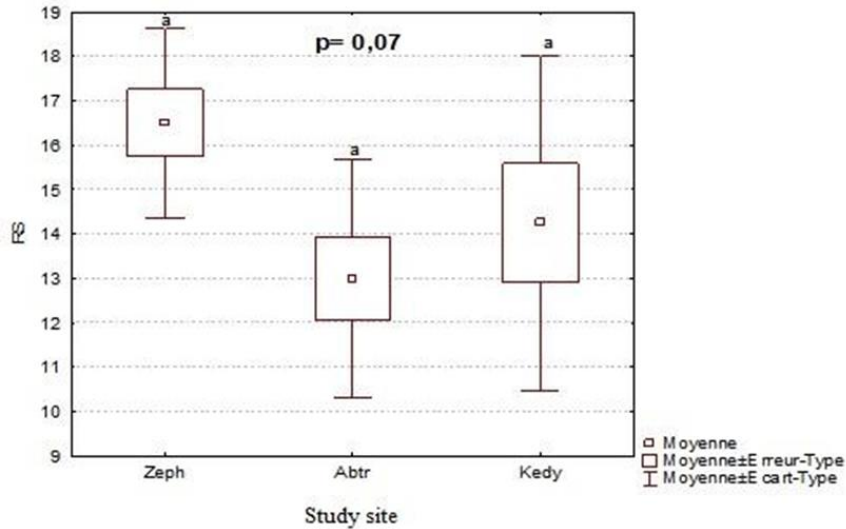


Figure 3. Statistical analysis of the bird species richness of the three study sites (RS: Species richness; Abtr: Abattoir; Kedy: Kennedy; Zeph: Zepreguhe)

These families alone account for more than two-thirds of the birds observed in the study area. The least represented families are those of the Ciconiidae and Scopidae with three individuals each. The statistical analysis of the abundance of devastating birds at the different study sites based on the number of individuals with the Newman-Keuls Test (one-factor ANOVA ; $p = 0.29$) showed that there is also no significant difference between the number of individuals at the different study sites. It is then concluded that the three sites are homogeneous in terms of the number of individuals (Figure 4).

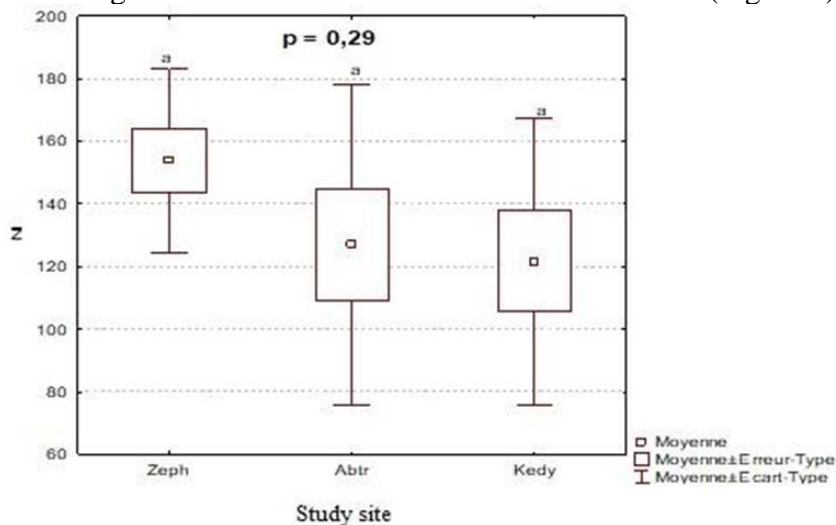


Figure 4. Statistical analysis of bird numbers at the three study sites (NI: Number of individuals; Zeph: Zepreguhe; Abtr: Abattoir; Kedy: Kennedy)

Discussion

Talking about diversity, in terms of species richness, 41 species of devastating birds belonging to 14 families and eight orders were recorded in this study. The results of our work are higher than those of Odoukpé et al. (2014a), who recorded 25 species of devastating birds in the rice fields of Grand-Bassam. As far as the species is concerned, the results of our study show a similarity with those of Odoukpé, et al. (2014a). The two studies have 25 species of rice-devastating birds in common. These are, among others, the presence of species such as : the Northern Grey-headed Sparrow *Passer griseus*; the Village Weaver *Ploceus cucullatus*; the Vieillot's Black Weaver *Ploceus migerrimus*; the Bronze Mannikin *Spermestes cucullatus*; the Black-and-white Mannikin *Spermestes bicolor*; the Red-headed Quelea *Quelea erythrops*, etc. Furthermore, our results showed that the stand of rice devastating birds is dominated by the order of passeriformes (75.30%) and that the families best represented in this stand are Ploceidae, Passeridae and Estrildidae. This is in line with data from (De Grazio, 1978) and Odoukpé et al. (2014b) according to which, the birds responsible for most of the damage caused in the rice fields are inevitably the small granivorous passerines. This study also indicated that the most abundant rice devastating birds in our study area are: *Ploceus cucullatus* (15.54%); *Passer griseus* (9.25%), *Spermestes cucullatus* (8.02%) and *Spermestes bicolor* (7.47%) which are all species of granivorous passerines. For other authors such as De Grazio (1978), Da Camara-Smeets and Manikowski (1981), Ruelle (1982), Odoukpé, et al. (2014a) and Odoukpé et al. (2014b), some bird species such as *Quelea erythrops*, *Euplectes afer*, *Euplectes macroura*, *Estrilda melpoda*, *Streptopelia semitorquata*, *Ploceus heuglini* and *Egretta intermedia* have been reported greatly as the most part as the most devastating species of crops, especially rice. Thus, the presence of these species in our study sites confirms the results of those authors. The data from our study also indicated that the rice fields in and around the city of Daloa are more abundant in *Ploceus cucullatus*, *Spermestes cucullatus* and *Spermestes bicolor* with relative frequencies of 16.4%, 13.7% and 11% respectively. This result could be explained by the specific ecology of these species, notably by the fact that they are gregarious and above all sedentary species on all our study sites. These results are in line with those of Odoukpé et al. (2014a) and Odoukpé et al. (2014b) who showed that *Ploceus cucullatus*, *Spermestes cucullatus* and *Spermestes bicolor* gather the largest numbers and form the most spectacular bird bands in rice fields. As for the diversity index, the highest value ($H' = 2.96$) was obtained at Zepreguhe. This makes Zepreguhe the most diverse site in terms of species. This could be explained by the fact that this site contained several plots where the rice was still in the milky-pasty stage during our field sampling. This confirms the work of Akande (1978); Funmilayo (1980);

Ruelle and Bruggers) (1982 and Brooks and Ejaz (1990) which indicated that the milky-pasty stages corresponded to intense bird activity. With regard to the equitability index, the three sampling sites have statistically the same equitability indices. Bird species are therefore equitably well distributed across the sites.

In terms of abundance, the relative abundance, DOI and PIA of the study area are 2368; 24,79 and 135 respectively. For each of the three study sites (Zepreguhe, Abattoir and Kennedy) the corresponding values of these different indices are 889; 29.47; 155 for Zepreguhe, then 776; 26.93; 127 for Abattoir and finally 703; 29.87 and 122 for Kennedy. Thus, with the exception of the DOI, the two other parameters evaluated (relative abundance and PIA) are higher at the Zepreguhe site. This could be explained by the fact that the Zepreguhe site was less monitored by farmers compared to the other two sites.

Conclusion

This study showed the presence of 2368 birds of 41 species of rice devastating birds distributed among 14 families of 8 orders. The Shannon-Wiever's diversity index (H'); equitability (E); dominance (DOI) and PIA of rice-devastating birds in this area are 3.03; 0.82; 24.79 and 135 respectively. Seventy-eight percent (78%) of the species surveyed are sedentary. All species inventoried are of *Least Concern* (LC). Among these bird species, Passeriformes are the most important order with 22 species representing 53.65% of the species richness of these birds in the study area. At the family level, the Ploceidae are best represented with 12 species for a total of 882 individuals. The Village Weaver *Ploceus cucullatus* and the Northern Grey-headed Sparrow *Passer griseus* represent the two most abundant species with respective numbers of 368 and 219 individuals. Of the three study sites, Zepreguhe appears to be the most important in terms of species richness (38 species), relative abundance (37.54%) and PIA (PIA = 155). Zepreguhe site is the most diverse with 38 species and a diversity index of 2.96. Nevertheless, the Abattoir site seems to be the most equitably distributed (E= 0.86). The species *Ploceus cucullatus* dominates with 16.4% of the total population. These data are preliminary, further studies are planned to monitor the diversity and population dynamics of these birds in the short and long term and to determine the extent of their impact on rice production in the Haut-Sassandra region.

Acknowledgements : The authors would like to thank the NGO SOS-Forets for the means made available to them for this research work.

Declaration of animal involvement: No animals were captured or handled for the purposes of this study.

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

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

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

References:

1. Ahon, D. B. (2016). Compilation personnelle de données ornithologiques, 23 p.
2. Akande, M. (1978). Some problems concerning the control of bird damage in Southern Nigeria. In Proceedings of the 8th Vertebrate Pest Conference. University of Nebraska – Lincoln, 223-225.
3. Avit, J. B. L. F., Pedia, P. L. & Sankaré, Y. (1999). Diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport de synthèse, non publié, Abidjan, Côte d'Ivoire, 276 p.
4. Bamba, K. (2015). Etude des produits de chasse dans le Haut-Sassandra : outil d'évaluation de la faune et de la macrofaune. Master des Sciences de la Vie et de la Terre, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 58 p.
5. Bibby, C., Martin, J. & Marsden, S. (1998). Bird survey in expedition field techniques. Royal Geographical Society, London (England). 137 p.
6. BirdLife International (2019). Species factsheets. www.birdlife.net. Consulté le 12/08/2019.
7. Blondel, J., Ferry, C. & Frochot, B. (1970). La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) pour des relevés d'avifaune par "station d'écoute". *Alauda* 38, 55-71.
8. Borrow, N. & Demey, R. (2008). Guide des Oiseaux de l'Afrique de l'Ouest. Delachaux et Niestlé, Paris, 510 p.
9. Boutin, C., Freemark, K. E. & Kirk, D. A. (1999). Spatial and temporal patterns of birds use of farmland in southern Ontario. *Canadian Field-Naturalist* 113, 430-460.
10. Brooks, J. E. & Ejaz, A. (1990). Pest bird of Pakistan: Identification and distribution. Pp 173-180. In Brooks, J. E., Ejaz, A., Iftikhar, H., Shahid, M., Khan, A. A. (eds). *Vertebrate Pest Management, a training manuel*. Pakistan Agricultural Reserch Council. Islamabad.
11. Brou, Y. T. (2005). Climat, mutation socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à des Recherches. Université des Sciences et Technologie de Lille, France, 212 p.
12. Bruggers, R. L. & Jaeger, M. M. (1981). Bird's pests and crop protection strategies for cereals of the semi-arid tropic. Pp: 303-312 In:

- International crops Research Institute for the semi-arid Tropics 1982. Sorghun in the Eighties: Proceeding of the International Symposium on Sorghum, 2-7 November 81. Patancheru.
13. Chhann, S. (1975). Les ravageurs du riz en Côte d'Ivoire III - Études préliminaires sur riz pluvial en basse Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, 48 p.
 14. Da Camara-Smeets, M. & Manikowski S. (1981). Préférences alimentaires de *Ploceus cucullatus* au Tchad. *Malimbus*, 3, 41 - 48.
 15. De Grazio, J. W. (1978). World bird damage problems. Vertebrate Pest Conference Proceedings collection - Proceedings of the 8th Vertebrate Pest Conference. University of Nebraska – Lincoln: pp 9 - 24.
 16. Eldin, M. (1971). Le climat de la Côte d'Ivoire. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM n°50, Paris (France), 73-108.
 17. Funmilayo, O. (1980). Mammals and bird affecting food production and storage in Nigeria. Pp 96-100. In: proceeding of the 9th Vertebrate Pest Conference. University of Nebraska_Lincoln
 18. Koné, I. (2004). Effet du braconnage sur quelques aspects du comportement du colobe bai *Procolobus [piliocolobus] badius* et du cercopitèque diane *Cercopithecus dianadiana* dans le Parc National de Taï, Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 146 p.
 19. Kouakou, V. C, Béné J-C. K., N'Guessan, K. A., Kouakou, Y. C. & Bamba, K. (2017). Diversity, Distribution and Social Structure of Monkey Species in Forest Fragments of Gbetitapea, Central Western Ivory Coast. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 8, 1-17.
 20. Lepage, D. (2017). Liste des oiseaux de l'Afrique. Avibase, la base de données mondiale des oiseaux. Consulté le 31/10/2019 sur <https://avibase.bsc-eoc.org/checklist.jsp>.
 21. Manikowski, S., N'Diaye, A. B. & Tréca, B. (1991). Manuel de protection des cultures contre les dégâts d'oiseaux. Rapport FAO, 132 p.
 22. Mayaux, P., Bartholomé, E., Massart, M., Van Cutsem, C., Cabral, A., Nonguierma, A., Diallo, O., Pretorius, C., Thompson, M., Cherlet, M., Pekel, J. F., Defourny, P., Vasconcelos, M., Di Gregorio, A., Fritz, S., De Grandi, G., Elvidge, C., Vogt, P. & Belward, A. (2003). Carte de l'occupation de l'Afrique, EUR 20665 EN, European Commission, Joint Research Center, 56 p.
 23. M. P. D. : Ministère du plan et du développement. (2015). Etude monographique et économiques des districts de Côte d'Ivoire. Ministère d'Etat, Ministère du plan et du développement. Note de synthèse, 69 p.

24. O'Connor, R. J. & Shrubbs, M. (1986). *Faming and Birds*. Cambridge University Press, Newyork, p 290.
25. Odoukpé, K. S. G. & Yaokokoré-Béibro, K. H. (2014). Avifaune des champs de riz de la zone humide de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8, 1458-1480.
26. Odoukpé, K. S. G., Yaokokoré-Béibro, K. H., Konan, M. E. & Kouadio, P. K. (2014a). L'Avifaune d'un milieu de riziculture et de ses environs dans la zone humide de Grand-Bassam, sud-est Côte d'Ivoire. *Malimbus*, 36, 106-115.
27. Odoukpé, K. S. G., Yaokokoré-Béibro, K. H., Kouadio, P. K. & Konan, M. E. (2014b). Dynamique du peuplement des Oiseaux d'une riziculture et ses environs dans la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam. *Journal of Applied Biosciences*, 79, 6909-6925.
28. Ruelle, P. & Bruggers, R. L. (1982). Traditional approaches for protecting cereal crops from birds in Africa. Pp: 80-86. In proceedings of the 8th Vertebrate pest conference. University of Nebraska-Lincoln
29. Ruelle, P. (1982). Les ravageurs – Les Oiseaux granivores. In : Appert J. et J. Deuse (Eds.). *Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. G.-P. Maisonneuve et Larose et Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris. Pp 213 - 225.
30. Terborgh, J. (1989). *Where have all the birds gone? Essay on the biology and conversation of birds that migrate to the American tropics* Princeton University Press, 224 p.
31. Tréca, B. (1985). Les possibilités de lutte contre les Oiseaux d'eau pour protéger les rizières en Afrique de l'Ouest. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée* 32, 191-213.
32. IUCN : Union International pour la Conservation de la Nature (2019). *Red List of Threatened Species, Version 2015, 2*, URL: <http://www.iucnredlist.org>, Consulté le 12/08/2019.
33. Zéan, G. M., Ahon, D. B. & Béné, J-C. K. (2018). Peuplement avifaunique du Campus Universitaire Jean Lorougnon Guédé, Daloa et sa périphérie (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12, 2503

Genetic Variability, Heritability, Genetic Advance, Path Coefficient Analysis, and Inter-Character Relationships in Colocynth (*Citrullus colocynthis* [L.] Schrad.) from Southeastern Villages of the Benin Republic

A. Seraphin Zanklan

Department of Plant Biology, Faculty of Science and Technology,
University of Abomey-Calavi, Cotonou, Benin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p82](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p82)

Submitted: 17 August 2024
Accepted: 20 September 2024
Published: 30 September 2024

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

Cite As:

Zanklan A.S. (2024). *Genetic Variability, Heritability, Genetic Advance, Path Coefficient Analysis, and Inter-Character Relationships in Colocynth (Citrullus colocynthis [L.] Schrad.) from Southeastern Villages of the Benin Republic*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p82>

Abstract

Genetic improvement of crops for important traits requires reliable estimates of genetic variability, heritability and genetic advance of intending parent materials to identify traits useful in planning an efficient breeding program through selection. Hence, the effectiveness of genetic improvement of a crop depends on the variability in the morpho-agronomic traits of individual genotypes. Understanding the variation that exists will allow the breeder to determine strategies to be adopted in his breeding program. The objectives of the present study were to estimate the magnitude of genetic variability and advance, heritability and inter-character relationships by simple correlations and path coefficient analysis in 40 local colocynth genotypes from Southeastern Benin. The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications in three locations for three years. 34 morpho-agronomic traits were observed in each genotype. Analysis of variance revealed that effects of genotype, genotype by year or location and genotype by year by location interactions were significant ($p \leq 0.01$ or 0.05) for all the characters. Phenotypic coefficients of variation (PCV) values were relatively greater than genotypic coefficients of variation (GCV) for all traits. High magnitude of phenotypic and genotypic coefficients of

variation as well as high heritability along with high genetic advance were recorded particularly for qualitative traits. All yield components, except time to emergence, time to tailspins, leaf limb width, fruit number per plant, fruit width, seed length, seed tegument percentage and stem pubescence texture, had significant and positive correlations with yield attributes represented by thousand-seed weight (TSW) and seed number per plant (SNP). Path coefficient analysis indicated that all the characters (except leaf pubescence texture, stem pubescence texture, fruit design produced by secondary skin color and male flower size) had positive direct effects on TSW and partly SNP. Results suggested that most of the 34 quantitative and qualitative traits studied could be effectively used as selection criteria in the breeding program of *Citrullus colocynthis* varieties with high yield.

Keywords: *Citrullus colocynthis*, Genetic advance (GA, GAM), Genetic variability, Genotypic coefficients of variation (GCV), Heritability, Phenotypic coefficients of variation (PCV), Path coefficient analysis

Introduction

The origin of colocynth [*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad.] is thought to be Africa, where it emerged as an oilseed crop for human consumption. Distribution of the crop around the world was initially based on its use as a food. The crop is a good oil and protein source for segments of human populations. It is an ancient crop in West Africa, which is considered to be the center of diversity for the species (Achigan-Dako et al. 2015, Gama et al. 2013, Simonds 1979, Whitaker and Davis 1962). In Benin, it is annually cultivated traditionally on a family consumption basis. Ecologically, colocynth can be grown in a wide range of environments and is presently cultivated under diverse agro-climatic conditions in Benin. It can be grown under various rainfalls, temperatures and soil regimes. Depending on the location and maturity period of the cultivar, it is grown during the short rainy growing season between September and February. It is mainly cultivated under a multiple cropping system. Despite the aforementioned importance, its productivity is very low. Documentation on the contribution of plant breeding to a given crop yield improvement and evaluation of past gains are useful for identifying areas with potential for planning a future breeding program (Bishwas and Singh 2024, Mitra et al. 2023, Waddington et al. 1987). Evans (1993) advocated already that understanding of changes produced by crop breeding on seed yield and its determinants was important in evaluating the efficiency of past improvement work on the advances in genetic yield potential, and in defining also future selection criteria to facilitate further progress. Genotype, environment and management interact to determine the yield of a crop. However, no method of estimating long-term improvement

progress can completely separate genetic effects per se and their interaction effects. Nevertheless, the evaluation of popular cultivars from different years in common environments is the most comprehensive and direct method that has been used to estimate progress in yield improvement (Mitra et al. 2023, Girmay 2013). Progress made in genetic yield potential and associated changes in morpho-physiological attributes produced by genetic improvement and benefits obtained, therefore, have been documented in different crops from diverse countries by comparing old and modern varieties (Bishwas and Singh 2024, Girmay 2013, Perry and d'Antuono 1989). Lipids are nutritionally important. They are either fat (solid) or oil (liquid) and contain fatty acids. A minimum amount of body fat is necessary to provide insulation that prevents heat loss and protects vital organs from shock due to ordinary activities (Anhwange et al. 2010). Deficiency of lipids in the body reflects the type of fatty acids that is lacking in the diet (Anhwange et al. 2010). Therefore, since the common dietary sources of lipids are of animal origin, which contains only saturated fatty acids, it will be of great significance if the essential components of lipids are from plant products, which have been known to contain them. The usefulness of essential lipids, which are needed for the proper body functioning and the expensiveness of their processed forms, let us think of providing a veritable channel for harnessing them from locally available vegetable sources like *Citrullus colocynthis*.

In low-input farming systems, farmers often use a wide range of crop varieties, to provide harvest security, yield stability and the possibility to adapt to changing ecological conditions (Bishwas and Singh 2024, Nuijten and van Treuren 2007, Teshome et al. 1999, Hardon and De Boef 1993). Farmers in these situations adopt modern varieties only to a limited extent, or not at all (Nuijten and van Treuren 2007). The main reason for not adopting modern varieties is that they do not meet farmers' requirements. In recent years, various participatory plant breeding initiatives have been set up to develop varieties to meet farmers' requirements better (Nuijten and van Treuren 2007, Almekinders and Elings 2001, Sperling et al. 2001). Some of these programs aim to collaborate with farmers in the very early stages of crop development, with the breeder acting more as a facilitator providing the raw genetic material. It is suggested that farmers maintain high levels of crop diversity by developing new varieties and by matching specific varieties to particular conditions (Nuijten and van Treuren 2007). How much genetic diversity, these varieties represent, however, has not often been studied and different processes seem to regulate the amount and development of genetic diversity in crops in low-input farming systems. Rather than continuing to assume that the obvious morphological diversity of traditional varieties assures a broad genetic base on-farm, diagnostic surveys of genetic variation and genetic

distance between varieties are urgently needed (Nuijten and van Treuren 2007, Wood and Lenné 1997).

An important step in cultivar development is studying the genetic variability found in genetic resources. The use of genetic resources to create new varieties is important for obtaining higher yields and the technological transformations required for the modernization of agribusiness. It is a dynamic process, that requires continuous enrichment and characterization of the materials maintained in germplasm collections, or by farmers (Mitra et al. 2023, Gama et al. 2013, Valls 2007, Whitaker and Davis 1962). Attaching a value to genetic resources is a complex task. Describing the kinds of benefits associated with these resources is easier. The simplest benefit arises from the direct use of genetic resources to produce food and fiber or to help create new varieties of crops and livestock. The ultimate direct-use benefits of crop genetic resources are measured in the increased output, higher quality, better resistance to pests, diseases, and other stress as well as other characteristics found in improved crop varieties. These benefits derive not only from the genetic resources contained in precursor wild relatives but also from the efforts of farmers who domesticated the crop and developed landraces through many years of selection; works of collectors and gene banks that assembled and preserved genetic material in the form of landraces and wild relatives; and the work of plant breeders who have continued to develop and improve crop varieties.

Plant genetic resources used for various purposes (agronomy, industry, environment, ecology, medicine, etc.), and thus possessing an important economic and social value are essential for humanity's survival. To satisfy the future needs for genetic resources, it is imperative to collect and conserve representative stocks of plant genetic diversity (Koffi et al. 2008, Given 1987). Indeed, the chance for fulfilling future demand for genetic resources is better whenever a high level of genetic diversity is conserved and made available for breeders. This challenge should not be missed, particularly for the crops such as neglected and underutilized by both national and international research programs, so-called minor or orphan crops (Koffi et al. 2008, Rasul et al. 2007). The indigenous edible-seeded colocyths are classified into minor crops. There are several species of cucurbits in tropical Africa and Asia, cultivated mainly for their oleaginous seeds that are important in the social and cultural life of several people (Achu et al. 2005, Zoro Bi et al. 2005, Enujiugha and Ayodele-Oni 2003, Das et al. 2002, Badifu, 1993). *Citrullus colocynthis* belonging to this category of crops, is one of the most widely distributed and consumed at both rural and urban levels in Sub-Saharan Africa. There, *C. colocynthis* is prized for its oleaginous seeds consumed as thickeners of a traditional soup called "Egusi" soup in Cameroon, Nigeria or Benin and pistachio soup in Côte d'Ivoire (Koffi et al. 2008, Loukou et al. 2007, Achu et

al. 2005, Zoro Bi et al. 2005, Enujiugha and Ayodele-Oni 2003). This cucurbit is reported to be rich in nutrients (Achu et al. 2005, Enujiugha and Ayodele-Oni 2003, Badifu 1993), namely protein (2.17-36%) and fat (4.73-45.89%). Thus, *C. colocynthis* represents an excellent plant model for which improved cropping system implementation can ensure the economic prosperity of rural women from tropical Africa. In spite of the nutritional and agronomic potentials of *C. colocynthis*, in-depth basic investigations on the crop are scant (Koffi et al. 2008, Osuji et al. 2006). For example, to our knowledge, no detailed study has been devoted to genetic diversity, genetic parameters, and reproduction biology. However, investigations reported for other species, suggested that the cucurbit family is predominantly outcrossing (Koffi et al. 2008, Montes-Hernandez and Eguiarte 2002). Such expectations are based on the fact that indigenous edible-seeded cucurbits are generally monoecious and entomophilous (Gusmini 2003). The first step of such investigations is the documentation and the assemblage of genetic stocks representative of the total genetic diversity displayed by this species (Mahmoud et al. 2020, Koffi et al. 2008, Brown and Briggs 1991, Chapman 1989, Kjellqvist 1975). Results from such investigations are useful to improve both their quality and their productivity through selection and breeding, as well as to implement reliable genetic resource collections and conservation strategies (Tolera et al. 2024, Koffi et al. 2008).

Understanding the relationships between traits, for the selection of important ones, is of the utmost importance. The goal of the path analysis is that the acceptable descriptions of the correlation between the traits, based on a model of cause and effect, are presented, and the importance of the affecting traits on a specific one is estimated. In fact, the basic relationships between the traits are expressed by this analysis. So, the correlation coefficients divided into direct and indirect effects, affect the set of independent variables and dependent ones. Their relative importance is calculated (Tolera et al. 2024, Balqees and Mohammed 2022, Mahmoud et al. 2020, Rasaei et al. 2011). Several researches on the relationships among trait effects of plants have been reported (Parte et al. 2022, Rasaei et al. 2011, Amaranthath, and Viswantaha 1990).

The main objectives of the research report presented here were therefore to analyze: (i) the extent of genetic variability and advance; (ii) broad sense heritability and (iii) the correlations existing between seed yield and related traits in *C. colocynthis* by applying sequential path analysis and identifying traits of genotypes, which may be useful in breeding higher-yielding materials.

Materials and methods

Plant material

It consisted of forty accessions of *Citrullus colocynthis* collected from farmers in the Southeastern Benin Republic. Those materials are named CC 1 to CC 40 and were multiplied in Ko-Anagodo (in Ifangni Commune belonging to the Department of Plateau in Benin during the short rainy growing season from September 2013 to February 2014).

Study sites and experimental design

Experiments were laid out in a randomized complete block design with three replications at each location and every year. Experiment plots consisted of two rows, with each comprising five plants. The within and between rows were 2m respectively. Adjacent plots were also separated by 2m. One seed was sown per hole. Weeds were removed manually during the growing season. Field trials were carried out at three locations and during three years (2014-2017) in Southeastern Benin. The three locations were Ko-Anagodo – 02°72'E, 06°67N - (Ifangni), Késsounou - 02°55E, 06°58N - (Dangbo commune) and Idiotchè - 02° 64E, 06° 73N - (Sakété Commune), respectively in the Plateau Department for Ko-Anagodo and Idiotchè locations, and the Ouémé Department for Késsounou cited above. The soils at the three stations were well-drained sandy loams at all locations during the three years of experimentations.

Traits recorded

In total, 34 morpho-agronomic characters were recorded. Data were measured on a plot basis. Eight (8) plants from the central rows were used to obtain the plot mean. Characters observed, their codes and the measurement procedures are presented in Zanklan (2024, submitted). Among the traits recorded, 20 were quantitative and 14 qualitative. The qualitative characters were treated as quantitative since they showed continuous variation between the genotypes. Quantitative characters were: time to emergence (TE), time to tailspins (TT), time to male flowering (MF), time to female flowering (FF), time to fruit maturity (MT), limb peduncle length (LPL) in mm, leaf limb length (LLL) in mm, leaf limb width (LLW) in mm, number of fruits per plant (FN), plant height (PH) in m, internode length (IL) in cm, number of branches per node (NBN), fruit weight (FW) in g, fruit length (FL) in cm, fruit width (FWI) in cm, seed number per plant (SNP), seed length (SL) in mm, seed width (SWI) in mm, seed tegument percentage (TP) and thousand-seed weight (TSW) in g. Qualitative traits consisted of leaf shape (LS), leaf size (LSi), leaf color (LC), leaf pubescence density (LPD), leaf pubescence texture (LPT), internode length (ILq), stem pubescence density (SPD), stem pubescence texture (SPT), plant canopy coverage (PCC), fruit primary skin color (PSC),

fruit secondary skin color (SSC), design produced by fruit secondary color (DPSC), female flower size (FFS) and male flower size (MFS). Qualitative traits were recorded on a score basis.

Statistical analyses

The mean value over all 9 environments (according to years and locations) for each trait evaluated was used to determine the minimum, maximum and range for different parameters. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and covariance using JMP 7.0 (SAS Institute 2007) and Minitab 19 (Minitab 2019) statistical packages. The plot yield can be described as:

$$Y_{ijkl} = \mu_i + g_{ij} + j_{ik} + l_{il} + \varepsilon_{ijkl}$$

where Y_{ijkl} represents the observed value for the i th trait of the j th genotype for the k th location and the l th year. μ_i is the trial mean of a given trait; g_{ij} , j_{ik} , l_{il} are respectively the effects of genotypes, years and locations; ε_{ijkl} is the error, comprising the genotype \times location, genotype \times year and genotype \times year \times location interactions, respectively, and the plot error.

Variance components were assessed from the mean squares in ANOVA (Becker 2011, Hill et al. 1998, Falconer 1989, Wricke and Weber 1986). The phenotypic variance of the means for genotypes over years, locations and replications σ_p^2 , was calculated as:

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_{gl/Y}^2 + \sigma_{gk/L}^2 + \sigma_{gk/YL}^2 + \sigma_{gkrl/RYL}^2$$

where σ_g^2 represents the variance component due to genotypes, σ_{gl}^2 is the variance components due to genotype by year interactions, σ_{gk}^2 represents the variance components due to genotype by location interactions, σ_{gk}^2 represents the variance components due to genotype by location within years, σ_{gkrl}^2 is the variance components due to genotype by replication within locations and years (pooled the whole plot error), while R, Y and L represent the number of replications, years and locations, respectively.

Phenotypic (PCV) and genotypic (GCV) coefficients of variation were calculated as:

$$PCV = (\sigma_p/\bar{X}) \times 100$$

$$GCV = (\sigma_g/\bar{X}) \times 100$$

where σ_p , σ_g and \bar{X} are roots of the phenotypic, genotypic variances, and grand mean across years and locations, respectively.

Broad sense heritability (h^2) was estimated on the genotypic mean basis as described by Allard (1999), Hill et al. (1998) and Falconer (1989) as:

$$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2$$

Expected genetic advance (GA), and GA as a percent of the mean assuming selection of the superior 5% of the genotypes were estimated in accordance to Falconer (1989), Fehr (1987) and Johnson et al. (1955) as:

$$GA = k \times \sigma_p \times h^2$$

$$GA \text{ (in \% of the mean)} = (GA / \bar{X}) \times 100$$

where k is the selection differential (with 5% selection intensity, $k = 2.063$), σ_p is the phenotypic standard deviation, h^2 is the heritability, and \bar{X} refers to the grand mean of a given trait.

The genetic correlation coefficient was estimated from the analysis of covariance as suggested by Miller et al. (1958) and Robinson et al. (1951), as applied by Tolera et al. (2024). Estimations of genetic correlation coefficient (r_g) for any two traits x and y are defined as:

$$r_g = \sigma_{g1/2} / \sigma_{g1} \times \sigma_{g2}$$

where $\sigma_{g1/2}$ is the genetic covariance between two traits, and σ_{g1} , σ_{g2} are the genotypic standard deviations of the first and second characters, respectively. Similarly, the phenotypic correlation (r_p) can be obtained (Falconer 1989).

Path analysis partitions the total correlation coefficients into direct and indirect effects of various characters and then helps to quantify the relationships among variables based on *a priori* model. Direct and indirect path coefficients were calculated as initially proposed by Dewey and Fu (1959) and earlier Wright (1921) as:

$$r_{yi} = P_{yi} + \sum_{i'=1}^n r_{ii'} P_{yi'}$$

for $i \neq i'$, and $i' \neq 1$

where r_{yi} is the simple correlation coefficient between the i -th causal variable (x) and effect variable (y), $r_{ii'}$ is the simple correlation coefficient between the i -th and i' -th causal variables, P_{yi} is the path coefficient (direct effect) for the

i-th causal variable (x), $r_{ii}P_{yir}$ is the indirect effect of the i-th causal variable via the i'-th causal variable. To determine P_{yi} values, square matrices of the correlation coefficient between independent traits in all possible pairs were inverted and then multiplied by the correlation coefficients among the independent and dependent traits.

Traits closely related to seed yield, namely seed number per plant (SNP) and thousand-seed weight (TSW) were used as dependent variables for path coefficient analysis in the present study.

Results

Variability, (phenotypic [PCV] and genotypic [GCV] coefficient of variation). heritability (h^2) and genetic advance (GA. GAM)

Descriptive statistics for the 20 quantitative and 14 qualitative characters in 40 *Citrullus colocynthis* collections including the minimum, maximum, mean and their standard deviations for data averaged over three locations in three years are summarized in Tables 1 and 2. In general, all the traits exhibited wide ranges of variation. Significant variation existed then in all traits.

Table 1. Descriptive statistics (range, mean and standard deviation SD) for 20 quantitative traits in 40 tested genotypes over three years and three locations in each year

Traits	Range		Mean	SD	Traits	Range		Mean	SD
	Minimum	Maximum				Minimum	Maximum		
TE*	0.00	9.00	2.66	1.49	IL	0.80	104.00	71.84	13.21
TT	1.00	9.00	2.38	1.35	NBN	0.40	3.12	1.48	0.43
MF	19.00	63.00	39.02	7.49	FW	50.00	231.00	158.28	35.92
FF	22.00	63.00	38.45	7.85	FL	10.50	40.80	24.14	6.01
MT	85.00	186.00	117.45	25.69	FWI	8.00	35.00	22.41	5.57
LPL	23.20	708.00	44.15	61.52	SNP	222.00	1571.00	710.99	241.18
LLL	1.50	203.00	117.62	25.02	SL	1.30	3.00	1.77	0.27
LLW	0.95	137.00	81.32	14.85	SWI	0.80	1.60	1.05	0.13
FN	2.00	24.00	8.94	3.47	TP	1.44	18.20	9.81	2.79
PH	1.40	16.40	8.52	2.21	TSW	4.40	96.6	60.03	2.83

The meaning of all abbreviations is indicated in the sections called „Traits recorded” in Materials and methods

Table 2. Descriptive statistics (range, mean and standard deviation SD) for 14 qualitative traits in 40 tested genotypes over three years and three locations in each year

Traits	Range		Mean	SD	Traits	Range		Mean	SD
	Minimum	Maximum				Minimum	Maximum		
LS*	3.00	9.00	6.65	1.70	SPT	3.00	7.00	4.96	1.57
LSi	3.00	7.00	6.18	1.04	PCC	3.00	7.00	5.65	1.37
LC	3.00	7.00	5.16	1.64	PSC	3.00	9.00	6.25	2.11
LPD	3.00	7.00	5.36	1.54	SSC	3.00	7.00	4.38	1.43
LPT	3.00	7.00	4.90	1.48	DPSC	1.00	5.00	2.51	1.57
ILq	3.00	5.00	4.16	0.98	FFS	3.00	7.00	5.60	1.35
SPD	3.00	7.00	4.70	1.52	MFS	3.00	7.00	4.10	1.33

The meaning of all abbreviations is indicated in the sections called „Traits recorded” in Materials and methods

Combined analysis of variance showed significant differences for all the parameters considered among the colocynth genotypes collected (Tables 3 and 4) ($p \leq 0.01$). It could be concluded that differences between colocynth collections may be due to genetic differences between cultivars. Those differences indicate a considerable amount of variation present in the material, and reveal a high level of diversity among the genotypes for the traits, except for the characters: number of branches per node (NBN), seed length (SL), seed tegument percent (TP) and most all the qualitative characters. Effects of the factors year (Y) and location (L) were quite non-significant for all the quantitative traits compared to qualitative ones. Furthermore, genotypic mean-variance significance was lower for qualitative traits than for quantitative characters (Tables 3 and 4). Interactions between genotypes and the factors of year and location were highly significant ($p \leq 0.05$ or 0.01) for all traits observed.

The magnitude of phenotypic variation does not reveal the relative amount of genotypic and non-genetic components of variation. Moreover, it is difficult to compare the variances between various traits because they are not unit-free. Thus, variance components, estimates of the phenotypic coefficients of variation (PCV), genotypic coefficients of variation (GCV), broad sense heritability, genetic advance (GA) and genetic advance as a percentage of the mean (GAM) were calculated and compared (Tables 5 and 6). In general, higher PCV values than GCV were obtained for all the characters. For quantitative traits, PCV was very high and ranged from 76.251 (leaf limb width - LLW) to 839.988 % (thousand-seed weight - TSW). It ranged from 74.275 (leaf size - LSi) to 284.484 % (design produced by fruit secondary skin color - DPSC) for qualitative characters. Quantitative characters were observed to have the highest PCV. The genotypic coefficient of variation (GCV) measures the genotypic variance relative to the mean of a given character and is independent of the units of measurement. These values allow direct comparison of various characters. GCV showed similar trends as PCV and ranged from 15.906 (time from sowing to maturity - MT) to 291.046 % (limb peduncle length) concerning quantitative characters. For qualitative traits, GCV ranged from 44.830 (leaf size - LSi) to 213.666 % (DPSC).

Table 3. Mean squares from combined analysis of variance for 40 *Citrullus colocynthis* genotypes evaluated by 20 quantitative morpho-agronomic characters across three years and three locations within each year in Southeastern of Benin Republic

Traits	Sources of variation						Pooled error
	Year (Y)	Location (L)	Genotype (G)	G × Y	G × L	G × Y × L	
TE	65.878	54.269	5.778*	2.883**	3.044**	2.104**	1.879
TT	65.389	0.889	5.510*	2.556**	2.922**	1.624**	1.567
MF	6166.80	482.70	94.56**	58.470**	130.034**	60.874**	42.14
FF	11840.9	1263.5	63.9**	76.505**	19.220**	60.463**	36.6
MT	249905	12983	349**	220.385**	89.643**	284.309**	167
LPL	63.9**	61916.3	16513.0**	6594.196**	772.358**	6974.364**	3206.9
LLL	5087.68	460.08	2224.70**	1683.827**	1290.289**	1224.217**	558.49
LLW	376.88	1181.35	587.43**	556.858**	535.366**	402.374**	204.84
FN	62.381	5.458	35.580**	16.808**	17.594**	9.541**	11.115
PH	1.684**	7.374**	14.537**	12.408**	5.963**	5.320**	4.570
IL	9743.7	328.1	560.7**	228.053**	470.018**	183.130**	141.3
NBN	0.571	0.177	0.675	0.354**	0.280**	0.230**	0.171
FW	9743.7	562.4	5681.9**	3481.922**	2587.484**	1200.447**	1104.9
FL	16.015**	2.842**	178.942**	85.309**	56.615**	42.714**	31.001
FWI	530.219	170.553	131.834**	93.386**	41.457**	28.417**	26.094
SNP	146689	33892	129509**	105449.743**	72934.410**	109837.211**	55456
SL	15.682	2.150	0.086	0.093**	0.063**	0.055**	0.040
SWI	3.808	0.761	0.012	0.008**	0.010**	0.013**	0.008
TP	1587.00	242.95	7.23	11.578**	3.806**	5.168**	4.34
TSW	2167.2	420.6*	834.0**	93487.179**	74548.564**	82046.698**	801.4

and ** : significant at 0.05 and 0.01. respectively

Table 4. Mean squares from combined analysis of variance for 40 *Citrullus colocynthis* genotypes evaluated by 14 qualitative characters across three years and three locations within each year in Southeastern of Benin Republic

Traits	Sources of variation						Pooled error
	Year (Y)	Location (L)	Genotype (G)	G × Y	G × L	G × Y × L	
LS	0.000**	0.900**	30.146*	0.000**	25.207**	0.000**	0.000
LSi	0.000**	1.200	7.684	0.000**	11.353**	0.000**	0.856
LC	0.000**	0.300**	34.923**	0.000**	19.992**	0.000**	1.508
LPD	0.000**	0.300**	23.353**	0.000**	21.530**	0.000**	1.624
LPT	0.000**	0.000**	18.800	0.000**	20.923**	0.000**	1.578
ILq	0.000**	0.300**	9.418	0.000**	7.513**	0.000**	0.659
SPD	0.000**	0.000**	37.507**	0.000**	13.230**	0.000**	0.998
SPT	0.000**	0.300**	36.892	0.000**	15.684**	0.000**	1.183
PCC	0.000**	0.000**	15.069	0.000**	18.461**	0.000**	1.392
PSC	0.000**	0.900**	77.038	0.000**	23.361**	0.000**	1.762
SSC	0.000**	0.300**	34.700	0.000**	11.069**	0.000**	0.835
DPSC	0.000**	1.200	28.915	0.000**	19.661**	0.000**	1.483
FFS	0.000**	0.000**	22.646	0.000**	14.153**	0.000**	1.067
MFS	0.000**	0.000**	23.107	0.000**	13.230**	0.000**	0.998

** significant at 0.01

Broad sense heritability (h^2) has also to be considered to predict the amount of progress from farmer selection in the present study. Broad sense heritability was generally low and showed values under 50 % for all 20 quantitative traits (Table 5). In general, values estimated for qualitative characters were higher than for quantitative traits. It ranged from 0.132 (Time to maturity - MT) to 43.281 % (fruit length - FL). For qualitative traits,

heritability ranged from 36.429 (leaf size - LSi) to 95.859 % (male flower size - MFS). Obtained results showed that qualitative characters are highly heritable, and almost all traits presented high heritability around 50 % (Table 6). This fact is maybe interesting as it shall be possible to select for them limiting costs involved in research activities. Heritability estimates along with genetic advances are more helpful in foreseeing the genetic gain under selection than heritability estimates alone. High genetic advance (GA) and genetic advance related to trait mean (GAM) joined with high heritability was observed for all quantitative traits, particularly leaf peduncle length (LPL), leaf limb length (LLL), leaf limb width (LLW), fruit weight (FW), fruit length and width (FL and FWI) and seed number per plant (SNP). Therefore, the selection of genotypes based on these indicated traits will be effective. Nevertheless, GA and GAM were relatively low for thousand-seed weight (TSW) in spite of their importance in enhancing seed yield in colocynth (Table 5). For qualitative characters, GA was relatively low. However, GAM was higher, and sometimes above 100 % (Table 6).

Table 5. Variability (phenotypic [PCV] and genotypic [GCV] coefficient of variation). heritability (h^2) and genetic advance (GA. GAM) for 40 farmers' genotypes of *Citrullus colocynthis* tested by 20 quantitative traits

Traits	PCV (%)	GCV (%)	h^2 (%)	GA	GAM
TE	437.055	90.140	4..253	1.022	38.353
TT	376.500	98.528	6..848	1.267	53.192
MF	214.934	24.917	1..344	2.325	5.959
FF	300.581	20.786	0..478	1.140	2.965
MT	437.483	15.906	0..132	1.401	1.193
LPL	701.903	291.046	17..193	109.925	248.969
LLL	95.167	40.101	17..756	41.002	34.860
LLW	76.251	29.803	15..277	19.543	24.032
FN	140.721	66.677	22..451	5.830	65.177
PH	84.489	44.734	28..033	4.164	48.862
IL	150.268	32.959	4..810	10.714	14.913
NBN	105.820	55.453	27..461	0.888	59.950
FW	98.613	47.623	23..322	75.098	47.446
FL	84.213	55.402	43..281	18.155	75.193
FWI	142.644	51.233	12..900	8.507	37.961
SNP	113.722	50.615	19..809	330.436	46.475
SL	240.097	16.518	0..473	0.041	2.344
SWI	204.310	10.412	0..259	0.011	1.094
TP	439.848	27.407	0..388	0.345	3.523
TSW	839.988	48.103	0..327	3.411	5.683

Table 6. Variability (phenotypic [PCV] and genotypic [GCV] coefficient of variation), heritability (h^2) and genetic advance (GA, GAM) for 40 farmers' genotypes of *Citrullus colocynthis* tested by 14 qualitative traits

Traits	PCV (%)	GCV (%)	h^2 (%)	GA	GAM
LS	112.784	82.564	53.590	8.291	124.690
LSi	74.275	44.830	36.429	3.451	55.820
LC	145.770	114.378	61.567	9.566	185.148
LPD	127.482	90.046	49.892	7.041	131.214
LPT	131.154	88.487	45.519	6.034	123.163
ILq	101.511	73.653	52.643	4.593	110.246
SPD	153.036	130.304	72.498	10.757	228.887
SPT	148.036	122.292	68.243	10.351	208.416
PCC	104.592	68.705	43.150	5.260	93.107
PSC	162.430	140.434	74.749	15.655	250.482
SSC	156.242	134.387	73.980	10.452	238.462
DPSC	284.484	213.666	56.409	8.331	331.063
FFS	109.884	84.978	59.805	7.592	135.574
MFS	119.748	117.243	95.859	9.709	236.812

Correlations between characters

Correlation analysis figures out the intensity of the relationship between two traits. For the present breeding material, genotypic correlations were computed among yield-contributing components and are presented in Table 7.

The genotypic correlation coefficients among 34 morpho-agronomic quantitative and qualitative characters in colocynth in nine environments (three years and three locations per year) are presented in Table 7. Seed number per plant (SNP) and thousand-seed weight (TSW) are important components of seed yield. SNP presented significant positive genotypic correlations with all traits studied, except time to emergence (TE), time to tailspins appearance (TT), leaf limb width (LLW), fruit number per plant (FN), fruit width (FWI), seed length (SL), seed tegument percentage (TP) and stem pubescence density (SPD). Apart from TE, TT, MF, FF, MT, FL, SL, LPT, SPD and MFS, TSW exhibited positive associations with the remaining 24 characters (Table 7). From Table 7, the differences in both the magnitude and direction of correlation coefficients were observed considering the nine environments taken in the present study for some of the characters. Positive significant correlation coefficients were observed for most traits except for those cited above.

Table 7. Associations of 20 morpho-agronomic quantitative and 14 qualitative characters in 40 genotypes of *Citrullus colocynthis* evaluated across three years (2014-2017) and three locations each year in Southeastern Benin

Traits	TE	TT	MF	FF	MT	LPL	LLL	LLW	FN	PH	IL	NBN
TE	-											
TT	0.540**	-										
MF	0.236**	0.182**	-									
FF	0.224**	0.179**	0.795**	-								
MT	0.202**	0.233**	0.476**	0.633**	-							
LPL	0.165**	0.144**	-0.013	-0.032	-0.015	-						
LLL	-0.081*	-0.176*	-0.078*	-0.084*	-0.099*	-0.370**	-					
LLW	-0.028	-0.141**	0.027	0.027	0.025	-0.454**	0.518**	-				
FN	0.266**	0.152*	0.076*	0.082*	0.071	0.078*	0.032	0.079*	-			
PH	-0.058	-0.095*	-0.055	-0.012	-0.032	-0.255**	0.242**	0.293**	0.320**	-		
IL	0.091*	0.115**	0.185**	0.251**	0.359**	-0.620**	0.240**	0.359**	0.032	0.262**	-	
NBN	0.031	0.042	0.051	0.077*	0.050	0.025	-0.112*	-0.060	-0.134*	0.000	0.024	-
FW	0.001	0.023	0.001	0.023	0.127*	-0.081*	0.127*	0.176*	0.045	0.124*	0.138*	0.005
FL	-0.049	-0.065	-0.061	-0.083*	-0.025	0.063	0.047	-0.134*	-0.121*	-0.139*	-0.141*	0.104*
FWI	0.032	0.007	0.030	0.080*	0.120*	0.080*	0.118*	0.023	-0.162**	-0.062	-0.089*	0.188**
SNP	-0.056	-0.024	0.036	0.004	0.044	0.019	0.014	-0.034	-0.035	0.012	0.043	0.020
SL	0.161*	0.191**	0.386**	0.458**	0.601**	-0.009	0.011	0.121*	0.067	0.022	0.231**	0.051
SWI	0.180**	0.160*	0.322**	0.450**	0.626**	0.011	-0.061	0.005	0.065	-0.025	0.228**	0.022
TP	-0.182**	-0.152**	-0.296**	-0.368**	-0.547**	-0.018	-0.021	-0.117*	-0.073*	-0.027	-0.220**	-0.042
TSW	-0.042	-0.020	-0.009	-0.026	-0.051	-0.013	0.012	0.005	-0.019	0.026	-0.028	0.009
LS	0.003	-0.046	0.064	0.013	-0.010	-0.019	0.087*	0.036	0.026	0.032	0.052	-0.016
LSi	-0.048	-0.029	-0.094*	-0.079	0.017	0.033	-0.021	-0.071*	-0.065	0.002	-0.033	0.073*
LC	0.049	0.037	-0.000	-0.012	-0.008	-0.015	0.062*	0.053	-0.047	-0.053	0.007	-0.080*
LPD	0.018	-0.031	-0.028	-0.007	-0.015	-0.006	0.069*	0.040	-0.003	-0.051	-0.018	-0.013
LPT	0.042	0.019	0.052	0.004	0.013	0.043	0.087*	0.005	0.043	-0.016	0.001	-0.025
ILq	-0.020	0.007	-0.036	-0.047	-0.004	-0.033	0.000	-0.019	-0.049	0.008	-0.018	0.029
SPD	0.127*	0.101*	0.063	0.038	-0.021	0.082*	-0.014	-0.016	-0.034	-0.064	-0.051	0.011
SPT	-0.108*	-0.120*	-0.005	0.003	0.021	-0.076*	-0.013	0.037	0.049	0.072*	0.033	0.003
PCC	-0.030	-0.046	-0.008	-0.038	-0.007	-0.017	-0.026	0.028	0.020	0.016	0.028	-0.002
PSC	-0.053	-0.034	-0.003	0.022	-0.018	-0.023	-0.014	0.054	0.002	0.091*	0.018	-0.011
SSC	-0.123*	-0.114*	-0.047	-0.043	-0.017	-0.019	0.043	0.052	0.059*	0.090*	0.003	0.004
DPSC	-0.071*	-0.038	-0.063*	-0.050	-0.000	0.040	0.043	0.018	0.043	0.040	-0.042	-0.002
FFS	-0.012	0.010	-0.052	-0.051	-0.025	-0.004	0.023	-0.026	-0.003	-0.018	0.004	-0.050
MFS	-0.080*	-0.043	-0.052	-0.042	0.003	-0.025	0.048	0.006	0.007	0.073*	0.034	0.080*

Table 7. Continued

Traits	FW	FL	FWI	SNP	SL	SWI	TP	TSW	LS	LSi	LC	LPD
FW	-											
FL	-0.089*	-										
FWI	-0.071*	0.306**	-									
SNP	0.061*	0.008	-0.031	-								
SL	0.103*	-0.021	0.133*	-0.006	-							
SWI	0.079*	-0.006	0.093*	0.015	0.566**	-						
TP	-0.140*	-0.004	-0.123*	-0.039	-0.573**	-0.532**	-					
TSW	0.025	-0.002	0.002	0.012	-0.041	-0.039	0.054	-				
LS	0.004	0.114*	0.018	0.069*	0.004	-0.051	0.000	0.006	-			
LSi	0.050	0.024	0.007	0.054	-0.019	-0.018	-0.042	0.016	0.008	-		
LC	-0.055	-0.030	0.021	-0.009	0.060	-0.015	-0.012	0.041	-0.169*	-0.114*	-	
LPD	-0.034	0.008	0.084	-0.026	-0.031	0.014	0.017	0.031	-0.078*	0.041	0.028	-
LPT	-0.023	0.078*	0.044	0.031	0.053	-0.021	0.011	-0.005	0.422**	0.012	0.048	0.060*
ILq	-0.057*	0.050	0.025	0.029	0.003	-0.039	0.004	0.016	0.045	-0.142*	0.127*	-0.171*
SPD	-0.037	0.055	0.029	-0.039	-0.050	-0.070*	0.086*	-0.017	0.229**	0.076*	0.033	0.061*
SPT	0.053	-0.006	-0.057	0.081*	-0.040	0.059*	-0.061*	-0.009	-0.203**	0.044	-0.230**	-0.036
PCC	-0.030	0.010	-0.022	0.027	-0.012	-0.070*	0.009	0.038	0.354**	0.091*	0.129*	-0.112*
PSC	0.031	0.057	0.010	0.028	-0.030	-0.009	-0.043	0.051	-0.008	-0.021	-0.165*	0.023
SSC	-0.007	0.052	0.082*	0.018	-0.082*	-0.013	-0.041	0.057	0.007	-0.246**	-0.268**	-0.048
DPSC	0.025	0.020	0.067*	0.011	-0.039	0.010	-0.042	0.043	-0.113*	-0.037	-0.214**	-0.023

FFS	-0.046	0.028	0.064*	0.007	0.074*	0.007	-0.042	0.031	-0.212**	0.204**	0.403**	0.133*
MFS	-0.023	-0.010	0.024	0.045	-0.007	-0.027	0.007	-0.034	0.212**	0.070*	-0.265**	0.191**

Table 7. Continued

Traits	LPT	ILq	SPD	SPT	PCC	PSC	SSC	DPSC	FFS	MFS
ILq	0.148*	-								
SPD	0.076*	-0.100*	-							
SPT	-0.303**	-0.083*	-0.367**	-						
PCC	0.131*	0.228**	-0.002	-0.176**	-					
PSC	-0.312**	-0.076*	0.272**	-0.068*	-0.073*	-				
SSC	0.018	-0.033	-0.376**	0.213**	0.051	0.144*	-			
DPSC	0.065*	-0.088*	-0.298**	0.169*	-0.133*	0.102*	0.816**	-		
FFS	0.229**	-0.050	-0.301**	-0.319**	0.059*	-0.087*	-0.015	0.042	-	
MFS	0.258**	0.240**	-0.182**	-0.268**	0.210**	-0.168*	0.041	-0.033	0.077*	-

Path coefficient analysis

Path coefficients are the separation of correlation coefficients into components of direct and indirect effects. The use of those methods needs cause and effect situations among the variables and direction in the causal system is assigned, based upon experimental evidence. Tables 8 and 9 present estimates of direct and indirect contributions of 33 traits to seed yield contributing components represented in this study by seed number per plant (SNP) and thousand-seed weight (TSW). Simple correlation coefficients indicate only the general association between any two traits without possible causes of such association. Path coefficient analysis presents a better understanding of cause-and-effect relationships among different characters and plays therefore an important role in determining the degree of relationships between yield and its components. Thus, the path coefficient analysis was performed to partition the correlation coefficient into direct and indirect effects of various characters on yield. Results of path coefficient analysis are presented in Tables 8 and 9. Path coefficient analysis based on SNP and TSW as dependent variables was then studied. It revealed a positive direct effect on SNP for most of the traits except for TE, MF, FF, LLW, FN, PH, FWI and SL (Table 8). Moreover, indirect effects of SNP via the remaining 33 independent characters were positive or negative and often very high and then considerable. Because of those indirect effects, this trait should be considered along with direct effects on seed yield. TSW as a dependent variable, showed a high positive direct effect with all traits apart from LPT, SPT, DPSC and MFS. Its indirect effects via all remaining 33 characters were very varied, positive or negative, and need careful analyses for the use of those traits as selection criteria.

In general, results of the direct and indirect path coefficients that estimated the extent of the relationships between seed yield (number) per plant or thousand-seed weight and 33 yield-related characters using the genotypic correlation values are presented here. All traits evaluated in this study were genotypically significantly correlated with seed yield in both directions. Path

analysis partitioned these correlation coefficients into their components. Thus, it gives an insight into which traits can be selected for improvement in seed yield.

Table 8. Path coefficient analysis (direct and indirect effects) of component traits on seed yield parameter represented by seed number per plant (SNP) for data recorded across three different years and three locations in each year.

Traits	Direct effect	Indirect effect via										
		TE	TT	MF	FF	MT	LPL	LLL	LLW	FN	PH	IL
TE	-0.040	-	0.059	0.389	0.267	0.495	0.454	-0.864	-0.785	0.078	-1.172	1,087
TT	0.000	-0.059	-	0.329	0.156	0.291	0.298	-0.215	0.070	-0.072	-0.378	0,582
MF	-0.170	-0.329	-0.040	-	0.016	1.307	0.282	-2.592	-0.934	0.436	0.037	-0,313
FF	-0.005	-0.111	-0.153	0.063	-	-0.468	-0.106	-1.407	-0.475	-0.666	0.155	0,207
MT	0.003	-0.185	-0.373	-0.010	-0.063	-	1.666	0.303	-3.120	-1.112	1.000	-0,002
LPL	0.061	-0.138	-0.236	0.021	-0.023	-1.666	-	0.013	0.116	-0.692	0.027	-0,038
LLL	0.021	-0.129	-0.208	0.027	-0.015	-2.000	-0.013	-	-0.092	-1.531	-0.008	0,120
LLW	-0.061	-0.040	0.054	0.088	0.060	-2.200	-0.143	0.092	-	-0.012	0.156	0,214
FN	-0.047	-0.038	0.060	0.089	0.061	-2.266	-0.145	0.094	0.012	-	0.146	2,437
PH	-0.011	-0.125	-0.197	0.030	-0.012	-2.133	-0.018	0.003	-0.582	-0.146	-	0,118
IL	0.028	-0.183	-0.368	-0.008	-0.061	-0.066	0.064	-0.055	-0.974	-0.243	-0.118	-
NBN	0.029	-0.140	-0.241	0.020	-0.025	-1.600	0.002	-0.011	-0.683	-0.171	-0.030	0,958
FW	0.060	-0.216	-0.467	-0.031	-0.090	1.133	0.113	-0.090	-1.202	-0.300	-0.187	-0,750
FL	0.023	-0.118	-0.175	0.035	-0.006	-2.400	-0.029	0.011	-0.531	-0.134	0.015	1,458
FWI	-0.086	-0.046	0.038	0.084	0.055	0.200	-0.135	0.086	-0.037	-0.012	0.164	3,083
SL	-0.017	-0.092	-0.098	0.052	0.015	-2.333	-0.067	-0.038	-0.354	-0.090	0.068	2,041
SWI	0.016	-0.131	-0.214	0.026	-0.017	-1.933	-0.010	-0.001	-0.620	-0.156	-0.011	1,166
TP	-0.000	-0.031	0.082	0.094	0.067	-2.533	-0.156	0.102	0.063	0.012	0.194	3,416
TSW	0.038	-0.125	-0.197	0.030	-0.012	-2.133	-0.018	0.003	-0.582	-0.146	0.000	1,291
LS	0.088	-0.231	-0.510	-0.041	-0.102	1.666	0.135	-0.106	-1.303	-0.325	-0.217	-1,083
LSi	0.083	-0.203	-0.428	-0.022	-0.078	0.666	0.094	-0.077	-1.113	-0.278	-0.160	-0,458
LC	0.058	-0.087	-0.428	-0.022	-0.078	0.666	0.094	-0.077	-1.113	-0.278	-0.160	-0,458
LPD	0.011	-0.055	0.010	0.077	0.047	-4.666	-0.121	0.077	-0.101	-0.028	0.145	2,875
LPT	0.081	-0.161	-0.302	0.006	-0.042	-0.866	0.032	-0.032	-0.822	-0.206	-0.072	0,500
ILq	0.050	-0.157	-0.291	0.008	-0.039	-1.000	0.027	-0.028	-0.797	-0.200	-0.064	0,583
SPD	0.038	-0.157	-0.291	0.008	-0.039	-1.000	0.027	-0.028	-0.797	-0.200	-0.064	0,583
SPT	0.116	-0.253	-0.576	-0.056	-0.121	2.466	0.167	-0.129	-1.455	-0.362	-0.263	-1,583
PCC	0.054	-0.153	-0.280	0.011	-0.036	-1.133	0.021	-0.025	-0.772	-0.193	-0.057	0,666
PSC	0.069	-0.153	-0.280	0.011	-0.036	-1.133	0.021	-0.025	-0.772	-0.193	-0.057	0,666
SSC	0.039	-0.137	-0.230	0.022	-0.022	-1.733	-0.002	-0.007	-0.658	-0.165	-0.022	1,041
DPSC	0.030	-0.124	-0.192	0.031	-0.011	-2.200	-0.021	0.005	-0.569	-0.143	0.003	1,333
FFS	0.020	-0.116	-0.170	0.036	-0.004	-2.466	-0.032	0.013	-0.518	-0.131	0.019	1,500
MFS	0.061	0.187	0.379	0.011	0.064	-0.066	-0.070	0.059	1.000	0.250	0.125	0,083

Table 8. Continued

Trait	Direct effect	Indirect effect via											
		NBN	FW	FL	FWI	SL	SWI	TP	TSW	LS	LSi	LC	LPD
TE	-0.040	2.451	1.700	-1.306	0.781	0.310	0.394	-0.093	-1.619	1.666	-2.291	0.959	1,666
TT	0.000	1.047	2.695	-0.492	-1.000	0.094	0.243	0.098	-1.800	-2.021	-2.689	0.405	0,064
MF	-0.170	2.500	0.459	-2.233	-0.108	-0.065	0.253	2.666	0.515	-0.191	0.000	2.214	-0,096
FF	-0.005	2.478	-0.048	-0.437	-0.021	0.024	0.116	-0.307	2.500	-0.632	1.083	2.285	1,750
MT	0.003	-0.480	0.133	1.440	-0.625	-0.083	-0.046	0.151	0.627	-2.500	0.588	2.625	1,666
LPL	0.061	0.040	-0.518	-0.174	-0.625	2.777	-0.363	2.222	0.538	-2.631	1.060	1.866	2,500
LLL	0.021	-0.053	0.370	-0.127	-0.381	-1.818	-0.016	2.523	-0.166	0.632	-1.904	-0.370	-0,579
LLW	-0.061	-0.900	0.539	-0.313	0.130	0.231	2.800	0.042	2.400	2.861	-1.239	0.471	0,200
FN	-0.047	-0.410	2.133	-0.355	-0.024	0.432	0.769	0.054	-2.473	2.000	-1.369	-0.553	-3,000
PH	-0.011	0.000	0.395	0.028	0.693	-0.818	-0.120	1.888	0.000	1.781	2.100	0.396	0,745
IL	0.028	-0.958	0.130	0.248	0.831	-0.212	-0.122	0.372	1.107	0.500	-0.333	-7.428	2,833
NBN	0.029	-	2.200	-0.115	-0.271	-0.509	-0.227	1.404	-0.888	-3.062	0.465	0.362	2,538
FW	0.060	-1.200	-	0.595	1.295	-0.650	-0.582	0.714	-1.960	2.000	-0.140	1.272	2,558
FL	0.023	2.400	-0.595	-	-0.127	0.666	-1.166	1.750	-2.000	0.535	1.916	0.566	-2,250

FWI	-0.086	1.200	-1.033	0.127	-	1.233	1.333	0.747	1.500	2.722	2.428	2.476	1,369
SL	-0.017	2.200	-0.752	0.045	0.806	-	0.037	0.057	-0.439	2.750	-3.157	-0.050	0,645
SWI	0.016	1.000	-0.516	-0.022	1.483	-0.037	-	0.101	0.076	-1.058	-2.166	1.600	-2,928
TP	0.000	1.800	-1.123	0.153	-0.258	0.058	-0.101	-	0.944	0.000	-2.214	-2.500	0,764
TSW	0.038	1.600	-0.550	-0.013	1.387	-0.031	-0.005	-0.944	-	2.500	2.625	-0.512	-1,225
LS	0.088	-2.800	0.089	-0.199	3.225	-0.132	0.101	-2.000	-2.500	-	-1.875	0.461	1,217
LSi	0.083	-2.800	-0.078	-0.150	2.741	-0.106	0.073	-1.722	-2.000	1.875	-	0.552	-1,951
LC	0.058	-2.800	-0.078	-0.150	2.741	-0.106	0.073	-1.722	-2.000	1.875	0.000	-	-2,857
LPD	0.011	2.200	-0.977	0.111	0.161	0.035	-0.077	-0.240	2.333	1.875	-0.701	0.607	-
LPT	0.081	-2.200	-0.337	-0.075	2.000	-0.065	0.030	-1.296	-2.166	2.750	-0.201	-1.428	-0,950
ILq	0.050	-1.800	-0.359	-0.068	1.935	-0.061	0.026	-1.259	-2.833	2.000	-0.219	-1.357	-0,916
SPD	0.038	-1.800	-0.359	-0.068	1.935	-0.061	0.026	-1.259	-2.833	2.000	-0.219	-1.357	-0,916
SPT	0.116	-2.200	0.224	-0.238	3.612	-0.153	0.124	-2.222	-1.500	-1.500	0.236	-2.214	-1,783
PCC	0.054	-1.400	-0.382	-0.062	1.870	-0.058	0.022	-1.222	-2.500	2.250	-0.236	-1.285	-0,883
PSC	0.069	-1.400	-0.382	-0.062	1.870	-0.058	0.022	-1.222	-2.500	2.250	-0.236	-1.285	-0,883
SSC	0.039	0.400	-0.483	-0.032	1.580	-0.042	0.005	-1.055	-1.000	2.375	-0.315	-0.964	-0,733
DPSC	0.030	1.800	-0.561	-0.009	1.354	-0.030	-0.007	-0.925	0.166	3.250	-0.377	-0.714	-0,616
FFS	0.020	2.600	-0.606	0.003	1.225	-0.022	-0.015	-0.851	0.833	2.750	-0.412	-0.571	-0,550
MFS	0.061	2.000	0.179	0.120	-2.451	0.090	-0.056	1.555	2.500	-3.000	0.078	1.928	1,183

Table 8. Continued

Traits	Direct effect	Indirect effect via									
		LPT	ILq	SPD	SPT	PCC	PSC	SSC	DPSC	FFS	MFS
TE	-0.040	2.071	-2.250	0.133	-1.268	-2.766	-1.584	-0.601	-0.943	-2.250	-1.262
TT	0.000	2.894	2.571	-0.148	-0.875	-1.108	-1.529	-0.368	-0.921	2.100	-1.604
MF	-0.170	0.194	-1.190	-1.000	1.125	2.666	0.382	0.396	0.557	-0.173	0,045
FF	-0.005	-0.531	-1.131	2.666	-0.605	1.090	-0.325	-0.14	-0.058	-0.976	0,045
MT	0.003	-1.000	1.750	1.952	1.761	2.428	0.888	1.529	0.000	1.48	0,333
LPL	0.061	0.279	-0.303	-0.707	-0.815	-0.470	-0.391	0.052	-0.200	2.000	-1,040
LLL	0.021	0.195	0.000	1.785	-2.153	-0.500	-1.000	0.093	-0.069	-0.304	0,645
LLW	-0.061	1.300	-2.315	0.312	2.108	2.178	1.148	1.000	2.500	-1.576	3,166
FN	-0.047	1.534	-1.306	0.117	2.367	2.100	2.000	0.898	1.069	-2.400	2,428
PH	-0.011	-1.187	2.125	0.796	0.958	0.937	0.175	0.066	-0.025	0.277	0,452
IL	0.028	-1.200	0.777	1.607	1.151	-0.571	-0.833	-2.333	0.761	-2.000	0,058
NBN	0.029	-0.440	0.310	-2.363	2.333	-2.500	-0.727	-2.000	2.500	0.260	0,312
FW	0.060	1.304	0.561	2.702	0.377	1.133	-1.064	6.142	-2.000	1.173	0,695
FL	0.023	0.294	0.420	-0.854	-2.166	1.900	0.350	0.192	0.150	-0.035	-2,700
FWI	-0.086	1.704	2.240	2.068	0.456	-0.409	2.100	1.378	1.462	1.484	2,291
SL	-0.017	0.698	1.666	0.660	-2.175	-2.750	-1.133	-0.292	-0.435	0.175	-2,285
SWI	0.016	-0.761	-0.358	0.771	1.118	-0.171	-1.444	-0.230	-0.400	-1.142	-1,111
TP	0.000	2.363	1.700	0.000	-1.967	2.333	-1.558	-1.390	-1.190	-1.095	1,200
TSW	0.038	-2.800	1.062	2.000	-2.666	0.394	0.313	0.105	-0.023	-0.161	-0,970
LS	0.088	-0.090	-0.888	-0.471	-0.059	-0.118	2.125	-2.285	0.513	0.292	-0,113
LSi	0.083	-1.916	0.176	-1.223	0.613	-0.296	1.238	0.146	1.162	-0.230	-0,128
LC	0.058	-0.479	-0.196	-2.818	-0.117	-0.209	0.157	0.134	0.200	-0.116	0,033
LPD	0.011	0.950	-0.321	-0.213	-2.972	-0.473	2.347	-0.916	-1.608	0.248	0,371
LPT	0.081	-	-0.013	-0.921	-0.165	-0.030	0.009	-0.722	-0.307	-0.104	0,054
ILq	0.050	0.013	-	0.680	-0.626	-0.008	0.013	0.333	0.204	0.440	0,066
SPD	0.038	0.013	0.000	-	-0.141	1.000	-0.003	0.029	0.060	0.073	-0,087
SPT	0.116	-0.337	0.520	0.326	-	0.306	0.779	-0.295	-0.414	0.231	0,134
PCC	0.054	0.027	-0.020	0.179	-0.306	-	-0.013	-0.176	0.120	-0.338	0,085
PSC	0.069	0.027	-0.020	0.179	-0.306	-0.013	-	-0.176	0.120	-0.338	0,085
SSC	0.039	0.087	-0.110	0.155	-0.357	-0.123	0.069	-	-0.008	0.733	0,658
DPSC	0.030	0.135	-0.180	0.136	-0.397	-0.219	0.118	0.008	-	-0.095	-1,030
FFS	0.020	0.162	-0.220	0.125	-0.420	-0.273	0.145	0.013	0.095	-	0,493
MFS	0.061	0.094	-0.160	-0.228	0.204	-0.246	0.118	0.033	0.809	0.493	-

Table 9. Path coefficient analysis (direct and indirect effects) of component traits on seed yield parameter represented by thousand-seed weight (TSW) for data recorded across three different years and three locations in each year.

Trait	Direct effect	Indirect effect via											
		TE	TT	MF	FF	MT	LPL	LLL	LLW	FN	PH	IL	NBN
TE	0.034	-	-0.040	-0.139	-0.071	0.044	-0.175	0.666	1.678	-0.086	1.172	-0.153	-1,645
TT	0.066	0.040	-	-0.060	0.033	0.133	-0.048	0.181	0.177	-0.006	0.484	0.069	-0,690
MF	0.124	0.061	0.060	-	0.021	0.088	-0.307	0.269	-0.518	0.131	0.636	0.102	-0,352
FF	0.112	0.029	-0.032	-0.021	-	0.039	0.406	0.404	-1.148	-0.085	2.333	0.007	-0,454
MT	0.066	-0.016	-0.170	-0.052	-0.039	-	1.187	0.670	-2.074	-0.390	2.416	-0.091	-0,779
LPL	0.038	0.053	0.038	-0.005	0.020	-2.533	-	0.067	0.039	0.076	0.152	-0.024	-0,880
LLL	0.045	0.100	0.175	0.026	0.060	-2.200	-0.067	-	0.013	0.968	-0.057	0.166	-0,026
LLW	0.046	0.087	0.137	0.017	0.048	-1.733	-0.048	-0.013	-	0.303	-0.071	0.091	0,066
FN	0.019	0.042	0.005	-0.012	0.011	-2.133	0.016	-0.059	-0.303	-	-0.140	0.281	0,208
PH	0.068	0.125	0.252	0.044	0.082	-2.133	-0.105	0.027	0.265	0.140	-	0.206	0,000
IL	0.035	0.025	-0.043	-0.023	-0.003	-1.533	0.040	-0.077	-0.417	-0.028	-0.206	-	-1,541
NBN	0.058	0.094	0.159	0.022	0.055	-2.000	-0.059	-0.005	0.050	0.087	-0.064	1.541	-
FW	0.079	0.124	0.247	0.042	0.080	2.000	-0.102	0.025	0.253	0.137	-0.003	2.208	2,200
FL	0.028	0.074	0.098	0.008	0.037	1.000	-0.029	-0.027	-0.088	0.053	-0.106	1.083	-2,200
FWI	0.046	0.081	0.120	0.013	0.044	-1.533	-0.040	-0.019	-0.037	0.065	-0.091	1.250	-1,400
SNP	0.052	0.100	0.175	0.026	0.060	-2.200	-0.067	0.000	0.088	0.096	-0.053	1.666	0,600
SL	0.056	0.001	-0.115	-0.040	-0.023	-0.666	0.075	-0.102	-0.582	-0.068	-0.255	-0.541	-1,000
SWI	0.056	0.005	-0.104	-0.037	-0.020	-0.800	0.070	-0.098	-0.556	-0.062	-0.248	-0.458	-2,600
TP	0.106	0.177	0.406	0.079	0.126	-2.000	-0.181	0.081	0.620	0.228	0.106	3.416	2,000
LS	0.066	0.088	0.142	0.018	0.050	-1.800	-0.051	-0.011	0.012	0.078	-0.076	1.416	-0,600
LSi	0.025	-1.208	-1.241	-0.265	-0.531	1.941	0.878	-0.190	-0.154	-0.538	-3.000	-1.333	0,095
LC	0.051	1.693	1.648	0.000	-2.583	-2.150	-2.600	0.467	0.679	-1.276	-0.283	2.857	-0,400
LPD	0.042	2.055	-1.645	-1.428	-3.142	-2.466	-2.333	0.275	0.650	-1.666	-0.098	-3.277	-1,692
LPT	-0.377	-2.611	0.774	2.035	1.285	1.200	2.000	-1.333	-0.250	2.000	-0.215	0.333	-1,538
ILq	0.021	-2.900	2.142	-0.694	-0.893	-2.750	-0.878	0.000	-0.578	-0.714	-1.250	-2.444	0,241
SPD	0.000	0.196	0.029	-0.126	0.236	-1.619	-0.048	2.071	1.375	-0.058	0.671	-0.215	-2,363
SPT	-0.017	-0.305	-0.091	0.000	2.666	2.000	-0.052	1.615	-0.378	0.204	-0.486	0.575	-2,000
PCC	0.033	-2.666	-1.260	-2.875	-1.684	-2.714	-3.000	-1.000	1.178	2.850	0.750	2.357	-2,500
PSC	0.042	-1.754	-2.088	-2.000	2.500	-1.666	-2.782	-2.785	0.851	2.750	0.274	2.388	-1,818
SSC	0.013	-0.804	-0.675	-1.404	-1.930	-2.352	-1.684	1.046	1.000	1.288	0.344	2.833	1,000
DPSC	-0.004	-1.394	-2.026	-1.047	-1.660	0.000	1.750	1.046	2.888	1.767	0.775	-2.023	-2,400
FFS	0.010	-2.083	1.100	-0.769	-1.117	-1.280	-2.000	0.826	-1.000	-2.666	-0.277	2.750	-0,440
MFS	-0.052	-0.100	0.325	0.480	0.190	2.666	0.840	-0.958	-2.500	-2.142	-0.821	-0.176	-0,537

Table 9. Continued

Traits	Direct effect	Indirect effect via											
		FW	FL	FWI	SNP	SL	SWI	TP	LS	LSi	LC	LPD	LPT
TE	0.034	-2.000	0.816	-1.375	0.964	-0.006	-0.016	0.527	-1.600	1.208	-1.693	-2.055	-0,880
TT	0.066	-1.956	0.276	-3.142	1.333	0.109	0.118	0.486	0.565	1.241	-1.648	1.645	-0,789
MF	0.124	-3.400	0.114	-0.366	-0.583	0.082	0.093	0.212	0.326	0.862	-1.351	1.290	-0,210
FF	0.112	-2.217	0.289	-0.350	-2.500	0.032	0.028	0.217	-2.461	0.531	1.583	2.142	-2,250
MT	0.066	-1.304	0.590	-0.662	-2.750	-0.021	-0.026	0.285	2.700	-0.941	1.150	2.466	-1,538
LPL	0.038	0.469	-0.174	-0.187	-1.315	-1.111	2.363	1.722	1.000	-0.878	1.600	7.333	-0,186
LLL	0.045	-0.102	0.297	0.084	0.000	1.818	-0.836	2.000	0.068	0.190	-0.467	-0.275	0,195
LLW	0.046	-0.113	-0.052	0.130	0.205	0.380	2.800	0.418	-0.027	0.154	-0.679	-0.650	2,000
FN	0.019	-0.977	0.140	0.129	0.885	0.328	0.307	1.000	-0.961	0.538	1.276	2.666	-0,325
PH	0.068	0.008	-0.201	-0.387	1.166	3.045	-2.600	1.037	0.625	2.000	0.283	0.098	-1,937
IL	0.035	-0.384	0.184	0.337	-0.930	0.056	0.048	0.372	-0.653	1.333	-1.857	1.277	-2,300
NBN	0.058	-2.200	0.105	0.037	-0.150	0.980	2.181	1.071	-0.187	-0.095	0.400	1.692	-0,560
FW	0.079	-	-0.303	-0.323	0.213	0.640	0.810	0.207	1.750	0.180	0.290	0.176	-1,304
FL	0.028	0.303	-	-0.013	-1.750	-1.857	-1.166	1.400	-0.070	-0.750	1.433	-1.125	0,038
FWI	0.046	0.258	0.013	-	0.322	0.323	0.440	0.422	-0.222	-2.000	-1.857	-0.345	0,159
SNP	0.052	0.146	0.045	-0.322	-	-2.833	1.400	1.076	0.086	-0.074	1.222	0.730	0,548
SL	0.056	0.741	-0.127	1.387	1.833	-	-0.003	0.165	-1.750	1.500	-1.366	2.322	-0,679
SWI	0.056	0.719	-0.120	1.322	2.500	0.003	-	0.174	0.882	3.055	2.333	-2.000	1,619
TP	0.106	-0.325	0.183	-1.677	-2.000	0.167	-0.174	-	0.000	-0.904	-1.083	1.352	1,363

LS	0.066	0.213	0.026	-0.129	1.000	0.083	-0.084	0.000	-	-1.250	0.207	0.320	0,026
LSi	0.025	-0.180	0.750	2.000	0.074	-2.000	-3.055	0.904	1.250	-	0.219	-0.365	1,750
LC	0.051	-0.290	-1.433	1.857	-3.222	1.366	-5.333	1.083	1.375	-0.219	-	0.357	0,958
LPD	0.042	-0.176	2.125	0.345	-0.730	-2.322	2.000	-1.352	3.125	-0.131	-0.357	-	0,600
LPT	-0.377	-0.529	-1.370	-0.583	1.384	1.870	1.142	-0.941	-2.375	0.149	-1.892	-1.083	-
ILq	0.021	0.157	0.360	0.560	0.137	1.900	-1.410	-2.500	0.222	0.000	-0.196	0.087	0,141
SPD	0.000	1.135	-0.272	-0.655	0.743	-0.480	-0.314	-0.825	-0.100	-0.434	-1.757	-0.786	-0,157
SPT	-0.017	-0.641	1.166	0.192	-0.259	-0.800	0.508	1.032	0.073	-0.568	0.217	1.111	0,013
PCC	0.033	-0.433	2.000	-1.636	0.962	-2.583	-1.100	-1.777	0.090	0.241	-0.023	-0.062	0,328
PSC	0.042	0.838	0.929	2.900	1.392	-1.066	-1.000	0.069	-1.625	-1.666	-0.060	0.869	-0,179
SSC	0.013	-1.571	1.134	0.670	2.500	-1.195	-1.384	-0.073	1.285	-0.166	-0.059	-0.541	3,444
DPSC	-0.004	1.280	1.950	0.820	2.090	-2.512	1.600	-0.071	-0.451	-1.108	-0.074	-1.130	0,953
FFS	0.010	-0.130	1.178	0.453	1.714	0.972	1.000	0.547	-0.117	0.073	-0.024	0.000	0,157
MFS	-0.052	2.565	1.200	-1.500	-1.022	-1.000	-0.185	-1.571	-0.188	-0.714	0.283	-0.340	-0,112

Table 9. Continued

Trait	Direct effect	Indirect effect via									
		ILq	SPD	SPT	PCC	PSC	SSC	DPSC	FFS	MFS	
TE	0.034	1.900	-0.196	0.305	2.666	1.754	0.804	1.197	1.083	0.100	
TT	0.066	-1.142	-0.029	0.091	1.260	2.088	0.675	1.657	-2.100	-0,325	
MF	0.124	-1.571	0.079	0.000	1.021	1.764	0.578	1.368	-2.000	-0,581	
FF	0.112	0.893	-0.236	-1.666	1.684	-2.500	1.930	1.380	1.117	-0,190	
MT	0.066	1.675	1.619	-2.000	1.714	1.666	1.352	0.000	1.280	-2,666	
LPL	0.038	0.878	0.048	0.052	3.000	2.782	1.684	-1.400	1.100	-0,840	
LLL	0.045	0.000	-2.071	-1.615	1.000	2.785	-1.046	-0.720	-0.826	0,958	
LLW	0.046	0.578	-1.375	0.378	-1.178	-0.851	-1.000	-2.111	1.000	2,500	
FN	0.019	0.714	0.058	-0.204	-2.850	-3.500	-1.288	-1.441	1.666	2,142	
PH	0.068	1.250	-0.671	0.486	-0.750	-0.274	-0.344	-0.425	0.277	0,821	
IL	0.035	2.444	0.215	-0.575	-2.357	-1.388	-2.833	1.690	-2.750	0,176	
NBN	0.058	-0.241	2.363	2.000	1.450	1.818	-2.480	1.700	0.440	0,537	
FW	0.079	-0.157	-1.135	0.641	0.433	-0.838	1.571	-0.720	0.130	-2,565	
FL	0.028	-0.36	0.272	-1.166	-2.000	-0.929	-1.134	-2.250	-1.178	-1,200	
FWI	0.046	-0.56	0.655	-0.192	1.636	-1.900	-0.670	-0.611	-0.453	1,500	
SNP	0.052	-0.137	-0.743	0.259	-0.962	-1.392	-2.500	-2.818	-2.714	1,022	
SL	0.056	-1.900	0.480	0.800	1.583	1.066	1.195	2.153	-0.972	1,000	
SWI	0.056	1.410	0.314	-0.508	1.100	1.000	7.384	-2.200	-1.000	0,185	
TP	0.106	2.500	0.825	-1.032	1.777	-0.069	0.073	-0.261	-0.547	2,571	
LS	0.066	-0.222	0.100	-0.073	-0.090	1.625	-1.285	0.327	0.117	0,188	
LSi	0.025	0.000	0.434	0.568	-0.241	1.666	0.166	0.729	-0.073	0,714	
LC	0.051	0.196	1.757	-0.217	0.023	0.060	0.059	0.009	0.024	-0,283	
LPD	0.042	-0.087	0.786	-1.111	0.062	-0.869	0.541	0.521	0.000	0,340	
LPT	-0.377	-1.033	-1.065	-0.983	-1.038	-0.983	-1.277	-1.076	-1.021	-1,019	
ILq	0.021	-	-0.330	-0.301	-0.096	0.460	1.242	0.306	0.300	0,208	
SPD	0.000	0.330	-	0.021	1.750	-0.250	0.196	0.201	0.159	-0,093	
SPT	-0.017	0.301	-0.021	-	0.267	0.882	-0.309	-0.307	0.125	-0,093	
PCC	0.033	0.096	-2.750	-0.267	-	0.178	-0.372	0.037	0.118	0,342	
PSC	0.042	-0.460	0.250	-0.882	-0.178	-	-0.041	0.078	-0.229	-0,505	
SSC	0.013	-1.242	-0.196	0.309	0.372	0.041	-	0.017	-1.733	2,219	
DPSC	-0.004	-0.465	-0.248	0.390	-0.142	0.058	0.000	-	0.619	-2,757	
FFS	0.010	-0.300	-0.159	-0.125	-0.118	0.229	1.733	-0.285	-	0,844	
MFS	-0.052	-0.208	0.093	0.093	-0.342	0.505	-2.219	2.333	-0.844	-	

Discussions

Genetic variability

Significant differences were observed among the genotypes for all the traits. These differences indicated the presence of high variability and opportunity for improvement. A wide range of variation for all traits under observation in colocynth was noted under different environmental conditions.

Such results had been reported by Tolera et al. (2024) in sugarcane, Jamshidian et al. (2013), Cervenski et al. (2011), Singh et al. (2011), Sharma (2010), Kaygısız (2009), Meena et al. (2009) and Balkaya et al. (2005) in cabbage. In *Citrullus colocynthis*, studies on that item are scarce. Highly significant mean squares for genotypic differences were found in the combined analysis of variance for all traits observed, confirming the possibility of improving those traits through selection. Also, genotypes responded differently to changes in years and locations, as genotype \times year, genotype \times location and genotype \times year \times location interactions mean squares were highly significant ($p \leq 0.05$ or $p \leq 0.01$) for all characters. This indicates that ranking between genotypes was affected significantly by differences in environments even if those genotypes were tested at three various locations during three different years.

The magnitude of phenotypic variation does not reveal the relative amount of genotypic and non-genotypic components of variation (Falconer 1989). Furthermore, it is difficult to compare variations for various characters because they are not unit-free. Since most of the economic characteristics (grain or seed yield) are complex in inheritance and greatly influenced by several genes interacting with various environmental conditions. The study of the phenotypic coefficient of variation (PCV) and genotypic coefficient of variation (GCV) is not only useful for comparing the relative amount of phenotypic and genotypic variations among different traits but also very necessary to estimate the scope for improvement by selection (Bello et al. 2012). The reliability of a parameter to be selected for breeding programs among other factors is dependent on the magnitude of its coefficient of variations, especially the GCV. However, Differences between genotypic and phenotypic coefficient of variability indicate the environmental influence (Bello et al. 2012). While a lower value for the coefficient of variation (CV) generally depicts low variability among the tested samples, a high proportion of GCV to the PCV is desirable in breeding works. Results given in Tables 5 and 6 depicted that phenotypic variances and PCVs were slightly higher than genetic variances and GCVs for all the characters, suggesting the least influence of environment in the expression of these characters. Similar results have also been reported by Tolera et al. (2024) and Bello et al. (2012). Estimates of genotype \times year, genotype \times location and genotype \times year \times location interaction variances for the traits in most instances were low considering qualitative characters. This result tends to support the notion that greater heterozygosity confers a buffering effect or stability over a wide range of environments, whereas inbreeding leads to increased homozygosity and less buffering capacity (Nigussie and Saleh 2007, Falconer 1989). High genetic variability for seed yield in the genotypes over years recorded in the test materials suggested that it could be further exploited through improvement

and selection programs (Wannows et al. 2010, Najeeb et al. 2009, Kashiani et al. 2008, Aziz et al. 1998).

High values of PCV and GCV observed in most of the traits show that selection can be effective for these traits, but also indicate the existence of substantial variability, ensuring ample scope for their improvement through selection. These observations are in confirmation with the findings of Bishwas and Singh (2024), Mitra et al. (2023) and Bello et al. (2012) in wheat, tomato and maize, respectively.

A high magnitude of broad sense heritability estimates were noted in all qualitative characters (Table 6). This implied the possibility of effective selection for genetic improvement of these traits. Values of genetic advance as a percentage of the mean (GAM) ranged from 1.094 for seed width (SWI) to 248.969 % for leaf peduncle length (LPL) considering quantitative traits. For qualitative characters, GAM ranged from 55.820 in leaf size (LSi) to 331.063 % in fruit design produced by secondary skin color (DPSC). High heritability estimates coupled with high estimates of genetic advance expected in the next generation in several traits indicate the preponderance of additive gene action for the expression of these traits which is fixable in subsequent generations. This also provides evidence that a larger proportion of phenotypic variance has been attributed to genotypic variance, and reliable selection could be made for these traits based on phenotypic expression (Bello et al. 2012). These results find support from the earlier studies by Akbar et al. (2008) and Kashiani et al. (2008) even though it was on another crop. Those authors suggested that the concerned parameters were under the control of additive genetic effects. Tolera et al. (2024) and Sumathi et al. (2005) suggested also that these parameters could be manipulated according to requirements, and worthwhile improvement could be achieved through selection. Those authors concluded that the selection at an early segregating generation will prove beneficial for selecting superior varieties of maize. Such conclusions should also be made in the study presented in the current report. To sum up, it can be concluded that heritability estimates along with genetic advances are more helpful in predicting the genetic gain under selection than heritability estimates alone as mentioned in Akbar et al. (2008) in maize.

Correlations among traits

In plant breeding, correlation coefficient analysis measures the mutual relationships between various plant characters and determines the component characters on which selection can be based for genetic improvement in yield (Tolera et al. 2024, Cousin et al. 1985). **The** genotypic correlation coefficient is the heritable association between two variables (Hussain et al. 2011). However, phenotypic correlation includes both phenotypic and environmental effects. Hence, significant phenotypic correlation without significant

genotypic correlation has no value (Parte et al. 2022, Bello et al. 2012, Falconer 1989). In the present study, correlations showed positive and significant association between traits contributing to yield (TSW and SNP) and most of the other characters at the genotypic level (Table 7).

Phenotypic correlation is a composite of genotypic and environmental correlations. In this study, it was observed that the genotypic correlation coefficients were, in most cases, lower than their corresponding phenotypic correlation coefficients, indicating that the inherent association between the characters is governed largely by environmental causes. These findings were not similar to those earlier observed by Balqees and Mohammed (2022), Adekoya et al. (2014) and Scod et al. (1995) in rice and okra, respectively. Characters that are phenotypically correlated but not genotypically correlated will not produce repeatable estimates of inter-character associations, and any selection based on the relationships is likely to be unreliable.

Path coefficient analysis

Correlation measures mutual association with no regard to causation, whereas path analysis specifies causes and measures their relative importance (Dewey and Lu, 1959). Time to emergence (TE), time to male flowering (MF), time to female flowering (FF), leaf limb width (LLW), fruit number per plant (FN), plant height (PH), fruit width (FWI), seed length (SL) and thousand-seed weight (TSW) had a negative direct effect on seed number per plant (SNP). However, apart from leaf pubescence texture (LPT), stem pubescence texture (SPT), design produced by secondary skin color (DPSC) and male flower size (MFS), all other traits showed positive direct effects on TSW. These observations suggested the inefficiency of selection based on correlation alone. In conclusion, the above-mentioned findings illustrated that the performance of genotypes varied from one location and year to another (Ogunniyan et al. 2015, Adekoya et al. 2014).

Understanding the relationships between the traits, for the selection of the important ones, is of crucial importance. The goals of the path analysis are that the acceptable descriptions of the correlation between the traits, based on a model of cause and effect, are presented. The importance of the affecting traits on a specific one is estimated. In fact, the basic relationships between the traits are expressed by this analysis (Tolera et al. 2024, Becker 2011, Falconer 1989). So, the correlation coefficients dividing to the direct and the indirect effects of the set of independent variables on a dependent, and their relative importance are calculated. Several researches on the relationships among characters and their effects in crop plants have been reported (Ogunniyan et al. 2015, Bello et al. 2012). In soybean, the number of pods per plant, the weight of 100 seeds and the number of seeds per plant compared to other traits had the most direct effect on the yield as reported in Edache (1996).

In an experiment that was performed on pea plants, it was clear that, there were positive and significant correlations between seed yield and number of pods per plant, weight of 100 seeds and number of lateral branches. Also, it was indicated that the number of pods per plant, the pod length and the vine length had the most direct effect on the seed yield of peas (Rasaei et al. 2011, Ghobary 2010, Amaranthath and Viswaantaha 1990). From these reports, pea seed yield had a positive correlation with plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod and pod yield. Furthermore, pod yield showed a high direct effect on the seed yield of the crop (Rasaei et al. 2011).

Moreover, the use of simple correlation analysis cannot fully explain the relationships among characters. Therefore, path coefficient analysis has been used by many researchers for a more complete impact determination of an independent variable on a dependent one (Tolera et al. 2024, Balqees and Mohammed 2022, Parte et al. 2022, Mahmoud et al. 2020, Bello et al. 2012, Udensi and Ikpeme 2012, Majid et al. 2011, Karademir et al. 2009, Zhao et al. 2008, Lal 2007, Akinyele and Osekita, 2006) in sugarcane, rice [*Oryza sativa*], peanut, okra, fennel, wheat, cotton, potato and *Cajanus cajan*, respectively). Path coefficient analysis helps the breeder to explain direct and indirect effects which have been extensively used in breeding works of different crop species by various researchers (Bishwas and Singh 2024, Tolera et al. 2024, Mitra et al. 2023, Adekoya et al. 2014). The knowledge of inter-character relationships is very important in plant breeding for indirect selection for characters that are not easily measured and for those that exhibit low heritability. A path coefficient analysis simultaneously captures the effects of intricate relationships among various traits under investigation (Falconer 1989). Information obtained from correlation coefficients can be enhanced by partitioning them into direct and indirect effects for a set of *a priori* cause-effect interrelationships. Such reports have been demonstrated in various crops (Tolera et al. 2024, Adekoya et al. 2014). However, there has been relatively little information on some of the newly collected genotypes of colocynth in Africa. A careful study of relationships among quantitative characters is necessary in order to ascertain the magnitude and direction of changes to be expected during selection in *Citrullus colocynthis*. Knowledge of relationships between yield and its components is essential as it may help in constructing suitable selection criteria for yield. In order to determine the relationships between yield and other examined traits, correlation coefficients were calculated. Simple correlation coefficients estimated among examined traits are shown in Table 7. Results suggested that any positive increase in these traits will accelerate the yield potential of colocynth. So, these traits should be paid attention in breeding programs. Positive and significant correlations between yield and yield components in colocynth were also reported.

Conclusions

The study presented here revealed that information about the extent of variation, estimates of heritability and expected genetic advance with respect to the performance of colocynth and particularly its yield contributing characters represents the basic requirement for a crop improvement program. Broad sense heritability is useful for measuring the relative importance of additive portions in genetic variance that can be transmitted to the offspring. The preponderance of additive gene effects controlling a trait usually resulted in both high heritability and genetic advance, while those governed by non-additive gene actions could give high heritability with low genetic advance. However, in the present research, expected genetic advance values were based on broad sense heritability, which integrates an additive portion of the total phenotypic variance. Effective selection for superior genotypes is possible considering some of the quantitative and especially qualitative characters investigated. Those traits could be sources of alleles that can be manipulated with other promising cultivars from farmers' origin in Benin and West Africa. The yield components except time to emergence (TE), time to tailspins (TT), leaf limb width (LLW), fruit number per plant (FN), fruit width (FW), seed length (SL), seed tegument percentage (TP) and stem pubescence texture (SPT) had significant and positive correlations with yield attributes represented by thousand-seed weight (TSW) and seed number per plant (SNP). Path coefficient analysis indicated that all the characters [except leaf pubescence texture (LPT), stem pubescence texture (SPT), fruit design produced by secondary color (DPSC) and male flower size (MFS)] had a positive direct effect on TSW and partly SNP. Results suggested that most of the 34 quantitative and qualitative traits studied could be effectively used as selection criteria in the breeding program of *Citrullus colocynthis* varieties with high yield. More collections in the whole Benin and West Africa are needed for the selection of high genotypes useful for breeding success in the crop under investigation. The current study is giving the first results in the variability existing in the crop and will help in future research activities, as it determines most of the characteristics necessary to be recorded for success. Furthermore, fruit and seed quality analyses are ongoing, and will be used together with morpho-agronomic traits to refine breeding strategies in *Citrullus colocynthis*.

Acknowledgments: The Author would like to thank all farmers from the collecting and trial areas for their fairness and great help. We would further like to acknowledge the support of all colleagues at the Department of Plant Biology, University Abomey-Calavi for their support during the study.

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

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

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

References:

1. Achigan-Dako E.G., Avohou E.S., Linsoussi C.A., Ahanchédé A., Vodouhè R. and Blattner F.R. (2015). Phenetic characterization of *Citrullus* spp. (Cucurbitaceae) and differentiation of egusi-type (*C. mucosospermus*). Genetic Resource and Crop Evolution 62 : 1159-1179, DOI:10.1007/s10722-015-0220-z.
2. Achu, M.B., Fokou, E., Tchigang, C., Fotso, M. and Tchouanguép, F.M., (2005). Nutritive value of some Cucurbitaceae oilseeds from different regions in Cameroon. Afr. J. Biotechnol. 4 : 1329–1334.
3. Adekoya, M.A., Ariyo, O. J., Kehinde, O.B. and Adegbite, A.E. (2014). Correlation and Path Analyses of Seed Yield in Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) Grown Under Different Cropping Seasons. Pertanika J. Trop. Agric. Sci. 37 (1) : 39 – 49.
4. Akbar M., Shakoor M.S., Hussain A. and Sarwar M. (2008). Evaluation of maize 3-way crosses through genetic variability, broad sense heritability, characters association and path analysis. J. Agric. Res., 46(1) : 39-45.
5. Akinyele B.O. and Osekita O.S. (2006). Correlation and path coefficient analyses of seed yield attributes in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). African Journal of Biotechnology 5(14) : 1330-1336.
6. Allard R.W. (1999). Principles of plant breeding. 2nd ed. New York, Wiley.
7. Almekinders C.J.M. and Elings A. (2001). Collaboration of farmers and breeders: participatory crop improvement in perspective. Euphytica 122 : 425–438.
8. Amaranthath K.C. and Viswantaha S.R. (1990). Path coefficient analysis for some quantitative characters in soybean. J. Agric. Sci. 24(3) : 312-315.
9. Anhwange B.A., Ikyenge J.B.A., Nyiatagher D.T. and Ageh J.T. (2010). Chemical Analysis of *Citrullus lanatus* (Thunb.), *Cucumeropsis mannii* (Naud.) and *Telfairia occidentalis* (Hook F.) Seeds Oils. Journal of Applied Sciences Research, 6(3) : 265-268.
10. Aziz K., Rehman A. and Rauf A. (1998). Heritability and interrelationships for some plant traits in maize single crosses. Pak. J. Biol. Sci. 1(4) : 313-314.

11. Badifu G.I.O. (1993). Food potentials of some unconventional oilseeds grown in Nigeria – a brief review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 43 : 211–224.
12. Balkaya A., Yanmaz R., Apaydın A. and Kar H. (2005). Morphological characterization of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* subvar. *alba*) genotypes in Turkey. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 33 : 333–341.
13. Balqees Al-M. and Mohammed Al- A. (2022). Estimation of path coefficient analysis for some quantitative traits in Rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Revis Bionat* 7(4) : 39-43. DOI. 10.21931/RB/2022.07.04.39.
14. Becker H.C. (2011). *Pflanzenzüchtung*. UTB Verlag, Stuttgart.
15. Bello O.B.1., Ige S.A., Azeez M.A., Afolabi M.S., Abdulmaliq S.Y. and Mahamood J. (2012). Heritability and Genetic Advance for Grain Yield and its Component Characters in Maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant Research* 2(5) : 138-145. DOI: 10.5923/j.plant.20120205.01.
16. Bishwas S. and Singh B. (2024). Assessment of Heritability, Genetic Advance and Correlation Coefficient in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Plant and Soil Science* 36(1) : 82-88.
17. Brown A.H.D. and Briggs J.D. (1991). Sampling strategies for genetic variation in ex situ collections of endangered plant species. In: Falk, D.A. and HoL Singer, K.E. (Eds.), *Genetics and Conservation of Rare Plants*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 99–119.
18. Cervenski J., Gvozdanic-Varga J. and Glogovac S. (2011). Local cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) populations from Serbian Province of Vojvodina. *Afr. J. Biotechnol.* 10 : 5281–5285.
19. Chapman C.G.D. (1989). Collection strategies for the wild relatives of field crops. In: Brown A.H.D., Frankel O.H., Marshall D.R. and Williams J.T. (Eds.), *The Use of Plant Genetic Resources*, Cambridge University Press, Cambridge, USA, pp. 263–279.
20. Cousin R., Massager A. and Vingere A. (1985). Breeding for yield in common peas. *The peas Crops*. P.H. Hebblethwaite, M.C. Heath and T.C.K. Dawkins (Eds.). Butterworths., 1985, pp 115-129.
21. Das, M., Das S.K. and Suthar S.H. (2002). Composition of seed and characteristics of oil from karingda [*Citrullus lanatus* (Thumb) Mansf]. *Int. J. Food Sci.. Technol.* 3 : 893–896.
22. Dewey D.R. and Lu K.H. (1959). A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agron. J.* 51 : 515-518.

23. Edache O.A. (1996). Maize production and utilization in Nigeria: Problems and prospects. In Proceedings of National Workshop on Maize Production, Kaduna, Nigeria, pp 3-8.
24. Enujiugha V.N. and Ayodele-Oni O. (2003). Evaluation of nutrients and some anti-nutrients in lesser-known, underutilized oilseeds. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38 : 525–528.
25. Evans, L.T. (1993). *Crop Evolution, Adaptation and Yield*, Cambridge Press, *New York, USA*.
26. Falconer D.S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. 3rd Edition. Longman; Harlow.
27. Fehr W.R. (1987). *Principles of cultivar development*. Vol. 1, New York, MacMillan.
28. Gama R.N.C. de S., Santos C.A.F. and Dias R. de C.S. (2013). Genetic variability of watermelon accessions based on microsatellite markers. *Genetics and Molecular Research* 12 (1) : 747-754.
29. Ghobary H. M. M. (2010). Study of relationships between yield and some yield components in garden pea (*Pisum sativum* L.), by using correlation and path analysis. *J. Agric. Res. Kafer El-Sheikh Uni.* 36 : 351-360.
30. Girmay F.D. (2013). Genetic gain in grain yield potential and associated traits of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] in Ethiopia. M.Sc. Thesis, Haramaya University, 104p.
31. Given, D.R. (1987). What the conservationist requires of ex situ collections. In: Branwell, D., Hamann, O., Heywood, V., Synge, H. (Eds.), *Botanic Gardens and the World Conservation Strategy*. Academic Press, London, pp. 103–116.
32. Gusmini G. (2003). *Watermelon (Citrullus lanatus) Breeding Handbook*. NC State University, Raleigh.
33. Hardon J.J. and de Boef W. (1993). Linking farmers and breeders in local crop development. In : de Boef W, Amanor K. and Wellard K. (eds), *Cultivating knowledge: genetic diversity, farmer experimentation and crop research*. Intermediate Technology Publications, London, pp 64–71.
34. Hill J., Becker H.C. and Tigerstedt P.M.A. (1998). *Quantitative and Ecological Aspects of Plant Breeding*. Chapman and Hall. 275p.
35. Hussain N., Khan M.Y. and Baloch M.S. (2011). Screening of maize varieties for grain yield at Dera Ismail Khan. *J. Animal and Plant Sci.* 21(3) : 626-628.
36. Jamshidian P., Golparvar A.R., Naderi M.R. and Darkhal H. (2013). Phenotypic correlations and path analysis between ear yield and other associated characters in corn hybrids (*Zea mays* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences* 2 : 1273-1276.

37. Johnson H.W., Robinson H.F. and Comstock R.E. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soyabeans. *Agron. J.* 47 : 314-318.
38. Karademir C., Karademir E., Ekinçi R. and Gencer O. (2009). Correlations and Path Coefficient Analysis between Leaf Chlorophyll Content, Yield and Yield Components in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under Drought Stress Conditions. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 37(2) : 241-244.
39. Kashiani P., Saleh G., Abdullah S.N. and Abdullah N.A.P. (2008). Performance, heritability correlation studies on nine advance sweet corn inbred lines. Proceeding of the 10th Symposium of Malaysian Society of Applied Biology, Nov. 6-8, 2008, Malaysia, pp 48-49.
40. Kaygısız A.T. (2009). Researches on the determination of morphological and molecular characterization of some cabbage genotypes. Master's Thesis, Ege Univ. Institute of Science, 77 p.
41. Kjellqvist E. (1975). The regional plan for collection, conservation and evaluation of genetic resources. In: Frankel, O.H., Hawkes, J.G. (Eds.), *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
42. Kouamé K.K., Gbotto A.A., Malice M., Djè Y., Bertin P., Baudoin J.-P. and Zoro Bi I.A. (2008). Morphological and allozyme variation in a collection of *Cucumeropsis mannii* Naudin (Cucurbitaceae) from Côte d'Ivoire. *Biochemical Systematics and Ecology* 36 : 777-789.
43. Lal R.K. (2007). Associations among agronomic traits and path analysis in fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Journal of Sustainable Agriculture* 30(1) : 21-29.
44. Loukou A.L., Gnakri D., Djè, Y., Kippré A.V., Malice M., Baudoin J.-P. and Zoro Bi I.A. (2007). Macronutrient composition of three cucurbit species cultivated for seed consumption in Côte d'Ivoire. *Afr. J. Biotechnol.* 6 : 529-533.
45. Mahmoud M. W. Sh., Hussein E., Ashour K. (2020). Sequential Path Analysis for Determining the Interrelationships between Yield and its Components in Peanut. *Egyptian Journal of Agronomy* 42(1) : 79-91. DOI: 10.21608/agro.2020.21968.1201.
46. Majid K.R., Roza S., G. Shahzad J. and Roghayyeh Z. (2011). Correlation and Path Analysis Between Yield and Yield Components in Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Middle-East Journal of Scientific Research* 7(1) : 17-21.
47. Meena M.L., Ram R.B. and Rubee L. (2009). Genetic variability and correlation studies for some quantitative traits in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) under Lucknow conditions. *Prog. Hort.* 41 : 89-93.

48. Miller P.A., Williams J.C., Robinson H.F. and Comstock R.E. (1958). Estimates of genotypic and environmental variances and covariances in upland cotton and their implications in selection. *Agron. J.* 50 : 126-131.
49. MINITAB Release 19 (2019). Minitab Inc., USA. ISBN 0-925636-48-7.
50. Mitra D.S., Kumar S., Yadav S., Verma S. and Yadav L. (2023). Assessment of Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance among Different Characters in Tomato [*Solanum lycopersicum* (Mill.) Wettst]. *International Journal of Environment and Climate Change* 13(11) : 2742-2750.
51. Montes-Hernandez S. and Eguiarte L.E. (2002). Genetic structure and indirect estimates of gene flow in three taxa of *Cucurbita* (Cucurbitaceae) in western Mexico. *Am. J. Bot.* 89 : 1156–1163.
52. Najeeb S., Rather A.G., Parray G.A., Sheikh F.A. and Razvi S.M. (2009). Studies on genetic variability, genotypic correlation and path coefficient analysis in maize under high altitude temperate ecology of Kashmir. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 83 : 1-8.
53. Nigussie M. and Saleh G. (2007). Genetic variability and heritability within sweetcorn (*Zea mays saccharata*) breeding population. *Malays. Appl. Biol.* 36 : 5-20.
54. Nuijten E. and van Treuren R. (2007). Spatial and temporal dynamics in genetic diversity in upland rice and late millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) in the Gambia. *Genetic Resource and Crop Evolution* 54 : 989–1009. DOI 10.1007/s10722-006-9191-4.
55. Ogunniyan D.J., Oduwaye O.A., Olakojo S.A. and Ojo D.K. (2015). Genetic variability. repeatability. traits relationships and path coefficient analysis in low nitrogen donor white inbred lines of maize (*Zea mays* L). *Maydica* 60 : 1-5.
56. Osuji O.J., Okoli E.B. and Heslop-Harisson, P.J.S. (2006). Cytology and molecular cytogenetics of *Cucumeropsis mannii* Naudin: implications for breeding and germplasm characterization. *Int. J. Botany* 2(2) : 187–192.
57. Parte D., Sathish K., Sahu P., Sharma D., Bhainsa K., Das B.K. and Shrivastava R. (2022). Correlation and Path Analysis Studies for Yield and Quality Traits of Rice Landraces and Mutants of Chhattisgarh, India. *International Journal of Environment and Climate Change* 12(12) : 1771-1779.
58. Perry, M.W. and M.F. d'Antuono. (1989). Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheat cultivars introduced between 1960 and 1982. *Australian Journal of Agricultural Research* 40 : 457-472.

59. Rasaei A., Ghobadi M.-E., Ghobadi M. and Abdi-niya K. (2011). The study of traits correlation and path analysis of the grain yield of the peas in semi-dry conditions in Kermanshah. International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE vol.9 (2011) IACSIT Press, Singapore.
60. Rasul, M.G., Hiramatsu, M. and Okubo, H. (2007). Genetic relatedness (diversity) and cultivar identification by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in teale gourd (*Momordica dioica* Roxb.). Sci. Hortic. 111 : 271–279. International Conference on Food Engineering and Biotechnology 9 : 246-249, IACSIT Press, Singapore.
61. Robinson H.F., Comstock R.E. and Harvey P.H. (1951). Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implications in selection. Agron. J. 43 : 283-287.
62. SAS Institute (2007). JMP User Guide, Release 7. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. ISBN 978-1-59994-408-1.
63. Scod, S. Ariya, P. S. and Singh, Y. (1995). Genetic variability and correlation studies in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Advances in Hort. and Forestry 4 : 109-118.
64. Sharma K.C., (2010). Genetic variability, characters association and path analysis in exotic lines of cabbage under mid hill, sub-humid conditions of Himachal Pradesh. J. Hill Agr. 1 : 146–150.
65. Simmonds N.W. (1979). Principles of Crop Improvement. Longman Group Ltd. p. 277.
66. Singh B.K., Sharma S.R., Kalia P. and Singh B. (2011). Genetic variability for antioxidants and horticultural traits in cabbage. Indian J. Hortic. 68 : 51–55.
67. Sperling L., Ashby J.A., Smith M.E., Weltzien E. and McGuire S. (2001). A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. Euphytica 122 : 439–450.
68. Sumathi P., Nirmalakumari A. and Mohanraj K. (2005). Genetic variability and traits interrelationship studies in industrially utilized oil rich CIMMYT lines of maize (*Zea mays* L). Madras Agric. J. 92 (10-12) : 612-617.
69. Teshome A., Fahrig L., Torrance J.K., Lambert J.D., Arnason T.J. and Baum B.R. (1999). Maintenance of sorghum (*Sorghum bicolor*, Poaceae) landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. Econ. Bot. 53 : 79–88.
70. Tolera B., Gedebo A. and Tena E. (2024). Genetic variability, character association and path analysis in sugarcane genotypes. Archives of Agronomy and Soil Science 70(1) : 1–15. <https://doi.org/10.1080/03650340.2024.2331036>.

71. Udensi O. and Ikpeme, E.V. (2012). Correlation and Path Coefficient Analyses of Seed Yield and its Contributing Traits in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. American Journal of Experimental Agriculture, 2(3) : 351-358.
72. Wannows A.A., Azzam H.K. and Al-Ahmad S.A. (2010). Genetic variances, heritability, correlation and path coefficient analysis in yellow maize crosses (*Zea mays* L.). Agric. Biol. J. N. Am. 1(4) : 630-637.
73. Whitaker T.W. and Davis G.N. (1962). Cucurbits Botany, cultivation and utilization. World Crops Books – Leonard Hill (books) LTD. London ; Interscience Publ., New York.
74. Waddington S.R., Osmanzi M., Yoshida M. and Ransom J.K. (1987). The yield of durum wheat released in Mexico between 1960 and 1984. Journal of Agricultural Science (Camb.) 108 : 469-477.
75. Wood D. and Lenné J.M. (1997). The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. Biodiversity and conservation 6 : 109–129.
76. Wricke G. and Weber W.E. (1986). Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding. Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
77. Wright S. (1921). Correlation and causation. J. Agri. Res. 20 : 557-585.
78. Zanklan A.S. (2024). Phenotypic variation and Genetic diversity of colocynth (*Citrullus colocynthis* [L.] Schrad.) varieties collected in Southeastern of Benin Republic (submitted to International Journal of Farming and Allied Sciences).
79. Zhao H., Zhang Z.B., Shao H.B., Xu P. and Foulkes M.J. (2008). Genetic correlation and path analysis of transpiration efficiency for wheat flag leaves. Environmental and Experimental Botany 64(2) : 128–134.
80. Zoro Bi I., Koffi K.K., Djè Y., Malice M., Baudoin, J.-P. and Baus, E. (2005). Biodiversity of cucurbits consumed as sauce thickener in Côte d’Ivoire: a capital resource for the economic prosperity of rural women. In: Segers, H., Desmet, P. (Eds.), Tropical Biodiversity: Science, Data, Conservation. Global Biodiversity Information Facility (GBIF), Brussels (Belgium), pp. 158–167.

Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle de la région autonome du Grand Lomé

Afassinou Yaovi Mignazonzon

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo
Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

Sossou Yao Israël

Pessinaba Soulemané

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo

Tokou Labite Kpoti

Afanlovi Komla

Koudouvo Koffi

Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

Agbonon Amegnona

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo

Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p113](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p113)

Submitted: 19 July 2024

Accepted: 25 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Afassinou, Y. M., Sossou, Y. I., Pessinaba, S., Tokou, L. K., Afanlovi, K., Koudouvo, K., & Agbonon, A. (2024). *Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle de la région autonome du Grand Lomé*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 113. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p113>

Résumé

Pertinence ethnopharmacologique : Le coût de la prise en charge de l'hypertension est plus élevé chez les patients à faible revenu financier. D'où l'utilisation fréquente de la médecine traditionnelle. Cette étude pourrait révéler de nouveaux usages pour des plantes médicinales déjà connues, ainsi que pour plusieurs plantes médicinales inconnues. **Objectif de l'étude :** L'objectif de ce travail est d'identifier les plantes utilisées pour traiter l'hypertension dans la Région Autonome du Grand Lomé. **Matériel et Méthodes :** Il s'agissait d'une enquête ethnobotanique menée dans la Région Autonome du Grand Lomé sur une période de six mois d'avril à septembre 2021. L'accent a été mis sur la collecte d'informations sur les

plantes médicinales utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle chez les herboristes du marché en utilisant la méthode « Achat en Triplet de Recettes Médicinales (ATRM) ». **Résultats** : Nous avons visité 18 marchés et rencontré 108 herboristes. Les herboristes étaient des hommes dans 79,62 % des cas. L'enquête a identifié 36 espèces de plantes médicinales regroupées en 24 familles de plantes. La famille des *Verbenaceae* est la famille la plus fréquemment citée de ces espèces, et la famille des *Fabaceae* a le plus grand nombre d'espèces répertoriées. La *Lippia multiflora Moldenke* était l'espèce la plus citée par les herboristes. Les parties utilisées étaient des tiges feuillées dans 43,5%. Le processus de préparation de ces plantes comprenait la décoction (72,7 %) et la macération (15,8 %). L'administration par voie orale étant le principal mode d'administration. **Conclusion** : La flore de la Région Autonome du Grand Lomé contient une variété de plantes médicinales utilisées pour traiter l'hypertension artérielle. La démonstration de leurs effets antihypertenseurs par des tests pharmacologiques garantira que leur utilisation est sécurisée.

Mots-clés: Plantes médicinales, hypertension artérielle, enquête ethnobotanique, Lomé

Ethnobotanical study of plants used in the treatment of high blood pressure in the Greater Lomé Autonomous Region

Afassinou Yaovi Mignazonzon

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo
Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

Sossou Yao Israël

Pessinaba Soulemané

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo

Tokou Labite Kpoti

Afanlovi Komla

Koudouvo Koffi

Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

Agbonon Amegnona

Faculté des Sciences de la Santé, Université de Lomé, Lomé, Togo
Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lomé, Lomé, Togo

Abstract

Ethnopharmacological relevance: The cost of managing hypertension is greater for patients with low financial income. Hence, the

frequent use of traditional medicine. This study may uncover new uses for already known medicinal plants, as well as several unknown medicinal plants. **Aim of the study:** This work aims to identify the plants used to treat hypertension in the Autonomous Region of Greater Lome. **Material and Methods:** This was an ethnobotanical survey conducted in the Autonomous Region of Greater Lome over six months from April to September 2021. The focus was on gathering information about medicinal plants used in the management of hypertension in market herbalists using the “Achat en Triplet de Recettes Médecinale” (ATRM) method. **Results:** We visited 18 markets and met 108 herbalists. Herbalists were male in 79.62% of cases. The survey identified 36 species of medicinal plants grouped into 24 plant families. The *Verbenaceae* family is the most frequently cited family of these species, and the *Fabaceae* family has the highest number of listed species. *Lippia multiflora* Moldenke was the species most cited by herbalists. The parts used were leafy stems in 43.5%. The preparation process for these antihypertensive plants involved decoction (72.7%) and maceration (15.8), with oral administration being the primary mode of administration. **Conclusion:** The Greater Lome Autonomous Region's flora contains a variety of medicinal plants that are used to treat hypertension. Demonstrating their antihypertensive effects through pharmacological tests will ensure their use is secure.

Keywords: Medicinal plants, hypertension, ethnobotany survey, Lome

Introduction

L'hypertension artérielle est un facteur de risque cardiovasculaire majeur qui constitue un problème de santé publique dans le monde. Elle est à l'origine de la moitié des décès dus aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies et responsable d'environ 9,4 millions de morts chaque année (OMS, 2023).

Dans presque tous les pays à haut revenu, l'hypertension artérielle est diagnostiquée systématiquement et son traitement est fait avec des médicaments, ce qui a contribué à une diminution du nombre des décès dus aux cardiopathies (Psaty et al., 2003; Gnakaméné et al., 2009; Law et al., 2009). En revanche, dans les pays à faible revenu, on retrouve davantage de cas d'hypertension ignorée, mal ou non traitée et surtout compliquée (Amah & Lévy, 2007; Ackoundou-N'Guessan et al., 2014; Macia et al., 2015; Aw et al., 2020).

En Afrique, la prévalence de l'hypertension artérielle est élevée et est en augmentation (Amah & Lévy, 2007; Fourcade et al., 2007). Au Togo, la prévalence de l'hypertension artérielle est élevée (27,4 %) (Belo, 2021) et particulièrement dans la capitale togolaise Lomé où elle est de 36,7% (Yayehd

et *al.*, 2013). Le coût de la prise en charge de l'hypertension artérielle y demeure élevé alors que le taux de pauvreté reste élevé (Afassinou et *al.*, 2022). Ceci rend l'accès aux médicaments conventionnels particulièrement difficile à la grande majorité de la population. Face à cette situation, le recours aux plantes médicinales est la solution utilisée par les patients atteints de cette maladie avec tous les risques encourus liés à l'efficacité inconnue et à la toxicité probable. C'est dans ce but que ce travail de recherche nous a été proposé pour identifier les plantes utilisées dans la prise en charge de l'hypertension artérielle dans le District Autonome du Grand Lomé auprès des herboristes.

Matériel et méthodes

1. Zone d'étude

L'enquête s'est déroulée dans le District autonome du Grand Lomé située au sud du Togo. Le Grand Lomé s'étale sur une superficie de 425,6 km². Sa population est estimée à 2 362 366 habitants en 2020 (INSEED). Ce district regroupe les préfectures d'Agoè-Nyivé et du Golfe, et les 13 communes de ces deux préfectures à savoir Baguida, Togblekopé, Légbassito, Sanguera, Vakpossito, Aflao-Sagbado, Aflao-Gakli, Amoutiévé, Bè Ouest, Bè centre, Bè-Est, Agoè-Nyivé, Adétikopé.

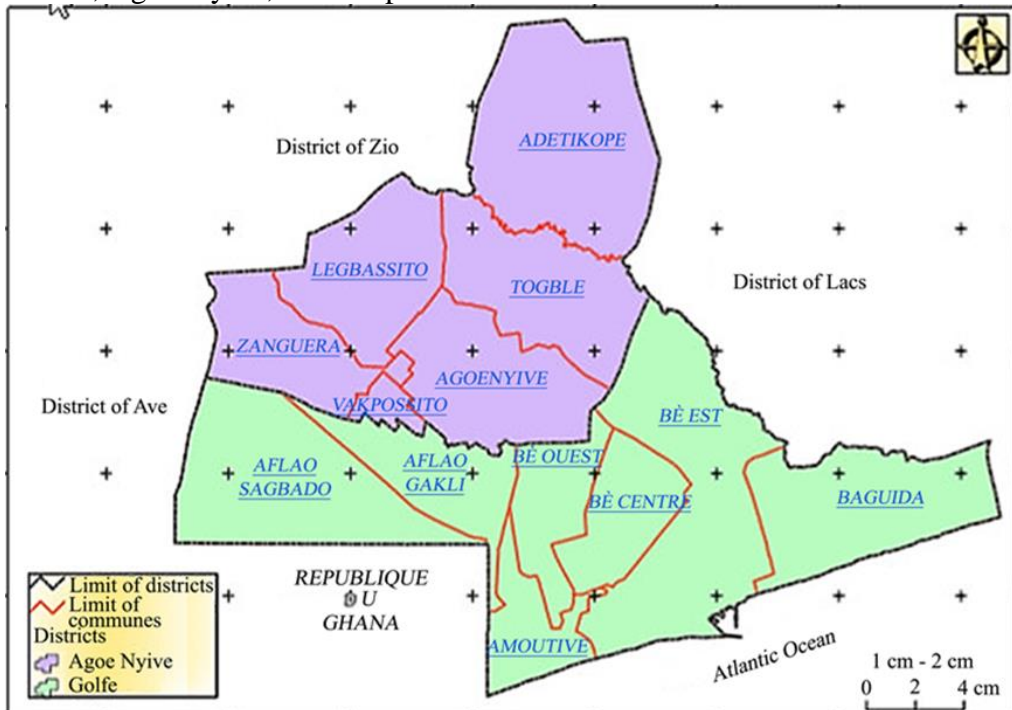


Figure 1: Carte du District Autonome du Grand Lomé (Carte de Lomé, 2023)

2. Méthode d'étude

Le District Autonome du Grand Lomé a été choisi comme zone d'étude car c'est la région où la prévalence de l'hypertension artérielle est la plus élevée au Togo (Yayehd et *al.*, 2013).

L'enquête ethnobotanique a été basée sur un interrogatoire direct semi-structuré mené sur une période de 6 mois, d'avril 2021 à septembre 2021. Elle était effectuée au moyen d'un questionnaire préétabli pour collecter les informations sur l'usage des plantes médicinales pour la prise en charge de l'hypertension par la population locale. Ces informations concernent notamment le nom vernaculaire de chaque espèce, les parties de la plante utilisée, le mode de préparation, le mode d'administration. Le consentement des questionnés a été obtenu oralement. Les études sur le terrain ont été réalisées chez les herboristes des marchés. Les herboristes ont été visités dans dix-huit marchés : Adakpamé église, Adakpamé total, Adidogomé, Agoè assiyéyé, Agoè atsanvé, Agoè zongo, Akodésséwa, Atikoumé, Atikpodji, Bè, Djidjolé, Djifa-kpota, Gbossimé, Hanoukopé, Hédzranawé, Kégué, Nukafu et Totsi. Les visites dans les marchés qui s'animent périodiquement, ont eu lieu le jour du marché et un jour quelconque pour les visites dans les marchés qui s'animent quotidiennement.

La collecte des échantillons a été faite selon la méthode « Achat en Triplet de Recettes Médicinales (ATRM) » qui consiste à l'achat de recettes de plantes pour le traitement de l'hypertension artérielle chez les herboristes dans les marchés de vente, comme toute personne malade, venue solliciter l'herboriste pour se soigner. Après l'achat, des informations sur les modes et milieux de préparation, la voie d'administration, la posologie et la durée du traitement sont demandées et notées pour chaque recette. Une semaine après cet achat deux visites ont été rendues à l'herboriste intercalées toujours d'une semaine. Les noms vernaculaires des plantes ont été notés en langues locales de l'herboriste. Le nombre des herboristes des deux sexes exerçant sur le marché ainsi que le nombre d'étals de plantes médicinales et/ou des substances magico-culturelles ont été aussi enregistrés dans les marchés.

3. Traitement des données

Pour s'assurer de l'efficacité de la méthodologie de collecte des données, une liste des plantes recensées a été réalisée d'un marché à un autre. Cette liste a permis d'établir l'effectif cumulé d'espèces vendues contre l'hypertension artérielle dans les différents marchés.

Au Laboratoire de Botanique/Écologie Végétale de la Faculté des Sciences (FDS), les plantes collectées ont été identifiées grâce aux flores disponibles et actualisée à la nomenclature internationale. Des échantillons de référence des plantes recensées ont été déposés et conservés dans l'herbarium de l'Université de Lomé. Les noms vernaculaires obtenus sur place dans la

langue locale de l'herboriste ont été précisés par l'utilisation de documents ethnobotaniques réalisés sur les plantes médicinales du Togo et des pays limitrophes. L'identification des plantes a été effectuée au laboratoire dans un premier temps à partir des noms vernaculaires et à l'aide des documents qui constituent une base de données pour la pharmacopée togolaise (Adjanohoun et al., 1989; Akoegninou et al., 2006). Ces plantes ont été regroupées selon la classification phylogénétique.

4. Analyses des données

La fréquence relative de citation (FRC) suivant la méthode décrite par Yetein et al (Yetein et al., 2013) a été utilisée pour exprimer l'importance de chaque espèce végétale. Elle a été calculée suivant la formule ci-dessous où n est le nombre d'informateurs ayant cité l'espèce et N le nombre total d'informateurs.

$$FRC = \frac{n}{N}$$

L'analyse statistique des données a été faite à l'aide du logiciel épiinfo version 7.2.5.0. Les variables qualitatives ont été présentées sous forme d'effectifs et de pourcentages respectifs, et les variables quantitatives sous forme de moyenne et écart-type.

II. Résultats

Statut socioprofessionnel des enquêtés

L'enquête a permis d'interviewer 108 herboristes, dont 86 hommes soit 79,62 % et 22 femmes soit 20,37 %.

Plantes et recettes antihypertensives recensées

L'étude a permis de répertorier 36 espèces de plantes médicinales utilisées pour la prise en charge de l'hypertension dans la région autonome du grand Lomé (Tableau 1). Ces plantes appartiennent à 33 genres et 24 familles. La famille Verbenaceae a été la plus citée.

Tableau 1 : Espèces de plantes médicinales répertoriées

FRC: Fréquence Relative de Citation ; Plante entière ; TF : Tige feuillée ; Ra : Racine ; ; Ec : Ecorces.

Familles	Espèces	Nom local	Forme morphologique	Parties utilisées	Mode de préparation et d'utilisation	FRC
Amaranthaceae	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	Papatahé	Herbe	PE	Décoction	0,037
Anacardiaceae	<i>Lannea kerstingii</i> A. Rich.	Melonkou, Melankou	Arbre	Ec	Décoction	0,028
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango-kpa	Arbre	Ec	Décoction	0,019

Annonaceae	<i>Annona muricata</i> L.	Yovognigli, Yevunyigli	Arbuste	TF	Décoction, Macération	0,019
Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Zogbégnigli, Anyigli	Arbuste	TF	Décoction	0,028
Annonaceae	<i>Uvaria chamae</i> P. Beauv.	Agbanlan-ké, Gbana-gbana	Arbuste	Ra, TF	Décoction	0,056
Apocynaceae	<i>Alstonia boonei</i> De Wild.	Nyamidua, Siaketekre	Arbuste	Ec	Macération	0,009
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Néti-ké, Yovonèti-ké	Arbre	Ra	Décoction	0,046
Asteraceae	<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	Damèlatsounko	Herbe	TF	Décoction	0,028
Bignoniaceae	<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	Vinou-kpa, Gnakpekpe	Arbre	Ec	Décoction	0,009
Capparaceae	<i>Crataeva religiosa</i> Forst	Wataïzan, Ontoezin	Arbuste	TF	Décoction	0,009
Combretaceae	<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr.	Héhetsi, Hehe	Arbuste	Ec	Décoction	0,009
Combretaceae	<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels.	Kotokolikan, Sissinon, Aklitsi	Arbuste	Ec	Macération	0,009
Dichapetalaceae	<i>Dichapetalum madagascariense</i> (DC.) Keay.	Atihali	Arbuste	TF	Décoction	0,046
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Anonsikan, Nosikin, Anotsigbe	Herbe	PE	Décoction	0,009
Euphorbiaceae	<i>Securinega virosa</i> (Reyb.) Baill.	Tchaka-tchaka, Hesre	Arbuste	TF	Décoction	0,028
Fabaceae	<i>Caesalpinia bonduc</i> Roxb.	Adikouké, Adikou, Adikutsi	Arbuste	Ra	Décoction	0,009
Fabaceae	<i>Indigofera pulchra</i> Willd.	Zoukon, Dzokon	Herbe	TF	Décoction, Macération	0,019
Fabaceae	<i>Piliostigma thonningii</i> (Sch.) Miln. Redh.	Eklo, Klonti	Arbre	TF	Macération	0,019
Fabaceae	<i>Senna sieberiana</i> DC.	Gati-Gati-ké	Arbuste	TF	Décoction	0,037
Fabaceae	<i>Senna rotundifolia</i> L.	Azingbe, Zingbe, Zigbe	Arbuste	TF	Décoction	0,009
Lamiaceae	<i>Vitex doniana</i> Sweet	Fonyi	Arbre	TF	Décoction	0,019

Tableau 1 (suite) : Espèces de plantes médicinales répertoriées

Familles	Espèces	Nom local	Forme morphologique	Parties utilisées	Mode de préparation et d'utilisation	FRC
Loganiaceae	Anthocleista nobilis Afzel. ex. R. Br.	Gbolouba, Gboloba	Arbuste	Ra	Décoction	0,009
Malvaceae	Waltheria indica L.	Adouwèti	Herbe	TF	Décoction	0,009
Meliaceae	Azadirachta indica L.	Kiniti	Arbre	TF	Décoction	0,009
Moringaceae	Moringa oleifera L.	Yovovitsigbé, Yovovigbe, Kpotsi	Arbuste	Fe	Décoction, Macération, Infusion	0,009
Myrtaceae	Psidium guajava L.	Gbèbèmakpa, Gbèbèti	Arbre	TF	Décoction	0,009
Papaveraceae	Argemone mexicana L.	Houéchégnon	Herbe	TF	Décoction	0,009
Poaceae	Cymbopogon citratus (DC.) Stapf	Tsigbe, Gbehoin	Herbe	Fe	Macération	0,009
Rubiaceae	Gardenia ternifolia Schumach. & Thonn. Ssp. Ternifolia	Flifeti, Fefeti, Elan-Male, Lanmaleti	Arbuste	Fr, Fe, TF	Décoction, Macération	0,046
Rubiaceae	Oldenlandia corymbosa L.	Tsoevissihin	Herbe	TF	Décoction	0,009
Rubiaceae	Pavetta corymbosa (DC.) F. N. Williams	Sifafa	Arbre	TF	Décoction, Macération	0,037
Rubiaceae	Pavetta crassipes K. Schum.	Pagalagbé	Herbe	Fe	Décoction	0,009
Sapindaceae	Paullinia pinnata L.	Assivihatoè-ka	Arbuste	TF	Macération, Infusion	0,009
Verbenaceae	Lippia multiflora Moldenke	Avudati	Herbe	TF, Fe	Décoction	0,148
Vitaceae	Ampelocissus leonensis (Hook.f.) Planch.	Adidoyo	Arbuste	TF	Décoction	0,018

FRC : Fréquence Relative de Citation ; Plante entière ; TF : Tige feuillée ; Ra : Racine ; Fe : Feuilles ; Fr : Fruit.

La famille Fabaceae avait le nombre d'espèces répertoriées le plus élevé suivie de la famille Rubiaceae (Tableau 2).

Tableau 2 : Familles de plantes médicinales répertoriées par nombre de citation et nombre d'espèce

Familles	Nombre de citation	Famille	Nombre Espèce
<i>Verbenaceae</i>	16	<i>Fabaceae</i>	5
<i>Annonaceae</i>	11	<i>Rubiaceae</i>	4
<i>Rubiaceae</i>	11	<i>Annonaceae</i>	3
<i>Fabaceae</i>	10	<i>Anacardiaceae</i>	2
<i>Anacardiaceae</i>	5	<i>Combretaceae</i>	2
<i>Areaceae</i>	5	<i>Euphorbiaceae</i>	2
<i>Dichapetalaceae</i>	5	<i>Amaranthaceae</i>	1
<i>Amaranthaceae</i>	4	<i>Apocynaceae</i>	1
<i>Euphorbiaceae</i>	4	<i>Areaceae</i>	1
<i>Asteraceae</i>	3	<i>Asteraceae</i>	1
<i>Combretaceae</i>	2	<i>Bignoniaceae</i>	1
<i>Lamiaceae</i>	2	<i>Capparaceae</i>	1
<i>Vitaceae</i>	2	<i>Dichapetalaceae</i>	1
<i>Apocynaceae</i>	1	<i>Lamiaceae</i>	1
<i>Bignoniaceae</i>	1	<i>Loganiaceae</i>	1
<i>Capparaceae</i>	1	<i>Malvaceae</i>	1
<i>Loganiaceae</i>	1	<i>Meliaceae</i>	1
<i>Malvaceae</i>	1	<i>Moringaceae</i>	1
<i>Meliaceae</i>	1	<i>Myrtaceae</i>	1
<i>Moringaceae</i>	1	<i>Papaveraceae</i>	1
<i>Myrtaceae</i>	1	<i>Poaceae</i>	1
<i>Papaveraceae</i>	1	<i>Sapindaceae</i>	1
<i>Poaceae</i>	1	<i>Verbenaceae</i>	1
<i>Sapindaceae</i>	1	<i>Vitaceae</i>	1

Parties de plantes utilisées

Tous les organes des plantes étaient utilisés dans la préparation des recettes (**Figure 2**). Les tiges feuillées (23,08 %) représentent la partie la plus utilisée dans la préparation des plantes médicinales.

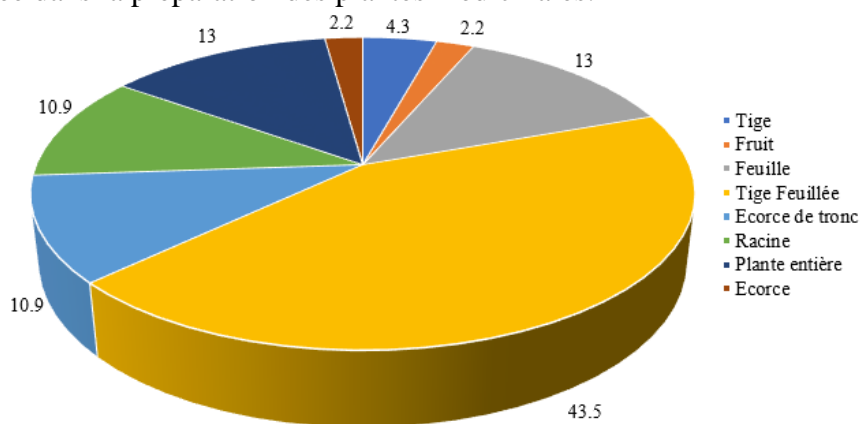


Figure 2 : Parties des plantes utilisées

Mode de préparation et d'administration

Les plantes antihypertensives étaient utilisées essentiellement sous forme de décoction (68,75 %) qui représente la méthode de préparation la plus courante (**Figure 3**). Le mode d'administration principal est la voie orale.

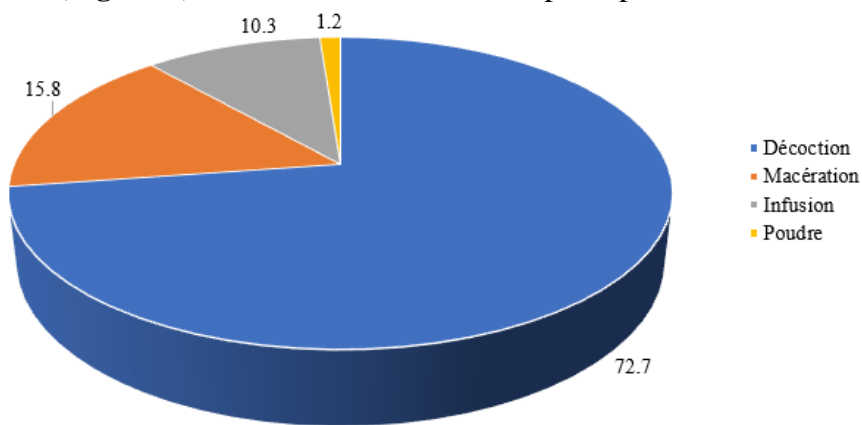


Figure 3 : Le mode de préparation

Discussion

Dans notre étude, les herboristes étaient majoritairement constitués d'hommes qui représentaient 79,62%. Ce qui corrobore les données togolaise et sous régionale qui ont fait le constat de la prédominance masculine dans le milieu des herboristes (Holaly et *al.*, 2015; Diarra et *al.*, 2016; Compaore et *al.*, 2020; Dembélé et *al.*, 2020). Notre résultat contraste avec celui de Orch et *al.* au Maroc qui a retrouvé une prédominance féminine (74,36%) (Orch et *al.*, 2015). Ce constat pourrait s'expliquer par l'analyse de Zizka et al qui suggère que dans la société africaine au sud du sahara, les hommes sont privilégiés dans la transmission des connaissances sur le traitement des maladies en général (Zizka et *al.*, 2015).

Notre étude a permis de répertorier 36 espèces de plantes médicinales appartenant à 24 familles, utilisées pour la prise en charge de l'hypertension dans la région autonome du grand Lomé. La famille *Verbenaceae* a été la plus citée. A Abidjan, 27 espèces ont été répertoriées appartenant à 25 genres et 18 familles ; la famille de plante médicinale la plus représentée était celle des *Euphorbiaceae* (Bi et *al.*, 2008). Dans l'étude tchadienne de Dongock et *al.* en 2018, les enquêtes ethnobotaniques ont révélé que les populations du Logone occidental utilisaient 58 espèces de plantes médicinales réparties en 27 familles et 55 genres pour le traitement du diabète et de l'hypertension artérielle. La famille *Apocynaceae* était la plus utilisée pour le traitement de l'hypertension artérielle (Dongock et *al.*, 2018). Au Maroc, la famille la plus représentée des plantes médicinales était les *Lamiaceae* (Orch et *al.*, 2015). Il en ressort une pluralité et une richesse d'espèces et de familles en matière de

pratique médicinale traditionnelle dans le contexte africain. Ces différences constatées dans ces diverses études pourraient s'expliquer par la diversité du spectre phytogéographique du continent africain. Toutefois, comme rapportée dans l'étude de Adomou et *al* au Bénin, la famille *Verbenaceae* représentait l'une des familles utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle au même titre que la famille *Apocynaceae* (Adomou et *al.*, 2012). Les espèces appartenant à la famille des *Verbenaceae* devraient être source de protection et de sauvegarde par la domestication.

La famille *Fabaceae* avait le nombre d'espèces répertoriées le plus élevé dans notre étude. Ce qui pourrait suggérer qu'au Togo, les *Fabaceae* seraient la famille avec le plus grand nombre d'espèces comme l'a démontré Tourey et *al* à Sokodé (Tourey et *al.*, 2021) mais aussi dans l'étude tchadienne de Dongock et *al* (Dongock et *al.*, 2018).

Dans ce travail de recherche, tous les organes des plantes étaient utilisés dans la préparation des recettes avec une utilisation plus retrouvée des tiges feuillées (23,08%), suivie des feuilles (21,98%) et des racines (16,48%). Dans l'étude ivoirienne, les feuilles étaient les organes les plus utilisés dans les préparations médicamenteuses s'expliquant par leur disponibilité tout au long de l'année, leur facilité d'accès et de prélèvement et de manipulation aisée (Bi et *al.*, 2008). Selon Dongock et *al*, au Logone occidental toutes les parties des plantes étaient également utilisées. Les feuilles (27,32%), l'écorce du tronc (16,82%) et les racines (14,76%) étaient les parties les plus utilisées. Dans cette étude l'analyse de variance montrait une différence hautement significative ($0,000 < 0,001$) entre les parties de plantes. Le groupe ethnique des Arabes n'utilisaient pas les graines et les tiges dans la préparation de leur médicament. Les feuilles seraient fortement sollicitées par les tradithérapeutes tchadiens en raison de leurs richesses en substance actives (Dongock et *al.*, 2018). L'étude marocaine de Orch et *al* a montré également que les feuilles étaient les organes les plus utilisés, suivies par les fruits, les racines et les écorces (Orch et *al.*, 2015). D'un autre point de vue Houmenou et *al.* au Bénin en 2017, rapportent que la position souterraine des racines favoriserait la conservation des substances actives provenant des autres organes, les principes actifs étant des substances chimiques très labiles à la lumière. Il est prouvé que l'impact d'une utilisation particulière sur un arbre dépend de la partie utilisée et de la méthode de prélèvement. La récolte des racines d'un arbre et/ou de son écorce semble avoir plus d'incidences écologiques néfastes que la récolte des feuilles (Houmenou et *al.*, 2017). Nous en déduisons de ce qui précède que le choix des organes des plantes, dépend des connaissances acquises par les herboristes ; lesquelles ont des déterminants comme l'héritage reçu de leurs pairs ; la nature de la plante ; la disponibilité dans le milieu ou encore de l'empirisme.

En ce qui concerne le mode de préparation, dans notre enquête, les plantes antihypertensives étaient utilisées essentiellement sous forme de décoction (68,75%) qui représentait la méthode de préparation la plus courante suivie de la macération (20,83%). Dongock et *al* ont retrouvé des résultats similaires avec des proportions de 62% et 23,66% respectivement pour la décoction et la macération (Dongock et *al.*, 2018). Orch et *al* avaient retrouvé la décoction comme forme pharmaceutique dominante dans leur étude (Orch et *al.*, 2015). En règle générale, la décoction est le mode le plus pratiqué en médecine traditionnelle comme le confirment plusieurs auteurs (Bi et *al.*, 2008; Yapi et *al.*, 2015; Diarra et *al.*, 2016; Nga et *al.*, 2016).

Dans notre travail, le mode d'administration principal était la voie orale. Le même constat est rapporté par Bi et *al* en Côte d'Ivoire (Bi et *al.*, 2008). Cela pourrait s'expliquer d'une part par les formes de préparation qui sont pour la majorité utilisables par voie orale mais aussi par le fait que la maladie elle-même (hypertension artérielle) est d'ordre cardiovasculaire et pour une efficacité maximale, tout composé doit transiter par l'appareil digestif et en faciliter son assimilation (Bi et *al.*, 2008; Orch et *al.*, 2015).

Conclusion

Dans la région autonome du grand Lomé au Togo, les herboristes en majorité des hommes utilisent une quarantaine d'espèces de plantes médicinales dans le traitement de l'hypertension artérielle. La famille Verbenaceae est la plus citée de ces espèces et les Fabaceae ont le plus grand nombre d'espèces répertoriées. Tous les organes des plantes sont utilisés dans la préparation des recettes mais la tige feuillée représentait la partie la plus utilisée. Le mode de préparation de ces plantes antihypertensives était la décoction suivie de la macération avec comme pour mode principal d'administration la voie orale. Avec autant de richesse de plantes médicinales, il reste nécessaire de mettre en évidence le mécanisme leurs effets antihypertenseurs ainsi que de leur innocuité éventuelle afin de sécuriser leur utilisation.

Contributions des auteurs: Afassinou Yaovi Mignazonzon, Koudouvo Koffi, Agbonon Amegnona ont conçu et conçu la recherche. Tokou Labite Kpoti, Pessinaba Soulemane, Sossou Yao Israël et Afanlovi Komla, ont procédé au prélèvement d'échantillons. Afassinou Yaovi Mignazonzon a effectué les analyses d'échantillons et les analyses statistiques. Afassinou Yaovi Mignazonzon, Pessinaba Soulemane et Sossou Yao Israël ont écrit le manuscrit. Tous les auteurs ont contribué à l'article et ont approuvé la version soumise.

Remerciements: Les auteurs remercient le personnel des herboristes pour leur collaboration.

Approbation Éthique et Consentement À Participer: Cette étude a été approuvée par la Direction des Affaires Académiques et de la Scolarité de l'Université de Lomé et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés. Les données ont été traitées de manière anonyme. Le consentement éclairé à participer a été obtenu.

Déclaration de disponibilité des données: L'ensemble de données générées et analysées au cours de la présente étude ne sont pas accessibles au public, mais sont disponibles auprès de l'auteur correspondant sur demande raisonnable.

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

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

References:

1. Ackoundou-N'Guessan, K. C., N'Zoue, S., Lagou, A.-D., Tia, M. W., Guei, C. M., Coulibaly, A. P., & Gnionsahe, A. D. (2014). Épidémiologie de l'hypertension artérielle non contrôlée au cours des maladies rénales chroniques chez des patients admis dans une unité de néphrologie d'Afrique noire : Une étude rétrospective de 479 patients. *Néphrologie & Thérapeutique*, 10(7), 518–527. <https://doi.org/10.1016/j.nephro.2014.08.001>
2. Adjanohoun, E., Adjakidjè, V., Ahyi, M. R. A., Aké Assi, L., Akoègninou, A., Dalmeda, J., Akpovo, F., Boukef, K., Chadaré, F., Cusset, G., Dramane, K., Eyme, J., Gassita, J., N., Gbaguidi, N., Goudoté, E., Guinko, S., Hounnon, P., Lo, I., Saadou, M., Sdogandji, T., De Souza, S., Tchabi, A., Zinsou, D. C., & Zohoun, T. (1989). Contribution aux Etudes Ethnobotaniques et Floristiques au Bénin. Agence de Coopération Culturelle et Technique : Paris ; 895p.
3. Adomou, A. C., Yedomonhan, H., Djossa, B., Legba, S. I., Oumorou, M., & Akoègninou, A. (2012). Etude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 745–772. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i2.18>
4. Afassinou, Y. M., Baragou, S., Pio, M., Bikela, K. V., Oloude, N., Atta, B., Pessinaba, S., & Damorou, F. (2022). Cout direct de la prise en charge ambulatoire de l'hypertension arterielle au chu Sylvanus

- Olympio de Lomé: Journal de La Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, 24(1–2), 121–130.
5. Akouègninou, A., Van der Burg W. J., & Van der Maesen L. J. G. (2006). Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers, 1043p.
 6. Amah, G., & Lévy, B. I. (2007). Particularités de l'hypertension artérielle du sujet noir-africain. *Sang Thrombose Vaisseaux*, 19(10), 519–525. <https://doi.org/10.1684/stv.2008.0213>
 7. Aw, F., Bodian, M., Akanni, S. C. G., Bathily, C., Sarr, S. A., Mingou, J. S., Affangla, D. A., Diouf, M. T., Ndiaye, M. T., Diop, C. M., Ndiaye, P. N., Balde, D. W., Ngaide, A. A., Dioum, M., Leye, M., Ndiaye, M. B., Mbaye, A., Kane, Ad., Kane, A., Diao M., & Ba, S. A. (2020). Diagnostic et évaluation du niveau de contrôle de l'hypertension artérielle à Dakar: Rôle de la MAPA. *Revue Africaine de Médecine Interne*, 7(2–1), 38-42.
 8. Belo, M. (2021). Rapport final de l'enquête STEPS Togo 2021. Ministère de la Santé, de l'Hygiène Publique et de l'Accès Universel aux Soins. https://sante.gouv.tg/wp-content/uploads/2024/04/Togo-rapport-enquete-STEPS_2021_VF-10.06-2023-divsmnt_clean-FR-2.pdf
 9. Bi, F. T., Irie, G. M., N'Gaman, K., & Mahou, C. H. B. (2008). Études de quelques plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle et du diabète: Deux maladies émergentes en Côte d'Ivoire. *Sciences & Nature*, 5(1), 39–48. <https://doi.org/10.4314/scinat.v5i1.42150>
 10. Carte de Lomé. (2023). Gifex. <https://gifex.com/fr/fichier/carte-de-lome/>. Consulté le 14 juin 2024.
 11. Compaore, S., Belemnaba, L., Koala, M., Magnini, R. D., Ouedraogo, N., Thiombiano, A., & Ouedraogo, S. (2020). Consensus level in the traditional management of diabetes and chemical potentiality of plants from north Sudanese, Burkina Faso. *Journal of Medicinal Plants Research*, 14(8), 415–427. <https://doi.org/10.5897/JMPR2020.6967>
 12. Dembélé, A., Sissoko, L., Togola, I., Traoré, N., Sidibé, L., & Diallo, D. (2020). Enquête ethnobotanique de trois plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelle de l'hypertension artérielle au Mali: *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Piliostigma reticulatum* (DC), *Hochst* et *Bauhinia rufescens* (L.). *International Journal of Applied Research*, 6(10), 998–1001.
 13. Diarra, N., Togola, A., Denou, A., Willcox, M., Daou, C., & Diallo, D. (2016). Etude ethnobotanique des plantes alimentaires utilisées en période de soudure dans les régions Sud du Mali. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 184–197. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.14>

14. Dongock, D. N., Bonyo, A. L., Mapongmestem, P. M., & Bayegone, E. (2018). Etude ethnobotanique et phytochimique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies cardiovasculaires à Moundou (Tchad). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 203–216. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.16>
15. Fourcade, L., Paule, P., & Mafart, B. (2007). Hypertension artérielle en Afrique subsaharienne actualité et perspectives. *Med Trop*, 67, 559–567.
16. Gnakaméné, J.-B., Safar, M., & Blacher, J. (2009). Traitement médical de l’hypertension artérielle. *EMC - Cardiologie*, 4(3), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S1166-4568\(09\)45132-5](https://doi.org/10.1016/S1166-4568(09)45132-5)
17. Holaly, G. E., Simplicite, K. D., Charlemagne, G., Kodjovi, A., Kokou, A., Tchadjobo, T., Amegnona, A., Komlan, B., & Jacques, S. (2015). [Ethnobotanical study of plants used in the treatment of diabetes in the traditional medicine of Maritime Region, Togo]. *The Pan African Medical Journal*, 20, 437. <https://doi.org/10.11604/pamj.2015.20.437.5660>
18. Houmenou, V., Adjatin, A., Tossou, M. G., Yedomonhan, H., Dansi, A., Gbenou, J., & Akoegninou, A. (2017). Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de la stérilité féminine dans les départements de l’Ouémé et du plateau au Sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(4), 1851–1871. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.34>
19. Law, M. R., Morris, J. K., & Wald, N. J. (2009). Use of blood pressure lowering drugs in the prevention of cardiovascular disease: Meta-analysis of 147 randomised trials in the context of expectations from prospective epidemiological studies. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 338, b1665. <https://doi.org/10.1136/bmj.b1665>
20. Macia, E., Duboz, P., & Gueye, L. (2015). L’hypertension artérielle à Dakar: Prévalence, connaissance, traitement et contrôle. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 108(1), 49–56. <https://doi.org/10.1007/s13149-014-0369-2>
21. Nga, E. N., Pouka, C. K., Boumsong, P. C. N., Dibong, S. D., & Mpondo, E. M. (2016). Inventaire et caractérisation des plantes médicinales utilisées en thérapeutique dans le département de la Sanaga Maritime: Ndom, Ngambe et Pouma. *Journal of Applied Biosciences*, 106, 10333–10352. <https://doi.org/10.4314/jab.v106i1.13>
22. OMS. (2023). Hypertension artérielle. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>. Consulté le 25 octobre de 2023.
23. Orch, H., Douira, A., & Zidane, L. (2015). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète, et des

- maladies cardiaques dans la région d'Izarène (Nord du Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 86, 7940–7956. <https://doi.org/10.4314/jab.v86i1.3>
24. Psaty, B. M., Lumley, T., Furberg, C. D., Schellenbaum, G., Pahor, M., Alderman, M. H., & Weiss, N. S. (2003). Health outcomes associated with various antihypertensive therapies used as first-line agents: A network meta-analysis. *JAMA*, 289(19), 2534–2544. <https://doi.org/10.1001/jama.289.19.2534>
25. Tourey, S., Boukpepsi, T., Kpedenou, K. D., & Tchamie, T. K. T. (2021). Diversité et importance de la flore ligneuse de la ville de Sokodé (Centre—Togo). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 20(3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.28991>
26. Yapi, A. B., Kassi, N. J., Fofie, N. B. Y., & Zirihi, G. N. (2015). Etude ethnobotanique des Asteraceae médicinales vendues sur les marchés du district autonome d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 2633–2647. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.10>
27. Yayehd, K., Damorou, F., Akakpo, R., Tchéro, T., N'Da, N. W., Pessinaba, S., Belle, L., & Johnson, A. (2013). Prévalence de l'hypertension artérielle et description de ses facteurs de risque à Lomé (Togo): Résultats d'un dépistage réalisé dans la population générale en mai 2011. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*, 62(1), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ancard.2012.09.006>
28. Yetein, M. H., Houessou, L. G., Lougbégnon, T. O., Teka, O., & Tente, B. (2013). Ethnobotanical study of medicinal plants used for the treatment of malaria in plateau of Allada, Benin (West Africa). *Journal of Ethnopharmacology*, 146(1), 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.12.022>
29. Zizka, A., Thiombiano, A., Dressler, S., Nacoulma, B. M., Ouédraogo, A., Ouédraogo, I., Ouédraogo, O., Zizka, G., Hahn, K., & Schmidt, M. (2015). Traditional plant use in Burkina Faso (West Africa): A national-scale analysis with focus on traditional medicine. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11, 9. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-11-9>

Désarticulation de la hanche secondaire à une gangrène du membre pelvien droit : A propos d'un cas au Centre Hospitalier Universitaire la renaissance de Ndjamen

Magloire Dingamnodji

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance.
Faculté de médecine de l'Université Adam Barka d'Abéché (UNABA)

Valentin Andjeffa

Daniel Adendjingue Mossalmbaye

Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména (FSSH), service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU de référence Nationale (CHU-RN)

Siniki Fandebnet

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance,
Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména (FSSH)

Kaimba Madoué Bray

Moussa Kali

Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména (FSSH) Service de chirurgie générale CHU-RN

Ngamai Kotyade

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance.
Faculté de médecine de l'Université Adam Barka d'Abéché (UNABA)

Mohamed Tall

Chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique au CHU de bogodogo à Ouagadougou. Faculté de médecine à l'université Joseph Ki Zerbo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p129](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p129)

Submitted: 23 July 2024

Accepted: 25 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Dingamnodji, M., Andjeffa, V., Adendjingue, D. M., Fandebnet, S., Bray, K. M., Kali, M., Kotyade, N., & Tall, M. (2024). *Désarticulation de la hanche secondaire à une gangrène du membre pelvien droit. A propos d'un cas au Centre Hospitalier Universitaire la renaissance de Ndjamen*.. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 129.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p129>

Résumé

Introduction : La désarticulation de la hanche est un geste mutilant avec un impact psychologique non négligeable. **Observation :** nous rapportons le cas d'un élève de 19 ans admis pour une gangrène mixte secondaire à un traitement traditionnel chez qui une désarticulation de la hanche a été réalisée. La désarticulation est souvent réalisée en chirurgie cancérologique lors des tumeurs siégeant à la partie proximale du fémur. En traumatologie, elle reste le dernier recours lorsque le pronostic vital du patient est engagé. Cet acte pose souvent un problème de couverture cutanée dans notre contexte lié à l'absence de banque de lambeau de jambe. La cicatrisation dirigée associée à une greffe de peau mince fait partie de l'arsenal thérapeutique en l'absence des lambeaux libres. **Conclusion :** L'éducation des tradipraticiens sur les limites de leur pratique et la sensibilisation de la population sur les complications liées au traitement traditionnel demeurent les meilleurs moyens.

Mots-clés: Hanche-gangrène désarticulation-N'Djamena

Hip disarticulation secondary to gangrene of the right pelvic limb: A Case Report from University Hospital Center "La Renaissance" in Ndjamena

Magloire Dingamnodji

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance,
Faculté de médecine de l'Université Adam Barka d'Abéché (UNABA)

Valentin Andjeffa

Daniel Adendjingue Mossalmbaye

Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména
(FSSH), service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU de
référence Nationale (CHU-RN)

Siniki Fandebnet

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance,
Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména
(FSSH)

Kaimba Madoué Bray

Moussa Kali

Faculté des sciences de la santé humaine de l'université de N'djaména
(FSSH) Service de chirurgie générale CHU-RN

Ngamai Kotyade

Service de chirurgie Orthopédique et traumatologie du CHU la renaissance,
Faculté de médecine de l'Université Adam Barka d'Abéché (UNABA)

Mohamed Tall

Chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique au CHU de
bogodogo à Ouagadougou. Faculté de médecine à l'université Joseph Ki
Zerbo

Abstract

Introduction: Hip disarticulation is a mutilating procedure with a significant psychological impact. **Observation:** we report the case of a 19-year-old student admitted for mixed gangrene secondary to traditional treatment in whom hip disarticulation was performed. Disarticulation is often performed in cancer surgery for tumors located in the proximal part of the femur. In traumatology, it remains the last resort when the patient's vital prognosis is in jeopardy. This procedure often poses a problem of skin coverage in our context linked to the absence of a leg flap bank. Directed healing associated with a thin skin graft is part of the therapeutic armamentarium in the absence of free flaps. **Conclusion:** Educating traditional practitioners on the limits of their practice and raising public

awareness of the complications linked to traditional treatment remain the best means.

Keywords: Disarticulation-hip-gangrene-N'Djamena

Introduction

La désarticulation de la hanche est l'ablation d'un membre pelvien. C'est un geste très handicapant avec un impact psychologique non négligeable. Elle est rare et représente 0,7% des amputations du membre pelvien en France (Bastien, 2011). Elle est réalisée en chirurgie cancérologique lors des tumeurs siégeant à la partie proximale du fémur avec envahissement (Carte, 1990). En traumatologie, elle reste le dernier recours lorsque le pronostic vital du patient ou du blessé est engagé. Cet acte chirurgical pose souvent un problème de couverture cutanée. Dans notre contexte où les conditions socio-économiques sont défavorables, une sécurité sociale presque inexistante et surtout la croyance aux traitements traditionnels exposent les patients à des complications redoutables et invalidantes. Nous rapportons un cas d'une désarticulation de hanche secondaire à une gangrène du membre pelvien.

Observation

Il s'agit d'un homme de 19 ans, élève, reçu à un mois d'un traumatisme de la cuisse droite suite à un accident de la voie publique. En effet, le patient motocycliste serait percuté par un automobiliste ayant occasionné une fracture fermée simple de la diaphyse fémorale droite non compliquée. Il est sorti de l'hôpital contre avis médical pour un traitement traditionnel dont la nature n'est pas précisée chez un tradipraticien. Devant l'échec du traitement et compte tenu de l'altération de son état général consécutive à la putréfaction du membre, les parents ont décidé de le ramener dans notre structure pour meilleure prise en charge après un mois post-traumatique. Le diagnostic d'une gangrène mixte remontant jusqu'à la racine de la cuisse compliquée d'un sepsis sévère a été posé (Figure 1).



Figure 1 : gangrène mixte du membre pelvien droit : A) image clinique, B) image radiographique

Les mesures de réanimation d'urgence ont été entreprises et le patient a été conduit au bloc opératoire une heure de temps après son admission. L'indication d'une désarticulation de hanche avec fermeture du moignon en différé a été posée et réalisé (Figure 2). Au plan technique, l'incision était faite en « **raquette** » antérieure, comme décrite par Boyd (Boyd, 1947).



Figure 2 : A) désarticulation selon Boyd, B) image du moignon avec pansement

Les suites opératoires ont été compliquées de suppuration précoce du fait de la proximité de la plaie avec la région anale. Des prélèvements au niveau du moignon ont été faits pour la bactériologie et l'antibiogramme et ont isolé le clostridium perfringens sensible à la clindamycine. Une antibiothérapie adaptée a été réalisée pendant 14 jours associée à une colostomie. Une cicatrisation dirigée jusqu'au bourgeonnement de la plaie a été obtenue au bout de 39 jours, ensuite une greffe cutanée a été réalisée et le moignon a cicatrisé au bout de 60 jours. (Figure 3).



Figure 3 : A) plaie bourgeonnante, B) greffe cutanée, C) cicatrisation du moignon

Commentaire: Dans notre contexte, le recours aux tradipraticiens en cas de fracture expose les patients à des complications redoutables et des séquelles non négligeables comme la perte de tout un membre pelvien chez notre patient jeune qui fait partie de la tranche d'âge active de notre population. La mobilisation intempestive du foyer de fracture, la mise en place de garrot et l'application de cataplasmes sur les membres par les tradipraticiens expliquent ces complications. Après une désarticulation de hanche la cicatrisation doit

être obtenue rapidement pour permettre la réalisation d'un appareillage (Mat Saad, 2001 ; Morii, 2012, Newsome, 2005 ; Ross, 1998). Pour ce faire, il existe divers procédés pour la couverture cutanée à type lambeaux libres, de lambeaux à pédicule transitoire, de lambeaux loco régionaux et les greffes de peau minces et totales. Les lambeaux locaux sont souvent trop fragiles (Steven, 2018) avec un matelassage musculaire insuffisant. Ils peuvent présenter jusqu'à 80% de complications (Templeton, 2005). Le lambeau de glutéal maximus (Temple, 2018) est un lambeau musculo-cutané vascularisé par l'artère glutéale distale qui prend naissance de l'artère iliaque interne et des artères perforantes d'origine sacrée (Temple, 2018). Ce lambeau reste difficile à disséquer en raison de sa vascularisation endopelvienne (Yamamoto, 2009). En absence de ces lambeaux ; la cicatrisation dirigée associée à une greffe de peau mince reste une solution toute fiable comme dans notre cas. L'autre problématique de la désarticulation coxo fémorale demeure l'appareillage et la prise en charge psychologique. Les capacités de déambulation d'un patient désarticulé sont variables mais peuvent permettre au sujet de retrouver son autonomie pour les activités de vie quotidienne. Notre patient déambule seul sans difficultés pour les changements de position (s'asseoir et se lever), et la marche et la montée d'escaliers avec une bonne réinsertion sociale. La déambulation avec prothèse nécessite une rééducation et un appareillage réalisé par une équipe habituée à ce type de patient (Yari, 2008).

Conclusion

La désarticulation de hanche est peu fréquente en pratique traumatologique et très handicapante avec un impact psychologique non négligeable. L'éducation des tradipraticiens sur les limites de leur pratique et la règlementation de leurs activités constituent un atout majeur pour la population. La sensibilisation de la population sur la nécessité de fréquenter les structures sanitaires (hôpitaux) est gage de meilleurs résultats.

Déclaration pour participants humains : cette étude à respecter les principes éthiques d'Helsinki pour la recherche médicale impliquant des sujets humains. Nous avons obtenu le consentement éclairé de tous nos patients et l'autorisation de l'organe institutionnel compétent qui est la direction médicale de notre Centre Hospitalier Universitaire la renaissance.

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

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

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

References:

1. Bastien Moineau. Étude de la posture, de l'initiation de la marche et de la locomotion chez le sujet désarticulé de hanche appareillé. *Sociologie*.(2011).00938705
2. Boyd HB. Anatomic disarticulation of the hip. *Surg Gynecol Obstet* (1947); 84 : 346
3. Carter RS, Eastwood DM, Grimer RJ, Sneath RS. Hindquarter amputation for tumors of the musculoskeletal system. *J Bone Joint Surg Br* (1990) ; 72 : 490-493
4. Mat Saad AZ, Halim AS, Faisham WI, Azman WS, Zulmi W. Soft tissue reconstruction following hemipelvectomy: eight-year experience and literature review. *ScientificWorldJournal*. (2012);2012:702904
5. Morii T, Susa M, Nakayama R, Kishi K, Morioka H, Yabe H. Reconstruction modality based on the spare part concept for massive soft tissue defects following oncological hemipelvectomy. *J Orthop Sci* (2009);14:192-197.
6. Newsome RE, Warner MA, Wilson SC, Sabeeh VN, Jansen DA, McKee PR. Extracorporeal bypass preserved composite anterior thigh free flap (periosteal-musculo-fasciocutaneous) for hemipelvectomy reconstruction: utilizing the periosteal component for abdominal wall fascial reconstruction. *Ann Plast Surg*. (2005);54:318-322.
7. Ross DA, Lohman RF, Kroll SS, et al. Soft tissue reconstruction following hemipelvectomy. *Am J Surg*. (1998);176:25-29.
8. Steven Roulet; Louis-Romé Le Nail; Gualter Vaz ; Antoine Babinet ; Valérie Dumaine; Aurélie Sallot; Philippe Rosset: Free fillet lower leg flap for coverage after hemipelvectomy or hip disarticulation Tours, France.(2018); 33;7;12
9. Templeton KJ, Toby EB. Free fillet leg flap. *Clin Orthop*. (2001);385:182-185.
10. Temple WJ, Mnaymneh W, Ketcham AS. The total thigh and rectus abdominis myocutaneous flap for closure of extensive hemipelvectomy defects. *Cancer*. (1982);50:2524- 2528.
11. Yamamoto Y, Minakawa H, Takeda N. Pelvic reconstruction with a free fillet lower leg flap. *Plast Reconstr Surg*. (1997);99:1439-1441
12. Yari P, Dijkstra PU, Geertzen. Functional outcome of hip disarticulation and hemipelvectomy: Across-sectional national descriptive study in the Netherlands. *Journal of Clinical Rehabilitation*. (2008);22:1127-1133.

Impact of dietary Diversification on the nutritional status of children aged 0 to 59 months in the municipality of Tori-Bossito

Parfait Segla Alohoutade

Supervision and research group in rural areas- Non-Governmental Organization (GERME-ONG), Allada, Benin. Applied biology research laboratory (LARBA) Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC). Laboratory for the study and research of applied Chemistry (LERCA) Ecotoxicology research unit and quality study (UREEQ). Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC), Benin. Laboratory of biology and molecular typing in microbiology, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin. Laboratory of pharmacology and traditionally improved, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

Alphonse Sako Avocefohoun

Applied biology research laboratory (LARBA). Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC). Laboratory for the study and research of applied Chemistry (LERCA) Ecotoxicology research unit and quality study (UREEQ). Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC), Benin. Laboratory of biology and molecular typing in microbiology, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

Gbèssohéle Justin Behanzin

Laboratory of pharmacology and traditionally improved, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

Mohamed Kanazoe

Applied biology research laboratory (LARBA). Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC). Laboratory for the study and research of applied Chemistry (LERCA) Ecotoxicology research unit and quality study (UREEQ). Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC), Benin. Laboratory of biology and molecular typing in microbiology, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

Alassane Youssao Abdou Karim

Laboratory for the study and research of applied Chemistry (LERCA) Ecotoxicology research unit and quality study (UREEQ) Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC), Benin

Nicodeme Chabi

Applied biology research laboratory (LARBA) Polytechnic School of Abomey-Calavi (UAC)

Lamine Said Baba-Moussa

Laboratory of biology and molecular typing in microbiology, University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p136](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p136)

Submitted: 29 June 2024

Accepted: 26 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Alohoutade P.S., Avocefohoun A.S., Behanzin G.J., Kanazoe M., Abdou Karim A.Y., Chabi N. & Baba-Moussa L.S. (2024). *Impact of dietary Diversification on the nutritional status of children aged 0 to 59 months in the municipality of Tori-Bossito*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 136. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p136>

Abstract

In order to capitalize on the achievements for the sustainability of the NECDP (Nutrition and Early Childhood Development Project) in the municipality of Tori-Bossito, the impact of the Promotion of Food Diversification (PFD) on the nutritional status of children aged 0 to 59 months was evaluated. Anthropometric data (weight, height, age) in children aged 0 to 59 months and dietary data (consumption of salt with iodine, source of drinking water, the practice of hand washing, frequency and quality of meals served to children aged 6 to 59 months) was collected in the households of beneficiary women. This data was collected from 2019 to 2020 (considered as the period before PFD) and from 2021 to 2023 (considered as the period after PFD) through home visits, quarterly screening sessions, and monitoring and promotion of growth and stimulation and awakening of children from 0 to 23 months on a monthly basis. Significant differences through the analysis of variance were carried out at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test. It showed from this study that after the PFD, a majority of households practice hand washing (85.12%), use a source of drinking water (80.39%), serve children more than three meals (58.3%) containing the three food groups (97.52%) per day but consumed poor salt in iodine in a proportion of 70.4%. The study also revealed that PFD significantly contributes to reducing the prevalence of all forms of malnutrition among children aged 6 to 59 months (from 3.52% to 1.59% for severely underweight, from 3.34% to 1.97% for severe wasting, and from 7.18% to 3.93% for severe stunting). On the other hand, PFD does not contribute to reducing the prevalence of severe underweight in children aged to 0 to 5 months (from 4.85% to 11.97%). The promotion of Food Diversification stands out as an important activity recommended for food and nutrition projects/programs in the fight against malnutrition in all its forms.

Keywords: Nutritional status, food diversification, children, Tori-Bossito, Benin

Introduction

Malnutrition results in deficiencies, excesses or imbalances in a person's quantitative and/or qualitative intake and manifests itself as "a perceptual or non-perceptual pathological state" (Mudékéréza, 2017; Traoré et al., 2020; Camara et al., 2021). It also includes non-communicable diseases

linked to poor nutrition in addition to undernutrition (wasting, stunting and underweight), vitamin or mineral deficiencies, overweight and obesity (WHO, 2021). The most affected targets are children under 5 years old. For this target category, it constitutes the cause of at least half of deaths worldwide, 45% of which are associated with undernutrition (WHO, 2018 & WHO, 2021). In sub-Saharan Africa, the prevalence of stunting is 30.7% higher than the global average of 22% (WB, 2019 & Yasbeck *et al.*, 2023). In Benin, malnutrition constitutes a public health problem with an overall prevalence rate of 43% (EDS, 2017-2018). The consequences of malnutrition on the Human Capital Index (HCI) are serious and persistent for individuals and their families, for communities and for countries (Yasbeck *et al.*, 2023). The HCI in Saharan Africa is 40% compared to the world average which stand at 57% (WB, 2019). In Benin, the Human Capital Index is 41% (Chabi-Akoha *et al.*, 2021). This value of HCI indicates that a Beninese child only realizes 41% of his potential compared to what would have been possible if he had benefited from optimal conditions of health, food, nutrition and parental care. The consequences of malnutrition include death (WHO, 2018 & WHO, 2021), reduced productivity and economic growth of nations (Yasbeck *et al.*, 2023), reduced cognitive and physical capabilities, reduced reproductive capacity and holistic development (Walker, 2007 & WB, 2019). With regards to harmful consequences of malnutrition on individual human beings and the community, low-income countries, with the help of financial partners, have for years taken strong and urgent actions to eradicate malnutrition in all its forms. In this perspective, the Beninese State benefited from the support of the World Bank to fight against malnutrition through the implementation of the Multisectoral Food, Health and Nutrition Program (MFHNP) followed by Nutrition and Early Childhood Development Project (NECDP) based on the experiences and achievements of the MFHNP (FNC, 2017). Indeed, Benin in its march towards good nutrition after the consensus workshop held in Bohicon (one of the cities of Benin) in 2007, has institutionalized the national Food and Nutrition Council and its Permanent Secretariat (FNC-PS) for an efficient fight against malnutrition. Thus, forty municipalities benefited from the NECDP at start-up, based on the following criteria; percentage of municipal population spending less than one dollar per day, rate of moderate and severe food insecurity and chronic malnutrition within the municipality (FNC, 2017). The municipality of Tori-Bossito, which did not benefit from any nutrition project or program, was in a critical situation with a chronic malnutrition rate of 25% and a rate of households with insecure food reaching 82.5% (Lokonon *et al.*, 2019). It was therefore eligible in this category of beneficiary municipalities and was supported by GERME, a Non-Governmental Organisation for the implementation of project interventions. The project's package of activities includes Promotion of Food Diversification, Culinary Demonstration, Home

visit, Learning and Nutritional Rehabilitation Home, Play Practices, Monitoring Promotion of Growth and Stimulation and Awakening of children from 0 to 23 months, Essential Family Practices, Essential Awareness Practices, Promotion of hygiene measures and rules, Screening and management of malnutrition. Overall, the package of activities of this project had a positive impact on the nutritional status of 80% of children aged 0 to 59 months within the beneficiary community (FNC, 2022). However, the evaluation of the impact of one activity in relation to the other within the package of activities for choice of activities to promote for the sustainability of the achievements has remained marginal and very poorly documented. The lack of dietary diversification is the primary cause of all forms of malnutrition (World Food Program, 2008 & Bodjrenou et al., 2018). Its implementation is simple, less expensive and adapted to the community whose members are mostly farmers (INSAE-RGPH4, 2016 b). It produces a significant impact in the fight against malnutrition better than the adoption of an adequate diet and the therapeutic treatment of childhood illnesses (pneumonia, malaria, diarrhea, infections, etc.) in a situation of malnutrition (World Food Program, 2008). As part of this study, the Promotion of Food Diversification was carried out through training, support and monitoring of women beneficiaries from households most vulnerable to malnutrition through three key themes: the home garden, small-scale poultry and small ruminant breeding, food processing of cassava tubers and the formulation of enriched flour (complementary feed) based on cereals and legumes or protein-oleaginous crops. The implementation of most of the aforementioned activities constituting the project's package of activities started in 2019 but the Promotion of Food Diversification was implemented from 2021 to 2023, i.e. two years after starting the interventions. Thus, in view of the enthusiasm that this activity has generated and with the aim of capitalizing on the achievements of the project for its sustainability, the present work aims to evaluate the impact of the Promotion of Food Diversification on the nutritional status of children aged 0 to 59 months in the municipality of Tori-Bossito.

Material and methods

Study zone

The municipality of Tori-Bossito is located in the southwest of Benin on the Atlantic coast. Covering an area of 328 km² with a density of 136 inhabitants/km² (INSAE RGPH4, 2016b), this municipality is characterized by a low plateau relief cut by valleys with marshy depressions which in the rainy season constitutes a real body of water. The subsistence poverty index based solely on the living conditions of households is 41.9% (INSAE-RGPH4, 2016 b). Agriculture, fishing and hunting represent 53.4% of the economic activities. The population is mainly exposed to diseases such as malaria,

diarrhea, vomiting and pneumonia (See community relay notebook, 2015). This municipality shelters a Territorial Agricultural Development Agency (TADA) which promotes agricultural advisory support. The component Promotion of Food Diversification through the training and support of women trained on the various themes for the promotion of food diversification within the framework of the NECDP is ensured in synergy with TADA technicians.

Sampling

About three hundred and fifty (350) women were selected from twenty-one villages out of the fifty-eight in the municipality of Tori-Bossito. These different villages are distributed in five (5) out of the six (6) Districts of the municipality. Nine (9) villages in the District of Azohoue-Cada, three (3) in the District of Tori-Bossito, four (4) in the District of Tori-Gare, two (2) in the District of Avamè and three (3) in the District of Tori-Cada were chosen in the descending order of vulnerability. These villages are the most vulnerable in terms of malnutrition and critical food and nutritional insecurity (INSAE-RGPH4, 2016 b). Taking into account the assets and constraints of the beneficiary villages, 22% of women (i.e. 77 women) benefited from support training on home garden, 50% (i.e. 175 women) benefited from support training on small livestock farming and 28% (i.e. 98 women) benefited from support training on the food processing of cassava tubers and the formulation of enriched flour based on cereals, legumes or protein-oilseeds. The women beneficiaries was selected for their status as a priority adult target of the NECDP and their involvement in the nutrition mutual established by the project. They are mothers of children under five years old, breastfeeding women (children under 2 years old) and/or pregnant women. Table 1 presents the support received by women trained and equipped to promote food diversification.

Table 1: Kits allocated to the different categories of trained women

Training themes for women	Kits
Home garden	Watering can, seeds (amaranth, nightshade, tomatoes, peppers), two fruit plants (soursop tree, orange tree or lemon tree)
Small breeding	A doe and a rabbit, 10 kg of feed, a feeder, a drinker, a cage
	Three hens and a rooster, 10 kg of feed, a feeder, a drinker
Food processing	Frying pan, plastic bucket, spatula
	Pot, ladle, 10 kg of corn and 10 kg of soya

Collection of data

Two types of data was collected in this study; these are anthropometric data of children aged 0 to 59 months and dietary data within the households of trained and equipped women.

Anthropometric data includes: height, weight and age of children from 6 to 59 months. For children aged 0 to 5 months, the anthropometric data collected are weight and age.

Dietary data include: the number of meals served to children per day, the quality of the meal (presence of the three food groups: energy food, growth food and protective food), iodized salt consumption, source of supply in drinking water and the practice of hand washing. In accordance with the protocol implemented (MFHNP/NECDP flayers), the distinction between the three food groups is based on the food square, namely: energy food (rich in sugar or lipids), growth food (rich in proteins or proteins) and protective food (rich in vitamins and mineral salts). Two sources of water were considered, namely: drinking water (SONEB tap, well-protected and maintained borehole, human-powered pump) and non-potable water (poorly maintained and unprotected borehole, unprotected traditional wells, surface water, and untreated rainwater) following the intervention implementation protocol (FNC, 2017).

This data was collected from 27 children from 0 to 5 months and 547 children from 6 to 59 months before the Promotion of Food Diversification (period from 2019 to 2020) and 29 children from 0 to 5 months and 529 children from 6 to 59 months after the Promotion of Food Diversification (period from 2021 to 2023). These child targets are considered to be the number of children aged 0 to 59 months who have been screened in the households of the 350 women beneficiaries of training and support for the Promotion of Food Diversification.

This different data was collected through screening, Growth Promotion and Stimulation and Awakening Monitoring (GPSAM) of children aged 0 to 23 months on a monthly basis and Home Visits (HV) to households covered by the survey study. Screening is a quarterly activity and HV and GPSAM are routine activities

Material

For the collection of anthropometric data, the personal scale (type: Seca gmbh & co.kg, designed in Germany Made in China, Max: 150 kg, d1=0.1 kg) with a tare function and the measuring rod (Brand Shorren lying position for children under 2 years (Maximum height: 197.5 cm, d2= 0.1cm) were necessary. Weight was determined using the scale and height using the height chart. The age was determined from official documents (birth certificate, declaration form, RAVIP receipt or secure birth certificate) which bear the date of birth.

Dietary data was collected through Home Visits (HV) of the targets and iodized salt consumption was carried out using the iodine test (MBI kits international 85, G.N. Chetty Road, Nagar, and Chennai-600 017 INDIA).

Data processing and analysis

Anthropometric data have been expressed in accordance with the WHO protocol, namely: weight in kilograms (kg), height in meters (m) and age in months. WHO Anthro software version 2.0.4 was used to assess z-scores and prevalences of wasting (Weight/Height), stunting (Height/Age) and underweight (Weight /Age) in children. The figures present the Z-score scales (Weight/Age) for girls and for boys from 0 to 59 months for illustrative purposes.

Dietary data and average prevalences were processed using Microsoft Excel version 2010. SPSS v 16.0 software was used for analysis of variance (ANOVA).

Results

The consumption of iodized salt, the source of drinking water and the practice of hand washing in the monitored households are presented in Table 2. The majority of households use salt low in iodine (iodine content ≤ 15 ppm), i.e. 74.6% before and 70.40% after the Promotion of Food Diversification. Most households use drinking water (tap water, maintained and well-protected borehole and human-powered pump), i.e. 81.44% and 80.39% respectively before and after the PFD. For hand washing, around 96.48% of households do not use the HWD before the PFD and 85.12% use it after the PFD.

Table 2: Iodine consumption, source of drinking water and hand washing practice in monitored households

Settings		Proportion of households before PFD (%)	Proportion of households after PFD (%)
Consumption of iodine/iodate	0 ppm	15,35 \pm 2,44 ^a	14,45 \pm 3,10 ^a
	≤ 15 ppm	74,60 \pm 5,45 ^b	70,40 \pm 7,45 ^c
	>15 ppm	10,05 \pm 1,88 ^d	15,15 \pm 3,95 ^e
Source of drinking water	Drinking water	81,44 \pm 4,12 ^f	80,39 \pm 5,85 ^f
	Non-Drinking water	18,66 \pm 2,48 ^g	19,61 \pm 3,84 ^g
Hand washing practice	Non usage DLM	96,48 \pm 4,88 ^h	14,88 \pm 2,92 ⁱ
	Usage DLM	3,52 \pm 1,04 ^j	85,12 \pm 4,99 ^k

In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.

HWD: Hand Washing Device, PFD: Promotion of Food Diversification

The Table 3 present the frequency and quality of meals served to children aged 6 to 59 months in the monitored households. The data in the table indicates that before the PFD within households, the majority of women serve 2 to 3 meals to children aged 6 to 59 months (i.e. 40.51% and 45.68% respectively) while after the PFD, they served at least three meals (i.e. 3 meals in 39.12% of households and more than 3 meals in 58.3% of households). In

most households (97.52%) the quality of meals served to children aged 6 to 59 months contain the three food groups (energy food, growth food and protective food) after the PFD while before the foods served mainly contain two food groups (i.e. 90.48%).

Table 3: Frequency and quality of meals served to children aged 6 to 59months in monitored households

Proportion of households	Frequency of meals			Presence of food groups	
	2 meals per day	3 meals per day	More than 3 meals per day	2 food groups	3 food groups
Before PFD (%)	40,51 ± 4,24 ^a	45,68 ± 3,94 ^c	14,82 ± 2,64 ^e	90,48 ± 4,14 ^g	9,52 ± 2,20 ^e
After PFD (%)	2,58 ± 0,84 ^b	39,12 ± 3,42 ^d	58,30 ± 4,15 ^f	2,48 ± 0,84 ^h	97,52 ± 3,19 ^f

*In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.
PFD: Promotion of Food Diversification*

Concerning the nutritional status of children in the monitored households, the weight-for-age (W/A) index reflects underweight according to WHO recommendations. Table 4 below presents the average prevalence of underweight children aged 0 to 5 months in the households monitored. The average prevalence of severe underweight (Zscore < -3 (W/A Red)) is low (4.85%) before the PFD and high (11.79%) after the PFD. The average prevalence of moderate underweight (-3 < Zscore < -2 (W/A Yellow)) is 7.45% and 7.25% respectively before and after PFD.

Table 4: Nutritional status of children aged 0 to 5 months from monitored households (weight/age index)

Weight index for age of children from 0 to 5 months	Before PDA		After PDA	
	Average number (n=27)	Average prevalence (%)	Average number (n=29)	Average prevalence (%)
Zscore > -2 (W/A Green)	24,04		23,48	
-3 < Zscore < -2 (W/A Yellow)	2,05	7,45 ± 1,04 ^a	2,10	7,25 ± 1,51 ^a
Zscore < -3 (W/A Red)	1,33	4,85 ± 0,98 ^b	3,4	11,79 ± 2,3 ^c

*In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.
PFD: Promotion of Food Diversification.*

Table 5 below presents the average prevalence of underweight children aged 6 to 59 months in the households monitored. The average prevalence of severe underweight (Zscore < -3 (W/A Red)) before and after PFD are 3.52% and 1.59% respectively. The average prevalence of moderate underweight (-3 < Zscore < -2 (W/A Yellow)) is 4.88% before and 3.85% after PFD.

Table 5: Nutritional status of children aged 6 to 59 months from monitored households (weight/age index)

Weight index for age of children from 6 to 59 months	Before PFD		After PFD	
	Average number (n=547)	Average prevalence (%)	Average number (n=529)	Average prevalence (%)
Zscore > -2 (W/A Green)	501		500	
-3< Zscore <-2 (W/A Yellow)	26,7	4,88 ± 0,84 ^a	20,4	3,85 ± 0,91 ^b
Zscore < -3 (W/A Red)	19,3	3,52 ± 0,48 ^c	8,46	1,59 ± 0,48 ^d

In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.

PFD: Promotion of Food Diversification.

Table 6 presents the average prevalence of wasting or acute malnutrition of children aged 6 to 59 months in the monitored households. The average prevalence of moderate acute malnutrition (-3< Zscore <-2 (W/H Yellow)) is higher before the PFD (8.7%) and lower after the PFD (4.46%). The average prevalence of severe acute malnutrition (Zscore < -3 (W/H Red)) is 3.34% and 1.97% respectively before and after the promotion of food diversification.

Table 6: Nutritional status of children aged 6 to 59 months from monitored households (weight/Height)

Weight-for-Height index for children aged 6 to 59 months.	Before PFD		After PFD	
	Average number (n=547)	Average prevalence (%)	Average number (n=529)	Average prevalence (%)
Zscore > -2 (W/H Green)	481		493	
-3< Zscore <-2 (W/H Yellow)	47,9	8,7 ± 1,2 ^a	23,6	4,46 ± 1,01 ^b
Zscore < -3 (W/H Red)	18,3	3,34 ± 0,98 ^d	10,42	1,97 ± 0,84 ^c

In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.

PFD: Promotion of Food Diversification.

The average prevalence of chronic malnutrition or stunted growth of children aged 6 to 59 months in monitored households is presented in Table 7 below. The average prevalence of moderate stunting (-3< Zscore <-2 (S/A Yellow)) fell after the PFD (from 8.75% before the PFD to 6.49% after). Likewise, the average prevalence of severe stunting (Zscore < -3 (S/A Red)) increased from 7.18% before the PFD to 3.93% after the PFD.

Table 7: Nutritional status of children aged 6 to 59 months from monitored households (Size/Age)

Size index for age of children from 6 to 59 months	Before PFD		After PFD	
	Average number (n=547)	Average prevalence (%)	Average number (n=529)	Average prevalence (%)
Zscore > -2 (S/A Green)	459,84		474,08	
-3< Zscore <-2 (S/A Yellow)	47,9	8,75 ± 1,05 ^a	34,32	6,49 ± 0,52 ^b
Zscore < -3 (S/A Red)	39,3	7,18 ± 0,94 ^d	20,80	3,93 ± 0,42 ^c

In each column, the means followed by the same alphabetical letters do not present significant differences at the 5% threshold according to the Student Newman-Keuls test.

PFD: Promotion of Food Diversification.

Discussion

The proportions of households monitored before and after the Promoting Food Diversification (PFD) for the source of drinking water did not show any significant difference. This indicates that the source of drinking water used did not depend on the Promotion of Food Diversification. Indeed, with the promotion of good hygiene practices by field agents within the framework of the Multisectoral Food, Health and Nutrition Program (MFHNP) and Nutrition and Early Childhood Development Project (NECDP), the community understood the need of installing and maintaining boreholes to make it an Income Generating Activity (IGA) which will facilitate the access of drinking water for a large number of households. On the other hand, the difference observed in the proportions of households for the consumption of iodized salt can be explained by the poor conditions of handling salt (exposure to the sun, heat, addition before cooking food). The difference in the proportions of households for the practice of hand washing is justified by the fact that the year of introduction of the Promoting Food Diversification activity coincided with the requirement for hygiene conditions as preventive measures for Covid-19 contamination. Therefore, a crave for the use of Hand Washing Device (HWD) was observed and supported by the Hygiene and sanitation component of the package of activities implemented by field agents. The source of drinking water and the practice of hand washing are important hygiene conditions in the fight against chronic malnutrition as noted by Lokonon and Amoussa (2019) in their study on the profile of food security in the municipality of Tori-Bossito and Dangbo in southern Benin. The result of the high proportions of households using drinking water (81.44% before and 80.39% after the PFD) is different from that of Lokonon and Amoussa (2019) which indicated 85.5% due to the size of households taken into account and the period of the study. These authors carried out their study in 2018 with 104 households before the implementation of the interventions.

The proportions of households monitored showed significant differences in the frequency and quality of meals served before and after the

PFD. This difference depend on the training and support provided to women in their households. Indeed, women trained and supported on one of the themes of food diversification (home garden, small livestock and food processing) put into practice the skills and support received to provide food and income to their households jointly with their husband. The income from the activities allowed the trained and supported women to increase their purchasing power and easily obtained complementary foods to bring together the three groups in the dishes served in their households. It appears that the Promotion of Food Diversification contributes to the quality and frequency of meals served to children aged 6 to 59 months in their households. This study can serve as a basis for the food availability, food consumption and food diversification components to assess food and nutritional security within the households of trained and supported women as reported by Lee *et al.* (2016). It could also be used to assess an improvement in food and nutritional security in the municipality of Tori-Bossito after the interventions of the NECDP as Lokonon and Amoussa (2019) had hoped.

The mean prevalence of moderate underweight did not show any significant difference. On the other hand, the difference in the mean prevalence of severe underweight in children aged 0 to 5 months can be explained by the judicious implementation of Essential Family Practices (compliance with the vaccination schedule, Exclusive Breastfeeding, Early Breastfeeding) by the breastfeeding woman as advice was given by field agents. Indeed, children aged 0 to 5 months are not allowed to feed directly on other foods (neither water nor herbal tea) than breast milk during the first 6 months after birth for good development of the brain, the immune system and important physiological functions. Thus, when the Promotion of Food Diversification contributes to Food and Nutrition Security as reported by Lele *et al.* (2016), it is not sufficient to guarantee the ponderal index of children aged 0 to 5 months. This result confirmed the analysis of Camara *et al.* (2021) according to which vaccination and Exclusive Breastfeeding contribute better to the well-being of children aged 0 to 5 months. These results indicate that the Promotion of Food Diversification did not contribute to the weight index of children aged 0 to 5 months in their households.

Regarding the average prevalence of underweight children aged 6 to 59 months, the results showed a significant difference and indicated a decrease in the average prevalence of underweight after the Promotion of Food Diversification. This may depend on the training and support provided to women for the Promotion of Food Diversification. Indeed, in addition to the training and support for the formulation of complementary foods (enriched flour based on the three food groups), the promotion of home garden (supply of fruits and vegetables rich in minerals and vitamins) and small-scale poultry and small ruminant farming (supply of eggs and meat) to strengthen the

nutritional status of children from 6 months, field agents organized restitution sessions (peer training) to share the knowledge received within the community. In addition, some beneficiary women developed income-generating activities based on the training and support received. This allowed children aged 6 to 59 months from households with low purchasing power to have access to a rich and balanced complementary food. These results were consistent with those obtained by Bodjrenou *et al.* (2019) who indicate an improvement in the ponderal index following the introduction of complementary food into the diet of children aged 6 to 12 months in Sub-Benin. On the other hand, these results did not comply with those obtained by Marinda *et al.* (2023) through the assessment of dietary diversity and the nutritional status of children aged 6 to 59 months from rural fishing and non-fishing communities in Zambia. Indeed, the improvement in dietary diversity did not lead to a significant development of the ponderal index in children aged 6 to 59 months.

The average prevalence of moderate or severe acute wasting showed a significant difference and indicated a decrease after the Promotion of Food Diversification (PDA). These observed differences can be justified by the Promotion of Food Diversification in their households. Indeed, the training and support provided to women allowed them to ensure the availability and quality of meals served to children aged 6 to 59 months through products from the home garden (contribution of fruits and vegetables rich in minerals and vitamins) and small poultry and small ruminant farming (contribution of eggs and meat). In addition, the fact that some women use the training and support received to develop income generating activities, allowed them to provide first health care to children as quickly as possible to avoid complications. The benefits of income generating activities also allowed women to put into practice the acquired technologies for processing and formulating rich foods that meet the nutritional needs of children during cooking sessions. Thus, Promoting Food Diversification helps strengthen the capacity of women in their households to ensure optimal feeding, health and nutrition conditions for children aged 6 to 59 months. This same observation was made by Camara *et al.* (2021) through their study on severe acute malnutrition with complications in children aged 0 to 59 months in Guinea Conakry. These authors reported that when breastfeeding women or mothers of children have alternative sources of income to help the family, food and nutritional coverage for children is better ensured. Taha *et al.* (2014) had also highlighted socio-economic factors and dietary practices in the increase of the prevalence of malnutrition in all its forms. However, these results contradict those obtained by Marinda *et al.* (2023) who did not indicate any link between socio-economic status, dietary diversity of communities and the prevalence of acute malnutrition or wasting. Anchamo (2022) also reported other factors such as

large family size, age of children, diarrhea and household insecurity as determinants of the prevalence of severe acute malnutrition. It is evident from the present study that the Promotion of Food Diversification reduces the prevalence of wasting.

The different values of average prevalence of stunting showed significant differences. This can be explained not only by the Promotion of Food Diversification but also by better hygiene practices (hand washing and source of drinking water). Indeed, when trained and supported women put into practice the skills received, they bought products from the three food groups and earned income from the sale of the products (fruits and vegetables, eggs, animals and enriched flour) to meet the other vital needs of their children (child care and hygiene practices) even before the support of their spouse. Thus, when women manage to meet the needs of their children first, they more easily applied the advice given them by field agents on hygiene (installation of the Hand Washing Device, maintenance and use of the device, purchase of water from sources recognized as drinkable) and the use of the First Reference Health Center (FRHC) in the event of signs of danger of diseases (persistent diarrhea, pneumonia and malaria) to avoid chronic malnutrition. These results confirmed those of Lokonon and Amoussa (2019) who indicated a strong correlation between hygiene practices (hand washing and portable water source) and chronic malnutrition but did not focus on the resources needed to apply hygiene practices. On the other hand, the studies of Ahmad *et al.* (2018) and those of Marinda *et al.* (2023) established a strong correlation between lacks of dietary diversity and stunting in children aged 6 to 23 months on the one hand and in children aged 6 to 59 months on the other hand. In addition, the prevalence of moderate (6.49%) and severe (3.93%) stunting obtained in the present study are different from those obtained by Rahimov *et al.* (2019) respectively 14.6% and 4.8% through their study on the evolution of the nutritional status of children under 5 years in northwest Syria. Nevertheless, these results confirmed a predominance of the prevalence of moderate stunting compared to that of severe stunting in children aged 6 to 59 months. Furthermore, these authors did not highlight the correlation between hygiene practices and stunting but stated causes related to the increase of food insecurity, lack of access to health services and loss of livelihoods. These results indicated that training and support for women for the Promotion of Food Diversification contributed to reducing the prevalence of stunted growth in children aged 6 to 59 months in the households of beneficiary women.

Conclusion

The evaluation of the impact of the Promotion of Food Diversification as one of the activities in the package of activities of Nutrition and Early Childhood Development Project interventions in the municipality of Tori-

Bossito was the opportunity to know that the households monitored mostly adopt better hygiene practices (hand washing practices and consumption of drinking water). Most of these households consumed salt low in iodine (content <15 ppm). The Promotion of Food Diversification has contributed to food availability and the quality of meals served (more than three meals served per day containing the three food groups: energy food (rich in sugar or lipids), growth food (rich in proteins) and protective food (rich in vitamins and minerals)) for children aged 6 to 59 months in their households. In addition, the Promotion of Food Diversification has contributed to reducing the prevalence of all forms of malnutrition (from 3.52% to 1.59% for severe underweight, from 3.34% to 1.97% for severe wasting and from 7.18% to 3.93% for severe stunting) in children aged 6 to 59 months. On the other hand, the study revealed that the promotion of dietary diversification does not contribute to the reduction of underweight among children aged 0 to 5 months. This activity is therefore important and recommended in food and nutritional intervention projects and programs in community settings to eradicate malnutrition in all its forms.

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

Data availability: All data are included in the article content.

Funding statement: The authors received no funding for this research.

Declaration for human participants: The study was approved by the Food and Nutrition Council of Benin as part of the Early Childhood Nutrition and Development Project. Approvals were obtained from the relevant scientific committee and ethical guidelines of the University of Abomey-Calavi (consent, anonymity, etc.) were followed.

References:

1. Ahmad, I., Khalique, N. & Khalil, S., 2018. Dietary diversity and stunting among infants and young children: a cross-sectional study in Aligarh, Indian journal of community medicine: official publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine 43 (1) (2018) 34.
2. Anchamo A., 2022. Severe acute malnutrition and associated factors among children under-five years: A community based-cross sectional study in Ethiopia. 10.1016/j.heliyon.2022.e10791 ;
3. WB, World Bank, 2019. The African Humain Capital Plan: boosting Africa's potential by investing in people, 16p ;
4. Bodjrenou, F. S. U., Amoussa Hounkpatin, W., Houndji, S., Lokonon, J., Kodjo, M. A. D. R. & Aïtondji Dossa, L.A., 2019. Réduction de la

- malnutrition chronique par une approche alimentaire : une étude pilote en milieu rural au Sud Bénin. *Annales des sciences agronomiques* 22 (1) : 133-150, 2018 ISSN 1659 – 5009 ;
5. Camara, E., Diop, M. M., Barry I. K., Conde, I, Barry, A., Bah, M., Diallo, S. B., & Bah, M.A., 2021. Malnutrition Aigüe Sévère avec Complications chez les Enfants de 0 à 59 Mois: Aspects Épidémiologique, Clinique et Thérapeutique au Service de Pédiatrie de Labé, Guinée Conakry. *The Journal of Medicine et Biomedical Sciences, Health Sci. Dis: Vol 22 (7) July 2021* Available free at www.hsd-fmsb.org;
 6. NFC, Food and Nutrition Council., 2022. Workshop to review intervention and develop monitoring and evaluation tools as part of the Nutrition and Early Childhood Development Project in Benin. Final report, Dassa, Benin p 50 ;
 7. Chabi-Akoha, E., Agassounon, C., Aguemon, F., Gandonou, M. & Houensou-Idrissou, M., 2021. Support de formation du module stimulation et éveil, Bohicon, le 29-30 juillet 2021, CAN-Projet 57 NDPE, 57p CAN, Conseil de l’Alimentation et de la Nutrition, 2017. Plan Stratégique de Développement de l’Alimentation et de la Nutrition, 2017, 80 p ;
 8. EDS, 2017-2018. Enquête Démographique et de Santé, Bénin ;
 9. INSAE, 2016b: Recensement Général de la Population et de l’Habitat (RGPH-4, 2013) : cahier des villages et des quartiers de villes du département de l’Atlantique, Août 2016, p42 ;
 10. Lele, U., Masters, W.A., Kinabo, J., Meenakshi, J., Ramaswami, B., Tagwireyi, J., Bell, W. & Goswami, S., 2016. Measuring Food and Nutrition Security: An Independent Technical Assessment and User’s Guide for Existing Indicators. Measuring Food and Nutrition Security Technical Working Group. Rome : Food Security Information Network. Available at [http://www.fsincop.net/topics/fns-measurement.](http://www.fsincop.net/topics/fns-measurement;);
 11. Lokonon, J. H.F. & Amoussa Hounkpatin, w. B. A., 2019. Profil de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des communes de Dangbo et de Tori-Bossito au Sud-Bénin, *Annale de l’Université de Parakou, Série « sciences naturelle et agronomie », juin 2019, Vol.9 (No.1) : 21-32 ;*
 12. Marinda, P., A., Chalula, F., Khayeka-Wandabwa, C., Audain, K. & Thilsted, S., H., 2023. Dietary diversity and nutritional status of children aged 6–59 months from rural fishing and non-fishing communities in Zambia, *Scientific African* 19 (2023) e01527 ;
 13. Ministère de la Santé., 2015 : Cahier du relais communautaire, version juin 2015, 134 p ;

14. Mudékéréza M. 2017. Malnutrition chez l'enfant de moins de 5 ans à Lubumbashi et ses environs : Approche épidémiologique et biochimique dans un milieu minier. [République démocratique du Congo]: université de Lubumbashi; 2017 p207;
15. WHO, World Health Organization, 2018. The state of food and nutrition security in the world 2018. Report 2018. <https://www.who.int/fr/news-room/detail/11-09-2018-global-hunger-continuesto-rise---new-un-report-says> consulté le 15/01/2024 ;
16. WHO, World Health Organization, 2021. "Nutrition" <https://www.who.int/fr/health-topics/nutrition>;
17. World Food Program. (WFP), 2008. The main types of malnutrition and micronutrient deficiencies, Nutrition Directorate, 32p ;
18. Rahimov B., Mekkawi, T. & Tyler, V. 2019. Evolution de l'état nutritionnel des enfants de moins de 5 ans dans le nord-ouest de la Syrie(www.enonline.net) ;
19. Taha, H., M., Hassan, H., M., Elrasheed, A., A., Nazik, E., M., 2014. Prevalence of malnutrition among children under five years old in Khartoum State, Sudan. Polish Annals of Medicine, Volume 21, Issue 1, June 2014, Pages 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.poamed.2014.01.001>Get rights and content ;
20. Traoré F. D., Traoré F. & Sacko K., 2020. Malnutrition, physiopathologie et prise en charge, 8 p ;
21. Walker, S. P., Wachs, T. D., Meeks G. J., Lozoff, B., Wasser-man, G. A. & Pollitt, E., 2007. Risk factors for ad-verse outcomes in developing countries. *Lancet* 2007 Jan; 13(369):145-56 ;
22. Yasbeck, A.,Twinomugisha, A., Devercelli, A., Bakilana, A., Lee, C., Massiah, E., Ade, F., Naqvi, F., Kidwai, H., Haq, I. U., Feda, K., Shrestha, M., Tuoane, M., Gracheva, M., De Simone, M., Mulatu, M., Jelil, M., Dsouza, R., Chase, R., Ahiko, R., Al-Samarrai, S., Troiano, S., Powers, S., Bajaj, S., Udahehuka, S., Jagannathan, S., Belay, T. & Mekonnen, Y., 2023. Approche intégrée pour améliorer la santé et la nutrition, série de notes techniques sur le capital humain en Afrique, 3p. (www.worldbank.org/en/events/2023/07/25/africa-human-capital-heads-of-state-summit)

Résultats du traitement chirurgical des fractures malléolaires de l'adulte au Centre Hospitalier Régional de Sokodé

Dellanh Yaovi Yanick

Centre Hospitalier Régional de Sokodé, Université de Lomé, Togo

Bakriga Batarabadja

Akloa Kolima Ehlissou

Centre Hospitalier Universitaire Sylvanus Olympio,
Université de Lomé, Togo

Beme Apollinaire Saouwada Paul

Hôpital Maroua, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Ayouba Gamal

Abalo Anani

Centre Hospitalier Universitaire Sylvanus Olympio,
Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p152](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p152)

Submitted: 26 April 2024

Accepted: 24 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Dellanh, Y. Y., Bakriga, B., Akloa, K. E., Beme, A. S. P., Ayouba, G., & Abalo, A. (2024). *Résultats du traitement chirurgical des fractures malléolaires de l'adulte au Centre Hospitalier Régional de Sokodé*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 152.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p152>

Résumé

Introduction : Les fractures malléolaires sont fréquentes et leur traitement est de plus en plus chirurgical. Le but de l'étude était d'évaluer les résultats cliniques, radiologiques et fonctionnels des fractures malléolaires opérées dans un hôpital régional du Togo. **Matériels et Méthode** : Il s'agissait d'une étude rétrospective et analytique portant sur les patients pris en charge entre janvier 2019 et décembre 2022 dans le service d'Orthopédie du Centre Hospitalier Régional de Sokodé. Les dossiers des patients suivis pour fractures malléolaires étaient exploités. Les patients suivis et revus pendant au moins 06 mois étaient inclus. L'évaluation était basée sur les critères anatomiques de Leeds et Ehrlich en post-opératoire, le score fonctionnel de Kitaoka à 06 mois. **Résultats** : Le délai de chirurgie était de 15 jours en moyenne avec des extrêmes de 01 jour et 40 jours. Sur une série de 38 patients traités,

l'évaluation sur le plan anatomique selon les critères de Leeds et Ehrlich a trouvé 85% (n= 32) de bonnes réductions. Le score de Kitaoka à six(06)mois était décrit comme suit : 52,5%(n=20) de scores excellents et bons correspondant aux fractures initialement fermées, 39,5 %(n=15) de scores bons et moyens correspondant aux fractures initialement ouvertes et 08%(n=03) de scores mauvais. Les fractures ouvertes étaient sujettes à des complications secondaires à type d'arthrose précoce, d'ostéo-arthrite et de pseudarthrose. **Conclusion** : Le traitement chirurgical des fractures fermées malléolaires donnait de bons et excellents résultats fonctionnels. Les fractures ouvertes étaient sujettes à des complications précoces avec un pronostic fonctionnel médiocre.

Mots-clés: Arthrose, cheville, malléole, ostéosynthèse

Results of Surgical Treatment of Malleolar Fractures in Adults at Centre Hospitalier Régional de Sokodé

Dellanh Yaovi Yanick

Centre Hospitalier Régional de Sokodé, Université de Lomé, Togo

Bakriga Batarabadja

Akloa Kolima Ehlissou

Centre Hospitalier Universitaire Sylvanus Olympio,

Université de Lomé, Togo

Beme Apollinaire Saouwada Paul

Hôpital Maroua, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Ayouba Gamal

Abalo Anani

Centre Hospitalier Universitaire Sylvanus Olympio,

Université de Lomé, Togo

Abstract

Introduction: Malleolar fractures are frequent, and their treatment is increasingly surgical. This study aims to assess the clinical, radiological, and functional results of malleolar fractures treated in a secondary hospital in Togo. **Materials and Method:** This was a retrospective and analytic study of patients managed between January 2019 and December 2022 in the Orthopedic Department of the Regional Hospital of Sokode. The records of patients followed for malleolar fractures were processed. Patients followed and reviewed at least 6 months were included. Evaluation was based on the anatomical criteria of Leeds and Ehrlich, the functional score of Kitaoka at 06

months. **Results:** The surgery delay was fifteen days ranging 01 day to 40 days. On a serie of 38 patients treated, anatomical assessment according to the Leeds and Ehrlich criteria found 85% of good reductions. According to the Kitaoka score at 6 months, 52,5% (n=20) of the scores were excellent for close fracture and 39,5% (n=15) were good or average for open fracture and 08%(n=03) of poor score. Open fractures were prone to secondary complications such as early arthritis, malleolus non-union, and ankle joint infection. **Conclusion:** Surgical treatment of closed bimalleolar fractures gave good and excellent functional results. Open fractures were prone to early complications with a poor functional prognosis.

Keywords: Ankle, arthrosis, malleolus, osteosynthesis

Introduction

Les fractures malléolaires constituent une pathologie fréquemment rencontrée en traumatologie (Abalo 2009, Cout-Brown 2006, Dobbe 2020, Mandi 2012). Elles regroupent les lésions osseuses, cartilagineuses, ligamentaires et tendineuses qui peuvent être simples ou complexes, isolées ou associées.

De manière générale, l'objectif de la prise en charge de ces fractures consiste en la restauration d'une anatomie parfaite de la mortaise tibio-talienne (Strauss 2007). Le bon traitement repose sur l'identification du mécanisme de la lésion et l'appréciation judicieuse des lésions associées (Goost 2014).

Le traitement orthopédique a vu sa part se réduire considérablement au profit du traitement chirurgical du fait de la médiocre qualité de la réduction et la forte proportion d'arthrose observée dans les séries où le traitement était orthopédique (Sane 2009).

Au Togo, une étude réalisée par Ayouba et al (2020) notait également de meilleurs résultats anatomiques et fonctionnels en cas de traitement chirurgical.

Cependant, dans des conditions chirurgicales précaires, les contraintes sont liées à l'accessibilité des implants chirurgicaux et aux produits anesthésiques ; ce qui conduit à une adaptation des techniques chirurgicales au contexte et aux moyens financiers des patients (Kuubiere 2012).

Ainsi, cette étude avait pour but d'évaluer les résultats cliniques, radiologiques et fonctionnels du traitement chirurgical des fractures malléolaires dans un hôpital régional du Togo.

Materiels et Methode

Population

Il s'agissait d'une étude rétrospective à visée analytique portant sur des patients pris en charge sur une période de 48 mois allant de Janvier 2019 à

Décembre 2022 dans le service d'Orthopédie du Centre Hospitalier Régional de Sokodé (Togo).

Les dossiers des patients opérés pour fractures malléolaires, revus et suivis jusqu'au 6^{ème} mois post-opératoire au moins ont été inclus. Trente-huit patients avaient été opérés durant la période retenue dont 15 femmes et 23 hommes soit un sex ratio de 3/2. L'âge moyen était de 28,5 ans avec des extrêmes de 17 ans et 52 ans. Les circonstances de survenue étaient un accident de la voie publique impliquant deux motos dans 47% (n=18), moto-voiture dans 32% (n=12), accident de jeu 21% (n=08). Les fractures étaient fermées dans 53% (n= 20) cas : stade 1 de Tscherne et Gotzen (Valderrama-Molina, 2014) dans 06 cas et stade 0 dans 14 cas.

L'ouverture cutanée était classée selon Gustilo et Anderson (Gustilo 1984) : Dix-huit fractures (47%) étaient ouvertes dont 26% (n=10) de type 1 de Gustilo, 08% (n=3) de type 2, 08% (n=3) de type 3a et 05% (n=2) de type 3b. Les lésions radiologiques étaient classées selon Danis et Weber (Kennedy 1998) : type A (n=06), type B (n=25), type C (n=07).

Pour les lésions associées, la luxation ou subluxation associée était enregistrée dans 29 % (n=11). Sept patients présentaient un diastasis tibio-fibulaire soit 18% des cas. La fracture de la marginale postérieure était associée chez 26% des patients (n=10).

Processus thérapeutique

La procédure se déroulait sous anesthésie générale (n=02) ou rachianesthésie (n=36) avec un garrot à la racine du membre en cas de fracture fermée. En cas de fracture ouverte, le garrot n'était pas utilisé. Les interventions se déroulaient sans scopie peropératoire.

En cas de fracture fermée l'abord latéral était fait dans un premier temps. Il se faisait en retromalléolaire avec réduction maintenue par des daviers puis fixation par vis et plaque ou par une broche centromédullaire. La broche était passée par la pointe malléolaire latérale. L'abord médial était centré sur la fracture. Après réduction un haubanage ou un vissage était réalisé. Pour les fractures malléolaires postérieures associées, une réduction avec vissage était réalisée par la même voie retro malléolaire (Figure 1). Aucun vissage de la syndesmose n'était réalisé en cas de fracture sus-ligamentaire. Une contention par une botte plâtrée ou en résine était posée pour 06 semaines. Tous les patients présentant une fracture ouverte avaient reçu comme soins un parage et lavage articulaire en urgence associée à l'ostéosynthèse. Une ostéosynthèse par haubanage et/ou vis étaient réalisées dans ces cas pour la malléole médiale et par broche pour la malléole externe.



Figure 1: A : fracture bimalléolaire type B de Danis et Weber associée à une fracture de la malléole postérieure ; B : Radiographie de contrôle de la fracture E après ostéosynthèse par plaque latérale et vis malléolaire médiale et postérieure

Une broche de Steinmann de 30/10 provisoire a été utilisée comme clou transplantaire en cas de fracture-luxation instable (Figure 2). Un lambeau fascio-cutané sural homolatéral était associé comme geste de couverture au besoin (n=03). Une antibioprophylaxie à base d'amoxicilline acide clavulanique était conduite pendant 02 semaines pour tous les patients et une gouttière plâtrée confectionnée pour 06 semaines. L'ablation de la broche transplantaire se faisait à 06 semaines.



Figure 2: A: Fracture luxation bimalléolaire ; B : Radiographie de contrôle de la fracture E après ostéosynthèse par broches latérales et vis malléolaires médiales et clou transplantaire provisoire

La rééducation de la cheville débutait à 06 semaines après ablation du plâtre. L'appui partiel était à 02mois ½ et l'appui complet à partir du 3^{ème} mois.
Méthodes d'évaluation

Les critères radiologiques de Leeds et Ehrlich (Jarde, 2000) (Tableau 1) ont permis l'appréciation de la réduction sur la radiographie post-opératoire immédiate.

Tableau 1: Appréciation radiographique de la réduction selon Leeds et Ehrlich

	Bon	Moyen	Mauvais
Fibula	Pas de déplacement latéral	Déplacement latéral < 2mm	Déplacement latéral > 2mm
	Déplacement antéro-postérieur < 2mm	Déplacement antéro-postérieur 2-4mm	Déplacement antéro-postérieur > 4 mm
Malléole postérieure	Déplacement < 2mm	Déplacement 2-4mm	Déplacement > 4mm
Diastasis	< 5mm	5-7mm	> 7mm

La cotation de Kitaoka (Kitaoka, 1994) a permis d'apprécier le résultat fonctionnel au 6^{ème} mois post-opératoire. Il était coté excellent pour un score de 95 à 100, bon entre 80 et 94, moyen entre 50 et 79, et mauvais lorsqu'il était inférieur à 50.

Les variables ont été collectées avec Epi Info 7. L'analyse a été réalisée grâce au logiciel R version 4.2.2. La moyenne et l'écart-type ont servi à décrire les variables quantitatives. Une association entre les variables a été faite avec le test Chi deux de Pearson et le test de Fisher selon les cas. Le seuil de significativité était fixé à 0,05.

Resultats

Délai de prise en charge

L'ostéosynthèse pour les fractures fermées était réalisée dans un délai moyen de 15 jours avec des extrêmes de 05 à 40 jours.

Pour les fractures ouvertes, le parage et l'ostéosynthèse étaient faits dans un délai moyen de 02 jours avec des extrêmes de 01 jour et 05 jours. Pour les fractures ouvertes type 3b un lambeau sural a été réalisé à 10 et 15 jours post-traumatiques

Résultats cliniques

Au 6^{ème} mois post-opératoire l'évaluation clinique notait pour chacun des paramètres suivants

- Douleur : 22 patients étaient indolores, 16 patients présentaient des douleurs après la marche prolongée.
- Œdème : 13 patients n'avaient pas d'œdème de la cheville, 18 patients avaient un œdème à la station debout prolongée ou en fin de journée et 07 avaient un œdème permanent.
- Chaussage : Il était normal 25 fois. L'œdème permanent ou intermittent modifiait le choix du chaussage dans 13 cas.

Résultats radiologiques

Selon le score radiologique de Leeds et Ehrlich apprécié en post-opératoire immédiat, on notait 85% (n=32) de bons résultats (Figure 3) 10% (n =04) de résultats moyens et 05% (n=02) de mauvais résultats.

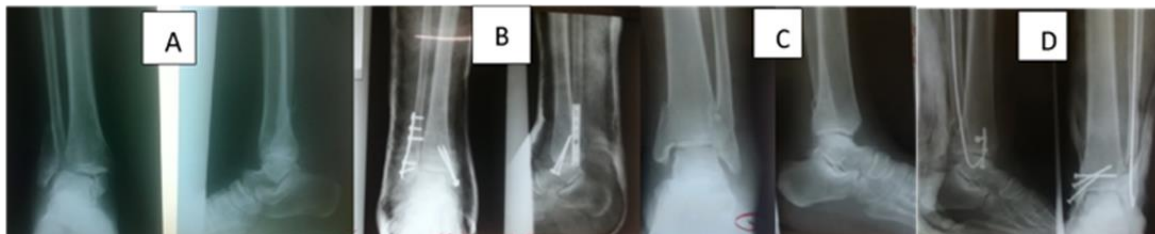


Figure 3: A: fracture bimaléolaire type B Danis et Weber ; B : Radiographie de contrôle de la fracture A après ostéosynthèse par plaque tiers tube latérale et vis malléolaires médiales C : Fracture bimaléolaire type A Danis et Weber déplacée ; D : Radiographie de contrôle de la fracture C après ostéosynthèse par broche latérale et vis malléolaires médiales

La consolidation anatomique était obtenue chez 76% des patients (n=29) avec un délai moyen de 2 mois ½ (Figure 4).



Figure 4: A : Radiographie post-traumatique montrant la fracture bimaléolaire B : Radiographie post-opératoire immédiate C : radiographie montrant la consolidation à 03 mois

On notait 06 cals vicieux isolés de la malléole latérale et 03 pseudarthroses de la malléole médiale dont deux associées à un cal vicieux de la malléole latérale. Deux des pseudarthroses malléolaires médiales étaient septiques.

Résultats fonctionnels

Au 6^{ème} mois post-opératoire l'évaluation du score de Kitaoka chez les 38 patients a noté d'excellents à bons scores dans 52% (n= 20) des cas (il s'agissait de fractures initialement fermées) (Figure 5, Figure 6) et de bons à moyens scores dans 39% soit (n=15) (il s'agissait de fractures initialement ouvertes) (Tableau 2).

- Mobilité : la flexion dorsale était supérieure à 20° dans 12 cas, entre 10 et 20° dans 15 cas, inférieure à 10° dans 11 cas. La flexion plantaire était de 45° dans 19 cas, entre 30 et 45° dans 13 cas et inférieure à 30° dans 06 cas.

- Marche : La marche s’effectuait normalement dans 24 cas. Une légère boiterie était présente dans 12 cas avec utilisation d’une canne anglaise pour les trajets de plus d’un kilomètre. Il n’avait aucune instabilité de cheville.

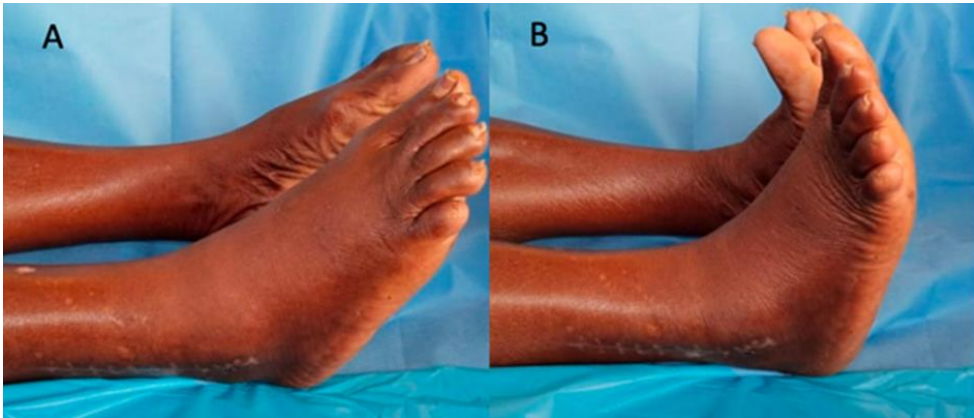


Figure 5: Résultats fonctionnels excellents à 02 mois en position allongée ; Flexion plantaire (A) et flexion dorsale (B)

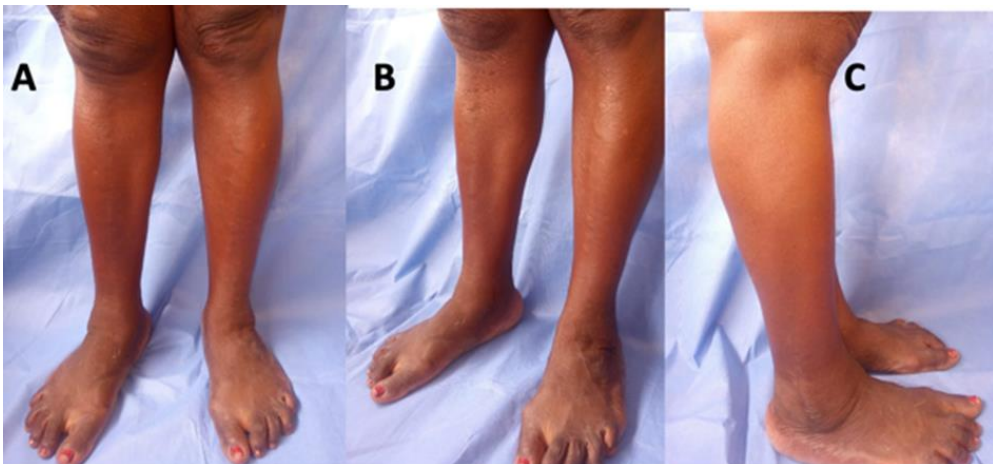


Figure 6: Résultats fonctionnels excellents à 06 mois en position debout (patiente opérée de la cheville droite, cicatrisation correcte) vue de face (A), trois quarts(B) et de profil (C)

Tableau 2: Évaluation du score fonctionnel de Kitaoka à 06 mois post-opératoire chez 38 patients

	Score de Kitaoka				p-value
	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais	
Fractures ouvertes (n=18; 47,5%)	00	07(18,5%)	08(21%)	03(08%)	< 0,0001
Fractures fermées (n=20; 52,5%)	12(31,5%)	08(21%)	00	00	
Score global	12 (31,5%)	15 (39,5%)	08 (21%)	03 (08%)	

Chi² = 23.02519 d.f. = 3 p = 3.989782e-05

Complications

Trois patients ayant eu une fracture initialement ouverte ont présenté une arthrose précoce de cheville pour lesquelles une arthrodèse avait été proposée après 24 mois post-traumatique.

Nous avons noté deux infections superficielles en regard de la malléole latérale traitées par les soins locaux et antibiothérapie spécifique.

Cinq patients (13%) présentaient des paresthésies en regard de la cicatrice latérale et un œdème réfractaire de la cheville.

Une ouverture cutanée type 2 de Gustillo Anderson était associée une infection superficielle ($p=0,002$). Une ouverture cutanée type 3 de Gustillo Anderson était associée à la survenue de pseudarthrose ($p=0,001$) et une ostéoarthrite ($p=0,027$).

Discussion

Nous avons évalué les résultats d'une série de trente-et-huit fractures malléolaires traitées chirurgicalement dans un hôpital régional.

Les fractures fermées ($n=20$; 52%) étaient aussi bien représentées que les fractures ouvertes ($n=18$; 47%) contrairement à la plupart des études où les fractures fermées étaient prédominantes (Chigblo 2018, Sane 2009, Sié 2010, Yao 2017). Ceci s'explique par les circonstances de survenue dominées par les accidents de la voie publique impliquant des motos et exposant à des lésions cutanées.

Les fractures ouvertes étaient sujettes à des complications infectieuses à type d'ostéoarthrite, à des difficultés de cicatrisation et tardivement à une arthrose précoce et des réinterventions pour arthrodèse (Kahan 2020, Krissian 2019).

L'utilisation de broche de Steinmann transplantaire provisoire reste malgré tout d'actualité en milieu semi-urbain afin de maintenir une congruence tibio-talaire et de faciliter les soins locaux ; ceci était le cas de Sie et al (2010) et de Chigblo et al. (2018). A défaut d'une contention par fixateur externe qui demeure le meilleur choix dans les cas de fracture ouverte, la technique de pose d'une broche transplantaire provisoire doit être connue par l'opérateur en milieu chirurgical défavorisé. Elle est salvatrice surtout lorsqu'elle est posée sur une cheville correctement réduite avec un test de Skinner satisfaisant (Obada 2014).

Persigant et al (2018), au vu du risque infectieux et de la nécessité de l'appui précoce ont quant à eux utilisé le clou transplantaire verrouillé comme traitement définitif chez des sujets âgés. Cela autorisait une verticalisation rapide et peu de complications locales.

Selon Lee et Chen et al (2009) le choix de la broche pour la malléole latérale en cas de fracture ouverte est préférable au vu de la rapidité du geste, de l'abord peu important et du risque réduit de complications.

En cas de fracture fermée, l'ostéosynthèse de la malléole latérale se faisait par plaque préférentiellement ou par broches ceci du fait des soins à la charge du patient. La plaque reste l'implant le plus utilisé dans la littérature pour la malléole latérale. Elle assurait une réduction correcte et une ostéosynthèse plus stable (Goost, 2014). Pour d'autres auteurs (Asloum 2014, Bakar 2008, Karkkola 2020, Rajeev 2011) le clou verrouillé de la fibula serait une meilleure option afin de minimiser le risque de complications locales et assurée un appui précoce. Elle constitue une toute nouvelle approche de synthèse des fractures des malléoles latérales avec des indications bien précises.

Le résultat fonctionnel dépend certes du type d'ostéosynthèse mais aussi de la gravité de la lésion initiale. Il ne faut pas occulter les lésions ligamentaires associées.

La pose d'une vis de la syndesmodèse n'a pas été associée à la prise en charge des fractures sus-ligamentaires. Une synthèse correcte des malléoles latérale et médiale associée à une immobilisation par une botte plâtrée pendant 06 semaines était suffisante pour assurer la cicatrisation des ligaments tibio-fibulaires distaux en l'absence d'une atteinte du tubercule de Tillaux. Pour d'autres auteurs (Ortiz 2016, Sié 2010, Steinmetz 2016), le vissage provisoire de la syndesmose était fait pour une durée de 06 semaines.

Le résultat fonctionnel était satisfaisant lorsque le traitement chirurgical assurait une stabilité et une réduction convenable. Ainsi nos résultats en cas de fractures fermées étaient comparables aux pays à plateau technique similaire (Handy 2011, Kuubiere 2012, Ortiz 2016, Sane 2009, Yao 2017).

Le pronostic reste péjoratif en cas de fractures malléolaires ouvertes surtout type 3a ou 3b de Gustillo pour lesquelles les pertes de substance osseuse et les lésions ostéochondrales étaient présentes mais sous-estimées par les radiographies initiales. Cela expliquait l'évolution vers une arthrose voire une ostéoarthrite en cas de contamination bactérienne initiale.

De récents implants sont utilisables (Asloum 2014, Bakar 2008, Karkkola 2020, Rajeev 2011) avec des variances dans l'indication opératoire et l'amélioration de la fonction de la cheville. Quel que soit le type du matériel utilisé, la restauration d'une cheville axée, indolore demeure l'objectif principal (Roberts 2019, Veldman 2020).

L'utilisation d'arsenal complémentaire y compris l'arthroscopie, la disponibilité d'un amplificateur de brillance, l'utilisation d'un fixateur externe pour les lésions ouvertes et de différents types d'implants pour le geste chirurgical mais aussi le délai du traitement seraient gages de meilleurs résultats fonctionnels à long terme.

Conclusion

Nous avons réalisé des ostéosynthèses pour fractures malléolaires dans un hôpital de province sans scopie peropératoire. Les patients étaient jeunes avec une prédominance des accidents de la voie publique comme circonstance de survenue. La consolidation anatomique était obtenue dans la majorité des cas. Le résultat fonctionnel à moyen terme pour les fractures fermées était meilleur que celui des fractures ouvertes.

Les fractures malléolaires ouvertes étaient de mauvais pronostic fonctionnel.

Nous recommandons une chirurgie précoce en cas de fracture malléolaire et un traitement approprié des lésions associées afin d'assurer un résultat fonctionnel optimal.

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par le Comité éthique de la Faculté des Sciences de la Santé de l'Université de Lomé-Togo, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

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

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

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

References:

1. Abalo A, Gnandi-Piou F, Walla A., Ayouba G., Dossim A(2009). Épidémiologie des fractures à Lomé, Mali Med. ; 24(1) : 19-23.
2. Asloum Y, Bedin B, Roger T, Charissoux JL, Arnaud JP, Mabit C(2014). Internal fixation of the fibula in ankle fractures: a prospective, randomized and comparative study: plating versus nailing. Orthop Traumatol Surg Res. 100(4 Suppl):S255-259.
3. Ayouba G, Bakriga B, Kombate NK, James YE, Siliadin YA, Dellanh YY, Towoezim T, Abalo A(2020). Traitement des fractures bimalléolaires chez l'adulte au CHU Sylvanus Olympio de Lomé. Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé. 22(4):49-57.
4. Bakar I, Hutchinson A, Pallister(2008). SST fibula nailing versus standard AO-ASIF for fibula fracture: Functional results in patients aged over 55 years. Injury. 39(5):179
5. Chigblo P, Lawson E, Tidjani IF, Padonou AA, Kassoumou AS, Hans-Moevi AA(2018). Traitement des fractures bimalléolaires et

- équivalents dans un milieu à ressources limitées. *J Afr Chir Orthop Traumatol.*3(2):59-63.
6. Court-Brown CM, Caesar B(2006). Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury.* ;37(8):691-7.
 7. Dobbe A, Beaupre LA, Almansoori KA, Fung TS, Scharfenberger AV(2020). Functional Outcomes of Isolated Infrasyndesmotic Fibula Fractures. *Foot Ankle Orthop.* ;5(1):1-9
 8. Goost H, Wimmer MD, Barg A, Kabir K, Valderrabano V, Burger C(2014). Fractures of the ankle joint: investigation and treatment options. *Dtsch Arztebl* ;111(21):377-88.
 9. Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN(1984). Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma.* 24(8):742-6.
 10. Handy Eone D, Farikou I, Ngongang FO, Nonga BN, Chedom YM, Bahebeck J, Sosso MA(2011). Résultat des ostéosynthèses dans les fractures bi-malléolaires : à propos de 30 cas. *Rev Afr Chir Spécialités* 5(3):13-6.
 11. Jarde O, Vives P, Havet E, Gouron R, Meunier W(2000). Fractures malléolaires : facteurs prédictifs de l'arthrose à long terme. Etude retrospective de 32 cas.. *Acta Orthop Belgica* 66(4):382-388.
 12. Kahan J, Brand J, Schneble C, Li D, Saad M, Kuether J, Yoo B. (2020). Open pronation abduction ankle fractures associated with increased complications and patient BMI. *Injury.* 51(4):1109-13.
 13. Karkkola S, Kortekangas T, Pakarinen H, Flinkkilä T, Niinimäki J, Leskelä HV(2020). Fibular nailing for fixation of ankle fractures in patients at high risk of surgical wound infection. *Foot Ankle Surg.* 26(7):784-9.
 14. Kennedy JG, Johnson SM, Collins AL, DalloVedova P, McManus WF, Hynes DM, Walsh MG, Stephens MM(1998). An evaluation of the Weber classification of ankle fractures. *Injury.*29(8):577-80.
 15. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M(1994). Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 15(7):349-53.
 16. Krissian S, Samargandi R, Druon J, Rosset P, Le Nail LR(2019). Poor prognosis for infectious complications of surgery for ankle and hindfoot fracture and dislocation. A 34-case series. *Orthop Traumatol Surg Res.* 105(6):1119-24.
 17. Kuubiere CB, Alhassan A, Majeed SF(2012). Management of complex ankle fracture: A Ghanaian experience. *J Med Biomed Sci* 1(4):1-6.
 18. Lee YS, Chen SW(2009). Lateral fixation of open AO type-B2 ankle fractures: the Knowles pin versus plate. *Int Orthop.*33(4):1135-9.

19. Mandi DM(2012). Ankle Fractures. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery.* ;29(2):155-86.
20. Obada B, Serban A, Turcu R. The Role of the Radiological Parameters in the Diagnosis of the Ankle Joint Fractures. *ARS Medica Tomitana* 2014;2:77-81.
21. Ortiz CA, Wagner P, Wagner E(2016). State-of-the-Art in Ankle Fracture Management in Chile. *Foot Ankle Clin.* 21(2):367-89.
22. Persigant M, Colin F, Noailles T, Pietu G, Gouin F(2018). Functional assessment of transplantar nailing for ankle fracture in the elderly: 48 weeks' prospective follow-up of 14 patients. *Orthop Traumatol Surg Res.* 104(4):507-10.
23. Rajeev A, Senevirathna S, Radha S, Kashayap NS(2011). Functional outcomes after fibula locking nail for fragility fractures of the ankle. *J Foot Ankle Surg.* 50(5):547-50.
24. Roberts V, Mason LW, Harrison E, Molloy AP, Mangwani J (2019). Does functional outcome depend on the quality of the fracture fixation? Mid to long term outcomes of ankle fractures at two university teaching hospitals. *Foot Ankle Surg.* 25(4):538-41.
25. Sane AD, Diallo AA, Dieme CB, Fall D, Bah ML, Ndiaye A, Dansokho AV, Seye SIL (2009). les fractures malleolaires de l'adulte, Résultats du traitement chirurgical à propos de 176 cas, *Dakar Med* 54(3):247-255 .
26. Sié EJB, Kacou AD, Traore A, Sery BJL, Lambin Y (2010). Traitement chirurgical des fractures bimalléolaires en milieu tropical. *Tunisie Orthop.*3:165-9.
27. Steinmetz S, Puliero B, Brinkert D, Meyer N, Adam P, Bonnomet F, Ehlinger M (2016). Tibiofemoral syndesmosis injury treated by temporary screw fixation and ligament repair. *Orthop Traumatol Surg Res.* 102(8):1069-73.
28. Strauss EJ, Egol KA(2007). The management of ankle fractures in the elderly. *Injury.* 38 Suppl 3:S2-9.
29. Valderrama-Molina CO, Estrada-Castrillón M, Hincapie JA, Lugo-Agudelo LH (2014). Intra- and interobserver agreement on the Oestern and Tscherné classification of soft tissue injury in periarticular lower-limb closed fractures. *Colomb Med (Cali).*45(4):173-8.
30. Veldman FJ, Aldous CM, Smith ID, Rollinson PD (2020). The importance of anatomical reduction in the functional outcome of open ankle fractures. *J Orthop.* 21:166-70.
31. Yao LB, Séry BJIN, Kouassi KJE, M'bra KI, Awotwi JF, Kodo M(2017). Résultats du traitement des fractures malléolaires au CHU de Bouaké. *J Afr Chir Orthop Traumatol.*2(1):33-36.

Reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Tsama-Mbama en comparaison avec la forêt primaire, département de la Cuvette-Ouest (République du Congo)

Mondzali Lenguiya Romarick, Doctorant

Koubouana Félix, PhD

Mboukou Kimbatsa Née Goma Irène Marie Cécile

Ndzai Saint Fédriche, PhD

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA),
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d'Foresterie (ENSAF),
Brazzaville Université Marien Ngouabi, République du Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p165](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p165)

Submitted: 28 July 2024

Accepted: 20 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Lenguiya Romarick, M., Félix, K., Mboukou Kimbatsa, N. G. I. M. C., & Saint Fédriche, N. (2024). *Reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Tsama-Mbama en comparaison avec la forêt primaire, département de la Cuvette-Ouest (République du Congo)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 165. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p165>

Résumé

L'agriculture sur brûlis est l'une des causes de changement du couvert forestier dont la conséquence environnementale est la perte du couvert forestier qui contribue aux changements climatiques. Cette étude permet de suivre la reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de la forêt après culture sur brûlis dans l'Unité Forestière d'Aménagement Tsama-Mbama. Au total, 8 parcelles d'un ha chacune ont été installées dans les jachères, forêts secondaires et la forêt mature ou « primaire » dont tous les arbres de diamètre ≥ 5 cm à 1,30 m du sol ont été dénombrés par un inventaire systématique. Le prélèvement des échantillons du carbone organique et des racines ont été effectués sur les profondeurs de 0-10 cm et 10-20 cm. La biomasse aérienne a été déterminée par l'équation allométrique et converties en valeur de carbone à l'aide de fraction de carbone de la matière sèche. Le carbone organique du sol est estimé après la détermination de la densité apparente et de la teneur du carbone organique de

chaque échantillon du sol au laboratoire. La biomasse racinaire est déterminée après séchage des racines à l'étuve à une température de 70 °C pendant 72 heures. Il a été recensé 5608 individus répartis dans 135 espèces, 102 genres et 41 familles. Les densités varient de 311 à 1039 pieds/ha et les surfaces terrières varient de 1,49 à 32,72 m²/ha. Le stock de carbone aérien varie de 3,36 tC/ha à 237,15 tC/ha. Le stock du carbone organique du sol varie de 1,48 à 2,5 tC/ha et de 0,95 à 1,43 tC/ha respectivement pour le premier et le deuxième horizon. Le stock de carbone des racines varie de 0,41 à 0,58tC/h, 0,09 à 0,54 tC/ha et 0 à 0,88 tC/ha pour le premier horizon ; de 0,13 à 0,3 tC/ha, 0,1 à 0,38 tC/ha et 0 à 0,35 tC/ha pour le deuxième horizon respectivement pour les racines fines, moyennes et grossières. Cette étude a montré que le stock de carbone aérien séquestré croît avec l'âge de la forêt. Par contre, le carbone organique du sol ne semble pas être influencé par l'âge de la forêt.

Mots-clés: Forêt primaire, jachères, biomasse aérienne, carbone du sol, racines

Reconstitution of the carbon stock during the regeneration dynamics of the Tsama-Mbama Forest Management Unit (FMU) in comparison with the primary forest, Cuvette-Ouest Department (Republic of Congo)

Mondzali Lenguiya Romarick, Doctorant

Koubouana Félix, PhD

Mboukou Kimbatsa Née Goma Irène Marie Cécile

Ndzai Saint Fédriche, PhD

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA),
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d Foresterie (ENSAF),
Brazzaville Université Marien Ngouabi, République du Congo

Abstract

Slash-and-burn agriculture is one of the causes of forest cover change, the environmental consequence of which is the loss of forest cover, which contributes to climate change. This study makes it possible to monitor the reconstitution of forest regeneration after slash-and-burn agriculture in the Tsama-Mbama Forest Management Unit. A total of 8 plots of one hectare each were set up in fallow, secondary forest, and mature or 'primary' forest, with all trees with a diameter ≥ 5 cm at 1.30 m above ground level being counted by systematic inventory. Samples of organic carbon and roots were taken at

depths of 0-10 cm and 10-20 cm. Above-ground biomass was determined using the allometric equation and converted to a carbon value using the carbon fraction of dry matter. Soil organic carbon was estimated after determining the bulk density and organic carbon content of each soil sample in the laboratory. Root biomass is determined after drying the roots in an oven roots in an oven at a temperature of 70°C for 72 hours. A total of 5608 individuals were recorded, divided into 135 species, 102 genera and 41 families. Densities ranged from 311 to 1039 plants/ha and surface areas from 1.49 to 32.72 m²/ha. Above-ground carbon stock varied from 3.36 tC/ha to 237.15 tC/ha. Soil organic carbon stock varied from 1.48 to 2.5 tC/ha and from 0.95 to 1.43 tC/ha for the first and second horizons respectively. The carbon stock in the roots varies from 0.41 to 0.58 tC/h, 0.09 to 0.54 tC/ha and 0 to 0.88 tC/ha for the first horizon; from 0.13 to 0.3 tC/ha, 0.1 to 0.38 tC/ha and 0 to 0.35 tC/ha for the second horizon for fine, medium and coarse roots respectively. This study showed that the stock of sequestered aerial carbon increases with the age of the forest. In contrast, soil organic carbon does not appear to be influenced by forest age.

Keywords: Primary forest, fallows, above-ground biomass, soil carbon, roots

Introduction

Les forêts tropicales représentent 45 % de la superficie forestière mondiale soit 4,06 milliards d'hectares dont 1,11 milliard d'hectares de forêt primaire (FAO, 2021). De nos jours, la forêt tropicale constitue un enjeu politique, économique et scientifique. Elle est soumise à une forte action destructrice à des fins d'exploitation du sol pour l'élevage, l'agriculture et de production des bois (Chave, 2000). Le bassin du Congo, deuxième plus grand massif des forêts tropicales denses et humides de la planète après l'Amazonie (Mayaux *et al.*, 1998 ; 2003), est l'une des deux dernières régions au monde qui possèdent de vastes étendues interconnectées de forêt tropicale humide abritant une grande diversité de plantes vasculaires (Blacke *et al.*, 2005) moins fragmentées et étroitement contiguës (De Wasseige *et al.*, 2012 ; Megevand *et al.*, 2013 ; FAO et Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), 2020). Ces forêts représentent un réservoir exceptionnel de carbone et de biodiversité pour les pays concernés et pour la planète entière. Elles offrent des moyens de subsistance à plus de 60 millions de personnes et contribuent à en nourrir 40 millions d'autres dans certains centres urbains à proximité (Eba'a *et al.*, 2022). Selon les données du Global Forest Watch (2022), durant la période 2001-2021, les forêts du bassin du Congo ont perdu 26,1 % de leur couvert végétal par rapport à l'année 2000 et une émission de 12,854 Gt du CO₂ suite à l'extraction minière, la construction de routes, l'agro-industrie et les biocarburants, l'expansion de l'agriculture de

subsistance et de la production de charbon de bois (Megevand *et al.*, 2013 ; Molinario, 2020). Située au cœur du Bassin du Congo, la République du Congo couvre une superficie forestière estimée à 67,1% du territoire national soit 12,4 % de forêts denses d'Afrique (Blacke *et al.*, 2005; De Wasseige *et al.*, 2014). Selon les mêmes données du Global Forest Watch (2023), le Congo durant la même période 2001-2022, a perdu 3,7% du couvert végétal dont 1,9% de la forêt primaire humide de 2002-2022 et une émission de 573 Mt du CO₂e. Les surfaces ainsi déboisées se transforment en jachères forestières, puis en forêts secondaires et la superficie de ces dernières augmente chaque année (Lubini, 2003). Les forêts secondaires occupent une superficie non négligeable au Congo avec 4% de la superficie totale du pays en 2000 (De Wasseige *et al.*, 2014). Ces formations de succession ont fait l'objet de quelques études au Congo. Ces études ont porté principalement sur la dynamique de reconstitution floristique et la richesse floristique (Moutsamboté, 1985 ; Koubouana *et al.*, 2016; Missamba-Lola *et al.*, 2015) puis sur le stock de carbone global (Ifo, 2010 ; Bocko *et al.*, 2017 ; Ifo *et al.*, 2019 ; Ndzai, 2022). Jusqu'à présent, aucune étude n'a abordée l'aspect de la dynamique de la reconstitution du stockage de carbone forestier après une activité anthropique au Congo. C'est dans l'optique de combler l'insuffisance de connaissances sur le sujet abordé que la présente étude a été réalisée. Cette étude a pour objectif général, d'améliorer la connaissance de la reconstitution du stock de carbone forestier au cours de la dynamique de régénération des forêts après la culture sur brûlis dans l'Unité Forestière d'Aménagement Tsama-Mbama. Plus spécifiquement, il s'agit de : (i) évaluer le stock de carbone de chaque pool étudié dans les différents stades de la reconstitution de la forêt étudiée ; (ii) évaluer le stock de carbone de la forêt primaire de cette zone d'étude.

1. Matériel et Methodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la partie sud- Est de l'UFA Tsama-Mbama entre le district de Mbama et le district d'Etoumbi. Cette UFA couvre une superficie de 548.620 hectares, et est située dans le domaine forestier de la zone IV Cuvette-Ouest, du secteur forestier Nord, dans le département de Cuvette-Ouest en République du Congo (Figure 1). Elle est limitée : au nord par la route Akana-Oboli-Tcherré ; à l'Est par la limite entre les départements de la Cuvette et de la Cuvette-Ouest ; au Sud par la rivière Kouyou et à l'Ouest par la ligne frontalière Congo-Gabon.

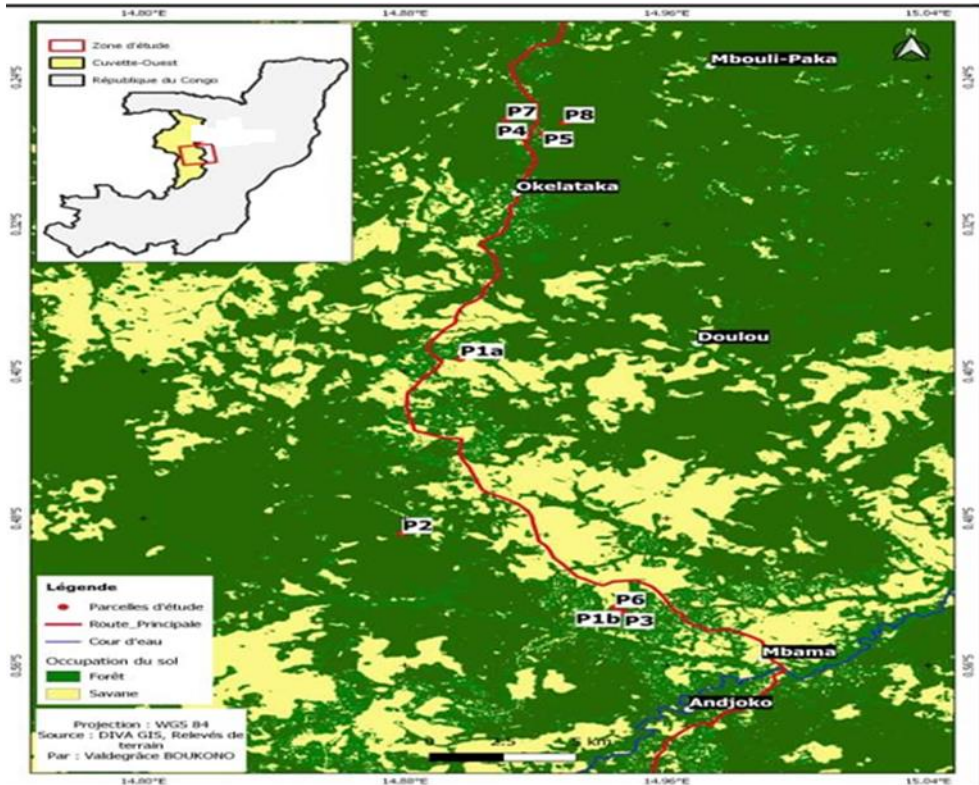


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat de l'UFA Tsama-Mbama est de type subéquatorial (Fao, 2005 ; Batchi Mav et al., 2023) avec des températures moyennes annuelles qui oscillent autour de 25 °C et une variation de faible amplitude. Les données climatiques collectées auprès de la direction nationale de la météorologie pour la période de 2010 à 2022, indiquent une pluviosité annuelle variant entre 1267 et 2066 mm/an. Cette zone présente une saison sèche de 2 ou 3 mois, de juin à août et deux saisons de pluie. La première débute de janvier à mi-mai, la seconde s'étend de septembre jusqu'à décembre et avec un pic des précipitations en octobre et novembre (figure 2).

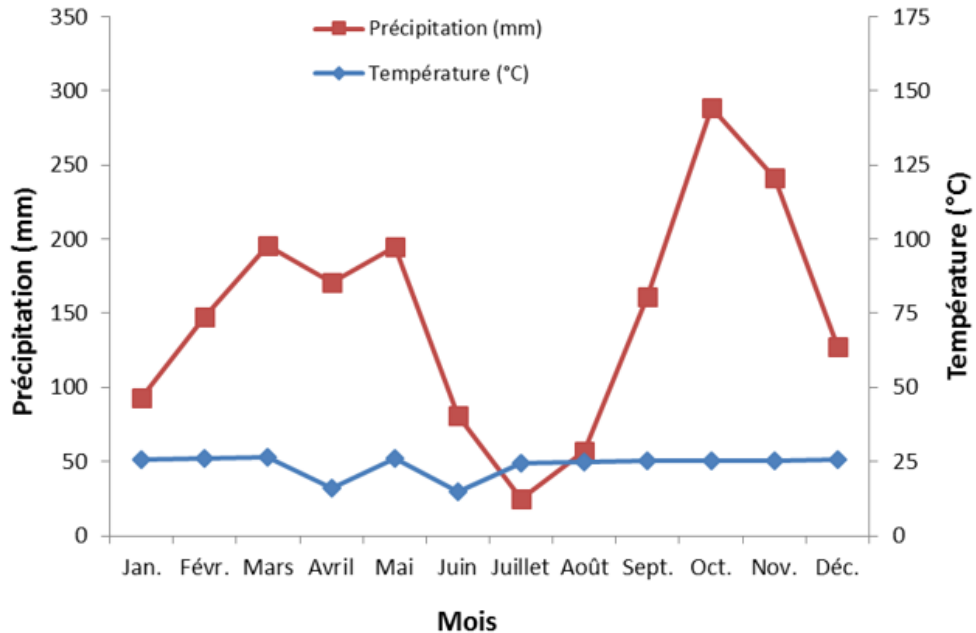


Figure 2 : Diagramme ombrothermique
(Source des données de la station ANAC Kellé de 2010 à 2022)

Les travaux de Laboundou Eyéni (2013) montrent que l'UFATsama-Tsama est située sur deux séries géologiques : les formations des Plateaux Batékés et le complexe de base de l'Ivindo qui représente une sédimentation géosynclinale à dominante argilo-gréseuse. Postérieurement au métamorphisme général de l'ensemble des sédiments, se produisent les manifestations métasomatiques qui donnent naissance aux roches cristallines. Les formations des Plateaux Batékés sont représentées par la série du Stanley-pool caractérisée par les Grès tendres argilo marneux. Les sols de cette zone sont ferrallitiques fortement désaturés en base échangeable (De Boissezon *et al.*, 1969 ; Laboundou Eyéni, 2013). La végétation de la zone d'étude est formée des forêts et des savanes. Les savanes occupent plus de 14% de la superficie totale de l'UFA. Les zones forestières sont constituées des forêts primaires, des forêts jeunes qui se développent à la suite de l'expansion de la forêt vers la savane et des forêts de reconstitution suite aux activités anthropiques. Nos travaux de thèse en cours de rédaction montrent que ces forêts sont dominées par des essences de grande valeur commerciale telles que : *Lophira alata* Banks ex C.F Gaertn, *Piptadeniastrum africanum* (Hook.f.) Brenan, *Pterocarpus soyauxii* Traub, *Staudtia kameruneensis* Warb. On y trouve dans cette UFA de nombreux cours d'eau : Kouyou, Likouala-Moussaka, Lessibi, Doulou, Duassi, Lola, Lékoli.

1.2. Méthodes d'étude

1.2.1. Collecte des données de terrain

Le suivi de la reconstitution de la forêt est effectué par la méthode indirecte ou synchronique qui consiste à délimiter sur le terrain des parcelles d'âges différents dans lesquelles seront identifiées et dénombrées toutes les espèces existantes de diamètre ≥ 5 cm. Elle est la plus utilisée et la plus facilement réalisable (Mitja *et al.*, 1989) pour suivre la dynamique de reconstitution d'une forêt. En Afrique, elle a été utilisée par des nombreux auteurs Kahn (1982); Moutsamboté (1985) ; Mitja *et al.* (1989); Randriamalala *et al.* (2007) ; Razafimahatratra *et al.* (2008); Missamba *et al.* (2015). Cette méthode permet d'avoir une vision globale de la reconstitution de la forêt (Moutsamboté, 1985), de suivre l'évolution historique de la végétation à partir de l'analyse des jachères d'âges différents et qui aboutit à un schéma unique de la reconstitution forestière (Mitja *et al.*, 1989).

1.2.2. Installation des parcelles et inventaire floristique

Au total, huit (8) parcelles d'un ha chacune ont été installées dans les jachères, forêts secondaires de différents âges (1 an à 3 ans ; 5 ans à 7 ans ; 10 ans à 12 ans ; 15 ans à 18 ans ; 21 ans à 25 ans ; 35 ans à 40 ans et 45 ans à 50 ans) et une parcelle témoin dans la forêt primaire. Pour cette étude, sont considérées comme forêt secondaire, les parcelles de plus de vingt (20) ans de reconstitution (GIEC, 2006). Chaque parcelle a été subdivisée en placette de 100 m x 10 m à l'aide d'un ruban-mètre et géoréférencée par un GPS. Dans chaque parcelle, tous les arbres de diamètre supérieur ou égal à 5 cm (≥ 5 cm) à 1,30 m du sol ont été mesurés à l'aide d'un ruban à diamètre et identifiés (Ambombo *et al.*, 2018). Pour le cas des arbres à contrefort ou à racines échasses, le diamètre a été mesuré à 30 cm au-dessus de ceux-ci (Kimpolo *et al.*, 2021). Pour les arbres non identifiés sur le terrain, les échantillons ont été prélevés, conservés dans les papiers journaux pour être identifié à l'Herbier National à Brazzaville.

1.2.3. Collecte de données du sol et des racines

Dans chaque parcelle, des échantillons du sol ont été prélevés dans trois points sur la diagonale à l'aide d'une tarière de 8 cm de diamètre interne et 20 cm de longueur de la manière suivante : un point à chaque angle et un au milieu. Deux (2) horizons du sol ont été considérés pour cette étude : 1^{er} horizon (H₁) 0 à 10 cm et 2^{ème} horizon (H₂) 10 à 20 cm. Au total 48 échantillons de sol ont été prélevés pour cette étude. Les horizons H₁ et H₂ contiennent plus de matière organique que d'autres horizons. La matière organique du sol s'accumule en majeure partie plus en surface qu'en

profondeur (Rossi *et al.*, 2015) dont la plus grande partie est entre 0 et 10 cm de profondeur (Diallo, 2005).

Chaque échantillon de sol a été emballé dans des sacs plastiques et étiquetés.

Les racines ont été prélevées dans cinq (5) points : un point dans chaque angle de la parcelle et un autre point au milieu de la parcelle sur la ligne diagonale à l'aide de la tarière. A Chaque point, l'échantillon des racines est prélevé dans les deux (2) horizons par la méthode de carotte utilisée par Lamine (2007), Thongo (2008) et Ifo (2010).

Les racines vivantes sont triées des carottes de chaque horizon in situ ou au village, pour les carottes très humides. Ces tris se font par le biais d'un tamis de maille de 1 mm². Et une fouille manuelle dans le sol tamisé a ensuite été réalisée afin de rechercher d'éventuelles racines très fines non retenues par les mailles du tamis (Thongo, 2008). Des échantillons non tamisés sur le terrain à cause de l'humidité du sol, sont ramenés au village et étalés à l'air libre pendant quelques minutes avant de les tamiser. Les racines vivantes ont été emballées dans les sacs plastiques et étiquetés puis séchés à l'air libre pour éviter les moisissures et des pourritures.

1.2.4. Traitement et analyse des données

Le traitement des données a été fait à partir d'une base de données élaborée sur le tableur Excel. Toutes les espèces inventoriées par parcelle avec leurs diamètres, les noms et familles ont été inscrites ainsi que les masses du sol, des racinaires de chaque parcelle et la teneur du carbone du sol. Le logiciel SPSS_Statisticcs_22.0 a été utilisé pour le traitement des données.

Densité à l'hectare

La densité (D) indique la valeur moyenne du nombre total d'individus par unité de surface (Tayo Gamo, 2014).

$$\text{Elle est calculée par la relation suivante } D=n/S \quad (1)$$

n = nombre total d'arbres dans la parcelle échantillonnée et S = superficie de la parcelle échantillonnée (ha).

Surface terrière

La surface terrière correspond à la somme des sections horizontales des troncs, prises par convention à 1,3 m du sol (Pascal, 2003). Elle peut être calculée, pour l'ensemble du peuplement, par espèce ou par groupe d'espèces. Elle est un excellent indicateur de la richesse pondérale du peuplement. Elle s'exprime en mètres carrés par l'hectare (m²/ha) (Koubouana *et al.*, 2018).

$$\text{La surface terrière d'un arbre est } g = \pi d^2/4 \quad (2)$$

où d est le diamètre de l'arbre

La surface terrière d'une espèce correspond à la somme des surfaces terrières de tous les arbres de cette espèce.

La surface terrière totale c'est-à-dire la surface terrière du peuplement (G) correspond à la somme des surfaces terrières de tous les individus présents sur la surface inventoriée. Elle se calcule à partir de la formule suivante :

$$G = \sum \pi d^2/4 \quad (3)$$

Estimation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne a été déterminée par l'équation allométrique de Fayolle *et al.* (2018). Sa formule mathématique est la suivante :

$$AGB = \exp[0,046 + 1,156 * \log(WSG) + 1,123 * \log(D) + 0,436 * (\log(D))^2 - 0,045 * (\log(D))^3] \quad (4)$$

Avec AGB : biomasse aérienne ; WSG : densité et D = diamètre
La densité spécifique des espèces inventoriées pour cette étude a été déterminée à partir de la base de données de Zanne *et al.* (2009) et pour les espèces non indiquées dans la base des données, la densité spécifique par défaut (0,64) a été utilisée (Lewis *et al.*, 2013).

Les estimations de biomasse sont converties en valeurs de carbone à l'aide des fractions de carbone de la matière sèche (GIEC, 2006) qui est 0,49 (Feldpausch *et al.*, 2004) pour cette étude. Et leur conversion en tonne (t) est faite en utilisant la table de conversion.

$$\text{Stock de carbone} = \text{Biomasse} \times 0,49 \quad (5)$$

Estimation du Carbone organique du sol

Le stock de carbone organique du sol a été calculé à partir de la formule de Marco *et al.* (2010).

$$SC = Da \times 10 \times (1 - EG) \times TpC \times E \quad (6)$$

Avec SC : stock de C, en g/m² ; Da : densité apparente, en g/cm³ ;
TpC : teneur pondérale en carbone organique, en g/kg ; E : épaisseur de l'horizon, en cm. Le carbone de chaque parcelle est converti en t/ha ;

EG : pourcentage d'éléments grossiers qui sont des éléments de taille supérieur à 2 mm (Henin, 1976 ; Diallo, 2005). En effet, le fractionnement et l'analyse granulométrique ont permis de séparer les différents éléments de chaque échantillon de sol et de déterminer sa texture.

La teneur pondérale en carbone organique et les éléments de la texture du sol (sables, limons et argiles) de chaque échantillon ont été déterminés au laboratoire de l'Institut National de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN) de Pointe Noire respectivement par la méthode de Walkley et Black et l'analyse granulométrique à la pipette Robinson.

Les éléments de taille inférieure à 2 mm sont définis par classe de texture (sables, limons et argiles) (Diallo, 2005) et sont réparties dans les classes de taille suivantes : sable 0,05 à 2 mm, limon 0,002 à 0,05 mm et argile inférieur à 0,002 mm (Berry *et al.*, 2007 ; Fao, 2013 ; Jaja, 2016). Fao (2013), 1 micron (μ) = 0,001 mm (ou un millième de millimètre) ; 1 mm = 1 000 μ .

Estimation de la Biomasse racinaire

Les échantillons des racines ont été emballés dans le papier aluminium avec leurs étiquettes puis placés dans une étuve à une température de 70 °C pendant 72 heures, afin de déterminer la masse de la matière sèche, à l'aide d'une balance à précision de 0,001 g. Tous les échantillons avant pesés ont été débarrassés de grains de sable attachés à l'aide d'un pinceau. Les racines en fonction de leur diamètre sont classées par classe à l'aide d'un pied à coulisse. Plusieurs classes de racines ont été définies en fonction des auteurs. Pour cette étude nous avons utilisé la classification ci-dessous (Ndzai, 2022).

- racines fines (diamètre inférieur à 2 mm) ;
- racines secondaires (diamètre compris entre 2-4 mm) ;
- grosses racines (diamètre supérieur à 4 mm).

La biomasse des racines est exprimée en g/m^2 . Pour estimer cette biomasse racinaire, l'équation suivante a été utilisée (Ifo, 2010) :

$$B = \frac{M_0}{S} \quad (7)$$

Avec : B = biomasse racinaire en $g.m^{-2}$; M_0 = la biomasse sèche des racines (en g) et S = surface de tarière racinaire (Epaisseur de l'horizon x diamètre de la tarière). Le diamètre interne de la tarière est de 8 cm.

2. Résultats

Densité à l'hectare

L'analyse de la figure 3 montre que le nombre d'individus à l'hectare le plus élevé est observé dans la jachère de 10-12 ans suivi de celui observé dans la forêt secondaire de 21-25 ans. Le nombre le plus faible est observé dans la parcelle de jachère de 1-3 ans puis dans la parcelle de forêt secondaire de 45-50 ans.

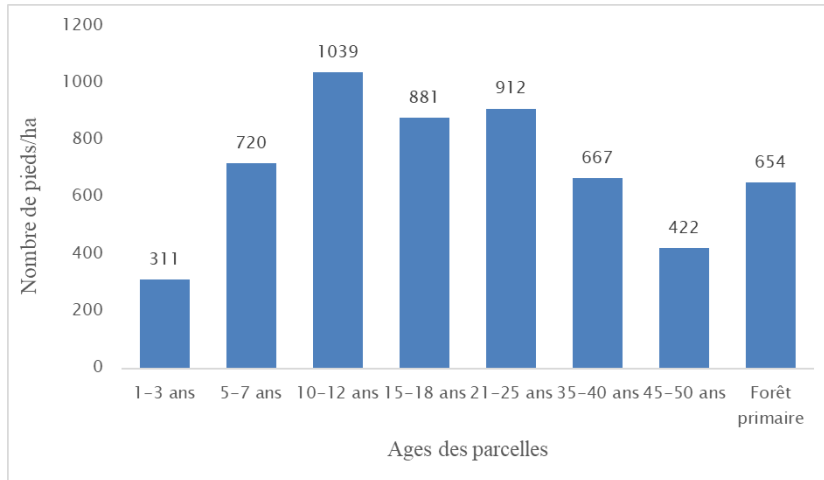


Figure 3 : Densité par parcelle

Surface terrière

L'analyse de la figure 4 montre que les valeurs des surfaces terrières les plus faibles sont observées dans les jachères et les valeurs plus élevées sont observées dans la forêt secondaire de 45-50 ans et dans la forêt primaire.

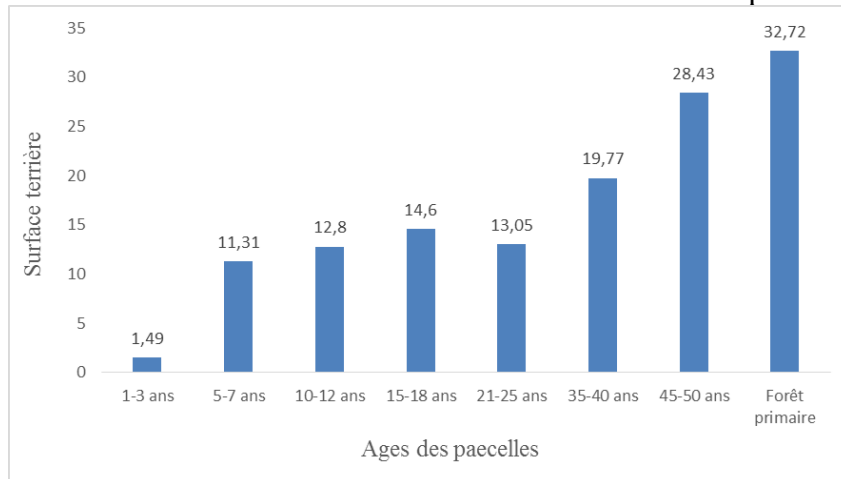


Figure 4 : Surface terrière des parcelles

Stock du carbone aérien

L'analyse de la figure 5 montre que la valeur de carbone aérien la plus élevée est observée dans la parcelle de la forêt primaire (237,15 tC/ha), suivi de celles des forêts secondaires de 45 ans à 50 ans (169,14 tC/ha) et de 35 ans à 40 ans (95,95 tC/ha). Les valeurs les plus faibles sont observées dans les parcelles des jachères de 1 an à 3 ans (3,36 tC/ha), 5 ans à 7 ans (28,4 tC/ha) et 10 ans à 12 ans (36,19 tC/ha). La figure 5 montre que la séquestration du carbone varie avec l'âge de la reconstitution de la forêt.

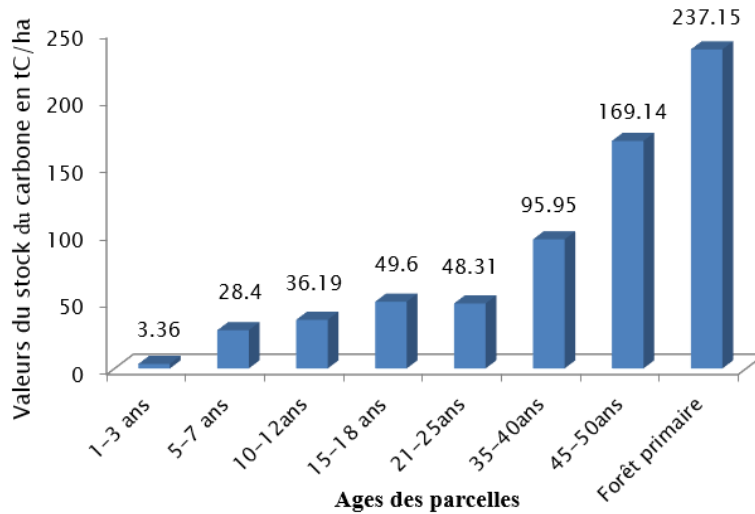


Figure 5 : Stock du carbone aérien par parcelle

Stock de carbone organique du sol

Il ressort de la figure 6 que les valeurs du stock de carbone organique du sol varient de 1,48 tC/ha (45-50 ans) à 2,5 tC/ha (forêt primaire) pour l'horizon (H₁) et de 0,95 tC/ha (35-40 ans et 45-50 ans) à 1,43 tC/ha (5-7 ans) pour l'horizon (H₂).

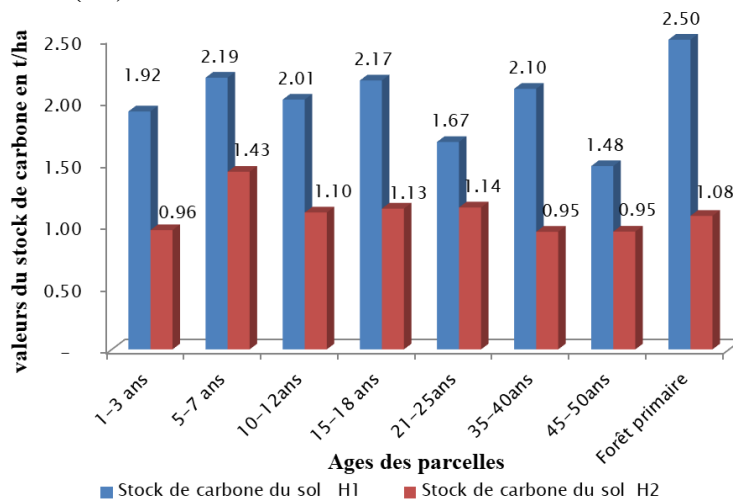


Figure 6 : Stock de carbone organique du sol

Stock de carbone racinaire

Les valeurs de stock de carbone racinaire par parcelle, par classe de diamètre et par horizon sont représentées par les figures 7 et 8.

Il ressort de la figure 7 que les valeurs moyennes du stock de carbone de racines du 1^{er} horizon varient de :

- $0,39 \pm 0,15$ tC/ha à $0,58 \pm 0,37$ tC/ha pour les racines fines ;
- $0,09 \pm 0,15$ tC/ha à $0,54 \pm 0,35$ tC/ha pour les racines moyennes.

Pour les grosses racines la parcelle de 5 à 7 ans est nulle et la valeur la plus élevée est $0,88 \pm 0,49$ tC/ha dans la forêt primaire

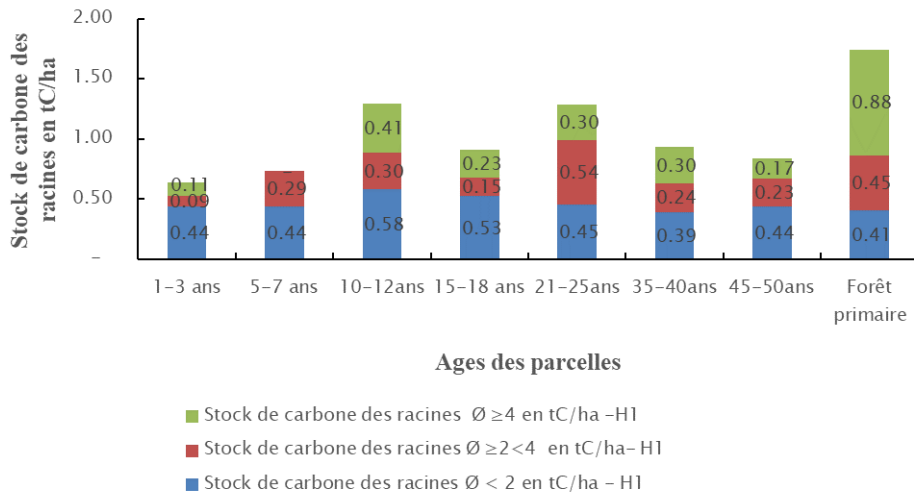


Figure 7: Stock de carbone racinaire du 1^{er} horizon par parcelle et par classe de diamètre

La figure 8 montre que les valeurs du stock de carbone des racines du 2^{ème} horizon varient de :

- $0,13 \pm 0,08$ tC/ha à $0,3 \pm 0,15$ tC/ha pour les racines fines ;
- $0,09 \pm 0,17$ tC/ha à $0,38 \pm 0,39$ tC/ha pour les racines moyennes.

Pour les grosses racines, les parcelles de 1-3 ans et 21-25 ans sont nulles et la valeur la plus élevée est $0,35 \pm 0,08$ tC/ha.

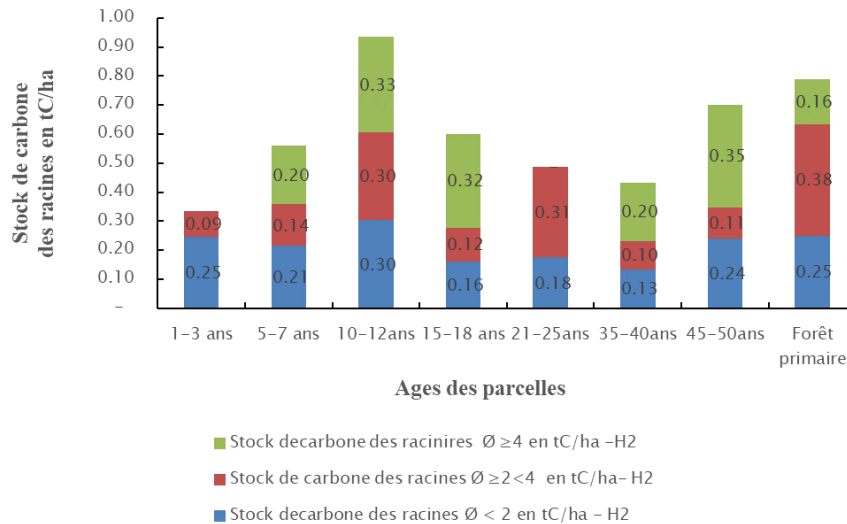


Figure 8 : Stock de carbone racinaire du 2^{ème} horizon par parcelle et par classe de diamètres

3. Discussion

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus par cette étude

Paramètres calculés	Ages des parcelles de reconstitution de la forêt								
	1-3 ans	5-7 ans	10-12 ans	15-18 ans	21-25 ans	35-40 ans	45-50 ans	Forêt primaire	
densité (n/ha)	331	720	1039	881	912	667	422	654	
Surface terrière (m²/ha)	1,49	11,31	12,8	14,6	13,05	19,77	28,43	32,72	
Carbone aérien (en t/ha)	3,36	28,4	36,19	49,6	48,31	95,95	169,14	237,15	
Carbone du sol (tC/ha)	Horizons du sol								
	H1	1,92±0,09	2,19±0,31	2,01±0,44	2,17±0,08	1,67±0,23	2,1±0,75	1,48±0,21	2,5±1,09
	H2	0,96±0,11	1,43±0,46	1,1±1,19	1,13±0,15	1,14±0,24	0,95±0,08	0,95±0,23	1,08±0,25
Carbone racinaire (tC/ha)	Classes de racines								
	H1								
	D ≥ 4 mm	0,11±0,24	0	0,41±0,45	0,23±0,32	0,3±0,49	0,3±0,66	0,17±0,24	0,88±0,49
	2 ≥ D < 4 mm	0,09±0,15	0,29±0,11	0,3±0,17	0,15±0,1	0,54±0,35	0,24±0,09	0,23±0,22	0,45±0,34
	D < 2 mm	0,44±0,19	0,44±0,44	0,58±0,37	0,53±0,13	0,45±0,16	0,39±0,15	0,44±0,17	0,41±0,09
	H2								
	D ≥ 4 mm	0	0,2±0,45	0,33±0,36	0,32±0,34	0	0,2±0,45	0,35±0,08	0,16±0,23
	2 ≥ D < 4 mm	0,09±0,17	0,14±0,1	0,3±0,17	0,12±0,07	0,31±0,24	0,1±0,1	0,11±0,14	0,38±0,39
D < 2 mm	0,25±0,12	0,21±0,09	0,3±0,15	0,16±0,08	0,18±0,05	0,13±0,08	0,24±0,17	0,25±0,14	

3.1. Densité

Il apparaît dans ce tableau que la densité des individus est élevée dans les stades jeunes de la dynamique de reconstitution de la forêt. Ce qui témoigne d'une bonne régénération de cette forêt. Dans l'étape de 1 à 3 ans, du fait de la coupe à blanc de la forêt pour la plantation du manioc, la densité est moins élevée. La densité des jachères à partir de 5 ans jusqu'aux forêts secondaires de 35-40 ans sont en accord avec les résultats de Koubouana *et al.* (2018) qui ont trouvés 868 tiges/ha dans les forêts dégradées de l'axe Impfondo-Dongou en République du Congo. Et les résultats de Ngoufo *et al.* (2019) qui ont trouvé une moyenne de 510 pieds/ha dans les vieilles jachères et une moyenne de 689 pieds/ha dans les forêts dégradées du massif forestier de Ngog-Mapubi au Cameroun. La parcelle de 45-50 ans a une densité faible à cause des Marantaceae; ce même constat a été fait par Benoit *et al.* (2022) dans la forêt de Loundoungou au nord Congo. La forêt primaire dans la zone d'étude compte 654 arbres/ha; ce résultat est en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs dans les forêts tropicales. D'après Pascal (2003), la moyenne de la densité se situe aux environs de 600 arbres/ha pour les forêts tropicales ne présentant pas de contraintes particulières. Benoit *et al.* (2022) ont trouvé 323 à 674 arbres/ha dans la forêt du bassin du Congo.

3.2. Surface terrière

En ce qui concerne la surface terrière, à l'exception de la jachère de 1-3 ans, les résultats obtenus varient entre 11,31 et 32,72 m²/ha. Ils sont en accord avec les résultats d'autres auteurs dans les forêts du Bassin du Congo. Koubouana *et al.* (2018) ont trouvé entre 6,75 à 34,24 m²/ha dans les forêts dégradées et entre 16 et 36,37 m²/ha dans les forêts primaires. Ngoufo *et al.* (2019) ont trouvé les moyennes de 6,21 m²/ha, de 30,83 m²/ha et 33,26 m²/ha respectivement dans les jeunes jachères, les vieilles jachères et les forêts dégradées.

3.3. Carbone aérien

Les résultats de cette étude révèlent l'action essentielle des activités anthropiques sur la variation des stocks de carbone aérien. Ils montrent que le stock de carbone aérien diminue avec la dégradation de la forêt du fait des activités agricoles. Le stock le plus élevé est observé dans la forêt primaire 237,15 tC/ha, du fait de la présence des arbres de gros diamètre, et les plus faibles dans les jachères de 1-3 ans (3,36 tC/ha) 5-7 ans (28.4 tC/ha). Plusieurs études réalisées dans les jachères, les forêts secondaires et les forêts primaires du bassin du Congo révèlent cette tendance (Kotto *et al.*, 1997 ; Ifo *et al.*, 2019 ; Ndzai *et al.*, 2021 ; Ngoufo *et al.*, 2019).

La densité d'individus et la surface terrière dans les différentes étapes de reconstitution de la forêt sont liées au stock de carbone aérien. Plus le stade de reconstitution est âgé, plus les individus sont de gros diamètre avec une surface terrière élevée, plus le stock de carbone aérien est élevé.

3.4. Carbone organique du sol

Pour carbone organique du sol, les résultats montrent que l'agriculture sur brûlis réduit très peu le stock de carbone organique du sol ; car les valeurs sont relativement constantes d'une parcelle à une autre. Ce même constat a été fait par Kotto *et al.* (1997) qui stipulent que le stock de carbone organique du sol reste relativement constant tout au long du cycle d'abattis-brûlis. Le stock de carbone de H₁ de deux parcelles de jachère (1-3 an et 5-7 ans) sont respectivement 1,92±0,09 tC/ha et 2,19±0,31 tC/ha, ces valeurs sont plus élevées que celles de deux parcelles de la forêt secondaire notamment la parcelle de 21-25 ans avec 1,67±0,23 tC/ha et celle de 45-50 ans avec 1,48±0,21 tC/ha. Ces résultats montrent que les stocks de carbone organique du sol ne sont pas liés aux âges de la formation végétale. Cependant, la valeur du stock de carbone de la forêt mature est la plus élevée avec 2,5±1,09 tC/ha, probablement dû au carbone issu de la minéralisation de la matière organique. Au niveau du deuxième horizon (H₂), les valeurs sont sensiblement égales d'une parcelle à une autre et elles varient de 0,95±0,08 tC/ha (35-40 ans) à 1,43±0,46 tC/ha (5-7 ans). Le stock de carbone organique du sol varie d'un

horizon à un autre, c'est-à-dire il y a plus de carbone au premier horizon que pour le deuxième horizon et cela pour toutes les parcelles. Cette tendance a été constaté par des nombreux auteurs (Atchada *et al.* 2018 ; Ifo, 2010 ; Ifo *et al.*, 2022 ; Mankessi *et al.*, 2022). Diallo (2005) le premier horizon (entre 0 et 10 cm de profondeur) est riche en matière organique, auxquels elle donne une teinte plus foncée que les horizons sous-jacents. La matière organique du sol (MOS) constitue une véritable plaque tournante du cycle de carbones dans les écosystèmes terrestres (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEM), 2014). Mankessi *et al.* (2022) en général, le teneur en carbone présente un gradient décroissant de la surface vers la profondeur quel que soit l'âge du plantation.

Les résultats cumulés de deux horizons (0-20 cm) de chaque forêt secondaire de notre étude ($2,82\pm 0,47$ tC/ha, $3,05\pm 0,83$ tC/ha et $2,48\pm 0,44$ tC/ha) respectivement pour la forêt de 21-25 ans, 35-40 ans et 45-50 ans corroborent ceux de Ndzai (2022) qui a trouvé les valeurs qui varient de 2,22 tC/ha à 3,49 tC/ha dans les forêts secondaires de la Likouala pour une profondeur de 0-15 cm. Les résultats de cette étude pour toutes les strates sont inférieurs aux résultats de certains auteurs (Namri, 1996 ; Ifo, 2010 et Safi, 2016). Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par des faibles teneurs de carbone et de matières organiques dans cette zone d'étude, avec un sol composé de plus de 80% du sable selon les résultats de l'analyse granulométrique.

3.5. Carbone racinaire

Les valeurs du stock de carbone racinaire de cette étude sont variables d'un horizon à un autre et d'une classe de diamètre à une autre. La valeur moyenne du stock de carbone des racines fines la plus élevée est de $0,58\pm 0,37$ tC/ha observée dans le premier horizon et la plus faible est de $0,13\pm 0,08$ tC/ha dans le deuxième horizon ; ces valeurs sont obtenues respectivement dans la jachère et la forêt secondaire. La valeur moyenne du stock de carbone des racines secondaires la plus élevée est de $0,54\pm 0,35$ tC/ha obtenu dans la forêt secondaire en H₁ et la valeur moyenne la plus faible est de 0,09 tC/ha obtenue en jachère en H₂. La valeur moyenne du stock de carbone des grosses racines la plus élevée est de 0,88 tC/ha obtenue en forêt primaire en H₁ et la valeur moyenne la plus faible est de 0,05 obtenue en jachère en H₁.

Les résultats obtenus de ce travail sur les racines fines du 1^{er} horizon, des trois strates sont supérieurs aux résultats de Thongo (2008) qui a trouvé 0,54 t/ha de biomasse sèche soit environ 0,26 tC/ha dans une plantation d'Eucalyptus au Congo. Cette comparaison montre que les valeurs de carbone des racines fines dépendent de la composition floristique du site d'étude.

Nos résultats sur les grosses racines de la forêt secondaire sont en accords avec les résultats de Ndzai (2022) qui a trouvé moins d'une tC/ha en forêt secondaire à *Macaranga monandra* Mull- Arg. dans la Likouala.

Pour un total cumulé de deux horizons (0-20 cm) de notre étude ; les résultats sur les racines fines de la forêt primaire ($0,66\pm 0,23$ tC/ha) corroborent ceux de Ndzai (2022) qui a trouvé 1,99 Mg/ha dans la forêt adulte à *Celtis sadolfi-friderici* Engl. Par contre, nos résultats sont inférieurs aux résultats de IFO (2010) qui a trouvé 772g/m^2 soit environ 3,78 tC/ha les forêts galeries du Congo. Cette différence des résultats peut s'expliquer par : des différentes méthodes utilisées, la composition floristique et l'écologie du site d'étude. En effet les travaux de Ndzai *et al.* (2021) montrent que la matière organique est plus élevée dans les forêts marécageuses que dans les forêts des terres fermes. En plus les racines tendent à proliférer dans les parties du sol les plus riches en phosphore (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) (2018). Rogers et Benfey (2015) ont montré que les sols pauvres en azote se traduisent par des racines plus verticales et plus profondes, avec moins de racines à proximité de la surface du sol. L'humidité du sol peut être un facteur déterminant de cette différence. Hulebo *et al.* (1992) ont montré une dynamique annuelle accentuée, avec une biomasse maximale après la saison des pluies et minimale après la saison sèche. Rich et Watt (2013) ont aussi montré que si le potentiel hydrique du sol devient trop faible, c'est-à-dire en deçà de $-1,5$ Mp, la croissance racinaire peut s'arrêter.

Il y a autant de paramètres qui la variation du carbone racinaire. Cependant nos résultats ne montrent pas de lien corrélatif entre l'âge des jachères et le stock de carbone racinaire.

Conclusion

Cette étude a montré que pendant la dynamique de reconstitution de la forêt après les cultures, le nombre d'individus de petit diamètre est élevé dans les stades jeunes constituant ainsi le potentiel de régénération de la forêt. Le stock de carbone séquestré dans les arbres augmente avec l'âge des formations forestières. Les jeunes stades constitués d'individus de petit diamètre séquestrent moins le carbone et les stades plus vieux constitués d'individus de gros diamètre qui ont un potentiel de séquestration de carbone élevé.

Le carbone organique du sol, par contre, ne semble pas être influencé par l'âge de l'étape de régénération de la forêt. On note par étape, une petite variation de ce stock de carbone organique entre les horizons du sol. Le stock de carbone des racinaires fines est variable d'une étape à une autre, cette variation est indépendamment de l'âge et montre de façon générale une tendance à la baisse entre les deux horizons. Il apparaît que les formations forestières de la reconstitution jouent un rôle important dans la séquestration

de carbone, en quelques dizaines d'années elle peut séquestrer plus de deux-tiers de carbone séquestré par la forêt primaire. Les forêts en régénération sont très actives dans la séquestration du carbone.

Contributions des auteurs

Les auteurs Romarick MONDZALI LENGUIYA, Félix KOUBOUANA et Saint Fédriche NDZAI ont participé à la collecte des données et à l'interprétation des résultats. Irène Marie Cécile MBOUKOU KIMBATSA née GOMA a contribué à la compilation et à la relecture finale de cet article.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de la Société Christelle et le bureau d'études Expertise Plus SARLU qui ont facilité notre déplacement et notre séjour sur le terrain. Les chefs des villages Tala, Essoura, Mvoula et tous les guides qui nous ont accompagnés sur le terrain qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude.

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

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

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

References:

1. ADEM, 2014. Carbone organique des sols : l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. *Collectivités territoriales et monde agricole*, 27 p.
2. Ambombo, OEM, Ngodo, MJB, Pial, AC, Mbarga, BA et Mossebo, DC. (2018). Dynamique de la régénération naturelle des essences commerciales sur les routes secondaires de différents âges de l'UFA 09-003 (Djoum, Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1) : 341-352. <http://www.ifgdg.org>
3. Atchada, CC, Zoffoun, GA, Akplo, TB, Azontonde, HA, Tente, BA et Djego, GJ. (2018). Modes d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(6): 2818-2829.
4. Batchi Mav, AP, Ngouala, MM et Massouangui, KM. (2023). Modélisation des précipitations journalières extrêmes et leurs périodes

- de retour en République du Congo de 1950 à 2017 : application de la loi de Pareto. *Revue Internationale du chercheur*, 4(4): 71 – 92
5. Benoit, CB, Jobbe-D, Bénédet, F, Cornu, G, Forni, E, Freycon, V, Gourlet-F, S, Rossi, V, Doucet, JL, Fayolle, A, Ligot, G, Bracke, C, Dainou, K et Month K. (2022). Dynamique des forêts d'Afrique centrale : pour une amélioration de la durabilité des plans d'aménagement forestiers. *Capitalisation des projets Dynaffor et P3FAC*, 75 p.
 6. Berry, W, Ketterings, Q, Antes, S, Page, S, Russell- Anelli, J, Rao, R et Degloria, S. (2007). Soil Texture. Agronomy Fact Sheet Series, Fact Sheet 29, *Cornell University Cooperative Extension*, 2p. http://water.rutgers.edu/Rain_Gardens/factsheet29.pdf.
 7. Blake, S, Blom, A, Carroll, R, Kock, M, Langrand, O, Oonk, J, Azink ,M, Ruggiero, R. et Walters G.(2005). Les forêts du bassin du Congo : Evaluation préliminaire, 34p. http://carpe.umd.edu/products/PDF_Files/FOCB_APrelimAssess.pdf
 8. Bocko, YE, Ifo, SA et Loumeto JJ. (2017). Quantification des stocks de carbone de trois Pools clés de carbone en Afrique centrale : Cas de la forêt marécageuse de la Likouala (Nord Congo). *European Scientific*, 13(5): 438-456.
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p438](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p438)
 9. Chave, J. (2000). Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Ann. Phys. Fr*, 25 (6), 184 p.
 10. De Boissezon, P, Martin, G et Gras, F. (1969). Atlas du Congo, 1969. Mission permanente d'aide et de coopération Brazzaville, 5p.
 11. De Wasseige, C, De Marcken, P, Bayol, N, HiolHiol, F, Mayaux, Ph, Desclée, B, Nasi, R, Billand, A, Defourny, P, Eba'a, AR. (2012). Les forêts du Bassin du Congo : État des Forêts 2010. *Union européenne : Luxembourg*, 274p.
 12. De Wasseige, C, Flynn, J, Louppe, D, HiolHiol, F, Mayaux, Ph. (2014). Les Forêts du Bassin du Congo : Etat des Forêts 2013. *Weyrich, Belgique*, 328 p.
 13. Diallo, MD. (2005). Effet de la qualité des litières de quelques espèces végétales sahéliennes sur la minéralisation de l'azote. Thèse de doctorat de 3ème cycle de biologie végétale. *Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Végétale*, 142 p.
 14. Eba'a, AR, Hiol, HF, Lescuyer, G, Mayaux, P, Defourny, P, Bayol, N, Saracco, F, Pokem, D, Sufo, KR et Nasi R. (2022). Les forêts du bassin du Congo : état des forêts 2021. *Bogor, Indonésie : CIFOR*, 444 p.
 15. Fao. (2013). Le sol: texture du sol. 18 p.

16. Fao et PNUE, (2020). La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine, Rome, 197p. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>
17. FAO, (2021). Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : Rapport principal, Rome, 170p. <https://doi.org/10.4060/ca9825fr>.
18. Fao, (2005). L'irrigation en Afrique en chiffres : Enquête AQUASTAT 2005. 10p.
19. Fayolle, A, Ngoumanga, A, Mbasi, M, Barbier, N, Boko, Y, Boyamba, F, Couteron, P, Fonto, N, Kamdem, N, Katemba, J, Kondaoulé, HJ, Loumeto, JJ., Maidou, HM, Mankou, G, Mengui, T, Mofack, J, Moundounga, C, Moundounga, Q et Madjibé, V. (2018). A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 430: 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.030>
20. Feldpausch, TR, Rondon, MA, Fernandes, ECM, Riha, SJ et Wandelli, E. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecol. Appl.*, 14 : 164-176.
21. GIEC, (2006). Terres cultivées : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. In Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, 4 : 5.1- 5.73.
22. Global Forest watch, (2023, 2 février). <https://www.globalforestwatch.org>
23. Henin, S. (1976). Cours de physique du sol. *Initiations - documentations techniques*, 28 (1), ORSTOM Paris, 159 p.
24. Hulebo, H, Messing, I et Streen, E. (1992). Influence de la biomasse racinaire, du diamètre des racines et de la mortalité des racines sur la conductivité hydraulique des sols arides. *Ecologia mediterranea*, tome, 18 : 49-54.
25. Ifo, SA. (2010). Apports de carbone au sol et stocks dans deux types forestiers (forêt galerie et forêt secondaire) des plateaux Téké. Thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université Marien Ngouabi, *Faculté des sciences*, Ecologie végétale, *Brazzaville, Congo*, 194 p.
26. Ifo, SA et Binsangou, S. (2019). Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. *Hal*, 15 p.
27. Ifo, SA, Moundaga, AR et Yoka, J. (2022). Estimation des stocks de carbone organique dans les sols sous savane à *Hyparrhenia diplandra* (Hack) Stapf et forêt de terre ferme à *Petersianthus macrocarpus* (P. Beauv.) Liben dans la localité de Komono, département de la

- Lékoumou (République du Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(5): 2436-2447
28. Jaja, N. (2016). Understanding the Texture of Your Soil for Agricultural Productivity. *Virginia Cooperative Extension, Publication CSES-162P*, 6 p.
 29. Kahn, F, (1982). La reconstitution de la forêt tropicale humide. Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire. *Mémoire ORSTOM*, Paris, 97, 150 p.
 30. Kimpolo, L, Ndzai SF et Koubouana F. (2021). Richesse floristique et stockage de carbone de La zone agricole de la forêt de Kissila dans le Mayombe Congolais. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(40), 19 p. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p1>
 31. Kotto-Same, J, Woomeer, P, Moukam, A et Zapfack, L. (1997). Carbon Dynamics in Slash-And-Burn Agriculture and Land Use Alternatives of the Humid Forest Zone in Cameroon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 65: 245-256.
 32. Koubouana, F, Ifo, SA, Mayitoukou, LLB. et Ndinga, E. (2016). Diversité floristique et dynamique de reconstitution de la forêt du Parc Zoologique sous plantations à eucalyptus à Brazzaville, Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(2) : 609-619.
 33. Koubouana, F, Ifo, SA, Ndzai, SF, Stoffenne, B et Mondzali-L. R. (20218). Étude comparative d'une forêt primaire et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides. *Rev. Sci. Tech. For. Environ. Bassin Congo*. 11: 11-25. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1436597>
 34. Lamine, S. (2007). Dynamique des racines fines dans des écosystèmes forestiers de sapin baumier (*Abies balsamea* (L) Mill.) et d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.)) situés le long d'un gradient climatique. Mémoire effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). *Université de Sherbrooke, Faculté des sciences, Québec, Canada*, 66 p.
 35. Lewis SL, Sonke, B, Sunderland, T, Begne, SK, Lopez-Gonzalez, G, van der Heijden, GMF, Phillips, OL, Affum-Baffoe, K, Baker, TR, Banin, L, Bastin, JFB, Beeckman, H, Boeckx P, Bogaert, J, De Cannière, C, Chezeaux, E, Clark, CJ., Collins, M, Djagbletey, G, Djuikouo, MNK, Droissart, V, Doucet, JL, Ewango, CEN, Fauset, S, Feldpausch TR., Foli, EG, Gillet, JF, Hamilton, AC, Harris, DJ, Hart, TB, Haulleville, T, Hladik, A, Hufkens, K, Huygens, D, Jeanmart, P, Jeffery, KJ, Kearsley, E, Leal, ME, Lloyd, J, Lovett, JC, Makana, JR, Malhi, Y, Marshall, AR, Ojo, L, Peh, KS-H, Pickavance, G, Poulsen, JR, Reitsma, JM, Sheil, D, Simo, M, Steppe, K, Taedoum, HE, Talbot, J, Taplin, JRD, Taylor, D, Thomas, SC, Toirambe, B, Verbeeck, H,

- Vleminckx, J, White LJT, Willcock, S, Woell, H. et Zemagho, L. (2013). Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Phil. Trans. R.. Soc. B*, 368, 20120295, 14 p. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0295>
36. Lubini, AC, (2003). La gestion des forêts tropicales secondaires en Afrique: Réalité et perspectives. Document thématique: Sur les aspects écologiques des forêts secondaires en Afrique centrale et occidentale francophone. *Atelier FAO/ECLNV/GTZ Douala, Cameroun*, 17-21 nov. 2003. <http://www.fao.org/docrep/007/j2578f/J2578F08.htm#TopOfPage>
37. Mankessi, F., Malonga, KMG et Ifo, SA. (2022). Dynamique du carbone organique du sol et de l'azote dans une chronoséquence de plantation de *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. (*Fabaceae*), à Bambou-Mingali (République du Congo). *European Scientific Journal*, *ESJ*, 18 (8) : 172-189. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n8p172>
38. Marco, P, Henry, M, Blavet, D, Bernoux, M. (2010). Variation des stocks de carbone organique du sol après plantation forestière : essai de méta-analyse incluant quelques situations d'Amérique latine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 305 (3) : 21-32.
39. Mayaux, P, Achard, F et Malingreau, JP. (1998). Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery: a comparison with other approaches. *Environmental Conservation*, 25 : 37-52.
40. Mayaux, P, Gond, V, Massart, M, Pain-O, M, et Achard F. (2023). Evolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 277 (3) : 45-25.
41. Megevand, C, Mosnier, A, Hourticq, J, Sanders, K, Doetinchem, N et Streck, C. (2013). Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo : Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt, Washington, 179 p. www.worldbank.org
42. MAAARO. (2018). Manuel sur la fertilité du sol. Publication 611F, 236 P.
43. Mitja, D et Hladik, A. (1989). Aspects de la reconstitution de la végétation dans deux jachères en zone forestière africaine humide (Makokou, Gahon). *Acta OEcologica, Ecol, Gener*, 10 (1) : 75-94.
44. Missamba-Lola, AP, Matondo, R, Marien, JN, Samba-Kimbata, MJ, Gillet JF. (2015). Dynamique spatio-temporelle des recrus forestiers au bord des pistes secondaires : Cas des UFA-CIB dans la cuvette congolaise. *Rev.Sci.Tec. For. Env. Bas. Con.*, 4: 34-45.
45. Molinario, G, Hansen, M, Potapov, P, Tyukavina, A et Stehman, S. (2020). Contextualizing landscape-scale forest cover loss in the

- democratic republic of Congo (DRC) between 2000 and 2015, *Land*, 9, 23, 22 p. <https://doi.org/10.3390/land9010023>
46. Moutsamboté, J-M, (1985). Dynamique de reconstitution de la forêt Yombe (Dimonika, R.P. du Congo). Thèse 3^{ème} cycle, écologie, Université de Bordeaux III, écologie végétale, Bordeaux, 301p.
 47. Namri, M. (1996). Les stocks de carbone des sols du Congo : bilan spatial et recherche des facteurs de répartition. Mémoire de Maîtrise, Université Louis Pasteur, Strasbourg, UFR de Géographie, 119p.
 48. Ndzaï, SF, Koubouana, F, Kimpolo, L et Kimposso, EKO. (2021). Diversité floristique et estimation du stock de carbone organique des forêts adultes et des forêts secondaires du district de Dongou, Département de la Likouala, République du Congo. *Afrique Science*, 18(2) : 134 – 148.
 49. Ndzaï, S.F., (2022). Caractérisation des forêts de la zone d'Impfondo-Dongou, département de la Likouala, république du Congo. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur, Université Marien Ngouabi, ENSAF, Botanique et écologie forestière, Brazzaville, Congo, 168p.
 50. Ngoufo, R, Zapfack, L, Tiomo, DE, Tsafack, NLS, Matsaguim, GCA, Chimi, DC, Lekeufack, A, Neckdem, MF, Kana, EC, Bouba NB et Njal, N. (2019). Évaluation et spatialisation du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi (Cameroun). *Conférence OSFACO, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin*. HAL Id, 25 p.
 51. ORSTOM, (1969). Atlas du Congo, 1969 : les sols du Congo, 5p.
 52. Pascal, J P. (2003). Description et dynamique des milieux forestiers : Notions sur les structure et la dynamique des forêts tropicales humides. *Rev. For. Fr. LV - numéro spécial 2003* :118-130.
 53. Randriamalala, RJ, Serpantié1, G et Carrière1, SM. (2007). Influence des pratiques culturales et du milieu sur la diversité des jachères d'origine forestière (Hautes-Terres, Madagascar). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 62 : 65-85.
 54. Razafimahatratra, H, Rabeharisoa, L et Albrecht A. (2008). Stocks de carbone du sol des zones de jachère du corridor forestier de Vohimana. *Terre Malgache*, 125-128.
 55. Rich M., S. et Watt M., (2013). Soil conditions and cereal root system architecture: review and considerations for linking Darwin and Weaver. *Journal of Experimental Botany*, 64(5): 1193–1208.
 56. Rogers, ED et Benfey, PN. (2015). Regulation of plant root system architecture: implication for crop advancement. *Current option in biotechnology*, 32 : 93-98.
 57. Rossi. M, André, J et Vallauri, D. (2015). Le carbone forestier en mouvements : éléments de réflexion pour une politique maximisant les atouts du bois. *REFORA*, 40p.

58. Safi, ME. (2016). Etude de la dynamique de carbone organique du sol et biomasse aérienne des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (DE Wild.) J.LEONARD dans la réserve forestière de Yoko territoire d'Ubundu (province de la Tshopo, RD Congo). Memoir pour l'obtention du diplôme de Grade d'Ingénieur, Université De Kisangani, Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables (F.G.R.N.R), *Département des Eaux et Forêts*, 49p.
59. Thongo M, A. (2008). Etude du système racinaire de l'Eucalyptus en plantation tropicale : analyse architecturale, croissance et respiration. Thèse présentée pour obtenir les grades de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I en Biologie végétale et forestière et de Docteur de l'Université Marien Ngouabi, Brazzaville en Biologie végétale, 181p.
60. Tayo, GKY. (2014). Dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au centre Cameroun: cas de Ngomedzap. Mémoire d'Ingénieur des Eaux, Forêts et Chasses /Master professionnel en foresterie, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun, 91p.
61. Zanne, AE, Lopez-G, G, Coomes, DA, Ilic, J, Jansen S, Lewis, SL, Miller, RB, Swenson NG, Wiemann MC et Chave, J. (2009). Global wood density database. Dryad, Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>

Pratiques thérapeutiques traditionnelles des fractures des membres à Bébouo-Sibouo, Côte d'Ivoire

Gnamien Konan Bah Modeste

Enseignant-chercheur, Bio-anthropologue
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

Houndji Ahouansou Stanislas Sonagnon

Enseignant-chercheur, Socio-anthropologue de la Santé
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

Brou Adjoua Ange Christelle

Doctorante en Anthropologie
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p189](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p189)

Submitted: 08 July 2024

Accepted: 30 August 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Gnamien K.B.M., Houndji A.S.S. & Brou A.A.C. (2024). *Pratiques thérapeutiques traditionnelles des fractures des membres à Bébouo-Sibouo, Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 189. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p189>

Résumé

En Côte d'Ivoire nous avons noté une sollicitation de plus en plus croissante des thérapeutes traditionnels spécialisés dans les cas de fractures des membres. Nous nous situons ici dans le cadre de l'émergence d'une médecine alternative de plus en plus sollicitée qui échappe à toute régulation et peut comporter par conséquent des risques sanitaires. Il est donc important de documenter ces pratiques pour saisir tous ces contours en vue de construire une appréciation solide. L'objectif de la présente étude est de décrire les pratiques thérapeutiques d'un thérapeute traditionnel spécialisé dans les fractures des membres, plus précisément de la localité Bébouo Sibouo (Haut Sassandra, Centre Ouest Ivoirien). Le thérapeute traditionnel a été sélectionné à travers l'échantillonnage par cas unique des micro-unités sociales. Dans une démarche qualitative, cette étude a mobilisé comme technique de collecte de données, la recherche documentaire, l'observation directe et les entretiens. Les outils de collecte utilisés sont : la grille de lecture, la grille d'observation et le guide d'entretien. Les données ont été traitées à travers la transcription et la codification. Pour l'analyse nous avons opté pour l'analyse de contenu. Nous

retenons que l'acquisition de la compétence de thérapeute traditionnel spécialisé dans le traitement des fractures des membres est profondément enracinée dans la culture de la lignée et se transmet de génération en génération. Le tarif du service offert par le thérapeute traditionnel est symboliquement fixé à 5F CFA, ce qui constitue la première condition avant de commencer le traitement. Une fois ce montant symbolique réglé, le thérapeute, spécialisé dans les fractures des membres, consulte les esprits pour obtenir des directives concernant les sacrifices à effectuer. Le traitement consiste essentiellement en l'application de beurre de karité et d'une poudre noire, issue de l'écorce d'arbres, sur le membre fracturé, accompagnée de prières incantatoires. Retenons ici que la trajectoire thérapeutique repose sur des pratiques divinatoires.

Mots-clés: Thérapeute traditionnel ; Fractures ; Pratiques thérapeutiques ; Bébouo Sibouo, Côte d'Ivoire

Traditional therapeutic practices for limb in Bébouo-Sibouo, Côte d'Ivoire

Gnamien Konan Bah Modeste

Enseignant-chercheur, Bio-anthropologue
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

Houndji Ahouansou Stanislas Sonagnon

Enseignant-chercheur, Socio-anthropologue de la Santé
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

Brou Adjoua Ange Christelle

Doctorante en Anthropologie
Université Jean Lorougnon Guédé-Daloa, Côte d'Ivoire

Abstract

In Côte d'Ivoire, we have noted a growing demand for traditional therapists specialising in the treatment of limb fractures. This is part of the emergence of an increasingly popular alternative medicine, which is not regulated and may therefore entail health risks. It is therefore important to document these practices in order to grasp their full scope and build a solid assessment. The aim of this study is to describe the therapeutic practices of a traditional therapist specialising in limb fractures, more specifically in the locality of Bébouo Sibouo (Haut Sassandra, Central West Côte d'Ivoire). The traditional therapist was selected through a single-case sampling of social micro-units. As part of a qualitative approach, this study used documentary

research, direct observation and interviews as data collection techniques. The data collection tools used were: the reading grid, the observation grid and the interview guide. The data were processed through transcription and coding. For the analysis, we opted for content analysis. We found that acquiring the skills of a traditional therapist specialising in the treatment of limb fractures is deeply rooted in the culture of the lineage and is passed down from generation to generation. The fee for the service offered by the traditional therapist is symbolically set at 5F CFA, which is the first condition before starting treatment. Once this symbolic amount has been paid, the therapist, who specialises in limb fractures, consults the spirits for instructions on the sacrifices to be made. The treatment essentially consists of applying shea butter and a black powder made from tree bark to the fractured limb, accompanied by incantatory prayers. It should be noted that the therapeutic approach is based on divinatory practices.

Keywords: Traditional therapist; Fractures; Therapeutic practices; Bébouo Sibouo, Côte d'Ivoire

Introduction

L'art de guérir à partir des ressources naturelles et/ou des formules magico-spirituelles a de tout temps été pratiqué par l'homme pour se maintenir en bonne santé. En effet, depuis la période préhistorique, l'homme, retire de son milieu de vie des matières animales, minérales et végétales ou encore use de pratiques spirituelles pour soulager ses maux ou traiter ses maladies (Kitwa et Malebo, 2004). L'OMS (2002) définit la médecine traditionnelle, comme comprenant diverses pratiques, approches, connaissances et croyances sanitaires intégrant des médicaments à base de plantes, d'animaux et/ou de minéraux, des traitements spirituels, des techniques manuelles et exercices, appliqués seuls ou en association afin de maintenir le bien-être, traiter, diagnostiquer ou prévenir la maladie. La médecine traditionnelle, garde une place importante à côté de la médecine moderne dans les pays africains.

Ces pratiques ont été perpétuées dans les régions africaines et semblent systématiques dans biens de cas. Beaucoup d'affections sont traitées dans le cadre de cette médecine alternative qui bénéficie d'une réglementation approximative ou inexistante dans plusieurs pays africains. En Côte d'Ivoire on note l'expansion de la médecine traditionnelle dont l'exercice et l'organisation est réglementée par la Loi n°2015-536 du 20 juillet 2015 et le Code d'Ethique et de Déontologie des praticiens de médecine et pharmacopée traditionnelles par le Décret n°2016-24 du 27 janvier 2016 (MSHP-CMU, 2021-2025).

Outre les pathologies virales, bactériennes et métaboliques, les cas de traumatisme des membres sont de plus en plus adressés par cette

médecine. Le traitement traditionnel des traumatismes des membres par des thérapeutes traditionnels de soins est omniprésent dans les sociétés africaines au sud du Sahara. Ces pratiques sont sources de nombreuses complications (Adendjingue et al, 2022).

En Côte d'Ivoire, le recours aux produits médicaux prescrits par les thérapeutes traditionnels pour prévenir et lutter contre les maladies naturelles ou mystiques est imprimé dans l'âme culturelle des peuples qui y vivent (Kamanzi, 2002 ; Sidio et N'Guessan, 2020). Concernant le traitement des traumatismes des membres, l'on note l'émergence de thérapeutes traditionnels, dont la réputation grandissante attire de plus en plus de personnes notamment celles victimes d'accidents routiers. Cette situation est perceptible dans toutes les régions de la Côte d'Ivoire, en particulier la région du Haut Sassandra qui compte un nombre élevé d'accidents de circulation. Selon les dernières statistiques de l'Office de Sécurité Routière (OSER), dans la région du Haut Sassandra, l'on a enregistré en 2021, 253 accidents de circulation avec 53 morts et 199 blessés. Par ailleurs lors de l'enquête, le thérapeute interrogé a attesté recevoir en moyenne trois à quatre patients victimes de fractures des membres dans le mois.

Ces chiffres témoignent également de la grande demande en soins traumatologiques dans un environnement culturellement marqué par les thérapeutes (des fractures) traditionnels de soins.

L'intérêt anthropologique suscité par cette thérapie traditionnelle pour soigner les cas de fractures des membres, se justifie dans le sens où elle embrasse les dimensions biologiques, médicales, psychologiques ou morales, sociales, économiques, culturelles et spirituelles.

Dans ce sens, quelles sont les pratiques thérapeutiques des thérapeutes traditionnels spécialisés dans les fractures des membres qui exercent en Côte d'Ivoire ?

En d'autres termes comment sont organisées les pratiques thérapeutiques chez les thérapeutes traditionnels spécialisés dans les fractures des membres pour diagnostiquer les traumatismes des membres, fournir des soins intensifs (Chirurgie, consolidation etc.) et une stabilisation, assurer la surveillance des patients, conduire la rééducation, apporter un soutien psychologique et fournir des soins de suivi.

Les pratiques des thérapeutes traditionnels spécialisés dans les fractures des membres sont doublement référencées à savoir, culturellement car basées sur un ensemble de valeurs et de croyances et biologiquement car permettant la constitution d'un cal osseux englobant les deux extrémités en cas de fracture. Ceci met en exergue une dimension culturelle et biologique évidente.

En effet, ces pratiques permettent à partir de l'hématome fracturaire de développer un tissu fibreux granuleux avec apparition de néo-vaisseaux

amenant des cellules ostéo-inductrices et ostéoformatrice. La minéralisation se poursuit, envahit tout le cal et l'union osseuse devient rigide.

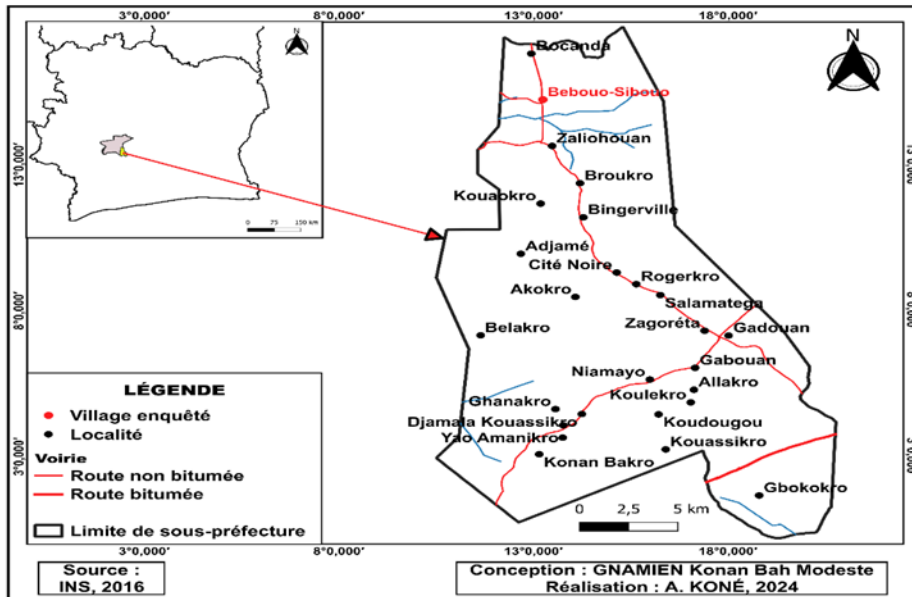
Dans ce contexte, ce travail à travers l'ethnomédecine, aborde les processus thérapeutiques par une approche qualitative. L'objectif est donc de décrire à partir d'un éclairage anthropologique, les pratiques thérapeutiques d'un thérapeute (des fractures) traditionnel de soins. L'ethnomédecine, s'emploie à observer la maladie et la santé à travers diverses cultures et par quelles méthodes spécifiques de traitement, ces dernières ont traité les maladies pour parvenir à la guérison (Hobert, 2019).

1. Méthodologie

1.1. Champ géographique

Cette étude a été conduite dans le Haut Sassandra, plus précisément dans le village Bébouo Sibouo réputé pour abriter un thérapeute traditionnel de renom spécialisé dans les cas de fractures des membres. La réputation du thérapeute interrogé nous est parvenue par le biais de deux étudiantes victimes d'accidents de circulations qui ont été ses patientes. Ces étudiantes dont les parents ont opté pour des soins traditionnels plutôt que d'amputer les jambes de leur fille, ont séjourné pendant plusieurs mois auprès du thérapeute pour des soins. Précisons également que le choix du thérapeute a été suggéré par certains prestataires du centre hospitalier régional de Daloa. Ces patientes ont également attesté du nombre élevé de patients et de la grande renommée du thérapeute interrogé dans la zone, confirmant ainsi sa réputation. Bébouo-Sibouo se situe dans la sous-préfecture de Zagoréta-Gadouan, dans la région du Haut Sassandra et dans la préfecture de Daloa. Elle est située à 21 Km de Daloa sur l'axe Daloa – Gadouan, avec une population estimée à 1200 habitants. La société locale est de type patrilinéaire et patrilocale, avec une pratique de la monogamie et de la polygamie parmi les Gouros. Ci-dessous la carte géographique de la sous-préfecture de Zagoréta-Gadouan, qui montre la position de Bébouo-Sibouo.

Carte de la sous-préfecture de Zagoréta-Gadouan, mettant en évidence la localité de Bébouo Sibouo



Source : INS, 2016

1.2. Echantillonnage

Dans le cadre de cette étude, nous avons opté pour l'échantillonnage par cas unique des micro-unités sociales à travers l'échantillon d'acteur tel que prescrit par Pires (1997). Ce type d'échantillonnage est utilisé lorsque le corpus empirique est essentiellement conçu autour d'une personne ou d'une famille. Dans notre cas le corpus tourne autour du thérapeute traditionnel, acteur principal. Il s'agit ici d'une histoire de vie segmentée ou topique, telle que décrite par Sutherland (1937) parce qu'elle s'articule autour d'un thème central (La thérapie traditionnelle qui traite les cas de fracture des membres) et ne cherche qu'à couvrir la dimension de thérapeute de l'enquête.

Production des données

1.3. Technique et outils de collecte des données

- **Recherche documentaire**

Nous avons réalisé cette étude avec une lecture intensive des publications scientifiques traitant la question du traitement traditionnel des fractures des membres, afin d'avoir une idée plus large de ce phénomène. Cette lecture nous a également permis de mieux orienter notre cadre théorique et méthodologique. Ainsi nous avons consulté des articles scientifiques, des mémoires, des thèses, des ouvrages etc.

- **Entretien**

Selon Pires (1997), « Trois voies sont souvent adoptées pour recueillir ce récit : a) des documents personnels écrits spontanément par l'informateur et sans interférence de l'analyste (autobiographies, lettres, journaux intimes, etc.) ; b) des documents écrits par l'informateur sur demande de l'analyste (avec ou sans orientation systématique ou demandes de révision) ; c) une ou des entrevues en profondeur avec la même personne. ». Précisons que l'enquêté, non scolarisé, est incapable de produire des documents personnels. Dans le cas de notre étude et vu le contexte, nous avons opté pour l'entrevue en profondeur.

1.4. Outil de collecte des données

Guide d'entretien et grille de lecture

Un guide d'entretien a été utilisé et les thèmes abordés sont les suivants : l'initiation à la pratique, le coût de la prestation, la conduite de l'acte thérapeutique, les plantes médicinales utilisées, les différents rituels et leurs rôles. Une grille d'observation a été également conçue pour capter les gestes qui entourent l'environnement thérapeutique.

La grille de lecture a été utilisée pendant la recherche documentaire. Il s'agit d'une construction qui permet de dégager d'une part les thèmes majeurs identifiés chez les auteurs et d'autres parts elle permet de relier ces thèmes aux différentes dimensions de la question de recherche et à son contenu global.

1.5. Traitement et analyse des données

a) Traitement et exploitation des données

Le traitement des données a impliqué plusieurs étapes. D'abord, il y a eu la transcription et la mémorisation des résultats : c'est l'étape de la saisie des données, qui consiste à enregistrer les réponses codées données par l'enquêté. Pour les différentes réponses, nous avons utilisé la méthode d'analyse de contenu. Selon Bardin (1977), l'analyse du contenu, est « un ensemble de technique d'analyse des communications visant, par des procédures systématiques et objectives de description du contenu des énoncés, à obtenir indicateurs permettant l'inférence de connaissances relatives aux conditions de production / réception de ces énoncés ».

Le contenu a ensuite été découpé (en unités de sens) selon les idées principales qui en ressortaient. Ce qui nous a permis d'aboutir à un jet de codification en établissant une liste de codes. Les thèmes ainsi ressortis pour chaque groupe ont ensuite été organisés de sorte à regrouper ceux qui étaient récurrents qui correspondent à ceux que Paillé (1994, p 158) a appelé « codes chevilles » qui sont dans notre cas les idées similaires.

1.6. Considérations éthiques

L'éthique de la recherche, en particulier la confidentialité et la sécurité, ont été privilégiée au cours de cette étude. Les données ont été recueillies par le chercheur principal et / ou les co-chercheurs avec un formulaire de consentement éclairé dûment expliqués et remplis par l'enquêté. La transcription des données a été faite en présence des porteurs de l'étude et aucun transfert de fichier n'a été opéré avec le transcripateur. Les appareils des porteurs du projet ont été mis à la disposition du transcripateur. Les données d'enquête ont été stockées dans des ordinateurs protégés par mot de passe sur le site d'étude et sauvegardées quotidiennement sur deux disques durs externes.

2. Résultats

2.1. Acquisition du savoir

Il ressort des entretiens que l'acquisition de cette compétence est culturellement ancrée et traverse les générations. Cette transmission est de nature à attribuer une notoriété à la lignée qui devient exclusivement éligible à exercer ce don. La pérennisation de la pratique et son succès thérapeutique deviennent un défi générationnel en ce sens que, chaque génération a la mission de l'exercer, de la préserver en respectant tous les rites et interdits en vue de la transmettre intacte à la génération suivante. Cette fonction, de fait, attribuée à cette lignée cadre avec l'organisation sociale des malinkés basée sur les castes, groupe social hiérarchisé, endogame et héréditaire, avec un rôle social culturellement admis et défini. Les paramètres surnaturels, à savoir l'acquisition du savoir via des entités surnaturelles, qui entourent sa révélation complexifient sa démarche et la rende irrationnelle malgré son efficacité supposée. Les propos du thérapeute traditionnel ci-dessous évoque la transmission :

« ..de la manière que leurs grands-parents ont reçu le médicament. Que leur grand-père était assis dans hamac et puis un monsieur est arrivé, il dit ah j'ai un médicament je veux te donner, tu vas me donner l'homme, une tête humaine pour que tu prends le médicament. Donc c'est comme ça ».

Le respect suscité par cette compétence est également lié aux rites et sacrifices ancestraux effectués pour l'acquérir. Dans notre cas le thérapeute traditionnel évoque un sacrifice humain pour sceller la transmission du don à sa famille. Ce sacrifice suprême exigé rend compte de son importance et sacralise davantage la pratique. Bien que la compétence soit attribuée à la lignée, notons qu'au sein de la lignée le choix se porte sur un individu en qui l'on décèle le charisme et des prédispositions surnaturelles pour endosser la

pratique. Ce choix est un signe d'honorabilité et un sentiment de fierté au sein de la lignée. Une fois le choix porté, le don est pratiqué quasi-exclusivement, les autres activités devant être mises en veilleuse. On détient ainsi un thérapeute traditionnel spécialisé dans les fractures des membres par vocation et de métier.

La phase d'initiation a lieu dans la forêt où le savoir est transmis à travers des feuilles appliquées sur les yeux de l'élue. Les forêts confirment leur caractère central dans la pratique de la médecine traditionnelle. D'un point de vue symbolique, c'est le lieu où les rituels sont le plus souvent réalisés et également le lieu où sont prélevés les plantes aux vertus thérapeutiques. Les propos ci-dessous du thérapeute traditionnel l'exprime :

« Quant je suis allé dans la brousse, sur injonction des génies, les génies ont appliqué une potion sur mon œil et m'ont expliqué comment je dois procéder »

Après cette phase l'exercice peut démarrer avec son lot d'exigences et de sollicitation.

« J'ai arrêté d'aller au champ pour me concentrer sur le travail, ça fait 6 ans. Avant les 6 ans je faisais depuis mon enfance. Mais c'est maintenant je me suis consacré à ça. Parce que souvent y a des patients qui viennent ils sont obligés d'aller au champ pour me chercher. En ce moment il n'y avait pas assez de motos. Mais aujourd'hui avec l'avènement des motos, je n'ai plus le temps. Avant à Bebo ici il n'y avait pas assez de patients. Mais aujourd'hui les patients qui sont à Bebo ici peuvent atteindre la cinquantaine. Chaque deux jours tu vas aller voir des patients ici ça c'est sans compter les patients qui quittent à Bribouo, à Daloa. »

Le nombre de plus en plus élevé d'accidentés et la réputation de ce thérapeute traditionnel de soins sont de nature à le mobiliser totalement. L'arrière-plan de cette sollicitation est le reflet d'une efficacité reconnue et d'une pratique rigoureuse du don. Prodiguer des soins traditionnels pour traiter les fractures, en association avec d'autres activités est de nature à jeter l'irrespect sur la pratique et envers les esprits divins qui l'encadrent. Pratiquer des activités parallèles peut exposer à des interdits dont le respect, est le socle de l'efficacité de la pratique. Cela se traduit dans notre cas par la cessation de toutes activités parallèles notamment les travaux champêtres par le thérapeute traditionnel interrogé. Cette cessation est aussi due à la récurrence de l'utilisation des motos avec son lot d'indisciplines routières qui causent beaucoup d'accidents et augmentent le nombre de patients à traiter. Notons également que vue l'acceptation culturelle de la pratique au sein de la lignée

en amont de la désignation de la personne qui doit la conduire, on assiste à une solidarité de la lignée en ce sens que le tradithérapeute est royalement dispensé des activités champêtres et bénéficie du soutien des membres de sa famille. Précisons que la solidarité et l'entraide sont des valeurs culturellement présentes chez les malinkés. Les facteurs culturels et structurels sont ainsi convoqués pour asseoir l'exclusivité de l'exercice de cette vocation.

2.2. Pratique du don et perceptions associées

Le coût de la prestation du thérapeute traditionnel est symboliquement fixé à 5F CFA et c'est la première exigence avant de démarrer le processus de soins. Ce symbole exprime des croyances, des valeurs, des normes et des idées abstraites, et ils jouent un rôle crucial dans les rituels qui seront pratiqués. Les propos ci-dessous du thérapeute traditionnel l'exprime :

« ...la somme à exiger ne doit pas dépasser 5fcfa, même si tu n'as pas eu l'argent, tu auras la prospérité, tu seras heureux dans la vie.... Chaque année tu dois convoier les gains reçus au patriarche de la lignée au mali et c'est lui qui partage...mais c'est pas toujours que j'ai le temps de convoier ces fonds ..donc actuellement ça s'est accumulé.... ».

Pièces collectées relatives au coût de la prestation



La pièce de 5 franc CFA est la plus petite unité monétaire en Côte d'Ivoire. Les remèdes employés peuvent inclure des plantes, mais dépendent des associations symboliques qui les accompagnent. Sous cet angle le tradipraticien traitant, se résume en un simple exécutant par qui, les esprits divins agissent. De ce fait, il ne lui appartient pas d'engranger ou de s'enrichir de cette pratique mais uniquement d'honorer les ancêtres et autres devins qui en retour lui garantissent une protection et une vie sociale respectée. Le

thérapeute traditionnel s'expose à des sanctions s'il outrepassé cette règle, comme l'exprime ces propos du thérapeute traditionnel :

« Si je me base sur la santé financière du patient pour lui exiger par exemple 10000 FCFA, moi-même je peux avoir un membre cassé et je vais me promener 10 ans sans solutions.... ».

Le strict respect de cette prescription est essentiel pour assurer l'efficacité du traitement et revêt une importance centrale vue que la pratique engage toute la lignée.

Précisons également que l'os a une signification particulière en pays malinké. Les propos ci-dessous du thérapeute traditionnel l'exprime :

« on appelle ça "kolo" en Malinké... C'est l'os qui supporte tout... Sans os tu ne peux pas aller au champs tu ne peux rien faire... L'os est comme un caoutchouc. En cas de fractures, souvent l'os se tord, il prend toutes les formes. Que quand ils arrivent chez moi, je mets médicament dessus et l'os se répare... ».

L'os est une composante majeure de la vitalité et de la capacitation sociale. Une défaillance au niveau de l'os résume l'homme à un état de limitations fonctionnelles qui le rend incapable à faire face à ses obligations nécessaires et à sa participation sociale. Sa défaillance fait état d'infériorité et source de marginalisation et stigmatisation sociales. Cela est d'autant plus important en milieu rural avec la prédominance des activités agricoles et autres activités demandeuses de bonnes conditions physiques tant au niveau des hommes et des femmes, enfants comme adultes. La comparaison de l'os à un caoutchouc met en avant l'une des propriétés biologiques d'un os à savoir la malléabilité et la souplesse. En effet au-delà de son caractère apparemment rigide, l'os est un tissu vivant, tout comme la peau ou le muscle. Il est déformable et peut prendre diverses formes en fonction de l'action exercée et de certains facteurs pathologiques. Cette propriété fonde son redressement en cas de fracture et est le principe de toute action thérapeutique.

Image mettant en évidence la souplesse de l'Os



Après le paiement du coût symbolique de 5 franc CFA, le premier diagnostic sur le pronostic vital du patient est posé. Dans les cas où la fracture est à un stade très avancé où la vie du patient est fortement menacée, le patient est renvoyé chez lui après administration des premiers soins.

« Généralement quand quelqu'un vient chez nous et puis on sait qu'il ne va pas s'en sortir, on ne te garde pas. On te donne le médicament et on te dit va à la maison...quant ton pieds est déjà pourrit....Parce que dire à un malade que tu ne vas pas t'en sortir, tu accélères sa mort. ... »

Le thérapeute traditionnel préfère ne pas communiquer un diagnostic grave car ce serait annoncer au blessé une mort imminente. Cette annonce peut souvent se présenter comme un aveu d'impuissance et d'autres craignent d'être perçus comme un thérapeute qui n'est pas à la hauteur. Il y a également la crainte de ne pas savoir réagir aux réactions que cette annonce pourrait engendrer. D'autres cas sont également référencés pour des soins préalables avant d'achever le traitement du thérapeute traditionnel.

« .. Y a des gens quand ils viennent que y a fracture, y a des os qui se superposent comme ça. Mais y a d'autres aussi ça se casse. Donc quand je vois qu'on n'arrive pas à les joindre, je t'envoie à Yamoussoukro, y a un médecin là-bas qui opère pour mettre fer pour

que je puisse continuer mon travail. Ya d'autres aussi, je leur dis aller faire radio, je regarde radio là et puis je fais le travail..... »

Cette référence permet à partir de l'hématome fracturaire de développer un tissu fibreux granuleux avec apparition de néo-vaisseaux amenant des cellules ostéo-inductrices et ostéoformatrice. Également le thérapeute traditionnel a développé des indicateurs de reconnaissance de la gravité des fractures comme la rétention urinaire.

« ...Si les patients urinent c'est bon mais s'ils n'urinent pas c'est un peu difficile... »

« ...quand quelqu'un vient et que c'est compliqué, je m'en vais consulter les génies pour leur demander ce qu'il faut faire. Et les génies me disent faut faire tel sacrifice et quand je fais, les génies me disent ce que je dois faire... »

La première action menée par le thérapeute traditionnel spécialisé dans les fractures des membres est de consulter les génies pour recevoir des orientations en termes de sacrifices à faire. Cette action confirme la sacralisation de la pratique et la structure autour de trois étapes à savoir : informer les mandants divins, en vue d'obtenir leur approbation conformément aux prescriptions convenues, construire l'environnement de guérison et marquer sa reconnaissance. L'information ainsi transmise aux mandants divins s'apparente à un cas de confiage à ces esprits. Cet acte est de nature à maintenir avec ces esprits, une bonne collaboration et à amorcer la réussite de l'acte thérapeutique qui sera prodigué. Cet acte déclenche la structuration de la thérapie à appliquer et les types de sacrifices nécessaires. Il s'agit également d'une démarche de reconnaissance envers les esprits divins dont la sollicitation permanente et constante fait office d'allégeance et de soumission. Relevons également que chez les Malinkés, les comportements de soumission à l'autorité et à l'ordre établi sont valorisés. Le thérapeute traditionnel, déjà investi culturellement, se doit d'honorer le contrat de soumission conclut lors de l'initiation.

Ces sacrifices sont importants dans la mesure où certaines fractures sont attribuées à des refus d'exercer spirituellement attribuées comme l'exprime ces propos du thérapeute traditionnel :

« ...les génies choisissent souvent certaines personnes pour qu'elles soient charlatan...Et quand ces personnes refusent, les génies se mettent en colère et créent des fractures pour empêcher ces derniers de faire autres choses Dans ce cas, on interroge ces génies en

colère pour savoir les sacrifices à faire avant de démarrer le traitement. »

Après toutes ses actions destinées à assainir l'environnement des soins, l'acte peut démarrer avec l'utilisation principale du beurre karité et d'une poudre noire.

« J'utilise le beurre de karité et une poudre noire ».

D'origine africaine et utilisé depuis des siècles, le beurre de karité est connu pour avoir de nombreuses vertus thérapeutiques telles que des propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, émollientes et hydratantes. La poudre noire quant à elle est élaborée à partir d'écorces d'arbres ; les essences utilisées sont ténues secrètes sur prescription des génies. Le mélange est également réalisé dans un récipient homologué par les génies.

Image mettant en évidence la poudre noire utilisé et le récipient qui sert à la préparation



« Avant ce n'était pas dans les assiettes, c'était dans les houes, les grosses dabas ou bien canaris cassés qu'on mettait pour écraser le médicament. Maintenant j'ai demandé aux parents et aux génies si je peux avoir l'autorisation de faire dans les assiettes pour faciliter le travail. Puisque, on doit mettre au feu et ls ont acceptés. » Propos du thérapeute traditionnel

Des incantations sont prononcées sur la mixture suivies de son application sur le membre quotidiennement. Ces applications sont censées favoriser l'union osseuse et consolidées la guérison du membre fracturé.

A mesure que la consolidation est observée, le malade à l'autorisation de rentrer chez lui et de revenir voir le thérapeute traditionnel pour le suivi du traitement. La rééducation démarre sur le site des soins avec l'aide de certains aidants qui travaillent avec le thérapeute traditionnel et se poursuit en famille dans le souci de faciliter la réintégration familiale.

« Je ne peux pas donner le temps exact. Il y a des gens qui peuvent faire deux semaines pour guérir, il y a d'autres c'est 3 mois, 5 mois, 1 an, 2 ans. Ça dépend de l'organisme de chaque personne et de ce qui est derrière la personne. Donc je ne peux dire quel tel malade va libérer le mois prochain ».

Comme l'exprime les propos du thérapeute traditionnel, ci-haut, le temps de guérison varie d'une personne à l'autre en fonction de l'organisme. Cette variabilité exprimée sur le temps de guérison met en évidence les phénomènes physiologiques complexes qui aboutissent à la cicatrisation du tissu osseux. Ces propos révèlent également l'existence de facteurs influençant la consolidation à savoir, le siège de la fracture, l'âge du patient, L'immobilisation insuffisante et l'infection. Toutefois le procédé de guérison reste le même à savoir appliquer la mixture décrite plus haut en plus des incantations et suivre l'évolution quotidiennement.

Discussion

L'émergence de la médecine traditionnelle en traumatologie n'est plus à démontrer. Traoré et al. (2021) montrent qu'au Mali, la médecine traditionnelle en traumatologie orthopédique conserve une place importante à côté de la médecine moderne et est étroitement liée à l'univers socioculturel, tout comme dans notre étude. Leur recherche indique que les accidents lors de jeux sont les plus courants. Les sorties contre avis médical sont favorisées par le manque de ressources financières, l'accessibilité limitée aux services de santé et un accueil inadéquat dans les structures sanitaires, avec une durée moyenne d'hospitalisation de huit jours.

Une autre étude menée par Simaga et al. (2023) au Mali, axée sur la tradithérapie des traumatismes physiques, affirme que ce type de traitement est une pratique séculaire. Les résultats de cette étude confirment les nôtres en ce sens qu'ils montrent dans le cas présent la pratique existe dans la lignée du thérapeute depuis son ascendance et est transmise de génération en génération. Les raisons de ce choix ne sont pas bien comprises, mais il est probable que la proximité, le coût et l'efficacité perçue soient des facteurs déterminants.

La prise en charge des patients peut être collective ou individuelle. L'attrait pour la traumatologie traditionnelle est un phénomène social multidimensionnel, englobant des aspects socioculturels, économiques et

géographiques. En effet dans notre cas nous avons noté l'existence de prédispositions et liens de préférences des communautés pour la médecine traditionnelle au regard du nombre de patients traités par le tradi-thérapeute. La quasi-gratuité des soins est également un aspect économiquement important qui pèse dans la décision en plus de la proximité géographique.

Parmi tous les déterminants, la proximité et l'accessibilité des tradipraticiens sont les plus importants selon les acteurs, suivis par le temps, le coût des soins et la distance.

Plusieurs écrits abordent également les risques liés à cette pratique. Bien que notre étude n'ait pas traité ces aspects, nous les retenons comme des perspectives intéressantes à explorer. Par exemple, Abdellaoui et al. (2020) soulignent que le traitement traditionnel des fractures des membres reste courant au Maroc en raison de son accessibilité économique pour les populations éloignées. Cette pratique consiste en une contention circulaire traditionnelle souvent serrée du membre après un traumatisme, avec ou sans manœuvres de réduction non fondées scientifiquement. Il est important de noter que les traumatismes sont parfois bénins et que les membres ne sont pas toujours fracturés. Cependant, la gravité des complications liées au serrage peut varier, allant d'un simple œdème à des syndromes de loges et de Wolkmann, voire à la gangrène. Même si la phase aiguë se passe sans incident, des complications telles que des pseudarthroses, des cals vicieux et diverses déformations des membres peuvent survenir. Il est crucial de rappeler le danger que cette pratique représente, surtout chez les enfants, et de souligner la nécessité d'un encadrement de cette méthode, qui reste largement répandue dans les pays africains.

Toujours au Maroc, Bassi (2007) a mené une enquête visant à évaluer la pratique de la traumatologie orthopédique traditionnelle à travers une étude de 150 patients consultant les « Jebbars » de Marrakech, en mettant en avant son aspect médical. Il en ressort que la médecine traditionnelle est profondément enracinée dans le pays.

Le guérisseur traditionnel spécialisé en traumatologie orthopédique, connu sous le nom de « Jebbar » dans le langage populaire marocain, prend en charge des patients âgés de 1 mois à 84 ans, avec une moyenne d'âge de 33 ans. La plupart des patients sont des victimes d'accident dûs à l'imprudence, accident de travail ou une agression. Parmi les traumatismes du membre supérieur, certains patients ont des lésions à la main et au poignet, tandis que d'autres patients ont des blessures à la cheville et au pied pour les membres inférieurs. En termes de traitement la prise en charge se fait par massage comme dans notre cas.

Concernant la collaboration entre médecine moderne et traditionnelle évoquée dans notre étude, Kroa, Diaby, et Niaré (2014) ont mené une analyse sur la collaboration entre tradipraticiens et praticiens modernes de santé dans

la région du Sud-Bandama en Côte d'Ivoire. Cette étude, transversale, ciblait le personnel de santé, médical et paramédical, exerçant dans les établissements sanitaires de la zone d'étude ainsi que les tradipraticiens des villes et villages sélectionnés. Les informations recherchées portaient sur la collaboration entre les deux médecines, ainsi que sur les obstacles à cette collaboration. Les résultats montrent que la collaboration entre la médecine traditionnelle et la médecine moderne n'est pas encore pleinement établie en Côte d'Ivoire. Pour tirer parti du savoir des tradipraticiens et promouvoir la santé, il est nécessaire de favoriser une collaboration réelle et sincère entre les praticiens des deux systèmes.

En ce qui concerne les incantations et rituels associés aux soins traditionnels, Yoro (2010) relevait que, malgré l'influence de la médecine moderne occidentale, la médecine traditionnelle africaine reste populaire auprès des populations africaines. Depuis les indépendances, elle continue d'être pratiquée. Face à l'augmentation du nombre de personnes, tant rurales qu'urbaines, ayant recours à cette médecine, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a demandé aux gouvernements africains de l'intégrer efficacement dans leurs systèmes de santé.

Cet appel a éveillé l'intérêt des chercheurs, notamment dans les sciences de la santé, pour la valorisation de cette médecine. Cependant, ce processus se concentre principalement sur la valorisation biochimique. En d'autres termes, les spécialistes de la biochimie se contentent d'analyser les principes actifs des plantes médicinales et de les transformer en produits pharmaceutiques, négligeant les protocoles thérapeutiques des praticiens traditionnels et les systèmes symboliques associés aux savoirs et pratiques en Afrique. Le contexte, les spécificités des protocoles de fabrication des médicaments et les praticiens traditionnels eux-mêmes sont ainsi ignorés ou marginalisés, leur rôle se limitant à l'identification et à la fourniture des plantes médicinales.

Conclusion

Cette étude visait à décrire les pratiques thérapeutiques d'un thérapeute traditionnel spécialisé dans les fractures des membres, plus précisément dans la localité de Bébouo Sibouo (Haut Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Nous nous sommes intéressés aux contextes socio-culturels qui régissent l'acte thérapeutique et les institutions sociales associées. A travers cet article nous notons l'importance du symbolique dans le rapport de nos sociétés à la maladie qui conditionne l'efficacité thérapeutique. On observe des prédispositions et des préférences marquées des communautés pour la médecine traditionnelle, comme en témoigne le nombre élevé de patients en traitement chez le tradi-thérapeute étudié. L'aspect économique joue également un rôle crucial, avec la quasi-gratuité des soins influençant la

décision, à laquelle s'ajoute souvent la proximité géographique. Nous avons constaté que la compétence du thérapeute traditionnel spécialisé dans les cas de fractures des membres est profondément ancrée dans la culture familiale et se transmet de génération en génération, conférant à la lignée une notoriété exclusive pour cette pratique. Le coût de la consultation et des services est symbolique, déterminé par les esprits divins. Le processus thérapeutique est profondément empreint de symbolisme en association avec les plantes médicinales. Au-delà de tous ses aspects, notons l'existence de perceptions individuelles des patients dans le choix de s'orienter vers ses thérapeutes. Cette dimension mérite d'être documentée dans une visée complémentaire pour comprendre tous les éléments qui motivent à la sollicitation de ses thérapeutes traditionnels spécialisés dans les cas de fractures des membres.

Déclaration pour les participants humains: Cette étude a été approuvée par le Comité d'examen institutionnel de L'université Jean Lorougnon Guédé de Daloa – Côte d'Ivoire et les principes de la recherche éthique ou la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

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

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

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

References:

1. Abdellaoui, H., et Abderahmane, A. (2020). Complications du traitement traditionnel des traumatismes des membres chez l'enfant: malheur à éviter dans un pays africain émergent. *PAMJ-Clinical Medicine*, vol. 2, no 22.
2. Adendjingue, D. M., mouassede, M., madjirebaye, K., Salia, O., & Amoné-né, D. O. (2022). Complications des traitements traditionnels des traumatismes des membres au CHU Le Bon Samaritain de Walia (N'Djamena, Tchad). *Médecine Tropicale et Santé Internationale*, 2(1).
3. Bassi, L. (2007). *Traitement Traditionnel en traumatologie orthopédie: aspect médical*. Thèse de doctorat. Thèse, médecine, Maroc, faculté de médecine et de pharmacie Marrakech, 2007, 73p.
4. Hobert, I., & Gaudart, P. (2019). L'ethnomédecine: guérir grâce au dialogue transculturel. *Allemagne d'aujourd'hui*, 121-124.

5. Kamanzi, A. (2002). Plantes médicinales de Côte d'Ivoire: Investigations phytochimiques guidées par des essais biologiques. *Doctorat d'Etat ès-Sciences en biologie végétale. UFR Biosciences, Université de Cocody, Abidjan.*
6. Kitwa, A.Y., Malebo HM. (2004). Malaria control in Africa and the role of traditional medicine. In *Traditional Medicinal Plants and Malaria*. Press., Boca raton.
7. Kroa, E., Diaby, B., Niaré, A. (2014). Analyse de la collaboration entre médecines traditionnelle et moderne dans la région du Sud Bandama (Côte d'Ivoire). *Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, 2014, vol. 17, no 1.
8. OMS <http://whqlib.who.int/hq/2002/WHO-EDM-TRM-2002.1-fr.pdf> Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005.
9. Ministère de la sante, de l'hygiène publique et de la couverture maladie universelle. (2021). Plan national de développement sanitaire 2021-2025. Côte d'Ivoire.
10. Pires, A. (1997). Criminologue, École de criminologie, Université d'Ottawa "Échantillonnage et recherche qualitative: essai théorique et méthodologique".
11. Sidio, S. R., N'guessan, K., & WANGNY, A. A. S. (2020). Médecine traditionnelle et spécificité des tradithérapeutes du Département de Gagnoa, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 17(2), 160-176.
12. Simaga, M., SANOGO, R., et Diakite, B. (2023). Tradithérapie des Traumatismes Physiques dans la Commune de Souba à Ségou, Mali. *Revue Hommes-Peuplements-Environnements*, vol. 4, no 8, p. 44-59.
13. Sutherland, E. (1937). *The Professional Thief*, Chicago, University of Chicago Press
14. Traore, T., Toure, L., Diassana, M., Malle, K., Diallo, S., Diallo, A., Aristote, H. (2021). Amputation des Membres Suite au Traitement Traditionnel à l'Hôpital de Mopti (Mali) Limb amputation due to traditional treatment at the hospital of Mopti (Mali) *Health Sci. Dis: Vol 22 (4) pp 76-80.*
15. World health organization. (2002). Stratégie de l'OMS pour la Médecine Traditionnelle pour 2002–2005. Genève. YORO, B.M. (2010). Rôle de l'anthropologue dans la revalorisation de la médecine traditionnelle africaine, *Recherches qualitatives, Contribution de la recherche qualitative à l'émancipation des populations négligées II*, Volume 29, numéro 2.

Caractérisation et évaluation de l'aptitude culturelle d'un sol pour la production de tomate sous climat tropical semi-aride

Koulibi Fidèle Zongo

Centre Universitaire de Tenkodogo,
Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso

Daouda Guebre

Centre universitaire de Ziniaré,
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

Aboubacar Coulibaly

Ecole Normale Supérieure, Ouagadougou, Burkina Faso

Pakisba Anicet Wenceslas Daramkoum

Centre Universitaire de Tenkodogo,
Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso

Issouf Sanou

Bureau National des SOLS (BUNASOLS), Ouagadougou, Burkina Faso

Edmond Hien

Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre,
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p208](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p208)

Submitted: 15 August 2024

Accepted: 20 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zongo K.F., Guebre D., Coulibaly A., Daramkoum P.A.W., Sanou I. & Hien E. (2024). *Caractérisation et évaluation de l'aptitude culturelle d'un sol pour la production de tomate sous climat tropical semi-aride*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 208.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p208>

Résumé

Les connaissances empiriques de la nature des sols sont des contraintes pour la mise en valeur optimale de la ressource sol au sein des petites exploitations familiales du Burkina Faso. Ainsi, pour une meilleure valorisation sectorielle du potentiel des sols, la présente étude a consisté à la caractérisation et à l'évaluation de l'aptitude culturelle d'un sol pour la production de tomate. Le sol a été ainsi caractérisé selon les directives de la FAO (1994) et son aptitude culturelle déterminée selon le manuel d'évaluation des terres du Bureau National des Sols (BUNASOLS, 1990). Les résultats des

travaux révèlent que le sol est de type ferrugineux tropical lessivé induré profond et correspond à un *Lixisol endoplinthique*. Sur le plan physique, la structure est polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers, fins et moyens dans le premier horizon et massive dans l'horizon sous-. La texture du sol est limoneuse en surface, limono-argileuse dans la partie médiane et argileuse en profondeur. Sur le plan chimique, ce sol est caractérisé de l'horizon supérieur à celui inférieur par un rapport C/N de 7, un pH_{H_2O} moyennement acide de 6 à 5,7 ; une capacité d'échange cationique de 8,62 à 8,15 méq/100 de sol. En référence aux normes d'interprétation du BUNASOLS (1990), la valeur de la capacité d'échange cationique du sol est basse car comprise entre 5 et 10 méq/100 g de sol. En comparaison avec les exigences de la culture de la tomate, le sol présente des carences physiques liés à une mauvaise condition d'enracinement du fait de la profondeur effective limitée, la texture argileuse en profondeur limitant la pénétration et la colonisation des racines des plantes de tomate. Aussi, le sol est déficient en éléments nutritifs en raison de la basse valeur de la capacité d'échange cationique. Il découle ainsi de l'évaluation que le sol a une aptitude moyenne (S2nr) pour la culture de la tomate.

Mots-clés: Sol, caractérisation, évaluation technique, aptitude culturale, tomate, Burkina Faso

Characterization and Evaluation of Soil Suitability for Tomato Production in a Semi-Arid Tropical Climate

Koulibi Fidèle Zongo

Centre Universitaire de Tenkodogo,
Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso

Daouda Guebre

Centre universitaire de Ziniaré,
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

Aboubacar Coulibaly

Ecole Normale Supérieure, Ouagadougou, Burkina Faso

Pakisba Anicet Wenceslas Daramkoum

Centre Universitaire de Tenkodogo,
Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso

Issouf Sanou

Bureau National des SOLS (BUNASOLS), Ouagadougou, Burkina Faso

Edmond Hien

Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre,
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

Abstract

Empirical knowledge of the nature of soils is a constraint to the optimal use of soil resources on small family farms in Burkina Faso. With a view to making better use of soil potential by sector, this study involved characterizing and assessing the suitability of soil for tomato production. The soil was characterized in accordance with FAO guidelines (1994), and its suitability for cultivation was determined in accordance with the Bureau National des Sols land evaluation manual (BUNASOLS, 1990). The results of the work reveal that the soil is of the deep indurated leached tropical ferruginous type and corresponds to an endolithic Lixisol. Physically, the structure is subangular polyhedral, with coarse, fine, and medium elements in the first horizon and massive elements in the sub-horizon. Soil texture is silty on the surface, silty-clayey in the middle, and clayey at depth. Chemically, the soil is characterized from the upper to the lower horizon by a C/N ratio of 7; a moderately acidic $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ of 6 to 5.7; a cation exchange capacity of 8.62 to 8.15 meq/100g soil; and a sum of exchangeable bases of 4.59 to 6.13 meq/100g soil. In reference to the BUNASOLS (1990) interpretation standards, the cation exchange capacity of soil value is low, ranging from 5 to 10 meq/100 g of soil. Compared with the requirements of tomato cultivation, the soil shows physical deficiencies linked to poor rooting conditions due to the limited effective

depth, with the deep clay texture limiting the penetration and colonization of tomato plant roots. The soil is also deficient in nutrients due to its low cation exchange capacity. As a result of this assessment, the soil has an average suitability (S2nr) for tomato cultivation.

Keywords: Soil, characterization, technical evaluation, cultivation suitability, tomato

Introduction

La tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), est l'un des légumes-fruits les plus consommés dans le monde en général et au Burkina Faso en particulier. Elle occupe dans la culture maraîchère du pays, la seconde place après tt l'oignon bulbe, en termes de production et de superficies emblavées. C'est environ vingt un pourcent (21%) de la production maraichère totale du pays (MASA, 2013). La filière se distingue avec une production qui a atteint la barre des 300 000 tonnes l'an. La superficie emblavée en tomate était de 10 284 ha (MAAH, 2021). La superficie a augmenté de 1 519 364 ha de 2018 à 2021 soit une hausse superficiare de 32 %, imputable aux actions de soutien gouvernemental à la filière (MAAHM, 2021a). Malgré cette hausse de production, la demande en tomates du marché intérieur burkinabè n'est pas satisfaite. La culture de tomate constitue de ce point de vue une véritable opportunité d'activité génératrice de revenue pour une réduction de la pauvreté en milieux péri-urbain et rural (SCADD, 2010). La production de tomate d'une valeur totale estimée à 17 469 073 587 FCFA représentait 21 % du chiffre d'affaires des maraichers (MAH, 2011).

La tomate préfère les terres à texture limoneuse, profondes, bien drainées et riches en matières organiques (Shankara *et al.*, 2020). Cependant, les caractéristiques pédologiques du Burkina Faso ne permettent pas une optimisation de la production. En effet, l'une des contraintes à la production de la tomate est la pauvreté physico-chimique et biologiques des sols. Les principales causes de la dégradation des terres agricoles sont l'érosion des sols et la culture continue avec peu ou pas d'intrants (Tully *et al.*, 2015 ; Nezomba *et al.*, 2017). L'érosion hydrique serait responsable de la dégradation de 227 millions d'hectares en Afrique et causerait une perte de production de 280 millions de tonnes de céréales par an (ELD INITIATIVE et UNEP, 2015). Aussi, la faible teneur en matière organique due à l'exportation des résidus, le surpâturage et le brûlage de la biomasse ; et le labourage excessif et la culture de terres marginales sont les causes de cette dégradation (Jones *et al.*, 2015 ; Nezomba *et al.*, 2017). En guise d'exemple, les pertes d'éléments nutritifs dues uniquement à l'érosion dans les sols africains varient de 10 à 45 kg de NPK/ha par an (Henao et Baanante, 2006). Il a été estimé que sur les quelque 494 millions d'hectares de terres en Afrique subsaharienne touchées par la

dégradation des sols, 46 % sont affectés par l'érosion hydrique, 38 % par l'érosion éolienne, 12 % par la dégradation chimique et 4 % par la dégradation physique (FAO et ITPS, 2015). La dégradation des sols est en augmentation dans la région, avec plus de 20 % des terres déjà dégradées dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, affectant plus de 65 % de la population ; cela entraîne des effets négatifs importants sur la production alimentaire et les moyens d'existence (FAO et ITPS, 2015).

Au Burkina Faso, selon la situation de dégradation des terres en 2018, il ressort qu'environ 31 % du territoire est touché par la dégradation des terres (MAAHM, 2021b). Selon Pallo *et al.* (2008 et 2009), dans les régions sahélienne et sud-soudanienne du pays, la teneur en matière organique totale est de 0,6%, donc faible. Or, la teneur en matière organique, en influençant les propriétés physico-chimique du sol détermine sa richesse biologique et en éléments minéraux (Pallo *et al.*, 2006). De plus, les sols du Burkina sont initialement pauvres en éléments nutritifs essentiels notamment en azote et phosphore (Bationo *et al.*, 2014). Les teneurs en azote et en phosphore de la majeure partie des sols sont généralement inférieures à 0,06 % (UA/SAFGRAD, 2010). Le déficit en éléments nutritifs était évalué à 14 kg N, 2 kg P₂O₅ et 10 kg K₂O par hectare selon Bationo *et al.* (1998). Les extractions annuelles de nutriments du sol étaient de -43 kg NPK/ha en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso dans les systèmes d'agriculture minière (Henaou et Baanante, 006). Cette dégradation des sols entraîne une baisse de leurs fertilités et productivités. Pour insuffler une dynamique d'amélioration de la production des cultures en générale et de la tomate en particulier, il est nécessaire de cerner les caractéristiques des sols afin d'identifier les leviers de leurs performances agronomiques. Les informations sur le sol et de ces propriétés associées obtenues à partir de l'étude et de la classification du sol peuvent aider à leur meilleure utilisation. Ainsi, la présente étude vise à caractériser un sol en relevant les informations relatives à l'utilisation et à déterminer l'aptitude ou non à la culture de la tomate.

1. Matériel et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été conduite dans la commune rurale de Nanoro (WGS84, 30P 577800, 1393390 UTM) dans la région administrative du Centre Ouest du Burkina Faso (Figure 1). La commune appartient à la région climatique soudano sahélienne avec un régime climatique monomodale : une saison sèche et une saison pluvieuse. Les sols du site d'étude appartiennent à quatre classes, à savoir, les sols minéraux bruts, les sols brunifiés, les sols a sesquioxydes de fer (ou de manganèse) et les sols hydromorphes (BUNASOLS, 2014). La fertilité des sols et l'irrégularité de la pluviométrie sont les contraintes auxquelles les producteurs adaptent leurs pratiques culturales.

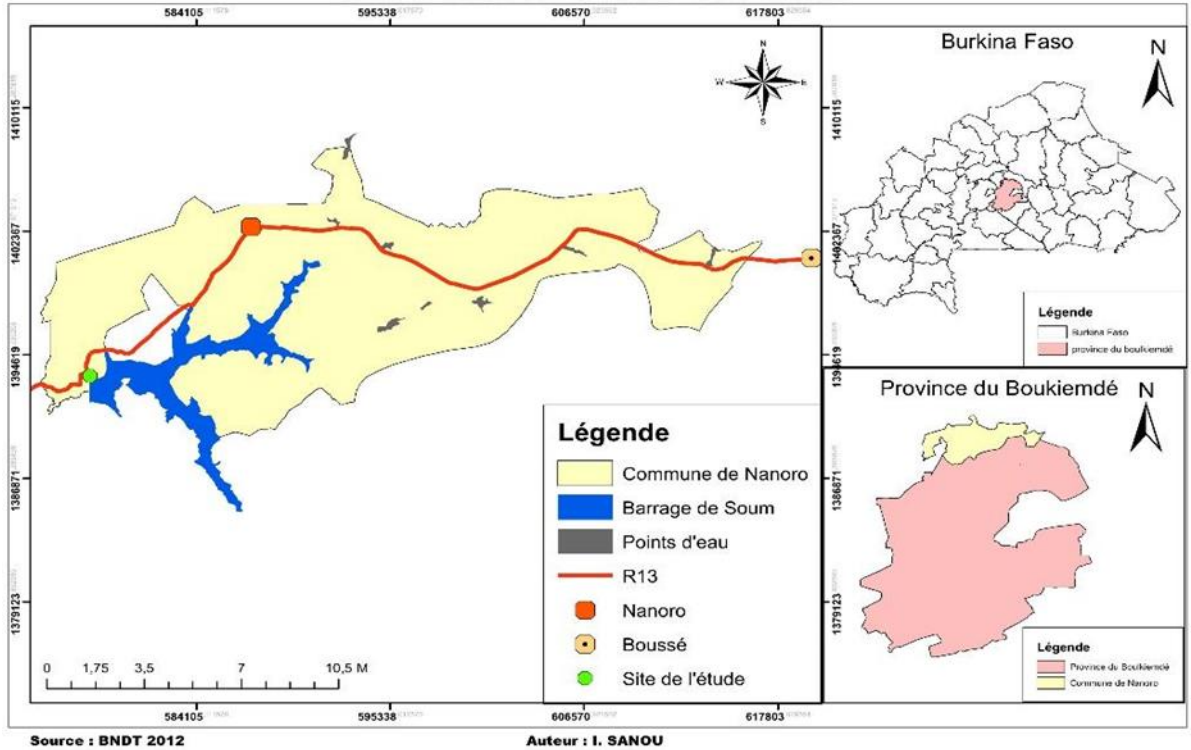


Figure 1. Localisation du site de l'étude

La pluviométrie moyenne des 10 dernières années a été de $900,40 \pm 67,40$ mm. Cette pluviométrie a varié de 795,30 mm en 2013 à 1010,30 mm en 2021 (Figure 2).

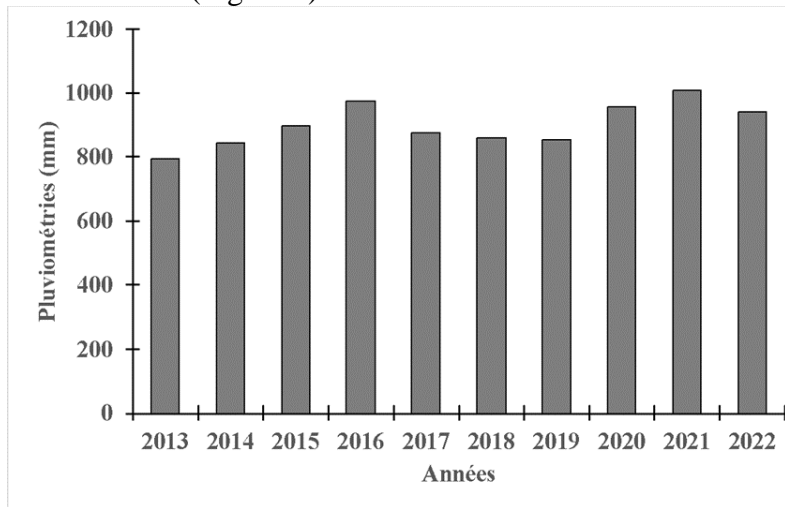


Figure 2. Variation de la pluviométrie du site d'étude de 2013 à 2022

La figure 3 montre que de 2013 à 2022, les mois de novembre et de décembre sont les moins pluvieux avec respectivement 0 mm et le mois d'août le plus pluvieux avec en moyenne $282,10 \pm 52,19$ mm. Les températures moyennes au cours de cette même période ont été de $35,84 \pm 2,86$ °C avec un pic de 40,55 °C en avril et une température moyenne basse de 31,57 °C en août (Figure 3).

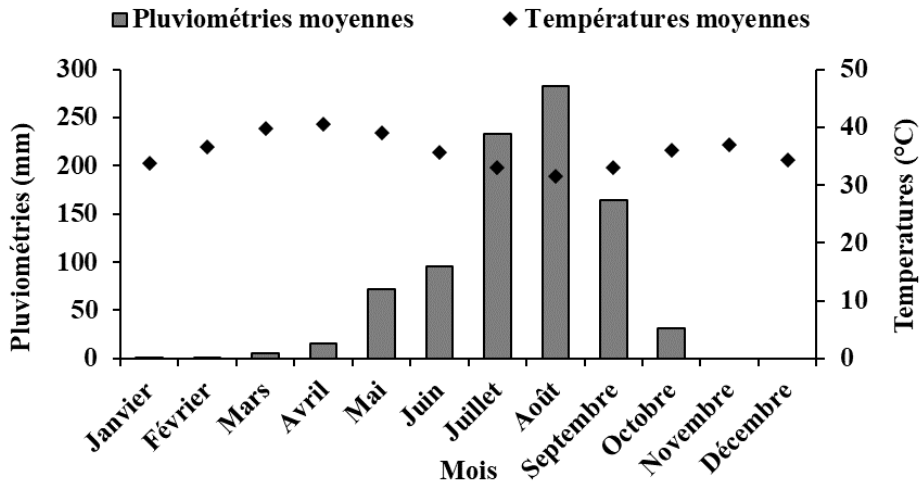


Figure 3. Variation de la pluviométrie et de la température moyennes mensuelles de 2013 à 2022

Les principales formations végétales rencontrées dans la commune rurale de Nanoro sont la savane herbeuse, arbustive et la forêt galerie le long des cours d'eau (Fontes et Guinko 1995). La végétation naturelle du périmètre est fortement perturbée du fait des activités anthropiques. Les espèces ligneuses courantes sont (Fontes et Guinko 1995): *Lannea microcarpa* ; *Parkia biglobosa* ; *Guiera senegalensis* ; *Vitellaria paradoxa* ; *Ziziphus mauritiana* ; *Azadirachta indica* ; *Balanites aegyptiaca* ; Le réseau de drainage des eaux est colonisé, dans sa partie orientale consacrée aux activités pastorales, par un peuplement de *Mitragyna inermis* et *Piliostigma thonningii* et dans les parties fortement exploitées en agriculture, par des espèces plus rares de *Ficus gnaphalocarpa* ; *Acacia seyal* ; *Terminalia macroptera*. La strate herbacée est diversifiée et comprend : *Boerhavia diffusa* ; *Gomphrena seratta* ; *Echium vulgare* ; *Amaranthus spinosus* ; *Euphorbia prostrata* ; *Vetiveria nigricans* ; *Andropogon ascinodis* ; *Andropogon gayanus* ; *Pennisetum pedicellatum* ; *Hyptis spicigera* ; *Loudetia togoensis*.

1.2. Caractérisation morphopédologique du sol

Les travaux de terrain ont été effectués sur le site d'étude d'une superficie de 5 ha. L'emplacement du profil étudié a été effectué par la

méthode du quadrillage systématique associée à celle de la topo séquence. Le terrain étant moins complexe, les observations ont été faites selon la méthodologie de prospection pédologique (BUNASOLS,1989). L'étude étant réalisée à une échelle de 1/5 000^{ème}, 4 observations par ha pour un total de 20 observations ont été effectuées. A l'issue des observations, 3 profils ont été ouverts et décrits, et un seul profil représentatif a été retenu pour la présente étude. Le profil pédologique a été décrit suivant les directives de la FAO (1994) adapté au contexte pédoclimatique burkinabé dans le document technique n°6 du BUNASOLS (1990). Les couleurs du sol étudié sont déterminées à l'aide du Code Munsell (édition, 2000). La classification du sol a été faite conformément à celle de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS, 1967). Des corrélations ont été faites avec la Base de Référence Mondiale pour les ressources en sols (WRB 2015). Les principales caractéristiques morphopédologiques ont été ainsi déterminées.

1.3. Méthodes d'analyse physique et chimique des sols

Le prélèvement des échantillons a été fait après la description du profil pédologique. Cinq cent gramme (500 g) de terre ont été prélevé par horizon. Au total trois échantillons dans un profil, à raison d'un échantillon par horizon ont été prélevés. Les échantillons du sol prélevés ont été ensuite séchés et, tamisés à 2 mm pour les analyses. Les paramètres physiques et chimiques des échantillons de sols ont été déterminés selon les méthodes consignées dans le tableau I.

Tableau I. Méthodes d'analyse des paramètres du sol

Paramètres analysés	Méthodes utilisées
Granulométrie 3 fractions	Par hydrométrie spéciale calibrée à 20 °C
Matière organique	Walkey and Black (1934)
Potassium disponible	Houba <i>et al.</i> (1988)
Phosphore assimilable	Bray, Kurtz (1945)
Azote et phosphore total	Kjeldahl (1883)
Bases échangeables/CEC	Metson (1956)
pHH ₂ O	AFNOR (1999)

1.4. Méthode d'interprétation des résultats de caractérisation des sols

La fertilité du sol étudié a été déterminée à partir des paramètres analytiques. Cette étude étant pour une mise en valeur de ce sol, le maraîchage modéré (B42) a été préalablement défini comme type d'utilisation. Ainsi, six (06) qualités du sol jugé pertinentes ont été choisies pour une description quantitative de leurs facteurs diagnostiques. Ces qualités sont le régime thermique (c), la disponibilité en eau (m), la disponibilité en oxygène dans la zone racinaire (w), la disponibilité en éléments nutritifs (n) et la capacité de rétention (n'), les conditions d'enracinement (r), puis le risque d'inondation (i). Des valeurs moyennes pondérées de ces paramètres ont été calculées dans

les 40 premiers centimètres selon les normes techniques du BUNASOLS (1990) pour la matière organique, l'azote total, le phosphore total, le phosphore assimilable, le potassium total et le potassium disponible. Il a porté principalement sur les 40 premiers centimètres du sol compte tenu des types d'utilisation des terres envisagés. Ces valeurs sont calculées à partir de la formule suivante :

$$P = (A \times H_1) + (40 - H_2) B / 40$$

Avec : P = valeur du paramètre chimique; H₁ = épaisseur de l'horizon 1 ; H₂ = épaisseur de l'horizon 2 ; A = valeur lue du paramètre chimique sur H₁ ;
B : valeur lue du paramètre chimique sur H₂ ; et 40 = constante

Si H₂ > 40 on applique la formule ; si H₂ < 40 on continue sur l'horizon suivant et on applique la formule. Ainsi, pour les autres paramètres, il a été pris en compte la profondeur 40 à 100 cm. Si le profil ayant présenté une induration à moins de 100 cm la profondeur utile est à considérer.

Les données de terrain et de laboratoire, ainsi que l'évaluation de la qualité agronomique du sol ont été interprétées en référence aux normes internationales adaptées par le BUNASOLS (1990) aux réalités pédoclimatiques du Burkina Faso (Tableaux II et III).

Tableau II. Classe d'interprétation des paramètres chimiques

Paramètres sols	très bas	bas	moyen	élevé	très élevé
Matière organique (MO) %	< 0,5	0,5 - 1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	> 3,0
Azote total (N) %	< 0,02	0,02-0,06	0,06-0,10	0,10-0,14	> 0,14
Phosphore assimilable (P) Ppm	< 5	5 - 10	10-20	20- 30	> 30
Phosphore total (P') ppm	< 100	100 - 200	200-400	400-600	> 600
Potassium disponible (K) Ppm	< 25	25 - 50	50-100	100-200	> 200
K total (K') pmm	< 500	500-1000	1000-2000	2000-4000	> 4000
CEC (T) méq/100g	< 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Saturation en bases (S/T) %	< 20	20 - 40	40-60	60 - 80	> 80
Somme des bases (S) méq/100g	< 1	1 - 6	6 - 11	11 - 16	> 16

Source : BUNASOLS, 1990

Tableau III. Classes d'interprétation du pH et du rapport C/N

	Extrêmement acide	Très fortement acide	Fortement acide	Moyennement acide	Faiblement acide à neutre	Légèrement alcalin
pH_{H2O}	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,3	7,4-7,8
Rapport C/N	6	8	9-10	11-12	13-14	15-20
	Très faible	Faible	Normal	Légèrement élevé	Elevé	Très élevé
	Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique		Sol d'activité biologique réduite et une décomposition lente de la matière organique	

Source : BUNASOLS, 1990

1.5. Méthodes de détermination de la classe d'aptitude culturale

Les classes d'aptitudes sont représentées par des lettres minuscules pour les aptitudes partielles et majuscules pour les aptitudes finales : S1 – s1 : aptitude élevée, pas de limitations sérieuses ou seulement mineures pour la production ; S2 – s2 : aptitude moyenne, limitations moyennement sérieuses réduisant la production ; S3 – s3 : aptitude marginale, limitations sérieuses réduisant considérablement la production ; N1 – n1 : inaptitude actuelle, ayant des limitations surmontables avec le temps mais qu'on ne peut pas corriger actuellement à un prix acceptable ; N2 – n2 : inaptitude permanente, ayant des limitations très sérieuses interdisant toutes possibilités de réussite. Les classes d'aptitudes S2, S3 et N1 sont accompagnées d'une ou deux lettres minuscules indiquant la ou les contraintes. Exemple : S2nr indique une aptitude moyenne à cause des contraintes de fertilité (n) et des problèmes d'enracinement (r).

Le régime thermique (c) : Il s'applique aux températures de la période de croissance des cultures dont les termes critiques correspondent à des valeurs minimales et maximales de température pour chaque type d'utilisation. La température moyenne de la période de croissance est le facteur diagnostic de cette qualité de terres. Elle influe sur la vitesse de croissance des plantes.

La disponibilité en eau (m) : La disponibilité en eau pour la réussite d'un Type d'Utilisation des Terres est influencée par plusieurs facteurs dont le climat, le sol, les formes de terrain et l'hydrologie. Elle a été estimée à partir de la pluviométrie moyenne annuelle et de la longueur de la période de croissance. La réserve en eau qui varie d'un type de sol à l'autre et d'un profil à l'autre n'a pas été pris en compte dans la présente évaluation.

La disponibilité en oxygène dans la zone racinaire (w) est assurée par le drainage naturel interne des sols et déterminée par les observations sur le terrain (couleur du sol, taches d'oxydoréduction, présence de nappe phréatique). La classe de drainage FAO est le facteur diagnostique qui permet d'apprécier cette qualité : Classe 0 : drainage très pauvre ; Classe 1 : drainage pauvre ; Classe 2 : drainage imparfait ; Classe 3 : drainage modéré ; Classe 4

: drainage normal ; Classe 5 : drainage légèrement excessif ; Classe 6 : drainage excessif.

La disponibilité en éléments nutritifs (n) et la capacité de rétention (n') : les facteurs diagnostiques retenus l'appréciation sont : la classe de fertilité estimée à partir de la somme des bases (S), la réaction du sol (pH) et la capacité d'échange cationique (CEC), permettant d'évaluer les quantités maximales d'engrais à apporter en évitant des pertes par lessivage.

Les conditions d'enracinement (r) sont déterminées par la profondeur effective du sol et par l'aisance de pénétration des racines. La profondeur effective du sol est la profondeur réelle de ce sol jusqu'à l'horizon obstruant (induration et roche). L'aisance de pénétration des racines est régie par les propriétés texturales, structurales et graveleuses de consistance. Cette qualité est donc appréciée à partir des classes texturales de la FAO, de la profondeur effective du sol, de la charge graveleuse, de la structure et de la consistance du sol.

Le risque d'inondation (i) se rapporte aux effets défavorables d'une lame d'eau plus ou moins épaisse, stagnante ou en mouvement au-dessus de la surface du sol. Cette qualité est appréciée à partir de la position topographique, de la durée (jours) et fréquence (probabilité) de l'inondation.

Une conformation entre les qualités retenues du sol et les exigences de la culture de tomate a servi pour mettre en évidence la classe d'aptitude du sol à production de la tomate. Les résultats de l'évaluation du sol ont été ensuite présentés dans une carte d'aptitude à partir des résultats d'interprétation des données pédologiques et d'évaluation des terres. Les unités ou classes d'aptitude regroupent les unités cartographiques présentant les mêmes potentiels d'utilisation et les mêmes contraintes. La carte a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGis version 10.3.1.

2. Résultats

2.1. Pédogénèse et type de sol étudié

Le matériau originel et minéralogique du sol a été formé à partir du complexe d'altération kaolinitique. Sur le plan pédogénétique, on a des roches granitique (acides). Un seul type de sol a été identifié sur le site. Il appartient à la classe des sols à sesquioxyde de fer et de manganèse et au sous-groupe sol ferrugineux tropical lessivé induré profond (FLIP) (CPCS, 1967). Il correspond à un *Lixisol endoplinthique* (WRB 2015).



Figure 4. Profil de référence du sol

2.2. Caractéristiques physiques du sol

Le sol est situé sur une pente moyenne du glacis en position exondée. Leur état de surface est marqué par des épandages de graviers et de pierres dans la partie Sud-est du site. Le site est aussi traversé par un drain dans sa partie Nord-ouest. Le sol a une profondeur de 75 cm où il a été distingué trois horizons respectivement de 0-21 cm pour le premier horizon, de 21-45 cm pour l'horizon sous-jacent et de 45-75 cm pour le dernier horizon (Tableau IV). Il présente une bonne porosité et un drainage normal. La couleur matricielle est brune jaunâtre en surface et rouge jaunâtre dans le reste du profil. Le taux d'éléments grossiers augmente avec la profondeur. Il est de l'ordre de 5 % dans le premier horizon, 30 % dans l'horizon sous-jacent et 70 % au-delà. La structure est polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers, fins et moyens dans le premier horizon et massive dans l'horizon sous-jacent. La texture est limoneuse en surface, limono-argileuse dans la partie médiane et argileuse en profondeur. La consistance est friable dans l'horizon de surface et ferme dans le reste du profil. Les racines sont nombreuses, fines, très fines et grossières dans le premier horizon. Au second horizon, elles sont peu nombreuses, de tailles très fines, fines et moyennes.

Tableau IV. Synthèse des caractéristiques morphologiques du profil

Horizons (cm)	Couleur		Charge graveleuse (%)	Structure	Texture
	Couleur à frais	RVB			
0-21	10YR 4/4	Brun jaunâtre	5	FA-PS-G-M-FI	Limon
21-45	7,5YR 6/6	Jaune rougeâtre	30	MA	Limon-argile
45-75	7,5YR 6/6	Jaune rougeâtre	70	FA-PS-FI-M	Argile
	Consistance à frais	Drainage	Densité et dimension des racines	Porosité	Activité biologique
0-21	Friable	Normal	N-F-TF-M	N-TF-M	I
21-45	Ferme	Normal	P-TF-F-M	N-TF-M	FA
45-75	Ferme	Normal	T-TF-G-M	N-F-M	FA

RVB : Rouge-vert-bleu ; FA : Faible ; PS : Polyédrique subangulaire ; G: Grossier (e) ; M : Moyen (ne) ; MA : Massive ; N : Nombreux (euse) ; F: Fin (e) ; P : Peu ; TF: Très fine ; T: Très peu ; I : Importante.

Les résultats analytiques sur la granulométrie indiquent que le taux de sables totaux est élevé dans le premier horizon, mais, décroît avec la profondeur avec des valeurs respectives de 37,25 % dans l’horizon sous-jacent et de 27,45 % au dernier horizon (Figure 5). Le taux de limons totaux suit la même évolution en passant de 41,17 % dans l’horizon de surface, à 31,38 % dans l’horizon sous-jacent, et à 25,49 % dans le dernier horizon. Par contre, le taux d’argile augmente de la surface vers la profondeur avec des valeurs respectives de 19,61 % dans l’horizon superficiel, à 31,37 % dans l’horizon sous-jacent, et à 47,06 % au dernier horizon.

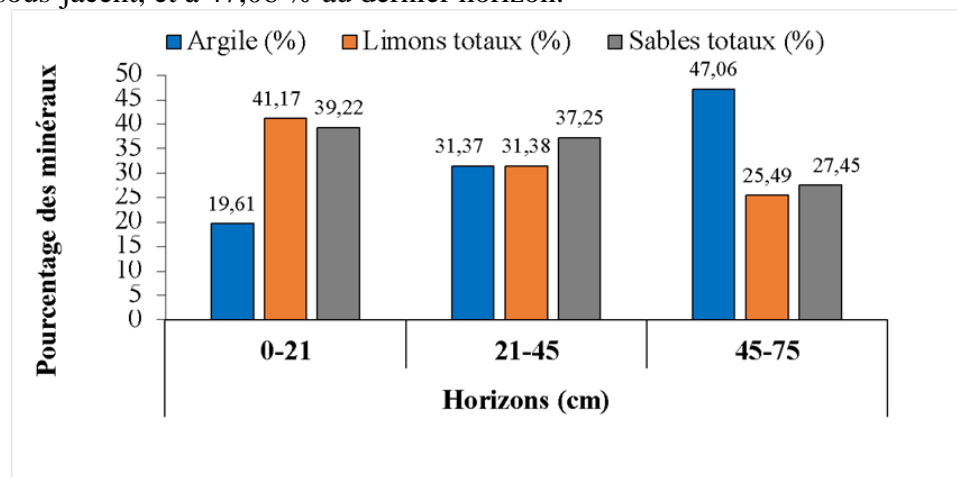


Figure 5. Granulométrie suivant la profondeur des horizons

2.3. Caractéristiques chimiques du sol

Les résultats des paramètres analytiques montrent que la teneur en matière organique dans les 40 premiers cm du profil est moyenne avec une valeur de 1,67 % (Figure 6A). On constate une tendance à la diminution de cette teneur avec la profondeur en passant de 1,72 % en surface, à 1,63 % dans le deuxième horizon, et à 1,23 % dans le troisième horizon.

La teneur en azote total dans les 40 premiers cm du profil est très élevée avec une valeur de 0,15% (Figure 6A). On constate une tendance à l'augmentation de cette teneur avec la profondeur en passant respectivement de 0,14 % en surface, à 0,17 % dans le deuxième et troisième horizon. Le rapport C/N est faible avec une valeur de 7 (Figure 6A).

La teneur en phosphore assimilable est très basse dans les 40 premiers cm de sol soit 3,44 ppm (Figure 6B). La teneur en phosphore total y est basse (174,57 ppm). On constate en outre, une variation régressive du taux de phosphore assimilable avec la profondeur dans le profil, passant de 4,48 ppm au premier horizon à 1,91 ppm au dernier (Figure 4B).

La teneur en potassium total est basse dans les 40 premiers cm de 727,26 ppm avec un taux moyen de potassium disponible d'une valeur de 46,58 ppm (Figure 6C).

Le pH est moyennement acide (6 à 5,7) dans l'ensemble du profil. La valeur augmente suivant la profondeur en passant de 5 en surface à 5,7 dans le dernier horizon (Figure 6D). La somme des bases échangeables (S) est basse (4,59 méq/100g) dans les 40 premiers cm de sol et moyenne au-delà avec une valeur de 6,13 méq/100g (Figure 6D). On constate que cette valeur augmente de l'horizon de surface vers la profondeur. La valeur de la CEC est basse dans l'ensemble du profil (8,15 méq/100g à 8,62 méq/100g) (Figure 6D). Le résultat du paramètre montre que le taux de saturation est élevé dans l'ensemble du profil avec des valeurs de 69 % et 75 % respectivement dans les couches de sol 0-40 cm et 40-75 cm (Figure 6D).

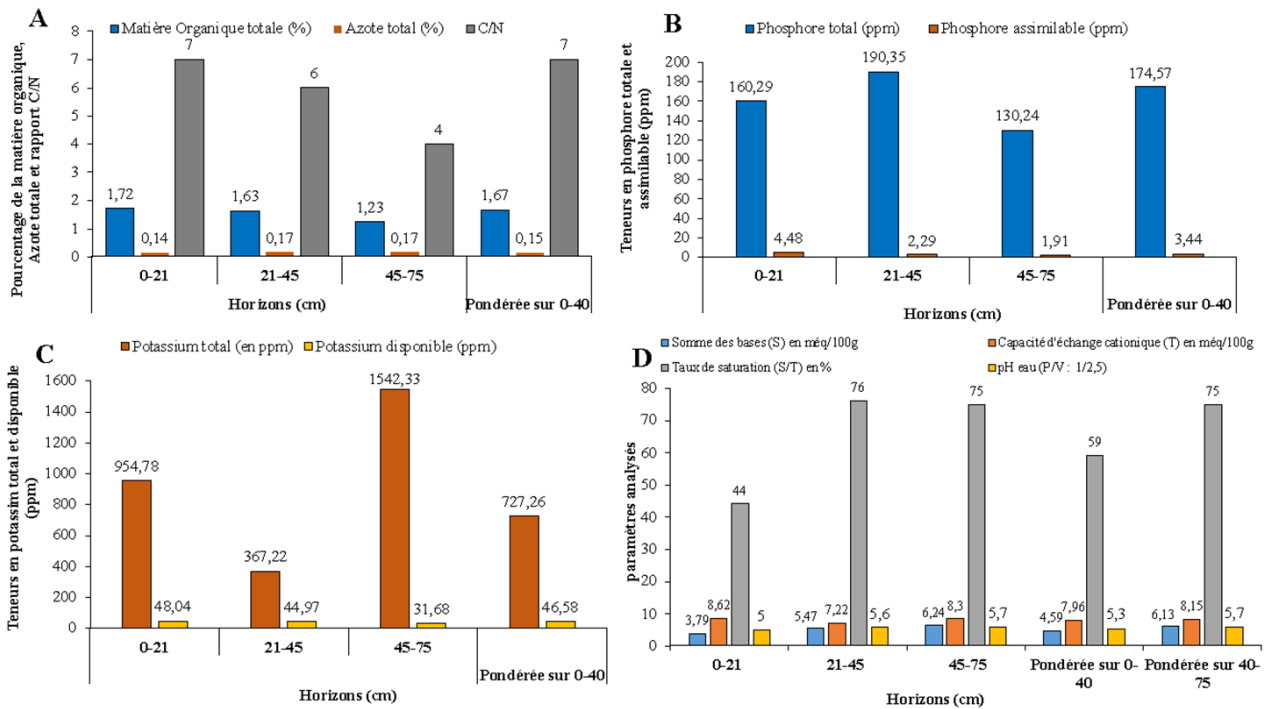


Figure 6. Variation des teneurs : en matière organique, en azote total et le rapport C/N (A) ; en phosphore du sol (B) ; en potassium du sol (C) ; de la somme des bases, capacité d'échange cationique, taux de saturation et pH (D) suivant la profondeur des horizons

2.4. Aptitude du sol pour la culture de tomate

Une conformation entre les qualités retenues du sol (Tableau V) et les exigences de la culture de tomate (Tableau VI) a permis de mettre en évidence la classe d'aptitude moyenne à la culture de tomate : S_{2nr} (Tableau VII). Les principaux facteurs/majeurs limitant à une mise en valeur optimum pour la culture de la tomate, portent sur les qualités suivantes :

- La disponibilité en éléments nutritifs (bases échangeables faible à moyenne) ;
- La capacité de rétention en éléments nutritifs faible ;
- Les conditions d'enracinement, notamment la structure faiblement développée à tendance massive.

Les résultats du processus de compatibilité sont consignés dans le Tableau V.

Tableau 5. Qualités et facteurs diagnostics du sol

Qualités retenues pour l'évaluation du sol	Facteurs diagnostics	Sol ferrugineux tropical Lessivé Induré profond (Caractéristiques)
Le régime thermique (c)	La température moyenne de la période de croissance	28,6 °C
La disponibilité en eau (m)	Pluviométrie annuelle	628,56 mm
La disponibilité en oxygène dans la zone racinaire (w)	Classe de drainage FAO	Normal
La disponibilité en éléments nutritifs (n) et capacité de rétention (n')	Somme des bases (S) Réaction du sol (pH) CEC	4,59 méq/100g 5,3 8,62 méq/100g à 8,15 méq/100g
Les conditions d'enracinement (r)	Profondeur effective Charge graveleuse L'aisance de pénétration des racines : Texture Structure Consistance	75 cm 5% Texture moyenne en surface Faiblement développée à tendance massive Friable
Le risque d'inondation (i)	Position topographique Fréquence (probabilité) de l'inondation	Pente moyenne du glacis Risque d'inondation est très faible sur l'ensemble du site

Tableau VI. Exigences de la culture de tomate

Exigences de la culture de la tomate	Très apte S1	Modérément apte S2	Marginalement apte S3	Inapte N
Facteurs climatiques				
Périodes de croissance (jours)				
-Variété hâtive	> 110	90 - 110	80-90	< 80
-Variété moyenne	> 130	110 - 130	100 – 110	< 100
-Variété tardive	> 150	130 - 150	120 – 130	< 120
Précipitation annuelle (mm)				
-Variété hâtive	> 600	500 - 600	400 – 500	< 400
-Variété moyenne	-	-	-	-
-Variété tardive	-	-	-	-
Température Moyenne pendant la période de croissance (°C)	20 - 30	15 – 20 30 - 35	10-15 35 -40	< 10 > 40
Facteurs pédologiques				
Profondeur effective (cm)	> 100	60 - 100	30 – 60	< 30
Disponibilité en eau (mm)	> 150	100 - 150	50 – 100	< 50

Drainage interne (Classes FAO)	4	3 et 5	2 et 6	0 et 1
Acidité (pH)	5 -7	-	-	-
Bases échangeables (méq/100g)	> 15	10 - 15	5 – 10	< 5
Texture (classes FAO)	M	G	F et TG	TF
Consistance (classes FAO)	Meuble à peu dure	Dure	Très Dure	Extrêmement dure
Charge graveleuse (%)	< 15	15 - 45	45 – 75	> 75
Conductivité électrique (mm ho /cm)	0 -3	3-6	6-8	> 8
Régime d'inondation (fréquence et longueur)	Nulle	Exceptionnellement courte	Occasionnellement courte	Régulière courte

mm ho : miliohme ; cm : centimètre ; mm : millimètre % : pourcentage °C : degré
Celsius ; - : données indisponibles ; M : moyenne ; G : Grossière ; F : Fine ;TG :Très
grossière ; TF : Très fine.

Source : BUNASOLS, 1990

Tableau 7. Résultat de processus de compatibilité du sol étudié à la culture de tomate

Qualités des terres	Facteurs diagnostiques	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds
Régime thermique	Température moyenne	s1
Disponibilité en eau	Pluviométrie annuelle	s1
Disponibilité dans la zone racinaire en oxygène	Classe de drainage FAO	s1
Disponibilité et capacité de rétention en éléments nutritifs	Classe de fertilité	
	-S	s2
	-pH	s1
	-CEC	s2
Conditions d'enracinement	Profondeur effective	s2
	Aisance de pénétration des racines	
	-Structure	s1
	-Texture	s2
	-Charge graveleuse	s1
Risque d'inondation	Position topographique et fréquence	s1
Résultat		s2
Aptitude globale du sol		S2nr

s1 : aptitude partielle élevée ; s2 : aptitude partielle moyenne ; n : disponibilité en éléments nutritifs ; r : conditions d'enracinement ; S2nr : Aptitude globale moyenne.

2.5. Carte pédologique et d'aptitude culturale du sol

La figure 7 présente la carte d'aptitude pédologique et d'aptitude culturale du sol du site de l'étude. Le sol est caractérisé par une faible

disponibilité en éléments nutritifs, en capacité d'échange cationique et une mauvaise condition d'enracinement. De manière générale pour lever les contraintes, il est nécessaire de réaliser des labours perpendiculaires à la pente, des diguettes enherbées, des apports de fertilisants organiques (2 à 3 t/ha de fumure organique) et des minéraux en fonction des besoins de la culture.

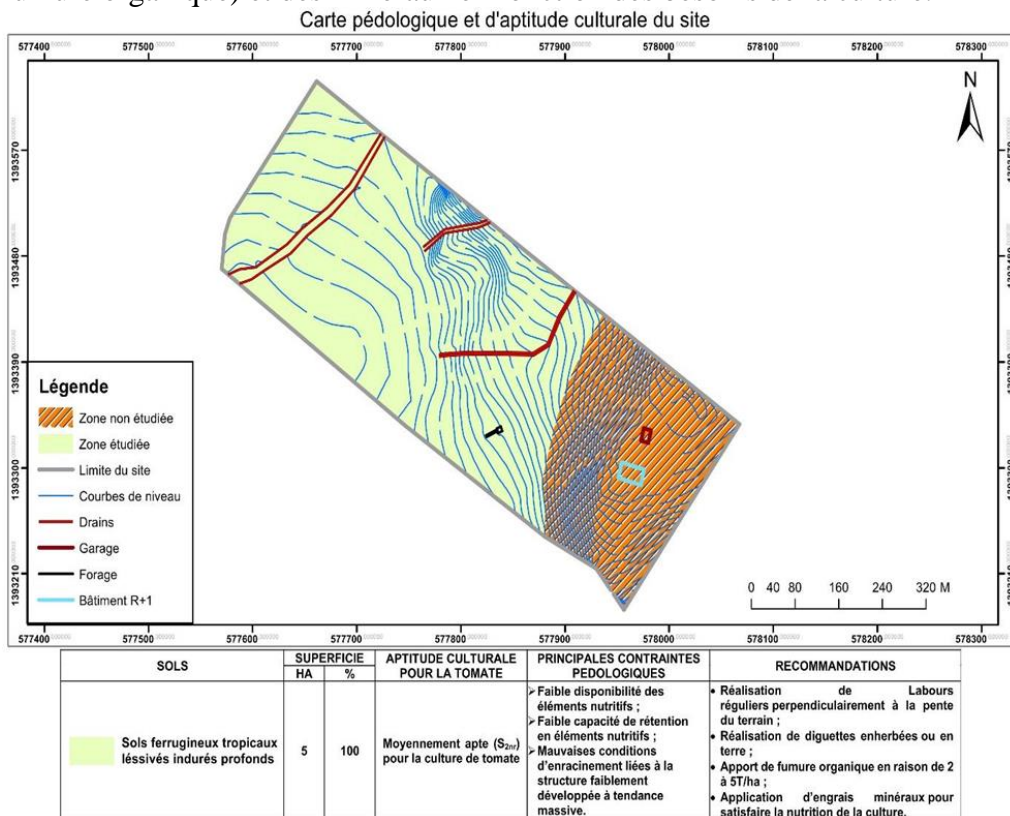


Figure 7. Carte pédologique et d'aptitude culturale du site

3. Discussion

3.1. Evolution pédogénétique et caractéristiques du sol

Les résultats de la caractérisation morpho-pédologique que le sol à une profondeur limitée caractérisée par une induration marquée par la présence d'une carapace ou d'une cuirasse ferrugineuse et ferro-manganifère dans l'horizon inférieur. Cette induration est due à une ferruginisation résultant de la précipitation des oxydes de fer et de manganèse. En effet, dans ces sols, les processus de ferruginisation aboutissent à une évolution rapide du fer vers la forme cristalline avec pour conséquence la formation de concrétions ferrugineuses et ferro-manganifères. Le taux d'éléments grossiers augmente avec la profondeur. Ceci est dû au phénomène de ferruginisation qui s'effectue sur toutes les roches mères silicatées primaires et sédimentaires, en climat tropical en saison humide avec une saison sèche marquée selon aussi les

travaux de Guiré (1991). La profondeur utile considérée du sol était de 40 cm avec une texture limoneuse en surface, limono-argileuse dans la partie médiane et argileuse en profondeur. La faible teneur d'argile ainsi observée en surface provient de l'action conjuguée du lessivage des particules très fines et de l'érosion en nappe de type sélective. Ce départ préférentiel des argiles des horizons superficiels favorise l'accumulation relative des sables, lesquels sont assez lourds pour résister plus ou moins aux phénomènes de lessivage et de ruissellement. Le taux de sables et de limons totaux sont élevés dans le premier horizon, mais, décroît avec la profondeur contrairement au taux d'argile. Une quantité importante de limon dans les sols peut entraîner la formation d'une croûte dure, s'ils sont cultivés, réduisant ainsi leurs capacités de rétention en eau (Bassolé *et al.*, 2023). Mais lorsque le sable domine, les sols deviennent secs et pauvres en substances nutritives.

Le pH est moyennement acide dans l'ensemble du profil avec une tendance à augmenter avec la profondeur. La tendance du pH à l'élévation avec la profondeur s'explique par le phénomène de lixiviation qui selon Thompson (1957) et, s'effectue avec la présence des cations disponibles. Ce phénomène couplé au lessivage entraîne les éléments fins et les ions échangeables qui s'accumulent dans les horizons de profondeur. Les teneurs en C sont faibles et comparables aux sols de la zone sahélienne du pays étudiés par Pallo *et al.* (2006) et à ceux de la zone sud-soudanienne par Pallo *et al.* (2008). Les teneurs en matière organique dans du profil est moyenne dans les 40 premiers cm avec une tendance à la diminution avec la profondeur. Aussi, les pertes en carbone organique dépendent de la texture des sols. En culture continue, pour les sols sableux, les pertes annuelles moyennes de carbone organique du sol peuvent atteindre 4,7 %, tandis que pour les sols limoneux sableux, les pertes sont plus faibles, avec une moyenne de 2 % (Bationo *et al.*, 2007).

La teneur élevée en azote du sol dans sur les 40 cm s'explique en partie par l'antécédent cultural de la parcelle. En effet, le profil étant situé dans une parcelle ayant été exploitée pour la production de niébé, légumineuse fixatrice d'azote, avec une application d'engrais chimiques la campagne précédente aurait influencé la teneur de l'azote du sol.

Le bas niveau de phosphore total du sol se justifie par la nature granitique (pauvre en phosphore) de la roche-mère. Cette pauvreté en P avait déjà été relatée dans des études pédologiques faites sur l'ensemble des sols du Burkina Faso (Pieri 1989 ; Lompo *et al.* 2009 ; Zongo, 2017 ; Zongo *et al.*, 2023). En générale, les sols sous les climats tropicaux et subtropicaux sont souvent déficients en P avec une fixation élevée de P car ils sont principalement acides (Rafael *et al.*, 2018). Aussi, la proportion du P total du sol sous forme inorganique et organique échangeable, labile, adsorbée sur les surfaces du sol ou liée aux composés de Fe et Al est inversement proportionnelle à la teneur en sable (Stewart *et al.*, 1987). Il a été démontré

que ces teneurs en phosphore sont associées aux charges graveleuses de surface et de profondeur des sols (Zongo *et al.*, 2017). Cela s'explique par le fait que les graviers ferrugineux ou ferro-manganifères découlent de ces concrétions dans ces sols dans lesquelles le phosphore est lié au fer (Dabin, 1974). Le phosphore est ainsi déficient car le P inorganique soluble est fixé par l'Al et le Fe (Adnan *et al.*, 2003). Ce résultat corrobore celui de Guiré (1991) sur les sols ferrugineux tropicaux indurés et il lie cela à la forte rétrogradation du phosphore en raison de leur teneur en argiles plus élevées avec la profondeur. Le faible taux de phosphore assimilable obtenu est conforme aux résultats de (Dabin, 1967) sur les sols ferrugineux tropicaux. En effet, ces teneurs en phosphore de ces sols ainsi que leur pH légèrement acide soient environ 6,5 et quelques fois neutres sont dans les mêmes tendances que 85% des sols ferrugineux du Burkina selon les études de Pallo et Thiombiano (1989). Ainsi, la baisse du taux de phosphore assimilable avec la profondeur, semble en corrélation positive avec le taux de matière organique ainsi que la teneur et le type d'argile.

La teneur en potassium total est basse dans les 40 premiers cm. Il peut y avoir plus de compétition pour les sites de capacité d'échange de cations en raison de la concentration élevée de H^+ , Al^{3+} , et Fe^{3+} à faible pH, ce qui rend le K moins disponible dans le sol (Rawal *et al.*, 2022). Le statut du K dans le sol est dynamique et déterminé par un certain nombre de facteurs tels que la texture du sol, la minéralogie, la température et le pH (Rawal *et al.*, 2022). La disponibilité du K dépend du K échangeable dans les sols et sa libération est facilitée par un pH supérieur à 6, la texture et l'humidité du sol (Ayeni et Adeleye, 2014). Guiré (1991) avait aussi indiqué que la rétrogradation par les argiles et les oxydes de fer réduit la disponibilité du potassium dans les sols ferrugineux.

La somme des bases échangeables est basse dans les 40 premiers cm du sol et moyenne au-delà. On constate que cette valeur augmente de l'horizon de surface vers la profondeur. L'évolution des bases échangeables avec la profondeur est due à la forte lixiviation des cations de la surface vers les horizons sous-jacents et aussi à une meilleure capacité de fixation du complexe argilo-humique en profondeur, du fait d'une plus grande proportion d'argiles. La valeur de la capacité d'échange cationique est basse dans l'ensemble du profil. Ce résultat corrobore avec ceux de (Pallo *et al.*, 1989). Ces faibles valeurs de la capacité d'échange cationique et de la somme des bases échangeables sont dues à la nature kaolinitique des argiles qui ont une faible capacité d'échange et de la rapide minéralisation de la matière organique selon le rapport C/N. La kaolinite étant le principal type d'argile des sols dans les zones arides d'Afrique de l'ouest, la capacité d'échange cationique, souvent inférieure à 1 cmol kg^{-1} , dépend du carbone organique du sol (Bationo *et al.*, 2007).

La saturation en bases (S/T) (Ca^{2+} , M^{2+} Na^+ K^+) est influencée par la perméabilité, l'excès d'eau et la position sur la pente et représente donc un indice de lessivage du sol. Ce taux de saturation est élevé dans l'ensemble du profil avec des valeurs de 69% et 75% respectivement dans les couches de sol 0-40 cm et 40-75 cm. En effet, un sol saturé à plus de 90% possède moins de 10% de sites occupés par des ions H^+ , le pH est donc alcalin et généralement supérieure à 7,5 (Wendling *et al.*, 2020). Idéalement, un taux de saturation de l'ordre de 75% est recherché (Wendling *et al.*, 2020).

D'une manière générale, la matière organique, le phosphore assimilable, l'azote, les bases échangeables et la CEC sont donc les facteurs limitatifs majeurs des sols ferrugineux lessivés (Bassolé *et al.*, 2023). Les résultats obtenus sont en accord avec ceux trouvés par Kissou *et al.* (2018), Tahirou *et al.* (2022), Bassolé *et al.* (2023) qui ont trouvé que les sols ferrugineux tropicaux de la zone soudano-sahélienne sont caractérisés par une déficience en éléments organo-minéraux traduisent ainsi une réduction de leur niveau de fertilité.

3.2. Aptitude du sol à la culture de la tomate

Le résultat du processus de compatibilité a mis en évidence une classe d'aptitude moyenne (S_{2nr}) du sol à la culture de tomate. Dans ce sens, Amara *et al.* (2016) avaient constaté que les sols de la région semi-aride du Nord de l'Inde étaient modérément adaptés à la production de la tomate. Les résultats de cette étude montrent que la pluviométrie de la zone ne constitue pas une contrainte pour la production de tomate sur le sol caractérisé. Selon le MAHRH (2007), la plante de tomate pour le développement a besoin de 750 mm d'eau en 110 jours. Le climat, à l'exception de la pluviométrie moyenne annuelle totale (755,2 mm), la température annuelle de 24 et 28 °C, la topographie, le drainage et la toxicité du sol étaient au fait adapté à la culture de la tomate sur un sol ustique avec un régime de température isohyperthermique dans la région semi-aride du Nord de l'Inde (Amara *et al.*, 2016). Aussi, le pH du sol d'une valeur de 6, n'est pas aussi contraignant pour la production de tomate sur le sol étudié. Selon Shankara *et al.* (2020), la tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH, mais, pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8. Aussi, selon Amara *et al.* (2016), le pH le plus approprié pour la tomate est de 6,0-7,0 dans la région semi-aride du Nord de l'Inde. Il a été également prouvé que dans la région du Nord du Ghana, les plinthosols et planosols relativement bien drainés, caractérisés par une densité apparente relativement faible (1,4-1,6) et une légère acidité (5,5-6,5) étaient apte pour la culture de la tomate (Zakaria *et al.*, 2022). L'aptitude moyenne du sol étudié à la culture de la tomate s'explique aussi par la structure faiblement développée à massive du sol et la profondeur effective insuffisante pouvant rendre difficile la pénétration et le

développement racinaire de la tomate. Selon le BUNASOLS (1990), la profondeur effective pour un sol à aptitude élevée pour la culture de tomate doit être supérieure à 100 cm. En effet, une profondeur de sol supérieure à 75 cm avait été considérée comme propice pour la production de la tomate (NBSS et LUP, 1994). La somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique présentent aussi des contraintes modérées pour une production rentable de la tomate. Ce résultat est en accord avec les travaux de Guiré (1991) sur des sols ferrugineux tropicaux indurés au Burkina Faso. De l'analyse et de l'interprétation de ces résultats, il en découle que ces sols se caractérisent essentiellement par une réserve hydrique faible à moyenne, de mauvaises conditions d'enracinement et une faible fertilité chimique, faible taux en matière organique et en éléments minéraux majeurs (N.P.K.). Ils présentent des risques de dégradation physique (érosion, encroûtement) en surface et leurs aptitudes varient selon la profondeur utile. Conformément à une partie des résultats, une profondeur utile de 50 à 75 cm et la texture limon argileuse à limon argileux sableuse des sols étaient appropriées, mais le volume de fragments grossiers (31,2 à 53,5%) dans les sols a été observé comme une limitation modérée pour la culture de la tomate dans la région semi-aride du Nord de l'Inde (Amara *et al.*, 2016).

Conclusion

Le sol étudié est un sol ferrugineux tropical lessivé induré profond (FLIP), correspondant à un *Lixisol endoplinthique*. Il présente des contraintes d'ordre physique, chimique et biologique pour la production de tomate. L'évaluation, par processus de compatibilité entre qualités intrinsèques du sol étudié et exigences de la culture de tomate envisagée montre que ce type de sol a une aptitude culturale moyenne (S2nr) pour la culture de tomate. La température moyenne et la pluviométrie sont des caractéristiques appropriées pour la culture de la tomate dans la zone d'étude. Les contraintes sont les conditions d'enracinement difficiles imputables à la structure faiblement développée à tendance massive, à la texture argileuse en profondeur, la profondeur effective limitée et de la charge graveleuse élevée. Les valeurs la CEC, des teneurs en phosphore et en potassium totaux sont basses par rapport aux exigences de la tomate. Pour la conservation du sol et l'optimisation des rendements, il est nécessaire de prévoir les aménagements et amendements adéquats. Pour améliorer les conditions d'enracinement, il faut installer des cordons pierreux suivant les courbes de niveau. La formation de diguettes enherbées ou en terre. Pour améliorer la fertilité chimique et minérale, il faut apporter de la fumure organique enrichi au Burkina phosphate (Bp) à des doses de 2-3 t/ha/an. Apporter de la chaux pour saturer les ions Al et Fe afin de relever le pH du sol. Pour une meilleure gestion du potentiel de fertilité du sol étudié, il est nécessaire d'effectuer une étude complémentaire de fertilité pour

une meilleure exploitation durable. Au regard de l'aptitude culturale que présente ce sol pour la production de tomate, cette étude doit se poursuivre, afin de déterminer pour quelles spéculations maraîchères ce sol est plus économiquement rentable.

Contributions des auteurs: KFZ, PAWD, IS ont été les investigateurs de la recherche. Ils ont réalisé les travaux de terrain, acquis, analyser, interpréter les données et rédiger le manuscrit. DG, AC, EH à la révision du manuscrit et à l'amélioration de la qualité scientifique.

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

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

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

References:

1. Adnan, A., Mavinic, D. S., & Koch, F. A. (2003). Pilot-scale study of phosphorus recovery through struvite crystallization – examining the process feasibility. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(5), 315–324. <https://doi.org/10.1139/s03-040>
2. AFNOR (Agence Française de Normalisation), (1999). Détermination du pH. AFNOR Qualité des sols : Paris ; 339-348.
3. Amara, D.M.K., Patil P.L., Gali, SK. & Quee, D.D. (2016). Soil suitability assessment for sustainable production of vegetable crops in Northern semi-arid region of India. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 4 (3), 52–61. <http://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.16.008>.
4. Ayeni, L. S., & Adeleye, O. E. (2014). Mineralization rates of soil forms of nitrogen, phosphorus, and potassium as affected by organomineral fertilizer in Sandy Loam. *Advances in Agriculture*, 2014, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2014/149209>
5. Bassole, Z., Yanogo, I. P., & Idani, F. T. (2023). Caractérisation des Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés et des Sols Bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le Bas-Fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1), 247–266. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.18>.
6. Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B., & Kimetu, J. (2007). Soil Organic Carbon Dynamics, functions and management in West

- African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94(1), 13–25.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.08.011>.
7. Bationo, A., Kihara, J., Waswa, B., Ouattara, B., & Vanlauwe, B. (2014). Technologies for sustainable management of sandy Sahelian soils. In: Management of Tropical Sandy soils for sustainable agricultura. A holistic approach for sustainable development of problema soils in the tropics. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok : 414-429.
<https://www.fao.org/3/ag125e/AG125E32.htm>.
 8. Bationo, A., Sivakumar, M.V.K., Acheampong, K., & Harmsen, K. (1998). Technologies de lutte contre la dégradation des terres dans la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. In Breman H et Sissoko K (éds) L' intensification agricole au Sahel. Paris Karthala. p. 709-725. <https://research.wur.nl/en/publications/lintensification-agricole-au-sahel>.
 9. Bray, R.H., & Kurtz L.T. (1945). Determination of total organic, and available forms of phosphorous in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
<https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>.
 10. BUNASOLS (1989). Méthodologie de prospection pédologique, documentations techniques n°5, Ouagadougou, 121p.
 11. BUNASOLS (1990). Manuel pour l'évaluation des terres, documentations techniques n°6, Ouagadougou, 181p.
 12. BUNASOLS (2014). Etude morphopédologique de la province du Boulkiemdé, échelle 1/100 000, 95p.
 13. CPCS (Commision de Pédologie et de cartographie des sols) (1967). Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols. Edition 1967, 87p.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-03/12186.pdf.
 14. Dabin, B. (1967). Méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tannarive, novembre 1967, publié. I.R.A.T., 1, 99-115.
 15. Dabin, B. (1974). Evolution des phosphates en sols acides des régions tropicales. Bulletin A.F.E.S. 2 : 87-104.
 16. ELD Initiative, UNEP. (2015). *The economics of land degradation in Africa: Benefits of action outweigh the costs; a complementary report to the Eld initiative.* UNEP.
<https://www.unep.org/resources/report/economics-land-degradation-africa-benefits-action-outweigh-costsa-complementary>.
 17. FAO et ITPS (2015). État des ressources en sols du monde - Résumé technique. 79 p.
https://www.researchgate.net/publication/324056184_Etat_des_Ressources_en_Sols_dans_le_Monde_Resume_technique.

18. Fontes, J. & Guinko, S. 1995. Carte de la végétation et occupation des sols du Burkina Faso. Notice explicative. Toulouse, Institut de la Carte Internationale de la végétation, Institut du Développement Rural, Faculté des sciences et techniques, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 67 p.
19. Gallais, A., & Bannerot, H. (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Paris, INRA, 77p. https://mots-agronomie.inrae.fr/index.php/Andr%C3%A9_Gallais.
20. Gómez, M. I., & Ricketts, K. D. (2013). Food value chain transformations in developing countries: Selected hypotheses on nutritional implications. *Food Policy*, 42, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.06.010>.
21. Guiré, A. (1991). Etude des sols ferrugineux tropicaux lessives indures et leur aptitude à la culture du mil, du sorgho, de l'arachide et du niébé. Mémoire de fin d'étude en ingénieur du développement durable, IRD, Univ Ouaga, 122p. <https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-1991-GUI-ETU/IDR-1991-GUI-ETU.pdf>.
22. Henao, J. and baanante, C. (2006) agricultural production and soil nutrient mining in Africa implications for resource conservation and policy development. - references - scientific research publishing. (n.d.). 13 p. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2636313](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2636313).
23. Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Chapelle, J., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Dondeyne, S., Gallali, T., Hallett, S. & al. (2015). Atlas des sols d'Afrique. *Luxembourg, GD Luxembourg: Union européenne. Bureau des Publications*; 176 p. <http://hdl.handle.net/1854/LU-7017089>;
24. Kissou, R., Gnankambary, Z., Nacro, H. B., & Sedogo, M. P. (2018). Classification locale et utilisation des sols en zone Sahélienne au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 610. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.46>
25. Kjeldahl, J., (1883). New Method for the Determination of Nitrogen. *Chem News*. News 48 (1240): 101–102. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>.
26. Lompo, F., Segda, Z., Gnankambary, Z., & Ouandaogo, N. (2009). Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de paille de maïs. *Tropicultura*, 27 : 105-109. <https://www.researchgate.net/publication/45266591>.
27. MAAH (2021). Annuaire des statistiques agricoles 2020, Burkina Faso, juin 2021, 386p.

28. MAAHM (2021a). Tableau de bord statistique de l'agriculture 2020, 85p.
29. MAAHM (2021b). Rapport d'actualisation des volets 2 et 3 de la situation de référence des terres dégradées et de la conservation des eaux et des sols au Burkina Faso, Avril 2021, 34p.
30. MAH (2011). Bureau Central du Recensement Général de L'agriculture : Rapport général du module Maraîchage, Phase 2 RGA 2006-2010, Ouagadougou, Burkina Faso. 318p.
31. MAHRH (2007). Fiche technique pour la production de la tomate au Burkina Faso, Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des ressources Halieutique, Burkina Faso, 7p.
32. MARH (2008). Evolution du secteur agricole et des conditions des ménages au Burkina Faso. Projet AI/CN-SISA. 92p.
33. MASA (2013). Rapport final situation de référence filières agricoles, Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire, Burkina Faso, 208p.
34. Metson A.J. 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. N.Z. Soil Bur. Bull., n°12.
35. NBSS & LUP (National Bureau of Soil Survey and Land Use planning) (1994). Proceedings of National Meet on Soil- site suitability criteria for different crops, Nagpur, National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning, NBSS et LUP Publication. Feb. 7-8, 32p.
36. Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Tittonell, P., & Mapfumo, P. (2017). Practical assessment of soil degradation on smallholder farmers' fields in Zimbabwe: Integrating local knowledge and scientific diagnostic indicators. *CATENA*, 156, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.014>.
37. Pallo, F.J.P., & Thiombiano, L. (1989). Les sols ferrugineux tropicaux lessives à concrétions du Burkina Faso. Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole, SOLTROP 89, BUNASOLS - BP 7142 - Ouagadougou - BURKINA FASO, 307-327p. <https://www.researchgate.net/publication/32981638>.
38. Pallo, F.J.P., Asimi, S., Assa, A., Sedogo, P.M., & Sawadogo, N. (2006). Statut de la matière organique des sols de la région sahélienne du Burkina Faso. *Étude Gestion Sols*, 13 (4), 289-304.
39. Pallo, F.J.P., Sawadogo, N., Zombré N. P., Sedogo M.P. (2009). Statut de la matière organique des sols de la zone nord-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2009 13(1), 139-142
Pallo, F.J.P., Sawadogo, N., Sawadogo, L., Sedogo, M.P., & Assa, A. (2008). Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(3),

- 291-301. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=17264&file=1&pid=2791>;
40. Pieri, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, ISBN 2-87614-02461, 444 p.
41. Rafael, R. B., Fernández-Marcos, M. L., Cocco, S., Ruello, M. L., Weindorf, D. C., Cardelli, V., & Corti, G. (2018). Assessment of potential nutrient release from phosphate rock and Dolostone for application in acid soils. *Pedosphere*, 28(1), 44–58. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60437-5](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60437-5);
42. Rawal, N., Pande, K. R., Shrestha, R., & Vista, S. P. (2022). Phosphorus and potassium mineralization as affected by phosphorus levels and soil types under laboratory condition. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/agg2.20229>.
43. Stewart, J. W., O'Halloran, I. P., & Kachanoski, R. G. (1987). Influence of texture and management practices on the forms and distribution of soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science*, 67(1), 147–163. <https://doi.org/10.4141/cjss87-013>.
44. SCADD, (2010). Projet d'appui à l'élaboration d'un schéma directeur pour la promotion d'une agriculture orientée vers le marché. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire Ouagadougou, Burkina Faso.
45. Shankara, N., Jeude, J. L., Goffau, M., Hilmi, M., & Dam, B. (2020). La culture de tomate production, transformation et commercialisation Editor : Barbara van Dam, Imprimé par Digigrafi, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, Pays-Bas 105p. <https://www.researchgate.net/publication/346427083>.
46. Tahirou, S., Zerbo, P., Ouattara, S., & Ado, M. N. (2022). Caractérisation des paramètres Physico-Chimiques du Sol de la zone Rizicole de Saga (Niamey) dans la vallée du Fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 842–854. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.26>
47. Thompson, L.M. (1957). Sols et fertilité des sols. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. 83(5): p415. Tully, K., Sullivan, C., Weil, R., & Sanchez, P. (2015). The state of soil degradation in Sub-Saharan africa: Baselines, trajectories, and solutions. *Sustainability*, 7(6), 6523–6552. <https://doi.org/10.3390/su7066523>.
48. UA/SAFGRAD (2010). Recherche et développement agricoles dans les zones semi-arides d'Afrique. Technologies agricoles au Burkina Faso. Recueil des technologies agricoles, p100. <https://archives.au.int/handle/123456789/9968>.

49. Houba, J., van Der Lee J., Novozamsky, I., & Walinga, I. (1988). Soil and Plants Analysis. Part 5, Soil Analysis Procedures. Wageningen University, Wageningen.
50. Walkley, A. and Black, I.A. (1934) An Examination of the Degtjareff Method for determining soil organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>.
51. Wendling, M., Carrard E., Schaffner L., Füllemann F., Charles R. (2020). Le sol et la CEC comme facteurs décisionnels pour le chaulage et la fumure. 8p. https://www.progres-sol.ch/fileadmin/progres-sol/documents/La_CEC_comme_facteur_decisionnel_pour_le_chaulage_v1.pdf.
52. WRB (World Reference Bases) (2015). Publishers, A. and, & Corporate Author(s). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (n.d.). *Base de Référence Mondiale Pour Les Ressources en Sols 2014, mise à Jour 2015. Système International de Classification Des Sols Pour Nommer Les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques*. Land Portal. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d41c1333-a2ac-4161-993a-b0ae955e9c93/content>.
53. Zakaria, Y. S., Shaibu, A.-G., & Baatuuwie, B. N. (2022). Assessment of physical suitability of soils for vegetable production in the Libga Irrigation Scheme, Northern Region, Ghana using the analytic hierarchy process and weighted overlay analysis. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(8), 1395–1403. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i8.1395-1403.5004>.
54. Zongo, K.F. (2017). Déterminants des performances des associations céréales-légumineuses dans les agroécosystèmes soudano-sahéliens du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 186 p. www.secheresse.info/spip.php?article70079.
55. Zongo, K.F., Nandkangre, H., Guébré, D., Sanon, A., Kambou, D.J., Kabore, P., Ouoba, A, Hien, E., & Ouedraogo, M. (2023). Soil characterization and potentiality to improve two Bambara groundnut varieties cropping under rock phosphate fertilization at sudano-sahelian climate of Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8(4):829-838. <https://ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-22-264-03>.

Etude de la reproduction de *Cardium costatum* (Linné, 1758) de la Zone Economique Exclusive de la Côte d'Ivoire

Kouato Fulgence

Kouakou Fokouo Kessia Irène

Unité de formation et de Recherche des Sciences Biologiques,
Département de Biologie Animale, Université Peleforo Gon Coulibaly de
Korhogo, Côte d'Ivoire

Aman Jean Baptiste

Otchoumou Atcho

Unité de formation et de Recherche des Sciences de la Nature,
Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Biologie et Cytologie Animale,
Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p236](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p236)

Submitted: 14 May 2024

Accepted: 25 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kouato F., Kouakou F.K.I., Aman J.P. & Otchoumou A. (2024). *Caractérisation phytosociologique des anciens sites de traitements sylvicoles et de la réserve naturelle dans le parc national du Banco (Abidjan-Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 236. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p236>

Résumé

Objectif : Le but de cette étude est de déterminer les paramètres de reproduction de l'espèce de bivalve *Cardium costatum* débarquée au port de pêche d'Abidjan par les chalutiers en vue d'apporter des données importantes dans les stratégies de conservation et de gestion durable des stocks.

Méthodologie et résultats : Les bivalves capturés par des chaluts de fond de novembre 2012 à octobre 2014 dans la zone économique exclusive (ZEE) de la Côte d'Ivoire déjà morts, ont été prélevés au port de pêche d'Abidjan chaque mois. Les mensurations, les dissections, les prélèvements de gonades et les analyses histologiques ont été réalisées au laboratoire. La sex-ratio, la taille de première maturité sexuelle et la période de reproduction ont été déterminées. Au total 8640 individus ont été échantillonnés. Le suivi mensuel de l'indice de condition et de l'indice gonadique révèle que la gamétogénèse a lieu de janvier à février et de juillet à octobre. Le repos sexuel est observé pendant les mois de mars à juin et de novembre à décembre. La sex-ratio

présente une dominance significative ($X^2 = 9,58$; ddl = 8) des femelles par rapport aux mâles avec un rapport femelles et mâles de 1,68 soit 62,74% de femelles et 37,26% de mâles. La taille de première maturité sexuelle est de 57,89 mm chez la femelle et de 66,24 mm chez le mâle. **Conclusion et application des résultats** : Cette espèce présente deux périodes de ponte dans l'année. Ces résultats pourraient aider les politiques à actualiser les données pour une meilleure planification de la gestion durable des ressources maritimes et initier la conchyliculture.

Mots-clés: Bivalve, gamétogenèse, gestion durable, ressources maritimes

Study of the reproduction of *Cardium costatum* (Linné, 1758) in the Exclusive Economic Zone of Côte d'Ivoire

Kouato Fulgence

Kouakou Fokouo Kessia Irène

Unité de formation et de Recherche des Sciences Biologiques,
Département de Biologie Animale, Université Peleforo Gon Coulibaly de
Korhogo, Côte d'Ivoire

Aman Jean Baptiste

Otchoumou Atcho

Unité de formation et de Recherche des Sciences de la Nature,
Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Biologie et Cytologie Animale,
Côte d'Ivoire

Abstract

Objective: The aim of this study is to determine the reproduction parameters of the species of Bivalve *Cardium costatum* landed at the fishing port of Abidjan by trawlers in order to provide important data in conservation strategies and sustainable management of stocks. **Methodology and results:** Cockles caught by bottom trawls from November 2012 to October 2014 in the exclusive economic zone (EEZ) of Côte d'Ivoire were collected at the fishing port of Abidjan every two weeks. Measurements, dissections, gonad samples and histological analyzes were carried out in the laboratory. Sex ratio, size at first sexual maturity and reproductive period were determined. A total of 8640 individuals were sampled monthly. Monthly monitoring of condition index and gonadal index reveals that gametogenesis takes place from January to February and from July to October. Sexual rest is observed during the months of March to June and November to December. The sex ratio shows a dominance of females compared to males with a female to male ratio of 1.68 either 62.74% females or 37.26% males. The difference between males and

females is significant ($X^2 = 9.58$; $df = 8$) at the 5% threshold. The size at first sexual maturity is 57.89 mm in females and 66.24 mm in males. **Conclusion and application of results:** This species has two laying periods during the year. These results could help politicians update data for better planning for the sustainable management of maritime resources and initiate shellfish farming.

Keywords: Bivalve, gametogenesis, sustainable management, marine resources

Introduction

Les Mollusques occupent une place de grande importance au sein des écosystèmes aquatiques où ils peuvent représenter parfois plus 80% de la biomasse totale des macroinvertébrés et sont indispensables au maintien des réseaux trophiques (Meziane et Kerfouf, 2013). Les Mollusques marins sont généralement considérés comme de bons indicateurs pour la surveillance biologique du littoral (Viarengo et Canesi, 1991). Selon Medina et Collins (2004), il existe sept classes de Mollusque : Aplacophore, Bivalve, Céphalopode, Gasteropode, Monoplacophore, Polyplacophore et Scaphopode. Selon (Derbali, 2011), du point de vue écologique, les Bivalves occupent toutes les niches écologiques marines, depuis la côte jusqu'aux grandes profondeurs. Ils interviennent aux niveaux trophiques inférieurs dans les écosystèmes marins par un transfert d'énergie à travers les maillons de la chaîne alimentaire. Enfin, ils jouent un rôle écologique important dans l'écosystème en stabilisant les fonds marins par la formation de bancs coquillers agglutinés qui protègent les sédiments meubles contre l'érosion (Reneerkens *et al.*, 2005) et en augmentant la biodiversité benthique (Stoner *et al.*, 2005).

Plusieurs espèces de Bivalves ont un intérêt commercial. Ces espèces sont utilisées pour la production de perles (Martínez-Fernández *et al.*, 2003), comme source de calcium en alimentation pour animaux (Bouyé *et al.*, 2013), comme source de protéine en alimentation humaine et sont objets de collection. Certaines espèces de Bivalves présentent un intérêt médical (Meunier, 2007).

En Afrique, les études sur les Bivalves sont plus nombreuses dans le Nord où il existe des travaux sur la bio-écologie et l'éco-toxicologie des Bivalves réalisés en Tunisie, en Algérie et au Maroc (Zaouali, 1974, 1975; 1980; Machreki-Ajim *et al.*, 2008 ; Bensâad, 2011). En Afrique de l'Ouest notamment en Côte d'Ivoire, très peu de travaux scientifiques ont été réalisés sur la biologie et l'écologie des Mollusques Bivalves. Pourtant, les Bivalves constituent une source de protéine animale et un potentiel économique non négligeable pour les populations. L'espèce *Cardium costatum* constitue

l'espèce la plus fréquente, et abondante dans les pêcheries ivoiriennes. Cependant, très peu d'études existent sur la biologie de la reproduction de cette espèce.

L'objectif visé dans ce travail est de déterminer les paramètres de reproduction de *Cardium costatum* de la Zone Economique Exclusive qui sont débarqués au port de pêche d'Abidjan à travers la connaissance de sa sex-ratio, de sa taille de première maturité sexuelle, de sa période de reproduction afin d'aider les politiques à actualiser les données pour une gestion durable des ressources maritimes et initier la conchyliculture.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

La pêche a lieu dans la façade maritime de la Côte d'Ivoire encore appelée zone économique exclusive (ZEE). Cette zone de pêche (Figure 1), longue de 550 km se situe entre 8° et 3° de longitude ouest. Elle part du Cap des Palmes (8 ° W) à l'Ouest au Cap des Trois Pointes (2°30 W) à l'Est. Le plateau continental est étroit et la pente est abrupte. Elle est caractérisée par une série de zones sableuses et rocheuses. L'eau de mer de la zone économique exclusive de Côte d'Ivoire présente quatre saisons marines. La petite saison froide intervient durant les mois de janvier à février. La grande saison froide quant à elle, se déroule de juillet à octobre. La petite saison chaude s'installe de novembre à décembre et la grande saison chaude de mars à juin (Pezennec et Bard 1992).

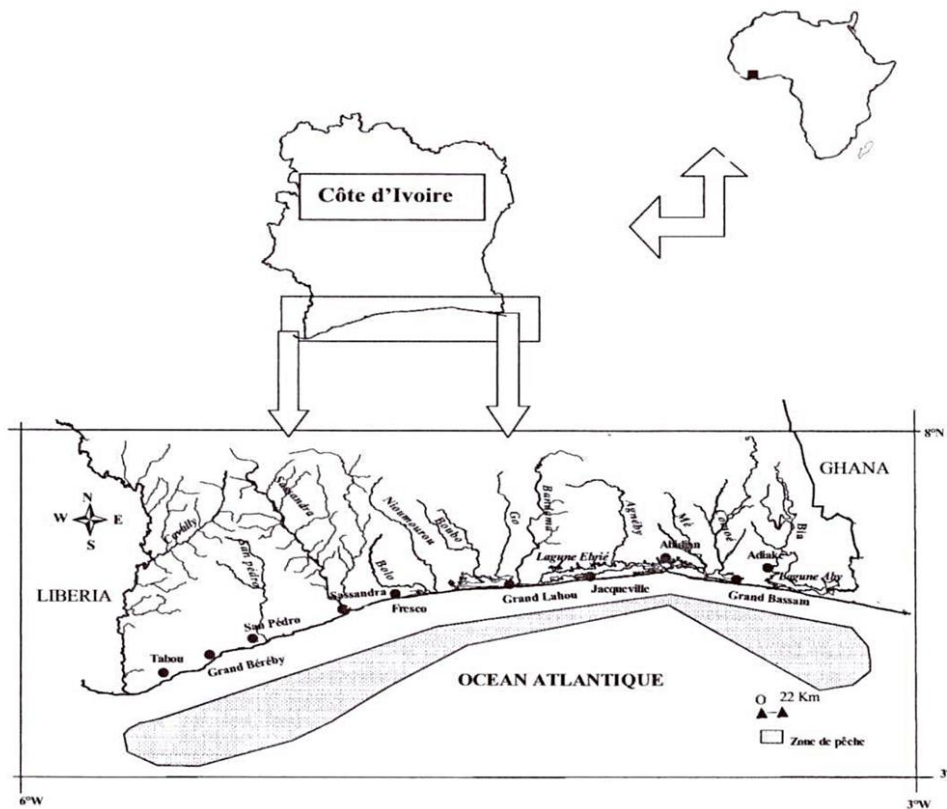


Figure 1: Zone de pêche des mollusques bivalves de la zone économique exclusive de la Côte d'Ivoire. Source : Kouassi *et al.*, 2010

Echantillonnage et analyse

Un échantillonnage est réalisé une fois par mois à partir des débarquements des prises des chalutiers au port de pêche d'Abidjan de Novembre 2012 à Octobre 2014. Les individus débarqués ont été transportés sous glace du port de pêche jusqu'au laboratoire. Les différents paramètres métriques (la longueur, la hauteur et l'épaisseur de la coquille) ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse électronique à 1 mm près. Ces mensurations permettent d'avoir des individus de différentes classes de taille. Chaque individu échantillonné est pesé ainsi que sa masse viscérale au moyen d'une balance de précision 0,01 g. Une dissection est réalisée pour prélever un petit fragment d'environ 0.5 g au niveau de la masse viscérale dans la zone du pied où se trouve les gonades diffuses. Les différents tissus prélevés sont soumis aux différentes étapes de l'histologie. Après leur fixation au formol, les tissus sont déshydratés et inclus dans de la paraffine. Ils sont par la suite coupés à l'aide d'un microtome en tranches de 5 μ m d'épaisseur puis colorés avec de l'hématoxyline-éosine pour

l'observation au microscope optique. Le sexe et le stade de maturité sexuelle ont été déterminés selon l'échelle de Lubet (1959) et Wolowicz (1987). Après l'identification des différents stades de développement sexuels, la maturation sexuelle par classe de taille a été représentée en pourcentage relatif de chaque stade (Machreki-Ajmi, 2009). L'indice de condition (IC) qui permet d'évaluer l'état général de l'animal, son état bioénergétique et qui donne une information quantitative sur le développement gonadique a été calculé selon la méthode de Walne (1976).

$$IC = \frac{\text{Masse de la chair sèche}}{\text{Masse de la coquille sèche}} \times 100$$

Les variations périodiques de l'IC permettent de décrire les différentes phases du cycle sexuel, qui sont :

- une période de pré maturation correspondant à un développement lent des gonades (faible accroissement de l'IC) ;
- une période de maturation qui correspond à un développement rapide des gonades (accroissement rapide de l'IC) ;
- une période de ponte correspondant à l'émission des produits génitaux (baisse rapide de l'IC) ;
- une période de post ponte suivie d'un repos sexuel : les gonades n'exercent aucune activité (faibles valeurs de l'IC).

La sex-ratio exprimant la proportion relative des individus des deux sexes dans une population à un moment donné a été déterminée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de féminité} = \frac{F}{M + F} \times 100$$

Avec : M : Nombre des mâles ; F : Nombre des femelles.

Les variations de ces taux ont été analysées en fonction du temps et en fonction de la taille ; les résultats ont été testés par un test χ^2 à un seuil de signification de 5%.

L'estimation de la taille de première maturité sexuelle (L_{50}) (longueur à partir de laquelle 50 % des Bivalves sont matures) a été établie en ajustant par la fonction logistique d'une régression non linéaire, les pourcentages des individus matures par intervalle de classe de taille. Le seuil de maturité sexuelle est fixé au stade IV qui correspond à la phase de maturité des gonades (Wolowicz, 1987).

$$P = 1/(1 + e^{-(a+bxL)}) \quad \text{avec} \quad L_{50} = \frac{-a}{b}$$

P : proportions d'individus matures ; L_{50} : longueur totale (mm) ; a et b : constantes.

L'estimation de l'indice gonadique a été faite selon la méthode de Seed (1975). Les différents stades gamétogénésiques sont cotés comme suit :

Stade 1 (repos sexuel) = 1 ; Stade 2 (début de la gamétogenèse) = 2 ; Stade 3 (différenciation des gamètes) = 2 ; Stade 4 (gamètes matures) = 3 ; Stade 5 (ponte ou spermiation) = 2.

Pour chaque échantillon, le nombre d'individu de chaque stade est multiplié par le score numérique correspondant à ce stade. Les résultats obtenus sont additionnés et divisés par le nombre total d'individus dans l'échantillon : c'est l'indice gonadique. Dans le cas où les individus sont au stade de repos sexuel, ou si le sexe est indéterminé, l'indice gonadique est de 1 (minimum). Par contre, si tous les animaux sont matures, l'indice gonadique est de 3 (maximum), alors que sa diminution indique la ponte (refermant le redéveloppement et la ponte supplémentaire).

Analyse statistique

Le test de Chi-deux a été utilisé pour comparer la sex ratio globale. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les valeurs de la sex-ratio, les indices de conditions et gonadiques au cours des deux années d'étude.

RESULTATS

Indice de condition

La figure 2 présente l'évolution de l'indice de condition (IC) pendant les deux années étude. Pendant l'année I (novembre 2012 à octobre 2013) l'IC baisse en novembre ($39,34 \pm 2,3\%$) et atteint une valeur minimale en décembre ($24,31 \pm 1,3\%$). Il augmente progressivement en janvier avec un pic de $48,10 \pm 5,7\%$. Il chute ensuite à partir de mars et atteint les valeurs minimums en mai ($24,1 \pm 6,6\%$). L'indice remonte à partir du mois de juillet et il atteint un deuxième pic en octobre ($55,71 \pm 8,8\%$). Pendant l'année II (novembre 2013 à octobre 2014) l'IC baisse en novembre ($32,21 \pm 6,2\%$) et atteint une valeur minimale en décembre ($22,14 \pm 3,2\%$). Il augmente progressivement en janvier avec un pic de $44,18 \pm 4,8\%$ en février. Il chute ensuite à partir de mars et atteint les valeurs minimums en avril ($20,75 \pm 7,1\%$). L'indice remonte à partir du mois de juillet et il atteint un deuxième pic en octobre ($58,14 \pm 3,8\%$). Aucune différence significative ($p = 0,19$) n'est observée entre les valeurs d'indice de condition enregistrés au cours des deux années d'études.

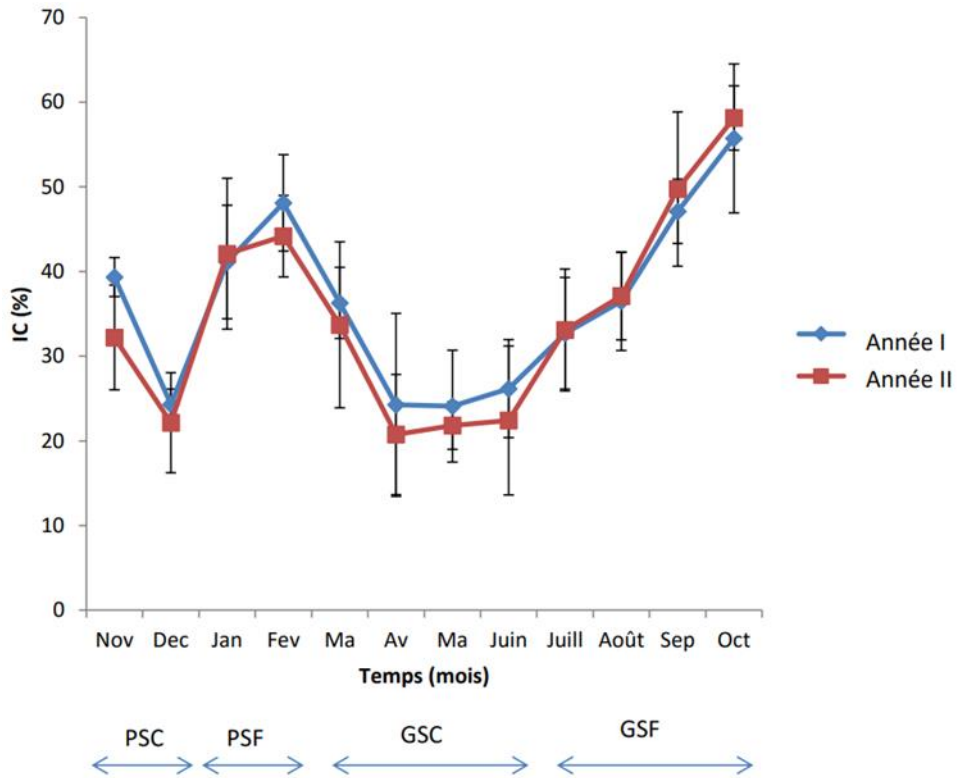


Figure 2: Indice de condition de *Cardium costatum*

PSC : Petite saison chaude, **PSF** : Petite saison froide, **GSC** : Grande saison chaude, **GSF** : grande saison froide.

Sex-ratio

Sex-ratio globale

Au cours de la première année (2012-2013), parmi les 4320 bivalves examinés, 1118 sont des femelles et 643 des mâles. L'année suivante (2013-2014), sur 4320 bivalves examinés, il y a 1122 femelles et 687 mâles. Ainsi, sur un total de 8640 individus examinés durant les deux années, il a été identifié 1330 mâles, 2240 femelles, 7 cas d'hermaphrodismes et 5070 individus de sexes indéterminés. Les individus à sexes indéterminés correspondant aux individus en repos sexuel ou au stade d'immaturation sexuelle. Le rapport du nombre de femelles à celui des mâles est significativement différent ($X^2 = 9,58$; $ddl = 8$). Il est égal à 1,68 soit 62,74% de femelles et 37,26% de mâles.

Variations temporelles de la sex-ratio

La figure 3 met en évidence l'évolution de la proportion des femelles de *Cardium costatum* par rapport à l'ensemble des individus échantillonnés

durant les deux années d'étude. Le pourcentage de femmes est supérieur à 50% pour l'année I (novembre 2012- octobre 2013) et pour l'année II (novembre 2013-octobre 2014). Ainsi, les résultats indiquent qu'il y a plus de femelles que de mâles parmi les individus échantillonnés au cours des deux années d'étude. Pendant la période de mi-janvier à fin juillet et de fin juillet à fin septembre, le pourcentage de femelles de l'année I dépasse celui de l'année II. Les deux années présentent les mêmes pourcentages de femelles durant la période de mi novembre à mi janvier, et pendant le mois de juillet.

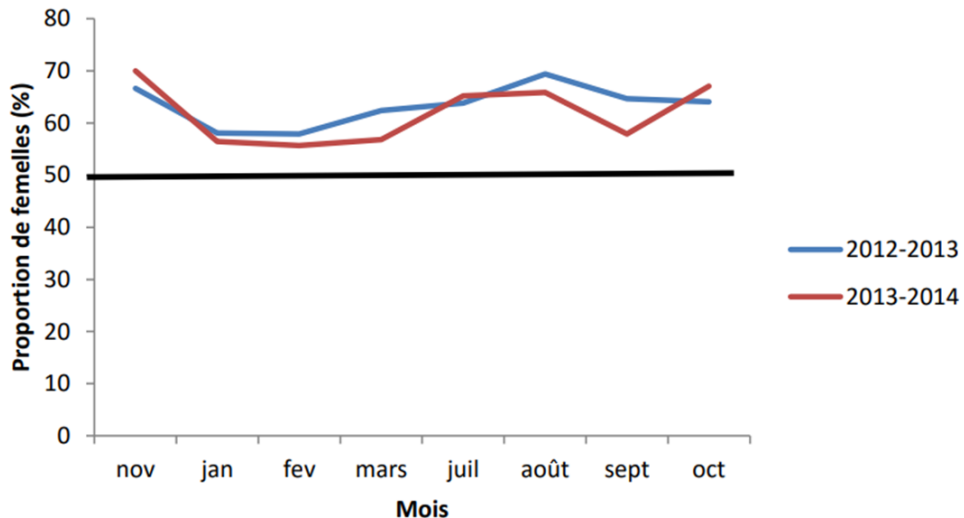


Figure 3: Variations mensuelles de la sex-ratio

NB : la barre indiquant la limite à 50% de la proportion des femelles par rapport aux mâles

Evolution de la sex-ratio suivant la taille

La figure 4 présente l'évolution de la sex-ratio par classe de taille de l'espèce *Cardium costatum* au cours des deux années d'échantillonnage (novembre 2012 à octobre 2014). La figure 4 indique que le pourcentage de femelles est au-dessus de la barre de 50%. Les femelles dominent les mâles dans les classes de taille comprises entre [51-61[et les classes de taille supérieures ou égales à 66 cm pendant les deux périodes d'étude. En revanche, pour les tailles appartenant à l'intervalle [66-71[, on note une légère dominance des mâles pendant la deuxième année d'étude. Les mâles dominent également la deuxième année dans le groupe compris entre [66-71].

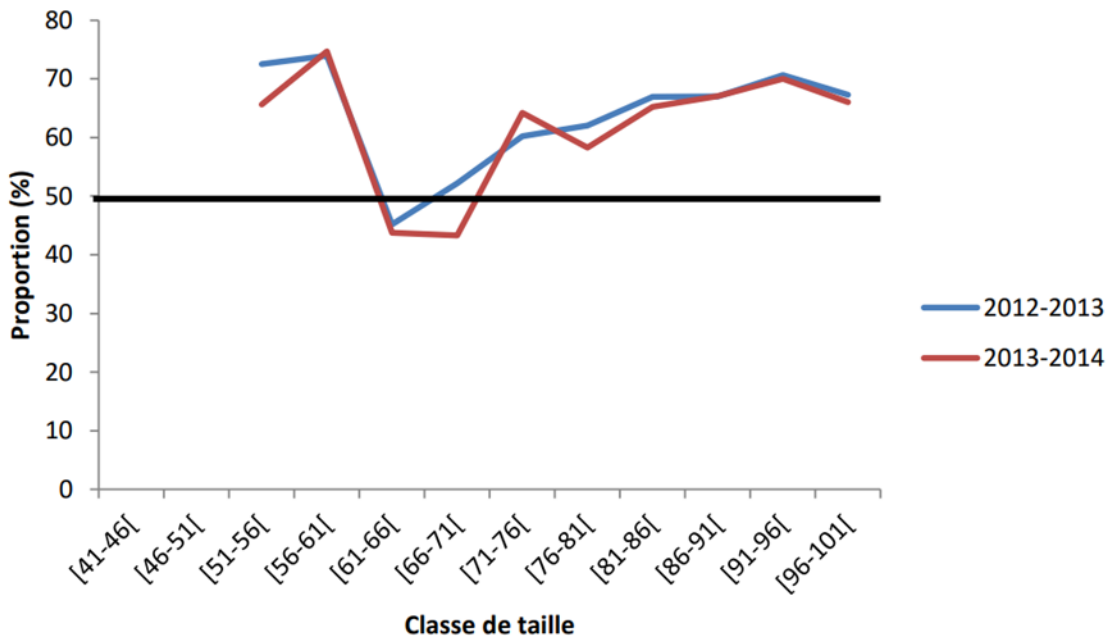


Figure 4: Evolution de la sex-ratio par classe de taille

NB : la barre indiquant la limite à 50% de la proportion des femelles par rapport aux mâles

Cycle sexuel en fonction de la classe de taille

L'analyse des observations microscopiques montre que la gonade de plusieurs individus chez *Cardium costatum* présente des stades de maturation plus ou moins avancés selon le temps (figure 6). Chez *Cardium costatum*, l'ovogénèse est bien développée (stade II) en janvier. Elle est suivie par la maturation des gamètes stades (III et IV) en février. Les individus de tailles inférieures à 66 mm restent immatures ou au repos sexuel. Le mois de mars est marqué par la ponte et le début d'un repos sexuel des différentes classes de tailles qui se poursuit jusqu'en juin. Le mois de juillet marque la reprise d'un autre cycle de maturité avec la maturation des gamètes qui atteint un pic en octobre. Novembre est marqué par la ponte et le début d'un autre repos sexuel jusqu'au mois de décembre. Les individus de tailles inférieures à 51 mm restent immatures toute l'année. Le cycle de maturité sexuelle de *C. costatum* mâle est présenté par la planche III. Celle-ci montre que la gamétogénèse est bien développée en janvier (stade II). Ce stade est suivi par la maturation des gamètes des stades III et IV en février. Le mois de mars est marqué par la ponte et le début d'un repos sexuel des différentes classes de tailles. Le repos se poursuit jusqu'en juin. Le mois de juillet situe la reprise d'un autre cycle de maturité avec la maturation des gamètes qui atteint un pic avec quelques cas

de ponte en octobre. Novembre est marqué par la ponte et le début d'un autre repos sexuel jusqu'au mois de décembre ou on constate quelques cellules du stade II dans la dernière classe de taille. Les individus de tailles inférieures à 51 mm restent immatures toute l'année.

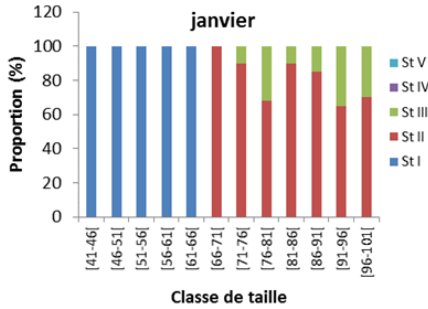


Figure 5a : fréquence de la gamétogénèse en janvier

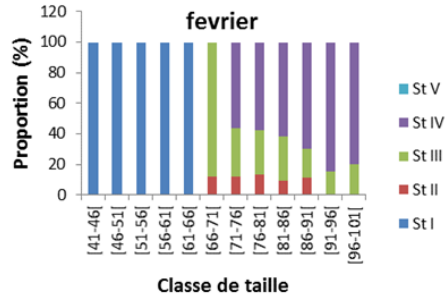


Figure 5b : fréquence de la gamétogénèse en février

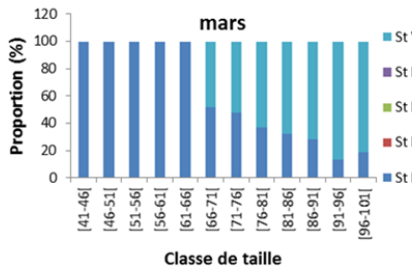


Figure 5c: fréquence de la gamétogénèse en mars

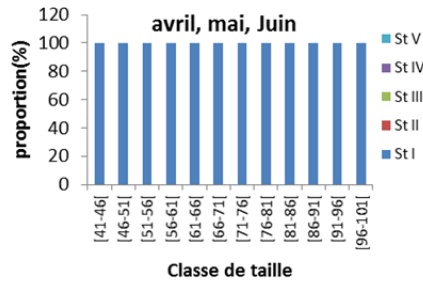


Figure 5d: fréquence de la gamétogénèse en avril, mai, juin

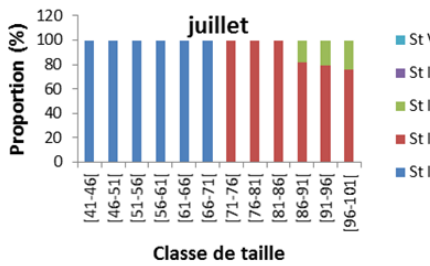


Figure 5e : fréquence de la gamétogénèse en août

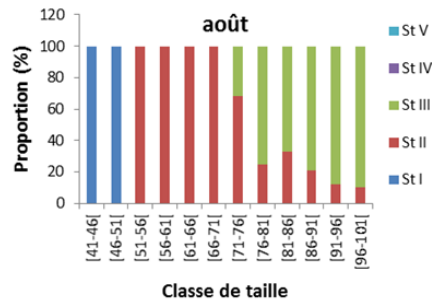


Figure 5f : fréquence de la gamétogénèse en juillet

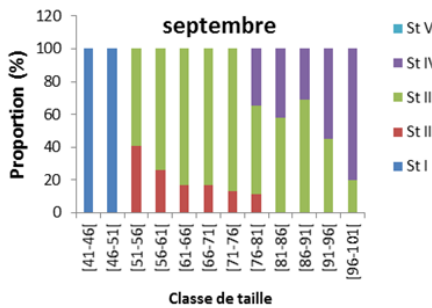


Figure 5g : fréquence de la gamétogénèse en octobre

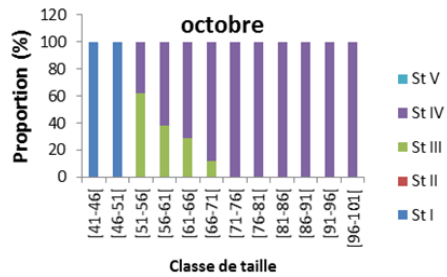


Figure 5h : fréquence de la gamétogénèse septembre

Figure 5 : Fréquence de la gamétogénèse chez la femelle de *Cardium costatum* en fonction des classes de taille. St I: Stade I; St II: Stade II; St III: Stade III; St IV: Stade IV; St.: Stade V

Première maturité sexuelle

Le sexe n'est pas déterminé pour les deux premières classes de taille. Il s'agit des individus mesurant moins de 51 mm. Ils sont immatures. La taille à laquelle 50% des individus sont matures (stade IV) se situe dans la classe de taille de [81-86[chez la femelle et [86-91[chez les mâles pendant la petite saison froide au mois de février. En grande saison froide, 50% des individus femelles de taille de [56-61[et d'individus mâles de taille [66-71[sont matures. La taille de première maturité sexuelle chez la femelle est de 57,89 mm et celle du mâle est de 66,24 mm (figures 6 et 7).

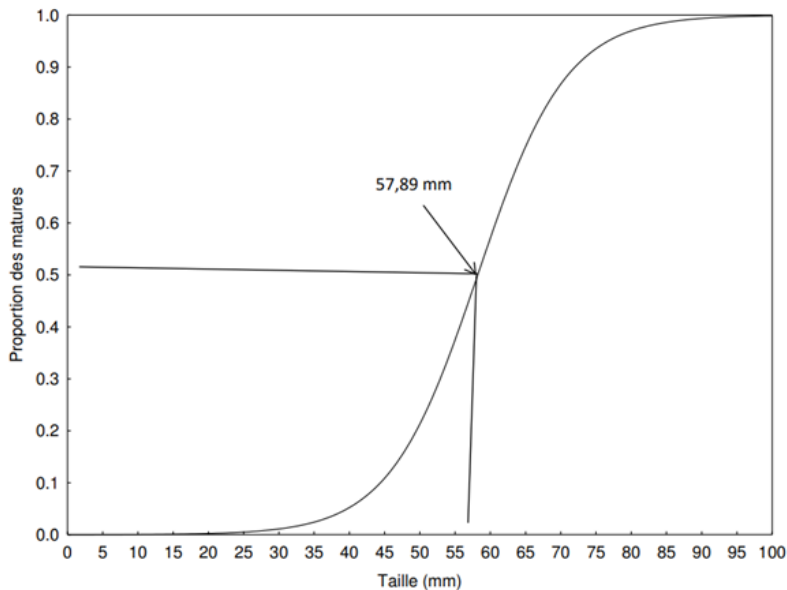


Figure 6 : Proportions des individus matures en fonction de la taille chez les femelles de *Cardium costatum*

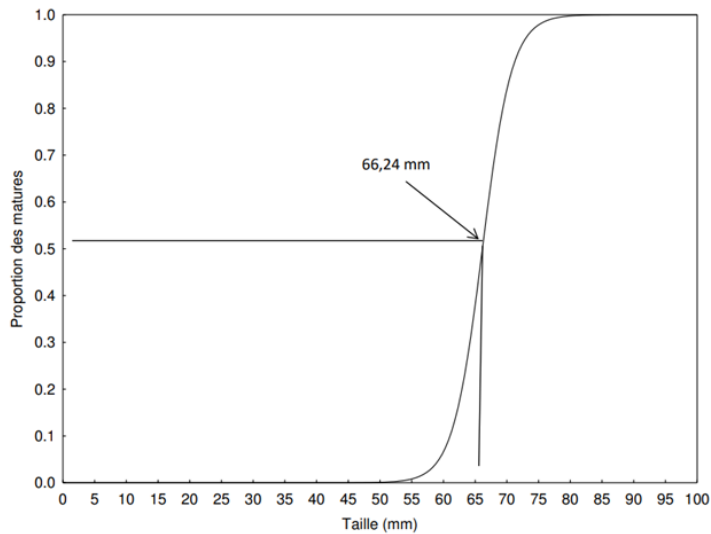


Figure 8: Proportions des individus matures en fonction de la taille chez le mâle de *Cardium costatum*

Indice gonadique

Les figures 7 et 8 montrent les variations saisonnières des indices gonadiques respectivement chez les femelles et chez les mâles. Elles indiquent une augmentation en janvier pour atteindre un pic de 2,5 chez la femelle et 2,62 chez le mâle en février. Par la suite, les indices présentent une baisse jusqu'à 1 d'avril à juin, Une nouvelle hausse s'observe à partir de juillet avec un pic de 2,77 et 2,84 respectivement chez la femelle et le mâle en octobre, ce qui révèle une autre vague gamétogénétique. Une rechute rapide en novembre suite à la ponte et à la spermiation est observée.

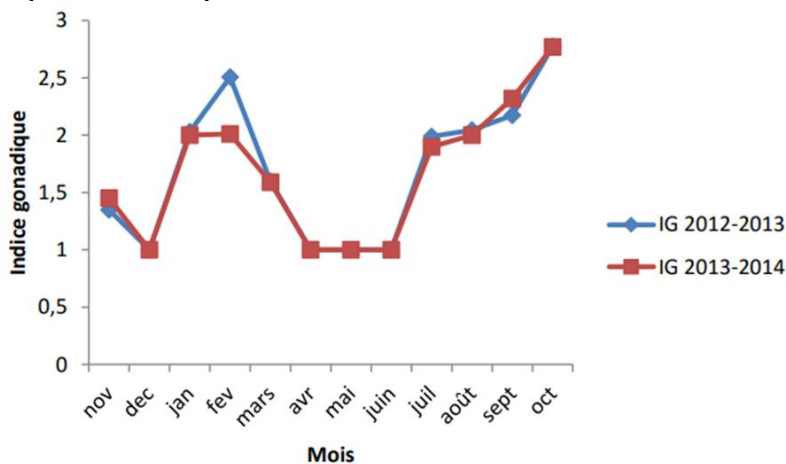


Figure 9: Variations de l'indice gonadique chez la femelle de *Cardium costatum* de 2012-2014

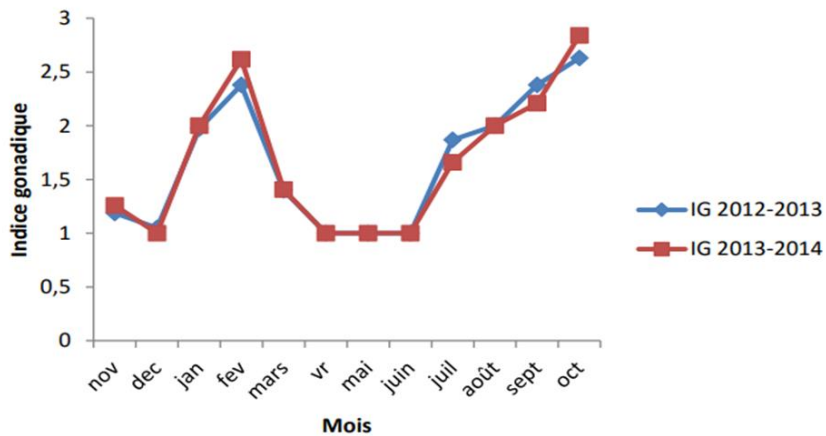


Figure 10: Variations de l'indice gonadique chez le mâle de *Cardium costatum* de 2012-2014

Discussion

L'étude de la gamétogénèse a montré deux périodes de libération des gamètes. Les premières pontes ont lieu en novembre et les deuxièmes en mars tandis que la spermiation a lieu d'octobre à novembre et de février à mars. La gamétogénèse a lieu de janvier à février et de juillet à octobre. Le repos sexuel est observé pendant les mois de mars à juin et de novembre à décembre. La gamétogénèse de *Cardium costatum* est influencée par les saisons marines qui elles-mêmes sont caractérisées par des variations abiotiques et biotiques. En effet, la gamétogénèse est en activité pendant les saisons froides. Cette période est caractérisée par une diminution de la température et une élévation de la salinité et le taux de chlorophylle (Djagoua *et al.*, 2006). Par ailleurs le repos sexuel est observé pendant les saisons chaudes. Certains auteurs ont admis que la température et la disponibilité de la nourriture sont des facteurs déterminants de la ponte et la spermiation chez les Bivalves (Kingston, 1974, Honkoop et Van der Meer, 1998). En effet, les facteurs biotiques (nourriture par exemple) ou abiotiques (température et salinité) peuvent déclencher ou inhiber le processus gamétogénétique et, par la suite, le cycle sexuel (Lubet, 1959). Cette étude a montré que *Cardium costatum* est une espèce gonochorique, c'est-à-dire que les sexes sont séparés. Chez certains individus de *C. costatum*, les lignés des cellules sexuelles mâle et femelle à différents stades de maturation ont été observées dans la même gonade, traduisant ainsi l'hermaphrodisme chez ceux-ci (Kouato *et al.*, 2015). Les travaux de Machreki-Ajmi (2009) sur le genre *Cerastoderma* ont mentionné un cas d'hermaphrodisme. Les indices de condition et gonadique de *Cardium costatum* enregistrés pendant cette étude présentent des variations. En effet, ils baissent de novembre à décembre correspondant à la période d'émission des produits génitaux et au repos sexuel. Ils augmentent ensuite à partir de

janvier à février puis de juillet à octobre consécutif à un développement des gonades ou la période de maturation des gamètes. Ces variations pourraient être liées au cycle de reproduction de *C. costatum* qui lui-même est dépendant de la variation des saisons marines. Le suivi de l'indice de condition et de l'indice gonadique permettrait de connaître les étapes de la gamétogénèse. Ces indices pourraient donc être utilisés pour évaluer l'activité sexuelle des individus. Ces résultats sont en accord avec ceux de Lucas et Beninger (1985), Smaal *et al.* (1997) et Hummel *et al.* (2000) qui ont montré également que l'indice de condition dépend du développement des gonades. L'analyse de la sex-ratio pendant les deux périodes d'étude a permis de mettre en évidence la dominance des femelles par rapport aux mâles. La variation temporelle de la sex-ratio dans cette étude montre une supériorité en nombre des femelles. Ces résultats pourraient être dus à la physiologie même de *C. costatum* et n'est pas influencés par la variation saisonnière. Ces résultats sont en accord avec ceux de Derbali (2011) qui a travaillé sur l'espèce *Cardium glaucum*. Cependant les résultats obtenus par Karray (2008) sur la sex-ratio chez l'espèce *C. glaucum* ne corroborent pas avec le nôtre. Selon lui, la répartition de la sex ratio est presque égale entre les mâles et les femelles. Mackreki-Ajmi (2009) n'est pas parvenue à la même constatation sur la même espèce. Elle a trouvé une dominance des mâles par rapport aux femelles pendant 10 mois.

Conclusion

L'étude de la gamétogénèse a montré deux périodes de libération des gamètes. Les premières pontes ont lieu en novembre et les deuxièmes en mars tandis que la spermiation a lieu d'octobre à novembre et de février à mars. La gamétogénèse est influencée par les saisons marines. Le repos sexuel est observé pendant les mois de mars à juin et de novembre à décembre. *Cardium costatum* est une espèce gonochorique, c'est-à-dire que les sexes sont séparés. Néanmoins, certains cas d'hermaphroditismes ont été observés. Le suivi de l'indice de condition et de l'indice gonadique ont permis de connaître les étapes de la gamétogénèse. Ces indices sont utilisés pour évaluer l'activité sexuelle des individus. La sex-ratio montre une dominance des femelles par rapport aux mâles. La variation temporelle de la sex-ratio montre également une dominance des femelles toute l'année.

Contributions des Auteurs

Les auteurs Kouato Fulgence et Aman Jean Baptiste ont été les initiateurs du thème de cette étude. La collecte des données et la rédaction du manuscrit ont été effectuées par Kouato Fulgence et Kouakou Fokouo Kessia Irène. Aman Jean Baptiste s'est quant à lui chargé de traiter et d'analyser les données. Par ailleurs, les travaux et la rédaction du manuscrit ont été supervisés par Otchoumou Atcho.

Declaration: Cette étude impliquant les bivalves, a été approuvée par l'Unité de Recherche des Sciences de la Nature (UFR-SN) de l'Université Nangui ABROGOUA. Les auteurs déclarent que les mesures de sécurité appropriées ainsi que les principes scientifiques et éthiques relatifs à la recherche impliquant des animaux ont été respectés.

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

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

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

References:

1. Bensâad, L. (2011). Croissance et reproduction de la coque *Cerastoderma glaucum* peuplant la lagune d'El Mellah. Mémoire de Mastère en Sciences de la Mer. Université badji-mokhtar annaba Algérie. 74p.
2. Bouyé, T. R., Sika, A., Memel, J. D., Karamoko, M. & Otchoumou A. (2013). *Effets de la teneur en poudre de coquilles de Bivalves (Corbula trigona) du substrat sur les paramètres de croissance d'Achatina achatina (Linné, 1758) en élevage hors-sol.* Afrique Science. 09 (2), 142-153. <https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/112091>
3. Derbali, A. (2011). Biologie, abondance et cartographie de deux espèces de Bivalves : l'huitre perlière *Pinctada radiata* et la coque Glaucque *Cerastoderma glaucum* dans le golfe de gabes, Thèse de Doctorat de l'université de sfax Tunisie, 194 p.
4. Djagoua, E. V., Affian, K., Larouche, P. & Saley, B. M. (2006). Variabilité saisonnière et
5. interannuelle de la Chlorophylle en surface de la mer sur le Plateau continental de la côte d'Ivoire à l'aide des images de seawifs, de 1997 à 2004. Télédétection, 6 (2): 143- 151.
6. Honkoop, P. J. C. & Van der Meer, J. (1998). Experimentally induced effects of water temperature and immersion time on reproductive output of Bivalves in the Wadden Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 220: 227– 246. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(97\)00107-X](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(97)00107-X)
7. Hummel, H., Sokołowski, A., Bogaards, R. H. & Wołowicz, M. (2000). Ecophysiological and genetic traits of the Baltic clam *Macoma balthica* in the Baltic: differences between populations in the Gdańsk

- Bay due to acclimatization or genetic adaptation. *International Review of Hydrobiology*.85 (5–6), 621–637.
8. Karray, S. (2008). Gestion du glycoène chez la coque *Cerastoderma glaucum* en relation avec le cycle reproducteur. Mémoire de Master, ENIS. Tunisie. 70 p.
 9. Kingston, P. F. (1974). Studies on the reproductive cycles of *Cardium edule* and *C. glaucum*.
 10. *Marine Biology*. 28 (4), 317–323. DOI: [10.1007/BF00388500](https://doi.org/10.1007/BF00388500)
 11. Kouassi, K. D., N'da, K. & Soro Y. (2010). Fréquence de taille et relation taille-masse des mérours (Epinephelidae) de la pêche artisanale maritime ivoirienne. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 4(3), 757-769.
 12. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i3.60508
 13. Kouato, F., Karamoko. M., Otchoumou, A. & Adou C. F. D. (2015). Etude de la gamétogenèse chez le mollusque bivalve *Cardium costatum* (Linne, 1758) de la zone économique exclusive de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*. 11(27), 123-135. <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/6263>
 14. Lubet, P. (1959). Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les Mytilidés et les Pectinidés (Mollusques Bivalves). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*. 23: 387-548. <https://archimer.ifremer.fr/doc/1959/publication-4507.pdf>
 15. Lucas, A. & Beninger P. G. (1985). The use of physiological condition indices in marine Bivalve aquaculture. *Aquaculture*, 44 :187-200.
 16. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90243-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90243-1)
 17. Machreki-Ajmi, M., Ketata I., Ladhar-Chaabouni, R. & Hamza-Chaffai A. (2008). The effect of in situ cadmium contamination on some biomarkers in *Cerastoderma glaucum*. *Ecotoxicology*, 17: 1-11.
 18. Machreki-Ajmi, M. (2009). Validation des biomarqueurs de pollution chez le Mollusque Bivalve *Cerastoderma glaucum* issu du golfe de Gabès : Etude *in situ* et transplantation *in vivo*. Thèse de Doctorat, Université de sfax. Faculté des Sciences de Sfax (Tunisie), 205p.
 19. Martínez-Fernández, E., Acosta-Salmón, H., Rangel-Dávalos, C., Olivera, A., RuizRubio, H. & Romo-Piñera, A. K. (2003). Spawning and larval culture of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) in the laboratory. *World Aquaculture*, 34: 36-39.
 20. Medina, M. & Collins, A. G. (2004). The Role of Molecules in Understanding Molluscan Evolution. *Smithsonian Institution Press*. Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Report #: LBNL-50244. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3c85z8hj>

21. Meunier, S. (2007). Les mollusques d'intérêt médical et vétérinaire : Etat de la question en 2006. Thèse de Doctorat, Université de Limoges. Faculté de Pharmacie de Limoges (France) 100p.
22. Meziane, K. & Kerfouf, A. (2013). Biodiversité et distribution spatiale des Mollusques de l'estran de la côte Ouest algérienne (cas des substrats durs). 3^{ème} colloque international sur la Biodiversité et Ecosystèmes Littoraux. Oran, Algérie. 98-105.
23. Pezennec, O. & Bard, F. X. (1992). Importance écologique de la petite saison d'upwelling ivoiro-ghanéenne et changements dans la pêche de *Sardinella aurita*. *Aquatic Living Resources*, 5 (4), 249-259.
24. <https://www.alr-journal.org/articles/alr/pdf/1992/04/alr92402.pdf>
25. Reneerkens, J., Piersma, T. & Spaans, B. (2005). De Waddensee als kruispunt van vogeltrekwegen. Den Burg, Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ). NIOZ-rapport : 4, 1-125.
26. <https://www.commissiener.nl/docs/mer/p15/p1543/1543-83literatuurstudie.pdf>
27. Smaal, A. C., Vonck, A. P. M. A. & Bakker, M. (1997). Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes. *Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom*, 77: 817- 838. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315400036213>
28. Stoner, A.W, Ryer, C. H. & Mc Connaughey, R. A. (2005). Ecological consequences of lost habitat structure for commercially significant flatfishes: habitat choice and vulnerability to predators: *In: Benthic Habitats and the Effects of Fishing. American Fisheries Society* (Barnes PW. et Thomas JP eds.), Symposium 41, Bethesda, Maryland. 602-603.
29. Viarengo, A. & Canesi, L. (1991). Mussels as biological indicators of pollution. *Aquaculture*. 94: 225-243. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90120-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90120-V)
30. Wolowicz, M. (1987). A comparative study of a reproductive cycle of cockles *Cardium*
31. *glaucum* (Poiret, 1789) and *C. hauniense* (Petersen, Russell 1971) (Bivalvia), from the Gdansk Bay. *Polish Archives of Hydrobiology*. 34: 91 105. [10.1017/S0025315400014995](https://doi.org/10.1017/S0025315400014995)
32. Zaouali, J. (1974). Les peuplements malacologiques dans les biocoenoses lagunaires
33. tunisiennes. Etude de l'espèce pionnière *Cerastoderma glaucum* Poiret. Thèse de Doctorat, Université de SFAX, Tunisie, 345 p.
34. Zaouali, J. (1975). Etude du cycle sexuel de *Cerastoderma glaucum* dans les deux lagunes

35. hyperhalines tunisiennes : lac de Tunis et mer de Bou Ghrara. Rapport Commission Internationale de la Mer Méditerranéenne, 23 : 79-80.
36. Zaouali, J. (1980). Étude du cycle sexuel de *Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1789) (Bivalvia,
37. Eulamellibranchia, Cardiidae) dans la mer de Bou Ghrara (Tunisie) (Study of the sexual cycle of *Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1789) (Bivalvia, Eulamellibranchia, Cardiidae) in the Bou Ghrara Sea (Tunisia). Archive Institut Pasteur Tunis, 57: 281-295.

Profil de la Transition Sanitaire en République du Congo

Etienne Paka

Département de géographie, Université Marien Nguouabi
Institut Géographique National (IGN)
Brazzaville, République du Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p255](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p255)

Submitted: 19 August 2024

Accepted: 20 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Paka E. (2024). *Profil de la Transition Sanitaire en République du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 255. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p255>

Résumé

L'Afrique, comme les autres régions du monde, est engagée dans la transition sanitaire qui se caractérise par le fait que les maladies chroniques et non transmissibles supplantent progressivement les maladies infectieuses et transmissibles en tant que principales causes de la morbidité et de la mortalité. Cette étude a pour objectif d'analyser le profil de la transition sanitaire en République du Congo en répondant à trois principales questions : le Congo a-t-il entamé sa transition sanitaire ? Quelles sont les facteurs de cette transition ? Cette transition est-elle spatialement différenciée ? Trois types de sources documentaires ont été utilisées : les rapports et les enquêtes produits au niveau national, les publications scientifiques et les sources internationales. Trois types d'indicateurs sont analysés à différentes échelles spatiales : la morbidité, la natalité et les états nutritionnels. De l'étude, il ressort que le Congo a entamé sa transition sanitaire. En effet, même si les maladies transmissibles demeurent encore dominantes, les pathologies non transmissibles représentent une part croissante de la mortalité. Les pourcentages des décès liés aux maladies transmissibles et non transmissibles sont respectivement passés de 61% et 38% en 2000 à 51% et 48% en 2019. Cela est le résultat de plusieurs facteurs, dont la transition démographique et l'urbanisation avec tous les changements qui en résultent en termes de mode de vie (sédentarité) de pratiques de consommation (alimentaires, alcool et tabac...). Cette transition sanitaire est une source de nouveaux défis sanitaires aussi bien en termes de prévention et de prise en charge des pathologies chroniques que de réorganisation du système de soins. Il faudra aussi mieux

articuler les politiques publiques de santé en fonction des contextes sociogéographiques.

Mots-clés: Transition sanitaire, différenciation spatiale, milieux de résidence, Congo

Profile of Health Transition in the Republic of Congo

Etienne Paka

Department of Geography, Marien Ngouabi University
National Geographic Institute (IGN)
Brazzaville, Republic of Congo

Abstract

Africa, like other regions of the world, is engaged in the health transition, characterized by the gradual replacement of infectious and communicable diseases by chronic and non-communicable diseases as the primary causes of morbidity and mortality. This study aims to analyze the health transition profile in the Republic of Congo by addressing three main questions: Has Congo begun its health transition? What are the drivers of this transition? Is this transition spatially differentiated? Three types of documentary sources were used: national reports and surveys, scientific publications, and international sources. Three types of indicators were analyzed at different spatial scales: morbidity, birth rates, and nutritional status. The study reveals that Congo is undergoing a health transition. Indeed, while communicable diseases remain dominant, non-communicable diseases represent an increasing share of mortality. The percentage of deaths attributed to communicable and non-communicable diseases shifted from 61% and 38% in 2000 to 51% and 48% in 2019, respectively. This shift is the result of several factors, including demographic transition and urbanization, along with the resulting changes in lifestyle (sedentarism) and consumption practices (food, alcohol, and tobacco). This health transition presents new health challenges, both in terms of prevention and management of chronic diseases and the reorganization of the healthcare system. It will also be necessary to better integrate public health policies according to the socio-geographical contexts.

Keywords: Health transition, spatial differentiation, residential environments, Congo

Introduction

Omran (1971) a proposé la théorie de la transition épidémiologique pour analyser l'évolution des causes de décès dans ses interactions avec les structures démographiques ainsi que leurs déterminants. Il a formalisé cette théorie comportant trois phases (l'ère de la peste et de la famine, l'ère du recul des pandémies, l'ère des maladies dégénératives et chroniques) pour expliquer les changements intervenus dans les structures des causes de la mortalité dans les pays développés, depuis la révolution industrielle jusqu'à la fin des années 1960. Ces changements se sont caractérisés par le fait que les maladies dégénératives et chroniques ont progressivement supplanté les maladies infectieuses en tant que principales causes de la morbidité et de la mortalité (Omran, 1971, p.50). Certains auteurs ont toutefois critiqué la théorie de la transition épidémiologique proposée par Omran en objectant qu'elle ne pouvait pas, en l'état, être appliquée dans tous les contextes sociogéographiques. Alors que cette transition épidémiologique s'est étalée sur plusieurs siècles dans les pays développés, elle est globalement plus rapide dans les pays en développement (Picheral, 1989, p.130 ; Phillips, 1989, p.15). Son caractère linéaire et unidirectionnel le rend aussi moins opératoire dans le cas des pays moins développés, notamment ceux d'Afrique, où il n'y a pas de rupture nette entre les pathologies parasitaires et infectieuses, attribuées aux sociétés rurales et traditionnelles, et les pathologies chroniques non transmissibles, synonymes de sociétés urbaines et modernes. On observe au contraire que les maladies parasitaires et infectieuses que l'on pensait vaincre assez rapidement se maintiennent encore à des niveaux élevés et coexistent avec les pathologies chroniques. En Afrique, cette transition se déroule aussi d'une manière beaucoup plus fragmentée et contrastée, avec des avancées très rapides dans certains cas, des périodes de stagnation et même de régression dans d'autres cas, en fonction des échelles spatiales (Amat-Roze, 2015, p.5 ; Meslé, 2003, p.90 ; Caselli et al., 2001, p.2).

Cette dimension plurielle de la transition a été conceptualisée par Frenk et al., (1991, p.23) dans un texte publié dans la revue *Health Transition Review*. Les auteurs y ont formalisé le concept de transition sanitaire qu'ils considèrent plus large que celui de transition épidémiologique qui n'en serait que l'une des composantes.

« La transition sanitaire peut-être divisée en deux composantes. La première est la transition épidémiologique à proprement parler, qui est définie comme le processus de changement à long terme dans les conditions de santé d'une société, y compris les changements dans les schémas de maladies, de handicap et la mort. La deuxième composante, que l'on peut appeler la transition des soins de santé, fait référence aux changements dans les modèles de réponses sociales organisées aux problèmes de santé. »

La transition sanitaire engloberait ainsi la transition épidémiologique, comme processus de changement dans le temps de la structure des maladies et des causes des décès, mais aussi les facteurs sociaux collectifs, individuels et institutionnels (y compris l'offre de soins) en lien ou en réponse à la transition épidémiologique. Le glissement sémantique d'une transition sanitaire à plusieurs dimensions, et plus large que la transition épidémiologique, proposée par Frenk et al. (1991) est reprise dans plusieurs travaux (Meslé et Vallin, 2007, p.545). C'est cette approche de la transition sanitaire que nous retenons dans cette étude. Son objectif est d'analyser le profil de la transition sanitaire en République du Congo. Elle s'articule autour de trois questions : le Congo a-t-il entamé sa transition sanitaire ? Quelles sont les facteurs de cette transition ? Cette transition est-elle spatialement différenciée ?

1. Données et méthodologie

L'analyse des changements intervenus dans les causes de la mortalité et de la morbidité implique de disposer de séries statistiques ayant une profondeur historique suffisante pour en saisir les tendances. En Afrique au sud du Sahara, d'une manière générale, et au Congo, en particulier, les séries statistiques de mortalité générale et spécifique manquent de profondeur historique et sont par ailleurs difficiles à obtenir à cause des dysfonctionnements des services en charge des statistiques. Cela contraint à utiliser des sources fragmentaires dont les données ne sont toujours pas collectées selon les mêmes standards. Les mêmes difficultés concernent aussi la morbidité. L'absence d'un système d'information sanitaire cohérent fait qu'il est difficile d'avoir des données homogènes sur des périodes assez longues. Malgré leurs faiblesses, les quelques données disponibles permettent néanmoins de saisir les principales tendances de la structure de la morbidité et de la mortalité.

Trois types de sources ont été utilisées pour réaliser cette étude : les rapports et les enquêtes produits au niveau national, les publications scientifiques et les sources internationales. Au niveau national, les données de morbidité et de mortalité proviennent des annuaires des statistiques sanitaires (2012 et 2020), des enquêtes démographiques et de santé (2005 et 2011) et de l'enquête par grappes à indicateurs multiples (MICS5 Congo, 2014-2015). Ces données ont été complétées par celles fournies par les publications scientifiques. Des sources internationales, il s'agit essentiellement des données de morbidité et de mortalité publiées par l'Organisation mondiale de la santé et la Banque mondiale. Il s'agit bien souvent d'estimations reconnues fiables et qui sont, de ce fait, utilisées dans les comparaisons internationales. Trois types d'indicateurs sont utilisés : les indicateurs de morbidité générale et spécifique, de natalité et d'états nutritionnels. Ils sont analysés de manière générale, mais aussi spécifique pour tenir compte de la structure par âge de la

population. Leur analyse est d'abord conduite à l'échelle nationale puis à l'échelle des départements et des milieux de résidence (Urbain/rural).

2. Résultats et discussion

2.1. Une morbidité et une mortalité marquées par la double charge des pathologies transmissibles et non transmissibles

2.1.1. La morbidité

Le tableau 1 présente les dix premières causes des consultations ambulatoires pour les années 2012 et 2020, telles que notifiées par le système national de surveillance épidémiologique. Ces dix premières pathologies représentent respectivement 94% et 84% de la morbidité enregistrée en 2012 et 2020.

Le tableau montre que les pathologies transmissibles ont encore un poids prépondérant dans la morbidité générale. C'est le cas notamment du paludisme qui représente plus de la moitié des motifs des consultations. Trois autres pathologies classiques du complexe parasitaire et infectieux suivent de très loin : les infections respiratoires aiguës, les diarrhées et les infections uro-génitales. La prédominance du paludisme parmi les problèmes de santé est l'une des caractéristiques majeures de la morbidité enregistrée dans les pays africains au sud du Sahara (Gruénais et Pourtier, 2000, p.7 ; Niang et Salem, 2015, p.202 ; Paka, 2022, p.55). Le rapport d'étape 2022 sur le paludisme de l'Union Africaine (2022, p.2) indique que l'Afrique représente 96,3% des cas mondiaux et 97,6% des décès mondiaux et que près de 1,2 milliards de personnes sont exposées au risque d'infection palustre sur le continent.

Au Congo, et dans les autres pays africains au Sud du Sahara, la persistance des pathologies parasitaires et infectieuses témoigne fondamentalement de l'existence de systèmes pathogènes favorables à ces pathologies à cause, notamment, de la pauvreté, des mauvaises conditions de vie (habitat, nourriture, hygiène individuelle...), des carences en matière d'assainissement, du faible accès à une offre de soins insuffisante et par ailleurs peu performante (Paka, 2022, p.55 ; Bouba Djourdebbé, 2019, p.197 ; Niang et Salem, 2015, p.206). À cela, il faudrait ajouter la résistance des agents pathogènes aux molécules commercialisées et les modifications de l'environnement naturel et social à l'origine des nouvelles pathologies émergentes telles qu'Ebola et le Monkeypox (Salem et Fournet, 2020, p.35).

Tableau 1 : Les causes des consultations ambulatoires

PATHOLOGIES	2012		2020	
	Effectifs	%	Effectifs	%
Paludisme	334769	61,4	361310	59,3
Infections respiratoires aiguës	72541	13,3	37966	6,2
Diarrhées	32362	5,9	35336	5,8
Infections uro-génitales	23984	4,4	30323	5
Dermatose	16630	3,1	11869	1,9

Pneumonie	8543	1,6	7791	1,3
Anémie	7454	1,4	7317	1,2
Fièvre typhoïde	7401	1,4	5345	0,9
Hypertension artérielle	6855	1,3	12137	2
Diabète	2011	0,4	7428	1,2

*Source : Annuaire des statistiques sanitaires 2012/2020
Ministère de la santé*

À l'autre bout du tableau apparaissent deux pathologies non transmissibles, l'hypertension artérielle et le diabète. Leurs poids paraissent faibles par rapport à la morbidité générale. Ces chiffres sont toutefois loin de traduire le niveau réel de la prévalence de ces pathologies. Ce ne sont en effet pas des pathologies pour lesquelles l'on consulte spontanément et l'incapacité du système de soins, notamment au niveau périphérique, à rendre compte de certains problèmes de santé concerne en particulier ces pathologies non transmissibles. Le poids de ces pathologies apparaît mieux quand l'on considère la morbidité spécifique des adultes, c'est-à-dire de la tranche de la population la plus exposée. À partir des données issues des centres de santé de premier recours du district sanitaire de Bacongo, Paka (2022, p.57) a montré qu'après le paludisme, l'hypertension artérielle et le diabète sont la deuxième cause des consultations pour les patients de plus de 45 ans (12,7 % pour les patients de 45 à 54 ans et 28% pour ceux de plus de 54 ans). Ces niveaux de prévalence au sein de la population adulte se rapprochent de ceux indiqués dans les études réalisées en population, en milieu professionnel ou hospitalier, aussi bien au Congo que dans d'autres pays africains (Rabarijaona et al., 2009, p.25 ; Ondze-Kafata et al., 2013, p.43-44 ; Doulogou, 2014, p.92 ; Siddikatou et al., 2024, p.104).

La première et dernière enquête populationnelle effectuée à Brazzaville en 2004 sur l'hypertension artérielle et les autres facteurs de risque cardiovasculaires auprès de 2100 sujets de 25 à 64 ans (Kimbally-Kaky, 2004, p.9,12) rapporte une prévalence respective de 32,5 % et de 7 % pour l'hypertension et le diabète. L'enquête a aussi noté un lien entre la prévalence de l'hypertension et l'âge. Pour l'hypertension artérielle, cette prévalence était plus élevée chez les sujets de plus de 54 ans (68 %) contre 19 % chez les jeunes de 25 à 34 ans. Le même phénomène a été observé pour le diabète, la prévalence passant de 7,1% chez les jeunes de 25 à 34 ans à 50% chez les personnes de plus de 54 ans. Même si la prévalence de ces pathologies est plus élevée chez les sujets plus âgés, il faut néanmoins relever la précocité de ces problèmes de santé chez les jeunes qui ne sont plus épargnés par ces pathologies qui étaient jusqu'ici considérées comme les maladies des « vieux ». L'hypertension artérielle et le diabète sont des facteurs de risque d'autres problèmes de santé tels que les accidents vasculaires cérébraux (AVC) qui sont devenus des problèmes majeurs de santé publique. En 2020,

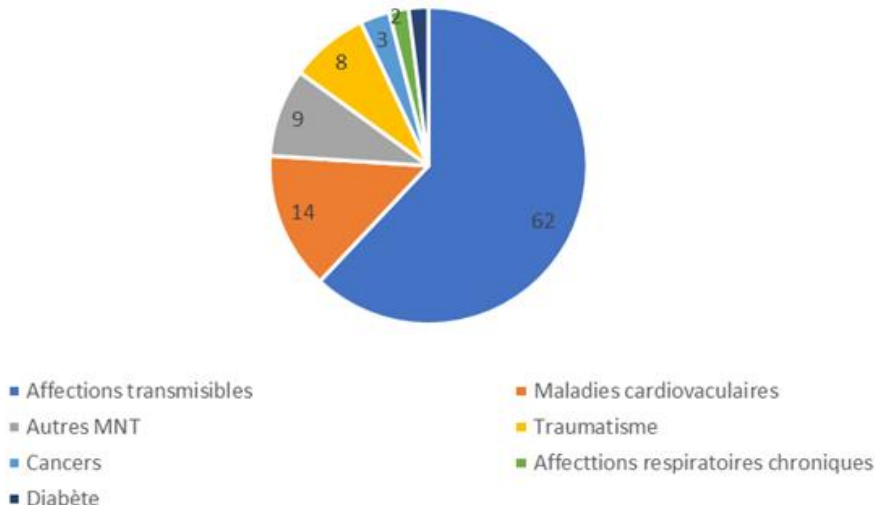
selon les données de l'annuaire des statistiques sanitaires du Congo (2020), avec 53% des cas, les AVC représentaient la première cause des admissions aux urgences hospitalières pour les personnes de plus de 55 ans.

Même s'ils n'apparaissent pas dans le tableau 1, les cancers ne sont pas moins une préoccupation sanitaire majeure en Afrique. Tous types confondus, ils représentent entre 10 et 20% des pathologies sur le continent africain (ALIAM, 2017, p.13). Au Congo, la nécessité de mieux évaluer l'incidence des cancers et d'améliorer leur prise en charge a conduit à la création du registre des cancers de Brazzaville en 1996. En moyenne, un peu plus de 500 nouveaux cas sont dépistés chaque année, soit un taux brut d'incidence de 39,8 pour 100 000 habitants et par an, 49,0 chez les femmes et 35,2 chez les hommes (Nsondé Malanda et al., 2013, p.136). Les dernières données concernant 2014 indiquent deux principales localisations chez les femmes (le sein et le col utérin avec respectivement 35 % et 28% des nouveaux cas dépistés) et les hommes (la prostate et le foie représentant 37% et 17% des nouveaux cas) (Gombé Mbalawa, 2015, p.10-11). Parmi les cancers qui se développent au Congo, il y a les cancers colorectaux qui occupent la cinquième place, tous genres confondus, avec une incidence de 6,3 pour 100.000 habitants (Bolenga Liboko et al., 2022, p.52).

2.1.2. La mortalité

La figure 1 ci-après montre le poids des pathologies transmissibles et non transmissibles dans la mortalité.

Figure 1 : Les causes des décès (en %)



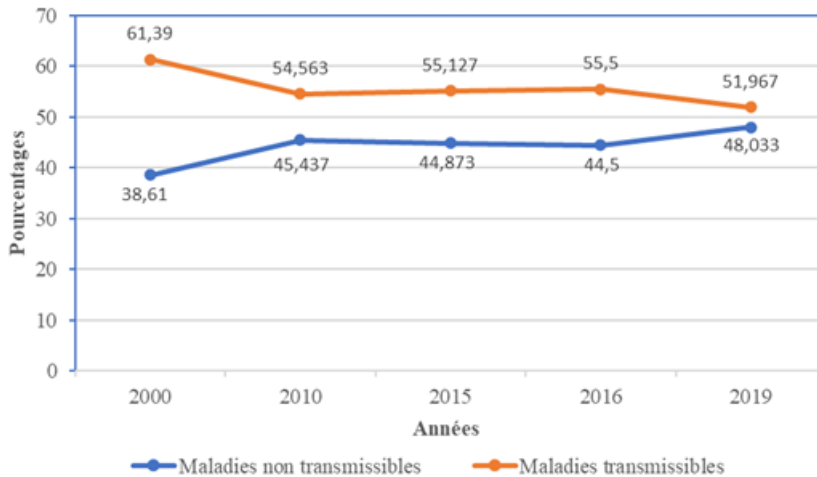
Source : OMS, Profil pays, 2016

Même si les maladies transmissibles demeurent dominantes, les pathologies non transmissibles représentent une part non négligeable de la

mortalité générale (38% des causes de décès). En 2009, l'étude de Mahoungou-Guimbi et al. (2011, p.961) a montré que les maladies cardiovasculaires représentaient 37% des causes de décès des personnes de plus de 60 ans survenus au Centre hospitalier universitaire de Brazzaville. Les données de l'OMS (2022, p.50) indiquent que 23% des décès prématurés au Congo sont dus aux maladies non transmissibles. Les maladies cardiovasculaires arrivent en tête des causes de décès (14%).

Pour le Congo, la figure 2 montre que le poids des maladies transmissibles dans la mortalité générale est tendancielle en baisse ces dernières années alors que celui des maladies non transmissibles a plutôt tendance à augmenter. Les courbes de la mortalité due aux maladies transmissibles et non transmissibles ne se sont pas encore croisées. Mais elles se rapprochent. Ce qui signifie que la transition sanitaire, même au sens proposé par A. Omran, est bien entamée au Congo.

Figure 2 : Évolution des causes de décès par types de maladies



Source : Banque Mondiale, 2020

La baisse relative de la mortalité liée aux complexes infectieux et parasitaires et l'augmentation de la mortalité attribuée aux maladies non transmissibles sont aussi observées à l'échelle de l'Afrique. Dans son dernier rapport sur l'état de la santé dans la région Afrique, l'OMS (2018, p.16) fait observer que les taux bruts de mortalité liés aux maladies transmissibles ont baissé pendant que ceux des maladies non transmissibles augmentent. Les Congolais, autant que les Africains, sont ainsi confrontés à la double charge des maladies transmissibles et des maladies chroniques, alors que les systèmes de soins sont plus orientés à traiter les maladies infectieuses et moins préparés pour la prise en charge des maladies chroniques (Lofandjola et al., 2017, p.377 ; Masquelier et Soura, 2016, p.2117).

2.2. Transition sanitaire et transition démographique

Qu'il s'agisse de la morbidité ou de la mortalité, les observations qui précèdent témoignent des transformations en cours depuis quelques années dans les pays africains, ces transformations étant elles-mêmes le résultat des facteurs sociaux (urbanisation, mode de vie, pratiques alimentaires, sédentarité, consommation d'alcool et de tabac...) sur lesquels nous reviendrons, mais aussi de l'évolution des structures démographiques. De ce point de vue, la montée des pathologies non transmissibles éclaire aussi les liens entre transition sanitaire et transition démographique, comme le faisait déjà remarquer Frenk et al. (1991, p.23) en évoquant les implications sanitaires de la transition démographique. Au Congo, comme d'autres pays africains, la transition démographique se caractérise, entre autres, par un allongement de l'espérance de vie. L'espérance de vie à la naissance est passée de 46,7 ans au milieu des années 1970 à 65 ans en 2020 (Paka, 2024, p.41), soit environ vingt années de plus en cinquante ans, dont les deux tiers ces vingt dernières années. Cet allongement de l'espérance de vie a pour corollaire un allongement de la durée d'exposition aux facteurs de risque des pathologies non transmissibles dont le risque augmente avec l'âge. Les avancées dans la transition démographique se traduisent ainsi par l'augmentation de la charge des maladies non transmissibles (Gaimard, 2008, p.35).

2.3. Le mode de vie urbain comme accélérateur de la transition sanitaire

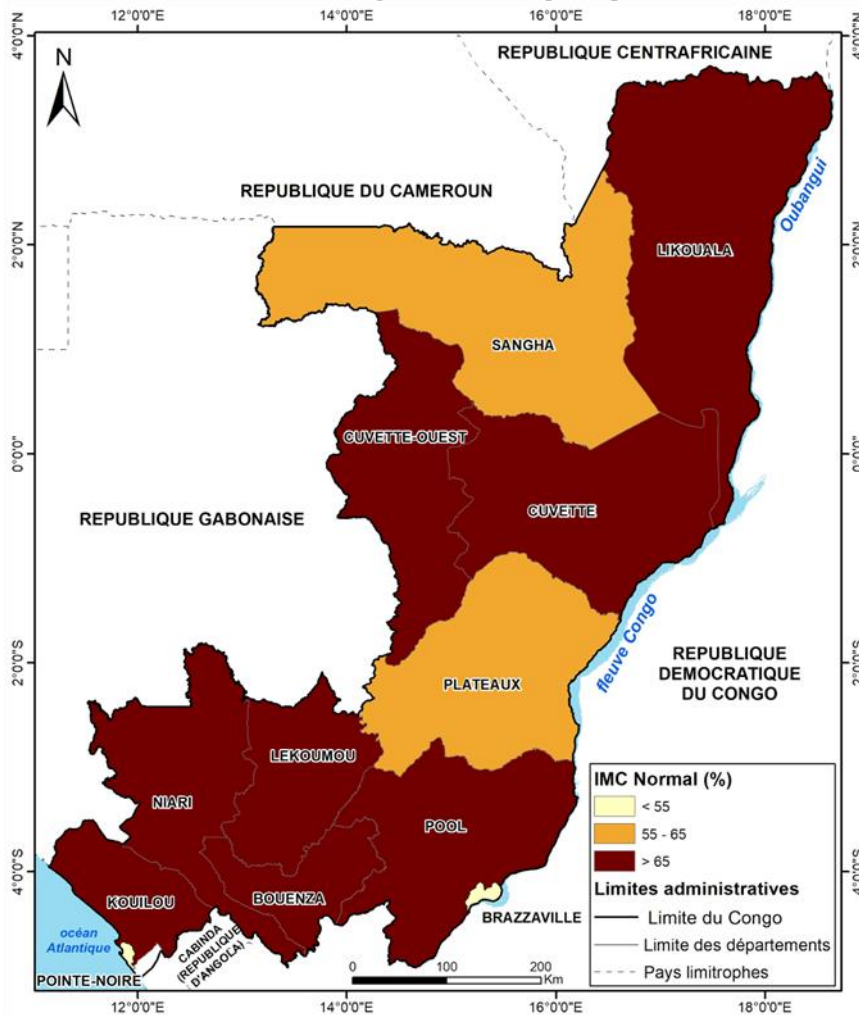
La transition sanitaire qui vient d'être esquissée à l'échelle nationale ne se déroule pas au même rythme dans l'ensemble du pays. Faute de données de morbidité et de mortalité à des échelles différenciées, ce sont les indicateurs des états nutritionnels disponibles par département et par milieu de résidence (Urbain/rural) qui sont utilisés. Il s'agit notamment de l'indice de masse corporelle (IMC). L'IMC est une mesure du poids par rapport à la taille couramment utilisée pour estimer l'insuffisance pondérale, le surpoids et l'obésité chez l'adulte. Il correspond au poids en kilogrammes divisé par le carré de la taille en mètres (kg/m^2). Selon l'OMS, une personne dont l'IMC se situe entre 18,5 et 25 a une corpulence normale. Celle dont l'IMC est égal ou supérieur à 25 est considérée comme étant en surpoids et une personne ayant un IMC de 30 ou plus est considérée comme obèse. Le surpoids et l'obésité sont devenus des problèmes de santé majeurs au point que l'OMS considère l'obésité comme « *première épidémie mondiale non virale* » (De Saint Pol, 2013, p.19). L'obésité est à la fois une maladie non transmissible et l'un des principaux facteurs de risque de plusieurs autres maladies non transmissibles telles que les maladies cardiovasculaires, l'hypertension artérielle, le diabète de type 2 et certains cancers (Correia, 2014, p.712 ; OMS, 2021, p.1). À ce titre, la surcharge pondérale peut être considérée comme un

indicateur de la transition sanitaire et permet de situer les régions du pays et les milieux de résidence par rapport à cette transition sanitaire.

2.3.1. Surpoids, obésité et sédentarité

Les cartes 1 et 2 montrent respectivement la répartition des valeurs de l'IMC correspondant aux situations « normales » et aux situations de surpoids et d'obésité par département. Sur la carte 1, on peut observer que ce sont les deux départements correspondant aux deux grandes villes du pays, Brazzaville et Pointe-Noire, qui présentent les valeurs IMC « Normales » les moins élevées par rapport aux autres départements.

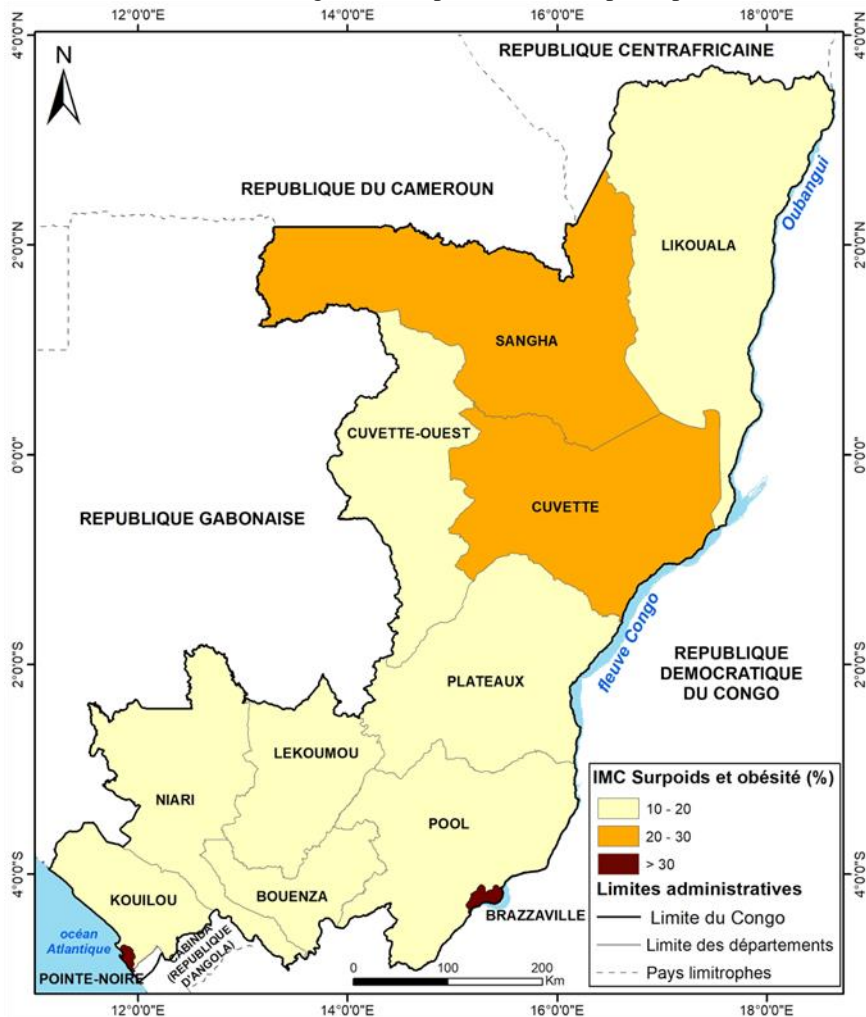
Carte 1 : Pourcentage IMC normal par département



Source : Enquête MICS5 Congo 2014-2015

À l'inverse, la carte 2 montre que ce sont ces deux grandes villes qui se caractérisent par les valeurs de surpoids et d'obésité les plus élevées, avec des proportions supérieures à 30%. En 2004, l'enquête sur les facteurs de risques des maladies cardio-vasculaires réalisée à Brazzaville indiquait une prévalence de 27% pour le surpoids et l'obésité (Kimbally-Kaky, 2004, p.13). À Libreville, une enquête similaire (Comlan et al., 2009, p.43) indique une prévalence de surpoids et d'obésité de 48%. En 2020, Atabohe et al. (2020, p.30) ont rapporté des taux de surpoids et d'obésité respectifs de 43% et 21,1% à Pointe-Noire.

Carte 2 : Pourcentage IMC surpoids et obésité par département



Source : Enquête MICS5 Congo, 2014-2015

La figure 3 représente ces mêmes indicateurs en fonction des milieux de résidence. Les valeurs normales d'IMC sont globalement plus faibles en

milieu urbain qu'en milieu rural, alors que les situations de surpoids et d'obésité sont plus fréquentes en milieu urbain qu'en milieu rural. Tout porte donc à penser que les villes sont plus avancées dans la transition sanitaire que les zones rurales. La ville apparaît ainsi comme en milieu « obésogène » et, par conséquent, comme un accélérateur de la transition sanitaire.

Plusieurs études ont montré les liens entre l'urbanisation et l'exposition à la surcharge pondérale (Maire, 2002, p.50 ; Zeba, 2012, p.12 ; Correia et al., 2014, p.713). Un certain nombre de facteurs sont évoqués pour expliquer ces liens. Il s'agit notamment de la sédentarité, des comportements ou pratiques alimentaires et d'autres facteurs socio-économiques.

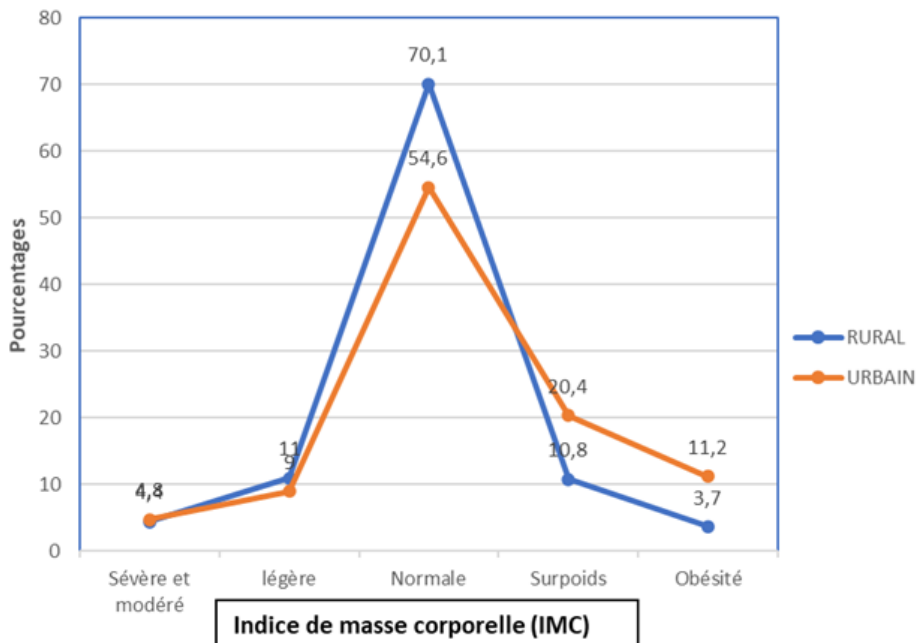


Figure 3: États nutritionnels par milieu de résidence
Source: Enquête MICS5 Congo, 2014-2015

De ces études on retient que le mode de vie urbain génère un rythme de vie peu actif, notamment par le développement des transports mécanisés, du secteur des services qui favorise la sédentarité sur le lieu de travail, alors que même les loisirs (cinéma, télévision) encouragent l'inactivité physique et la sédentarité. Les enquêtes menées dans quelques villes africaines montrent que les taux d'inactivité physique dépassent les 75% (Kimball-Kaky, 2004, p.17 ; Comlan et al., 2009, p.33 ; Ben Ali et al., 2020, p.3) au sein des populations enquêtées. Le plus inquiétant est que même les adolescents ne sont pas épargnés par l'inactivité et la sédentarité, comme l'a montré l'étude de Regaieg et al. (2015, p.3) auprès des adolescents de Sfax, en Tunisie.

« La fréquence du surpoids et de l'obésité augmentait significativement avec le temps de sédentarité. De même, le taux de surcharge pondérale était significativement plus élevé chez les élèves qui ne faisaient pas d'activité physique que ce soit dans le cadre scolaire ou institutionnalisé hors scolaire ».

Ces adolescents citadins ne sont donc pas seulement de futurs adultes, mais aussi de futurs malades chroniques.

2.3.2. Transition sanitaire et transition nutritionnelle

Si le mode de vie urbain génère des rythmes de vie peu actifs, il favorise aussi de nouveaux modes de consommations alimentaires. Dans les villes africaines, les produits alimentaires d'origine végétale caractéristiques des régimes alimentaires traditionnels sont de plus en plus remplacés par les produits alimentaires d'origine animale plus énergétiques. À Brazzaville, Moutoula Boula et al. (2016, p.9176) ont montré que les habitudes alimentaires sont plus fortement marquées par la consommation des viandes (bœuf, mouton, porc) et de la volaille (essentiellement du poulet) que par les légumes et les feuilles vertes. La viande et la volaille sont en général des produits importés et congelés connus sous le nom de « vivres vrais ». Ils sont très accessibles aussi bien en termes de lieux de vente que de prix (Dimossi Batouanga, 2016, p.63). Ils sont en effet vendus aussi bien dans les grands marchés domaniaux, les petits marchés et les boucheries de quartier que sur les étals le long des voies de circulation. Ils sont proposés en différentes portions accessibles à toutes les bourses, pour une consommation individuelle ou familiale. En fonction de sa bourse, et des besoins, on peut acheter un quart, un demi ou une cuisse entière de poulet, avec un prix variant de 250 FCFA pour un quart de cuisse de poulet à 1000 FCFA pour une cuisse entière.

Cette transformation des pratiques alimentaires a été formalisée par Popkin (1993, p.139) par le concept de « Transition nutritionnelle », un modèle en cinq étapes : ère de l'homme paléolithique : ère de la famine, ère de l'industrialisation, ère des maladies chroniques dégénératives, ère du changement comportemental volontaire. Un certain nombre de facteurs favorisent cette transition nutritionnelle dans les villes africaines. Maire et al. (2004, p.26) évoquent, entre autres, deux facteurs. : une offre alimentaire diversifiée et accessible, le marketing alimentaire véhiculé par les publicités commerciales.

« Les milieux urbains accèdent de plus en plus rapidement à une offre alimentaire externe différente et abondante, notamment dans un contexte d'internationalisation de plus en plus marquée de la production et des échanges alimentaires... Les villes sont également les plus exposées à la montée en puissance de la communication

commerciale médiatisée sous toutes ses formes (publicité, marketing) et à l'attractivité vers les modèles de consommation qu'elle véhicule. Elles sont en première ligne des changements qui interviennent dans les modes de commercialisation des aliments, en particulier avec l'irruption de la grande distribution, des super- et hypermarchés. »

Ces nouvelles pratiques alimentaires sont aussi favorisées par la séparation des lieux de travail et des lieux de résidence. En effet, pour de nombreux citadins, aussi bien ceux qui exercent dans le secteur formel que dans le secteur informel, il est souvent difficile de revenir à la maison pour manger, car les trajets à parcourir sont longs dans un contexte marqué par l'insuffisance de l'offre de transport et les coûts élevés des déplacements. Pour eux, l'unique moyen d'accéder à un repas est en général la restauration rapide sous toutes ses formes. Les lieux de restauration rapides sont connus sous différents noms (*Maquis* en Côte d'Ivoire, *Malewa* en République Démocratique du Congo et en République Congo où ils sont aussi appelés *nganda*). Ils proposent différents mets locaux, souvent très épicés et gras, et participent ainsi à la diffusion des nouveaux modes de consommation à l'origine de la montée du surpoids et de l'obésité (Berton-Ofouémé et Paka, 2018, p.635).

2.3.3. Le poids des facteurs culturels

Les facteurs culturels influencent les représentations et la perception de l'image du corps, notamment dans le contexte africain. L'apparence physique, support de la « première impression », s'avère essentielle dans les relations avec les autres (De Saint Pol, 2013, p.19). Au Congo, la perception de l'image corporelle n'est pas documentée. Mais il est de coutume de penser que, pour un homme, le fait d'avoir « un petit ventre » surplombant la ceinture n'a rien à avoir avec une obésité abdominale. Cela renvoie plutôt à une image positive traduisant une aisance sociale alors que « le ventre plat » est synonyme de « galère ». De même, la représentation d'une femme, une « vraie », est associée à l'embonpoint plutôt qu'à la minceur. C'est notamment le cas des femmes en couple pour lesquelles la minceur peut même être le signe d'une absence d'aisance dans le foyer. Ces dernières années, la valorisation de la « femme en chair » est de plus en plus médiatisée par les concours de beauté, tel que « Miss Awoulaba » en Côte d'Ivoire ou « Miss Mama Kilos » en République Démocratique du Congo et en République du Congo.

Dans ce contexte, les individus ne perçoivent pas les états de surpoids ou d'obésité comme un « problème ». Ils les associent plutôt à une bonne situation sociale. Cela conduit à un décalage entre l'image que l'on peut avoir de soi et une situation réelle de surpoids ou d'obésité pouvant avoir un impact

néгатif sur la santé. Dans une enquête réalisée à Ouagadougou, Zeba (2012, p.160) a observé que 9,4 % des participants se percevaient comme en surpoids, alors qu'en réalité 16,9 % étaient objectivement en surpoids selon leur IMC. Ce décalage entre la perception de l'image corporelle et l'état nutritionnel réel peut être amplifié dans certains contextes particuliers, comme celui qui a prévalu au plus fort de la pandémie du VIH où la maigreur était associée à cette maladie. Citant des travaux réalisés en Afrique du Sud, Correia et al. (2014, p.715) rapportent que :

« Plus d'un tiers (33,5%) des femmes préféraient être dans la catégorie surpoids et 31,4% pensaient que cela représentait une bonne santé. 7,8% des femmes préféraient même la catégorie des obèses et 24% pensaient que l'obésité était un symbole de bonne santé. Aucune des participantes ne pensait que les figures en surpoids ou obèses pourraient représenter des personnes infectées par le VIH ou qui ont le sida ».

La question de l'idéal corporel et la perception de l'image du corps qui en résulte peuvent favoriser des comportements alimentaires à risque en lien avec la surcharge pondérale, notamment chez les femmes. Sans y voir un lien de causalité, on peut néanmoins observer que beaucoup d'études indiquent une prévalence plus élevée de la surcharge pondérale chez les femmes que chez les hommes en Afrique. Au Congo ce fait est documenté dans quelques travaux. L'enquête de 2004 rapporte que 59% et 84% des personnes respectivement en situation de surpoids et d'obésité à Brazzaville étaient des femmes (Kimbally-Kaky, 2004, p.14). Une prévalence plus élevée de la surcharge pondérale chez les femmes ressort aussi des enquêtes démographiques et de santé de 2005 (EDS, 2005, p.179) et de 2011-2012 (EDS, 2011-2012, p.184). Si les femmes sont plus touchées par le surpoids et l'obésité que les hommes, il ressort également que les femmes urbaines le sont plus que les femmes rurales, tout comme les femmes instruites et appartenant aux classes économiquement plus aisées le sont plus que celles moins instruites et appartenant aux couches sociales économiquement moins aisées. Pour Correia et al. (2014, p.714), en Afrique, le passage de l'étape 4 (ère des maladies chroniques dégénératives) à l'étape 5 (ère du changement comportemental volontaire) du modèle de Popkin (1993) pourrait prendre plus de temps, comparativement à d'autres régions du monde, à cause du poids des facteurs culturels, car ce passage suppose une prise de conscience volontaire, individuelle et collective des effets néfastes de la surcharge pondérale sur la santé. On observe néanmoins les prémices de cette prise de conscience dans les deux grandes villes du Congo, Brazzaville et Pointe-Noire, à travers la multiplication des centres de remise en forme et des clubs de marche dont les adhérents envahissent les grandes avenues tous les week-ends. Les pouvoirs

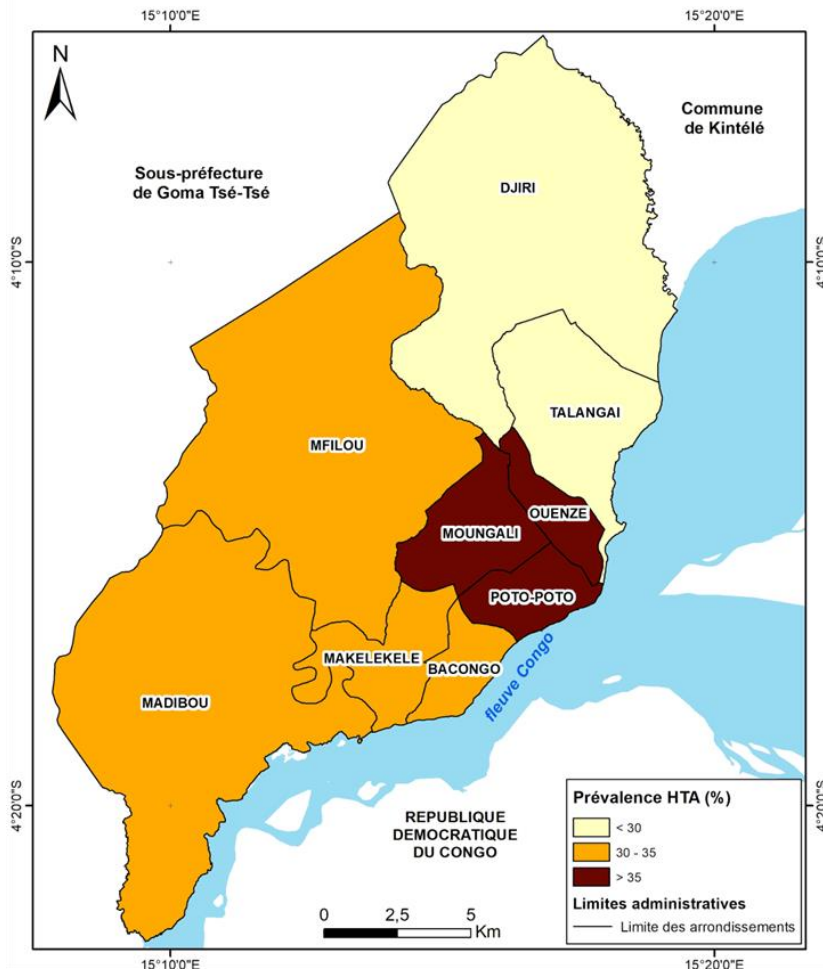
publics participent aussi à cette prise de conscience en interdisant la circulation automobile sur certaines avenues le dimanche (comme l'avenue de la Corniche à Brazzaville), afin d'encourager l'activité physique.

2.4. Des disparités intra-urbaines de la transition sanitaire

Si les villes sont plus avancées dans la transition sanitaire que les zones rurales pour les raisons qui ont été évoquées, ces espaces urbains forment-ils un tout homogène ? Les travaux portant sur les disparités intra urbaines de la transition sanitaire sont encore peu nombreuses.

A Brazzaville, c'est l'enquête de 2004 (Kimbally-Kaky, 2004, p.12) qui a fourni les premières données sur les disparités intra urbaines de la prévalence de l'Hypertension artérielle. De la carte 3 il ressort que les arrondissements centraux (Poto-Poto, Mougali, Ouenzé) ont une prévalence de l'hypertension artérielle plus élevée que les arrondissements périphériques.

Carte 3 : Prévalence de l'hypertension artérielle par arrondissement à Brazzaville



Source : G. Kimbally-Kaky et al., 2004

La même structuration spatiale a été observée à Ouagadougou auprès des personnes de plus de 35 ans concernant la surcharge pondérale et l'hypertension artérielle. La prévalence de la surcharge pondérale (surpoids et de l'obésité) et de l'hypertension artérielle y était plus élevée dans les secteurs centraux de la ville que dans les secteurs périphériques, quels que soient l'âge et le sexe (IRD, 2006, p.54-55, 62). A Bobodioulasso, Kassie (2015, p.319) a aussi rapporté une prévalence plus élevée du surpoids et de l'obésité à Tounouma (46%), un quartier en position centrale, qu'à Yéguéré (27%), un quartier situé en périphérie.

Ces disparités intra-urbaines sont bien évidemment liées à des facteurs multiples et complexes. Toutefois, il ressort de quelques travaux disponibles que la prévalence de l'hypertension artérielle, du surpoids et de l'obésité augmente, entre autres, avec le niveau d'équipement des quartiers, le niveau d'insertion et la durée de résidence en ville, et l'exercice d'une activité rémunérée... Les disparités intra-urbaines de la transition sanitaire ne sont donc que l'expression de l'hétérogénéité socio-spatiale de la ville.

Conclusion

Il ressort de cette étude que si la morbidité et la mortalité générales restent encore dominées par les pathologies transmissibles, les maladies non transmissibles sont en nette augmentation, notamment chez les adultes et en milieu urbain. Cela montre que le Congo a entamé sa transition sanitaire. Cette transition sanitaire est donc déjà aujourd'hui et plus encore pour les années qui viennent une source de nouveaux défis sanitaires que les politiques publiques de santé devront prendre en compte. Très souvent focalisés sur les maladies transmissibles, les pouvoirs publics gagneraient en efficacité à intégrer les maladies chroniques et non transmissibles dans les politiques publiques de santé dans un contexte socio-démographique marqué par l'urbanisation, qui transforme les modes de vie, et par l'allongement de la durée de vie qui accroît l'exposition aux maladies chroniques. Les défis se déclinent aussi bien en termes de prévention que de prise en charge de ces pathologies. Ce qui implique de réorganiser un système de soins traditionnellement orienté vers les maladies transmissibles. Le défi c'est aussi d'articuler les politiques publiques de santé en fonction des contextes sociogéographiques. Il s'agit notamment de tenir compte des spécificités épidémiologiques des contextes urbains qui sont encore souvent méconnues comme si l'espace est neutre du point de vue de la santé.

Remerciements : Nos remerciements à l'Institut Géographique National (IGN) pour la mise à disposition gratuite des bases de données cartographiques.

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

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

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

References:

1. Alliance des Ligues Francophones Africaines et Méditerranéennes Contre le Cancer, (2017). *Les cancers en Afrique francophone*, Paris, 135 p.
2. Amat-Roze, J.M. (2015). « La santé en Afrique : dynamiques et défis socio-territoriaux », *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, n°108, p.4-9
3. Ataboho Ebenguela, E., Pambou, B., & Kalina Menga, P. R. (2020). « Aspects épidémiologiques de l'obésité en milieu professionnel à Pointe-Noire, Congo Brazzaville », *MALI MEDICAL*, Tome XXXV, n° 3, p. 28-34
4. Ben Ali, R. A., Harraqui, K., & Hannoun, Z. (2020). « Transition nutritionnelle, prévalence de la double charge de la malnutrition et facteurs de risque cardiovasculaires chez les adultes de l'île comorienne d'Anjouan », *Pan African Medical Journal*, n° 35, p.2-10
5. Berton-Ofoueme, Y., Paka E. (2018). « Se nourrir dans les villes des pays du Sud : Pratiques et offres alimentaires », In Oladokoun Wonou, *Espaces, sociétés et développement, Mélanges offerts en hommage au Professeur Antoine Koffi Akibode*, Presses Universitaires de Lomé, p.625-642
6. Bolenga Liboko, A. F., Litingui, M., & Zerbo, N. (2022). « Aspects Épidémiologiques, Diagnostiques et Thérapeutiques des Cancers Colorectaux au CHU de Brazzaville », *Health Sciences & Disease*, Vol. 23, n°4, p 52-56
7. Bouba Djourdebbe, F. (2019). « Santé Environnementale dans les Villes en Afrique Subsaharienne : Problèmes Conceptuels et Méthodologiques », *European Scientific Journal*, vol.15, n° 9, p. 192-213
8. Caselli, G., Meslé, F., & Vallin, J. (2001). « Les entorses au schéma de la transition épidémiologique », Communication au Congrès international de la population (Salvador, Brésil), 42 p.
9. Centre National de la Statistique et des Études Économiques. Rapports généraux des recensements généraux de la population et de l'habitat, 1974, 1984, 2007.

10. Centre National de la Statistique et des Études Économiques, (2006). *Enquête Démographique et de Santé (EDSC-I) 2005*, Brazzaville, 346 p.
11. Centre National de la Statistique et des Études Économiques, (2012). *Enquête Démographique et de Santé (EDSC-II) 2011-2012*, Brazzaville, 426 p.
12. Comlan, P. (2009). *Enquête sur les facteurs de risque des maladies non transmissibles à Libreville et Owendo*, 60 p.
13. Correia, J., Pataky, Z., & Golay A. (2014). « Comprendre l'obésité en Afrique : poids du développement et des représentations », *Revue Médicale Suisse*, n°10, p. 712-716
14. De Saint Pol, T. (2013). « Obésité, normes et inégalités sociales », *Le Journal des psychologues*, n°311, p. 19-22
15. Dimossi Batouanga, R. (2016). « La consommation de la viande dans le quartier périphérique de Mfilou-Ngamaba à Brazzaville », *Bulletin Villes, Transports, Développement Local*, p.55-65
16. Doulougou, B. (2014). *Hypertension artérielle dans la population adulte du Burkina Faso : Prévalence, Détection, Traitement et Contrôle*, Thèse de Santé Publique, Université de Montréal, 198 p.
17. Ellenga Mbolla, B. F., Gombet, T. R. A., Monabeka, H. G., Ossou-Nguiet, P. M., Mongo-Ngamami, S. F., Kouala Landa, C. M., Kimbally-Kaky, S. G., & Longo-Mbenza, B. (2014). « Hypertension, diabetes mellitus, overweight and obesity in employees under health transition at the railways company in Congo-Brazzaville », *World Journal of Cardiovascular Diseases*, vol 4, n°2, p. 45-49
18. Frenk, J., Bobadilla, J. L., Stern, C., Frejka, T., & Lozano, R. (1991). « Elements for a theory of the health transition », *Health Transition Review*. vol. 1, n°1, p. 21–38
19. Gaimard, M. (2008). « Santé, morbidité et mortalité des populations en développement », *Mondes en développement*, n°142, p. 23-38
20. Gombe Mbalawa, C. (2015). *Registre des cancers de Brazzaville, Rapport annuel 2014*, Brazzaville, 20 p.
21. Gombet, T.H., Kimbally-Kaky, S.G., Ikama, M.S., & Ellenga Mbolla, B.F. (2007). « Hypertension artérielle et autres facteurs de risque cardiovasculaires en milieu professionnel brazzavillois », *Médecine d'Afrique noire*, Vol, n°11, p.545-548
22. Gruenais, M. E., Pourtier, R. (2000). « La santé pour tous en Afrique : un leurre ? », *Afrique contemporaine*, n° 195, p. 3-12
23. Kassie, D. (2015). *Segmentations urbaines et disparités de santé dans une ville moyenne*

24. *Africaine : du paludisme aux états nutritionnels à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)*, Thèse de géographie, Université Paris-Ouest Nanterre la Défense, 459 p.
25. Kimbally Kaky, S. G. (2004). *Hypertension artérielle et les autres facteurs de risques cardio-vasculaires à Brazzaville*, Rapport d'enquête, OMS/Ministère de la santé, 21 p.
26. Institut National de la Statistique, (2015). *Enquête par grappes à indicateurs multiples du Congo (MICS5 Congo 2014-2015)*, Brazzaville, 490 p.
27. Institut de Recherche pour le Développement, (2006). *Environnement urbain et transition sanitaire en Afrique de l'ouest : le cas de Ouagadougou au Burkina Faso*, Ouagadougou, 82 p.
28. Lofandjola Masumbuku, J., Kiswaya Sumailic, E., & Petermans, J. (2017). « Fardeau des maladies chroniques en Afrique subsaharienne : plaider pour une mise en place des soins palliatifs et d'accompagnement en fin de vie en République démocratique du Congo », *Ethics, Medicine and Public Health*, n° 3, 374-380
29. Mahoungou Guimbi, K., Ellenga Mbolla, B., Otiobanda, G. F., Ossou-Nguet P. M., Ndamba Banzouzi, B. Y., & Moyon, G. (2011). « Motifs d'admission et mortalité du sujet âgé de 60 ans et plus en réanimation polyvalente du CHU de Brazzaville », *Annales Africaine de Médecine*, Vol. 5, N° 1, p.957-963
30. Maire, B., Lioret, S., Gartner, A., & Delpeuch F. (2002). « Transition nutritionnelle et maladies chroniques non transmissibles liées à l'alimentation dans les pays en développement », *Cahiers Santé*, n°12, p. 45-55
31. Maire, B., Delpeuch, F. (2004). « La transition nutritionnelle, l'alimentation et les villes dans les pays en développement », *Cahiers Agricultures*, n° 13, p. 23-30
32. Masquelier, B., Soura, A. (2016). « Santé et mortalité en Afrique subsaharienne francophone », *African Population Studies*, vol. 30, n°1, p. 2114-2121
33. Meslé, F., Vallin, J. (2003). « La transition sanitaire. Progrès et résistances en Afrique », In Hertrich, V., et Keïta, S. (eds), *Questions de population au Mali, Bamako*, Le Figuier / Fonds des Nations Unies pour la population (UNFPA), p. 83-106.
34. Meslé, F., Vallin, J. (2007). « De la transition épidémiologique à la transition sanitaire », *Médecine Tropicale*, n° 67, p.545-551
35. Ministère de la Santé et de la Population, (2013). *Annuaire des statistiques sanitaires 2012*, Brazzaville, 74 p
36. Ministère de la Santé et de la Population, (2023). *Annuaire des statistiques sanitaires 2019-2020*, Brazzaville, 162 p

37. Moutoula Boula, E. F., Mananga, V., Elenga, M. (2016). « Etudes des habitudes alimentaires des ménages de Brazzaville en vue de lutte contre la carence en vitamine A », *Journal of applied Biosciences*, n°97, p. 9174-9186
38. Niang-Diene, A., Salem, G. (2015). « Dynamiques spatio-temporelles de la morbidité au Sénégal : transition épidémiologique ou transition sanitaire ? », *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, n° 108, p. 201-207
39. Nsondé Malanda, J., Nkoua Mbon, J. B., & Tozoula, A. (2013). « Douze années de fonctionnement du registre des cancers de Brazzaville », *Bulletin du Cancer*, Vol. 100, n°2, p. 135-139
40. Omran, A. (1971). « The Epidemiologic Transition : A Theory of the Epidemiology of Population, Change », *The Milbank Memorial Fund Quarterly*, vol. 49, n°4, p. 509-538.
41. Ondze-Kafata, L. I., Passi-Louamba, C. J., Bouenizabila, E. (2013). « Caractéristiques et contrôle tensionnel de 147 patients hypertendus consultant au Centre Hospitalier Universitaire de Brazzaville », *Annales de l'Université Marien NGOUABI, Sciences de la Santé*, vol 14, n°5, p. 42-48
42. Organisation Mondiale de la Santé, (2016). *Profils des pays, République du Congo, Mortalité proportionnelle (% des décès totaux, tous âges confondus)*, 1p.
43. Organisation Mondiale de la Santé, (2018). *Etat de la santé dans la région africaine de l'OMS. Analyse de la situation sanitaire, des services et des systèmes de santé dans le contexte des objectifs de développement durable*, Brazzaville, 168 p.
44. Organisation Mondiale de la Santé, (2022). *Suivi des progrès dans la lutte contre les maladies non transmissibles 2022*, 225 p.
45. Paka, E. (2022). « Observations sur la population consultante dans les centres de santé du district sanitaire de Bacongo, Brazzaville, République du Congo », *Baluki*, n°12, p. 47-61
46. Paka, E. (2024). « Essai sur la transition démographique en République du Congo », *International Journal of Advanced Studies and Research in Africa*, vol. 13, n°2, p.36-45
47. Perspective Monde, Banque mondiale, (2020). <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codePays=COG&codeStat=NY.GDP.MKTP.CD&codeTheme=2>
48. Phillips, D. (1989). « An epidemiological transition from Third to First World ? », In Salem, G., et Jeannee, E. (eds), *Urbanisation et santé dans le Tiers Monde. Transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires*, Paris, éd. ORSTOM, Collection Colloques et Séminaires, p. 15-38

49. Picheral, H. (1989). « Géographie de la transition épidémiologique », *Annales de Géographie*, n° 546, p. 129-151
50. Popkin, B. M. (1993). « Nutritional Patterns and Transitions », *Population and Development Review*, Vol. 19, n°1, p. 138-157
51. Rabarijaona, L. M. P. H., Rakotomalala, D. P., Rakotonirina, J., Rakotoarimanana, S., & Randrianasolo, O. (2009). « Prévalence et sévérité de l'hypertension artérielle de l'adulte en milieu urbain à Antananarivo », *Revue d'Anesthésie-Réanimation et de Médecine d'Urgence*, Vol. 1, n°4, p. 24-27.
52. Regaieg, S., Charfi, N., & Elleuch, M. (2015). « Obésité, activité physique et temps de sédentarité chez des adolescents scolarisés, âgés de 15 à 18 ans de la ville de Sfax (Tunisie) », *Pan African Medical Journal*, n°22, p. 2-10
53. Salem, G., Fournet, F. (2020). *Atlas mondial de la santé. Etat des lieux et défis*, Paris, Autrement/Flammarion, 95 p.
54. Siddikatou, D., Djomou, N., & Kafack, F. (2024). « L'hypertension artérielle au Cameroun : Prévalence en milieu communautaire et facteurs associés », *Health Sciences & Disease*, Vol. 25, p.100-105
55. Union Africaine, (2022). *Rapport d'étape sur le paludisme 2022*, 12 p.
56. Zeba, A. N. (2012). *Transition nutritionnelle et double fardeau de la malnutrition chez des adultes de Ouagadougou au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest)*, Thèse de Médecine, Université de Montréal, 232 p

Prise en charge des infections ostéo-articulaires en milieu sahélien : étude prospective à propos de 82 cas

Dalatou Malam Maman Mahamadou Habibou

Assistant en Orthopédie-Traumatologie Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Abdoulwahab Allassane Mohamed

Professeur Agrégé en Orthopédie-Traumatologie, Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital Général de Référence de Niamey, Niger

Moussa Niandou Ali

Orthopédie-Traumatologie,

Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Yafoutane Djaba Pacôme

Médecin Généraliste,

Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Souna Badio Seyni

Professeur Titulaire en Orthopédie-Traumatologie, Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p277](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p277)

Submitted: 05 August 2024

Accepted: 28 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mahamadou Habibou, D.M.M., Mohamed, A. A., Ali, M. N., Pacôme, Y. D., & Seyni, S. B. (2024). *Prise en charge des infections ostéo-articulaires en milieu sahélien : étude prospective à propos de 82 cas*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 277.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p277>

Résumé

Le but du travail était de rapporter les résultats du traitement des infections ostéo-articulaires (IOA) en milieu sahélien. Il s'agissait d'une étude prospective et descriptive ayant porté sur 82 dossiers de patients, sur une période d'un an (1^{er} Mars 2023 au 29 Février 2024). Les variables analysées étaient épidémiologiques, diagnostiques, thérapeutiques et évolutives. Un protocole de prise en charge médicale et chirurgicale a été appliqué à tous les malades. L'évaluation des résultats était essentiellement clinique reposant sur l'assèchement du foyer infectieux, l'obtention d'une consolidation osseuse et

la qualité de la cicatrisation. La fréquence des IOA était de 9,66%. L'âge moyen était de 10,25 ans. Le sexe masculin était majoritaire. Le délai moyen entre le début des signes et la prise en charge était de 30 mois. La majorité des patients avaient entrepris une automédication et un traitement traditionnel (n=52 ; 63,41%). La jambe était le segment de membre le plus touché (n=35 ;42,68%). La culture était positive dans 56,37% (n=31) des cas. Le *Staphylococcus aureus* était le germe le plus incriminé (n=22 ; 62,85%), sensible dans la plupart des cas à l'amoxicilline-acide clavulanique et la gentamicine. Les ostéomyélites (n=28 ;34,10%) étaient le type d'infection le plus retrouvé. Le traitement chirurgical était réalisé dans tous les cas. L'évolution était favorable chez plus de la moitié des patients. Les IOA demeurent fréquentes et constituent un défi thérapeutique. Malgré un délai long de prise en charge dans notre contexte, l'évolution était favorable suscitant des interrogations sur l'influence du milieu.

Mots-clés: Infections ostéo-articulaires, chirurgie, médico-chirurgical, sahel, Niger

Management of osteoarticular infections in the Sahelian region: A prospective study of 82 cases

Dalatou Malam Maman Mahamadou Habibou

Assistant en Orthopédie-Traumatologie Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Abdoulwahab Allassane Mohamed

Professeur Agrégé en Orthopédie-Traumatologie, Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital Général de Référence de Niamey, Niger

Moussa Niandou Ali

Orthopédie-Traumatologie,

Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Yafoutane Djaba Pacôme

Médecin Généraliste,

Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Souna Badio Seyni

Professeur Titulaire en Orthopédie-Traumatologie, Faculté des Sciences de la Santé de Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Abstract

The objective of the study was to report the results of osteoarticular infection (OAI) treatment in the Sahelian region. This was a prospective and

descriptive study based on 82 patient records, conducted over a one-year period (March 1, 2023, to February 29, 2024). The analyzed variables were epidemiological, diagnostic, therapeutic, and evolutionary. A medical and surgical management protocol was applied to all patients. The evaluation of the results was primarily clinical, based on the resolution of the infectious focus, the achievement of bone consolidation, and the quality of healing. The frequency of OAIs was 9.66%. The average age was 10.25 years. The majority of the patients were male. The average time between the onset of symptoms and treatment was 30 months. Most patients had engaged in self-medication and traditional treatment (n=52; 63.41%). The leg was the most affected limb segment (n=35; 42.68%). The culture was positive in 56.37% (n=31) of cases. *Staphylococcus aureus* was the most commonly implicated germ (n=22; 62.85%), and in most cases, it was sensitive to amoxicillin-clavulanic acid and gentamicin. Osteomyelitis (n=28; 34.10%) was the most frequent type of infection found. Surgical treatment was performed in all cases. The outcome was favorable in more than half of the patients.

Osteoarticular infections remain frequent and represent a therapeutic challenge. Despite the long delay in treatment in our context, the outcome was favorable, raising questions about the influence of the environment.

Keywords: Osteoarticular infections, surgery, medical-surgical, Sahel, Niger

Introduction

Les infections ostéo-articulaires (IOA), regroupent un nombre important d'infections qui se distinguent par leur site, leur évolution, la présence ou non de matériel étranger, les micro-organismes en cause, le terrain et la voie de contamination (Zeller & Desplace, 2006).

Elles sont fréquentes et leur gravité réside dans leur évolution vers la chronicité. Elles mettent rarement en jeu le pronostic vital, mais peuvent compromettre rapidement le pronostic fonctionnel avec un retentissement sur la vie socio-professionnelle des malades (Benyass et al., 2017).

Les ostéosynthèses représentent la cause la plus importante des ostéites chez l'adulte. Elles imposent une thérapeutique complexe dans laquelle la prescription et la surveillance de l'antibiothérapie occupent une place importante (Coudane & Gerard, 1996).

Le polymorphisme clinique de ces lésions rend la prise en charge du malade assez complexe. Cette dernière doit être pluridisciplinaire, associant chirurgien orthopédiste, microbiologiste et infectiologue et nécessite une connaissance maîtrisée de l'épidémiologie bactérienne ainsi que de la sensibilité aux principaux antibiotiques (Goldmann et al., 1996).

Le diagnostic bactériologique est l'étape clé pour poser un diagnostic de certitude.

Le traitement des IOA repose essentiellement sur une bi antibiothérapie probabiliste, adaptée secondairement à l'antibiogramme. La chirurgie est très souvent associée au traitement médical.

Dans les régions subsahariennes africaines, l'incidence des IOA varie d'un pays à l'autre avec des taux de 6,8 à 26 % selon les études (Ngaroua et al., 2016).

Au Niger, une des rares études réalisée (Souana et al., 2006), rapportait une fréquence de 62,26% concernant uniquement les ostéomyélites chez des patients drépanocytaires.

Le but de ce travail prospectif était de rapporter les résultats de la prise en charge des infections ostéoarticulaires dans un hôpital de troisième niveau du Niger.

Méthodes

Cette étude est réalisée dans un service de chirurgie orthopédique et traumatologique du Niger. Elle a porté sur 82 patients, dont 59 personnes du genre masculin et 23 personnes du genre féminin. Il s'agissait d'une étude prospective sur une période de 12 mois allant du 1^{er} mars 2023 au 29 février 2024.

Tous les patients admis pour IOA, pris en charges par méthode médico-chirurgicale et suivis sur une période de six (6) mois au minimum étaient inclus dans ce travail.

Le diagnostic des IOA a été posé sur la base des arguments cliniques, biologiques et radiologiques.

Les patients avaient bénéficié, d'un protocole médical fait : d'une bi-antibiothérapie probabiliste systématique par voie parentérale, associant l'amoxicilline-acide clavulanique 100 mg/kg/8h et la gentamicine 8 mg/kg/24h. Les antibiotiques étaient ensuite adaptés suivant les résultats de l'antibiogramme. Des antalgiques à base de paracétamol 15mg/kg/6h par voie parentérale et de tramadol 50 mg comprimé, à raison d'un comprimé/8h étaient administrés en cas de douleur.

Tous les patients avaient bénéficié d'une excision chirurgicale des tissus infectés et dévitalisés, suivie d'un lavage abondant par un cocktail fait de sérum salé isotonique 0,9% et de l'eau oxygénée. Un drain de Redon aspiratif était mis en place.

- Une séquestrectomie et trépanation, associées à un curetage osseux étaient faits dans les cas d'ostéomyélites chroniques séquestrantes et d'ostéites chroniques, ainsi qu'une fistulectomie dans les formes fistulisantes ; un geste de couverture était réalisé en cas de perte de substance associée des parties molles (**figure1**).

- Une arthrotomie plus ou moins une synovectomie et immobilisation étaient réalisées dans les cas d'arthrites septiques et d'ostéoarthrites septiques;
- L'ablation et le remplacement du matériel d'ostéosynthèse et implants prothétiques(en deux temps) après un curetage osseux dans les cas d'infections du site opératoire (ISO) sur matériel d'ostéosynthèse et implants prothétiques, puis mise en place d'un fixateur externe en cas de non consolidation osseuse. Un spacer en ciment acrylique est mis en place en machonnant les fragments selon la technique de Masquelet dans l'espace laissé par le débridement osseux
- L'amputation était réalisée chez les patients présentant des complications à type de gangrènes et de récidives dans les formes chroniques de l'infection osseuse.
- Une couverture des parties molles a été essentiellement faite par lambeau fasciocutané sural et du gastrocnémien médial dans les cas des pertes de substances cutanées avec exposition osseuse (**figure1**).

Les paramètres analysés étaient épidémiologiques, cliniques, paracliniques, thérapeutiques et évolutifs. Les patients ont été régulièrement suivis sur une période de six (6) mois au minimum, après leur sortie.

L'évaluation clinique et fonctionnelle a porté essentiellement sur l'appréciation de la qualité de la cicatrisation.

la consolidation osseuse et l'appréciation de la fonction articulaire des membres atteints. L'affirmation de l'infection était faite sur la présence d'au moins un des éléments suivant : un syndrome inflammatoire local, une fièvre, une porte d'entrée, une fistule , un syndrome inflammatoire biologique et la mise en évidence d'un germe à l'examen bactériologique. La guérison était définie par un assèchement du foyer avec absence de récurrence clinique et/ou microbiologique sur au moins six mois après le début du traitement.

Les données ont été saisies avec le logiciel Microsoft Office (Word et Excel) 2019. Le traitement et l'analyse statistique des données ont été réalisés à l'aide du logiciel Sphinx dans sa version 5.1.0.4.



Figure 1 : Ostéite post-fracturaire du tibia droit suite à une fracture ouverte de stade IIIB de Gustilo et Anderson, négligée chez un patient de 23 ans (Image du Service de Chirurgie Orthopédique de l'Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey/Niger)

A : Perte de substance cutanée de plus de 10 cm de grand axe avec délabrement cutanéomusculaire et exposition osseuse, en dessous de l'articulation sus-jacente

B, C : Images radiologiques, incidence de face et de profil objectivant une solution de continuité au niveau du tiers proximal du tibia avec séquestres osseux.

D : Ostéosynthèse du tibia par fixateur externe après débridement et couverture osseuse par un lambeau fascio-cutané de glissement à pédicule proximal.

E, F : radiographie de controle de la jambe de face et de profil, montrant une perte de substance osseuse sur la corticale médiale du tibia après l'ablation des séquestres. Néanmoins on note un contact osseux sur les autres corticales.

Résultats

Sur un total de 848 patients hospitalisés au cours de la période de cette étude, nous avons enregistré 82 cas d'IOA, soit une fréquence de 9,66% par rapport à toutes les pathologies. L'incidence mensuelle des IOA était de 6,83 cas. La tranche d'âge la plus représentée était celle de 11 à 20 ans (n=24; 29,30%), suivie de celle de 21 à 30 ans (n=21 ; 25,60%). L'âge moyen des patients était de 10,25 ans avec des extrêmes de 2 et 80 ans. Les individus de genre masculin étaient les plus concernés (n=59 ;72%) par rapport aux individus de genre féminin (n=23 ;28%). Le sex-ratio était de 2,56.

La durée moyenne de l'évolution de l'infection avant la première consultation était de 30 mois avec des extrêmes de 2 semaines et 5 ans. La contamination par voie hématogène était la plus retrouvée (n=34 ; 41,50%), suivie de celle par contiguïté (n=28 ; 34,10 %), post-opératoire (n=11 ; 13,40%) et post traumatique (n=9 ;11%). Les plaies chroniques constituaient le motif de consultation le plus fréquent (n=30 ;36,59%).

La majorité des patients (n=48 ; 58 ;54%) n'avait aucune comorbidité décelée. Néanmoins, le tabagisme(n=15,18,29%) et le diabète (n=11 ; 13,41%) étaient retrouvée dans une proportion non négligeable. Une notion de prise en charge antérieure pour IOA était retrouvée (n=11, 13,41%).

La plupart des patients avaient entrepris une automédication et un traitement traditionnel (n=52 ;63,41%). Les signes cliniques généraux étaient majoritairement absents chez les patients (n=34 ; 41,46%). Cependant on notait la présence d'une fièvre chez certains patients (n=28 ;34,15%). La fistule cutanée était le signe le plus retrouvé à l'examen physique (n=33 ;40,25%). L'atteinte osseuse était retrouvée avec 73,20% (n=60). On notait un seul foyer infectieux dans la majorité des cas (n=70 ; 96,30%). Le segment de membre le plus fréquemment touché était la jambe (n=35 ;42,68) (**tableau 1**).

Tableau 1: Répartition des patients selon la localisation de l'infection

Localisation	Effectif	Pourcentage (%)
Epaule	1	1,22
Coude	2	2,44
Hanche	6	7,32
Genou	12	14,63
Cheville	2	2,44
Humérus	2	2,44
Avant-bras	4	4,88
Fémur	12	14,63
Jambe	35	42,68
Pied	6	7,32
Total	82	100

Chez 24 patients (29,27%), on notait la présence de matériel d'ostéosynthèse ou d'implants prothétiques. La CRP était positive dans 47 cas (57,30%) et normal dans le reste des cas (n=35 ; 53,63%). L'examen

cytobactériologique (ECB) couplé à l'antibiogramme était réalisé chez 55 patients (67,10%). La culture était positive (n=31 ;56,37%) et négative (n=24 ; 43,63%). Parmi les cultures positives, le *Staphylococcus aureus* était majoritairement isolé. La culture était polymicrobienne dans 4 cas (7,27%) (**Tableau 2**).

Tableau 2: répartition des patients selon les germes uniques

Nature des germes	El	Pourcentage (%)
Staphylococcus aureus		21,95
Polymicrobien		4,88
Escherichia coli		1,22
Pseudomonas aeruginosa		1,22
Haemophilus influenzae		1,22
Klebsiella pneumoniae		2,44
Proteus mirabilis		1,22
Salmonelle		1,22
Streptocoque		1,22
Enterobacter cloacae		1,22
Culture negative		29,67
Total		67,48

Le séquestre osseux était visible à la radiographie (n=40, 48,78%). Les ostéomyélites (n=28 ; 34,10%) étaient le diagnostic le plus fréquemment posé (**tableau 3**).

La combinaison thérapeutique amoxicilline-acide clavulanique et gentamicine était la plus réalisée chez les patients dans 29,27% (n=24) des cas. La durée minimale du traitement antibiotique était de 30 jours et un maximum de 90 jours. L'ensemble des patients avait bénéficié d'un traitement chirurgical dont 42 patients ayant bénéficié d'un seul geste chirurgical (51,22%) et 40 patients d'au moins deux gestes chirurgicaux avec 48,78% des cas. L'ensemble des patients de la série étaient régulièrement suivis pendant au minimum 6 mois. Une évolution favorable était obtenue chez 58 patients (70,73%) contre 24 cas (29,27%) pour lesquels le tarissement de l'infection n'était pas obtenu et une amputation de résignation était réalisée avec appareillage du membre.

Tableau 3: Répartition des patients selon le diagnostic retenu

Diagnostic retenu	Effectif	Pourcentage (%)
Ostéite	20	24,40
Ostéomyélites	28	34,10
Arthrite septique	14	17,10
Ostéoarthrite septique	5	6,10
ISO sur MOS et implants prothétique	15	18,30
Total	82	100

Discussion

Notre étude présente des limites par son caractère monocentrique. Cependant du fait de son caractère prospectif et la prise en compte de toutes les infections ostéoarticulaires dans la série, elle constitue l'une des grandes séries rapportées en Afrique subsaharienne (Souna et al., Madougou et al., 2006, 2017).

En effet, les IOA sont fréquentes et constituent un sérieux problème de santé publique par leur impact socio-économique important. La fréquence de ces infections est en évolution croissante notamment en ce qui concerne les infections post-opératoires. Cette situation s'explique d'une part par les progrès dans le domaine de la chirurgie et de l'anesthésie rendant possible de multiples interventions, et d'autre part par l'augmentation l'espérance de vie de la population (Senneville et al., 2012). Dans notre étude la fréquence des IOT était de 9,66%. La fréquence de ces infections reste diversement rapportée par les auteurs en Afrique subsaharienne et au Maghreb. La particularité dans notre étude réside dans la prise en compte de toutes les infections ostéoarticulaires contrairement aux séries qui rapportent des cas particuliers parmi les IOA (Benyass et al., Souna et al., Madougou et al., 2017, 2006, 2017).

Ces IOA sont plus importantes chez les patients de sexe masculin dans notre série. Ce résultat corrobore la majorité des travaux sur les IOA dans la littérature qui rapportent une nette prédominance masculine (Benyass et al., Elouennass et al., Baeur et al., 2017, 2007, 2007). Les patients étaient très jeunes dans notre série avec un âge moyen de 10,25 ans et des extrêmes allant de 2 à 80 ans. L'âge moyen est plus important dans la série de Benyass et al. (2017) au Maroc. Cette disparité d'âge s'explique dans notre contexte par le fait que le service prend en charge aussi des cas d'orthopédie pédiatrique.

Dans la série, la majorité des patients avaient consulté très tardivement, ce qui s'explique dans le contexte sahélien par le recours initial aux rebouteux et l'automédication, soit pour des croyances traditionnelles ou par faute de moyens financiers.

La notion de tabagisme chronique et le diabète étaient identifiés comme principales comorbidités dans notre étude. Ces deux comorbidités ont été largement rapportées dans la littérature (Wichou et al., Suzuki et al., Bauer et al., Bernard et al., Grammatico-Guillon et al., Cierny et al., 2006, 2011, 2012, 2010, 2012, 1985). En outre, le terrain drépanocytaire a aussi été rapporté dans les IOA par Madougou et al. (2017). Ceci confirme la pluralité de facteur de comorbidité dans la survenue des IOA. Néanmoins, aucun facteur favorisant n'est retrouvé dans certains cas. Une proportion non négligeable de patients dans notre série avaient une notion de prise en charge antérieure pour IOA. Conan et al. (2018) ont par contre rapporté dans leur série, une fréquence plus élevée d'antécédents d'IOA de l'ordre de 41%. La

présence d'un ancien foyer infectieux traité prédisposerait alors les patients à de nouveaux épisodes, en particulier s'ils présentent d'autres facteurs de risque ou comorbidités associées (Migaud et al., 2005). Partant de là, l'on peut conclure que la récurrence est fréquente chez les patients ayant déjà un antécédent d'infection ostéo-articulaires.

L'atteinte à foyer unique était majoritaire avec 96,30% (n=79). Souna et al.(2006) ont rapporté cette même prédominance dans leur série. La localisation préférentielle de ces lésions reste les membres, particulièrement à la jambe (Banza et al., Moyikoua et al., 2021, 1993). Ceci pourrait s'expliquer par la situation sous-cutanée du tibia qui le rend plus exposé et vulnérable.

Dans notre étude, 24 patients étaient porteurs d'un implant d'ostéosynthèse ou prothétique. En outre, la plaque vissée était le matériel avec lequel il y a eu plus d'ISO dans notre série. Plusieurs autres études confirment le même constat (Moyikoua et al., Babin et al., 1993, 1981).

Sur le plan bactériologique, le *Staphylococcus aureus* était le germe fréquemment mis en évidence après culture avec 62,85% (n=22). Le *Staphylococcus* constitue le germe le plus incriminé dans la littérature dans les IOA (Benyass et al., Idé et al., Gravier et al., 2017, 2018, 2015). Cette prédominance s'explique par le fait que le *Staphylococcus* est une bactérie commensale de la flore cutanéomuqueuse de l'homme, ubiquitaire, possédant plusieurs facteurs de virulence contribuant à la localisation osseuse (Nhan et al., 2015).

Sur le plan radiologique le séquestre osseux était le signe le plus retrouvé. Ce même constat a été fait par Souna et al.(2006). Les formes séquestrantes des IOA constituent le témoin d'une longue évolution des signes avant la prise en charge hospitalière.

Les ostéomyélites ont été le type d'infection le plus rencontré dans notre étude par rapport aux autres formes. Benyass et al. au Maroc, rapportent la même prédominance (2017).

Le traitement des IOT répond à une stratégie bien codifiée incluant une prise en charge médicale et chirurgicale en fonction de chaque type d'infection. L'objectif est d'obtenir un assèchement du foyer infection, la consolidation osseuse en cas de fracture et une bonne cicatrisation cutanée.

En pratique le traitement des IOA répond à trois impératifs :

- une antibiothérapie initialement probabiliste basée sur la connaissance de l'écologie bactérienne qui est secondairement réadaptée en fonction des résultats des prélèvements et de l'antibiogramme ;
- un traitement chirurgical systématique de la porte d'entrée si elle est retrouvée et du foyer infectieux avec gestes osseux et sur les parties molles en fonction des cas ;
- et un traitement symptomatique des signes accompagnant l'infection.

Dans notre série, le traitement chirurgical a été réalisé dans tous les cas. Il était conservateur chez 77 patients (93,90%) et une amputation de résignation était réalisée chez 5 patients (6,10%).

Sur le plan bactériologique, la combinaison thérapeutique amoxicilline-acide clavulanique et gentamicine était la plus entreprise chez les patients avec 29,27% (n=24). En effet, l'amoxicilline-acide clavulanique et la gentamicine étaient les molécules les plus utilisées en thérapie probabiliste comme en spécifique dans la série. Plusieurs molécules sont utilisées dans les IOT en synergie, avec une bonne diffusion osseuse et articulaire. Le choix des antibiotiques dépend essentiellement des résultats de l'antibiogramme et la connaissance de l'écologie bactérienne.

L'évolution favorable après le traitement était observée dans plus de la moitié des cas. Ce résultat pourrait se justifier par la prise en charge adéquate des patients et éventuellement l'effet positif du climat chaud et sec dans notre contexte par rapport au climat tropical humide, pour lequel des études ultérieures doivent être faite afin de déterminer l'impact du climat sur les IOT.

Conclusion

Les infections ostéo-articulaires sont fréquentes, et constituent un sérieux problème de santé publique. Les individus de masculin sont les plus touchés. Dans notre étude, la majorité des patients étaient indemnes de toute tare préexistante. L'automédication et le traitement traditionnel ont été identifiés comme principaux facteurs de survenue des IOA dans notre série. Leur diagnostic ainsi que la prise en charge étaient le plus souvent tardifs avec malgré tout des résultats globalement favorable suscitant des interrogatoires quant à l'effet positif du climat chaud sahélien dans l'évolution des IOT.

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

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

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

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par le Doyen de la Faculté des Sciences de la Santé de Niamey et le Directeur de l'Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey au Niger, et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Zeller,V. & Desplaces, N. (2006) Antibiothérapie des infections ostéoarticulaires à pyogènes chez l'adulte : principes et modalités. Rev du Rhum ;73(2):183-190.

2. Benyass Y, Chafry B, Bouabid B, Benchebba D, Boussouga M, Chagar B (2017). Les aspects épidémiologiques des infections ostéo-articulaires à l'Hôpital Militaire d'Instruction Mohamed V de Rabat (à propos de 100 cas). *Revue Marocaine de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique* ;68:21-34.
3. Coudane,H. & Gerard, A. (1996). Les ostéites. EMC : Traité de l'appareil locomoteur. Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Paris: Elsevier Masson.
4. Goldmann DA, Weinstein RA, Wenzel RP, Tablan OC, Duma RJ, Gaynes RP, Schlosser J, Martone WJ (1996). Strategies to prevent and control the emergence and spread of antimicrobial-resistant microorganisms in hospitals: a challenge to hospital leadership. *Jama*; 275(3) :234-240.
5. Ngaroua, Ngah JE, Bénet T, Yaouba D (2016). Incidence des infections du site opératoire en Afrique sub-saharienne : revue systématique et méta-analyse. *PAMJ* ;24:171.
6. Souna BS, Abarchi H, Karadji SA (2006). Les ostéomyélites chez les drépanocytaires : aspects épidémiologiques, diagnostiques et thérapeutiques, à propos de 66 cas colligés à Niamey. *Mali Médical* ;21(4):21-5.
7. Senneville E, Legout L, Beltrand E, Loïez C, Dezeque H, Girard J, Migaud H (2012). Infections nosocomiales en chirurgie orthopédique. *EMC - Appareil locomoteur* ;7(3):1-12.
8. Madougou S, Chigblo P, Flatin C, Tidjani F, Lawson E, Hans-Moévi A (2017). Aspects Chirurgicaux Des Infections Ostéoarticulaires De L'adulte Drépanocytaire A Cotonou. *Revue Marocaine de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique* ;68:16-20
9. Elouennass M, El Hamzaoui S, Frikh M, Zrara A, Chagar B, Ouaaline M (2007). Les aspects bactériologiques des ostéites dans un hôpital universitaire. *Méd Mal Infect* ;37:802-8.
10. Bauer T, Lhotellier L, Mamoudy P, Lortat-Jacob A(2007). Infection osseuse sur os continu au niveau du membre inférieur : À propos de 127 cas. *Revue de chirurgie orthopédique* ;93:807-17.
11. Wichou M, Haddoun AR, Moujahid M, Bennouna D, Nechad M, Fadili M, Zryouil B (2006). Les pseudarthroses septiques de la jambe (A propos de 22 cas). *Revue Marocaine de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique* ;28:20-4.
12. Suzuki G, Saito S, Ishii T, Motojima S, Tokuhashi Y, Ryu J(2011). Previous fracture surgery is a major risk factor of infection after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* ;19:2040-4.
13. Bauer S, Bouldouyre MA, Oufella A, Palmari P, Bakir R, Fabreguettes A, Gros H (2012). Impact of a multidisciplinary staff meeting on the

- quality of antibiotherapy prescription for bone and joint infections in orthopedic surgery. *Méd Mal Infect*; 42:603-7.
14. Bernard L, Legout L, Zurcher-Pfund L, Rohner RSP, Peter R, Assal M, Lew D, Hoffmeyer P, Uckay I (2010). Six weeks of antibiotic treatment is sufficient following surgery for septic arthroplasty. *Journal of Infection*; 61:125-32.
 15. Grammatico-Guillon L, Baron S, Gettner S, Lecuyer A, Gaborit C, Rosset P, Rusch E, Bernard L (2012). Bone and joint infections in hospitalized patients in France: clinical and economic outcomes. *J Hosp Infect*;82:40-8.
 16. Cierny G, Mader JT, Pennick HA(1985). Clinical staging system of adult osteomyelitis. *Contemp Orthop*; 10:17-37.
 17. Conan PL, Steichen O, Santin A, Bachmeyer C, M'bappe P, Lionnet F, Mattioni S (2018). Ostéomyérites chez les adultes drépanocytaires : étude descriptive en pays à haut revenu. *Rev Méd Int*; 39(2):55-56.
 18. Migaud H, Senneville E, Gougeon F, Marchetti E, Amzallag M, Laffargue P (2005). Risque infectieux en chirurgie orthopédique. *EMC-Rhumatologie Orthopédie*; 2:151-72.
 19. Banza MI, Kapessa ND, Mukakala AK, Ngoie CN, Kasanga TK, Unen EW (2021). Les infections ostéo-articulaires chez les drépanocytaires à Lubumbashi : étude épidémiologique, étiologique et prise en charge. *PAMJ*;38(77):15.
 20. Moyikoua A, Kaya JM, Ondzoto JM, Pena-Pitra B (1993). Complications septiques des ostéosynthèses des membres: à propos de 402 interventions. *Médecine d'Afrique noire* ; 40(12):722-5.
 21. Babin SR, Graf P, North J, Schwing E (1981). Le risque septique de l'ostéosynthèse à foyer fermé d'après une série continue de 1059 enclouages selon Kuntscher G. *Int Orthop*; 5:271-6.
 22. Idé G, Abdoul-Wahab M, Hama Y, Dalatou MMH, Hans-Moevi A (2018). L'Infection du Site Opératoire en Chirurgie Ortho-Traumatologique Propre au CNHU-HKM de Cotonou. *Health Sci Dis* ; 19(2):108-11.
 23. Gravier S, Rondeau-Lutz M, Cecile RO, Marion B, Anne M, Weber JC (2015). Infections ostéoarticulaires chez les usagers de drogues : étude rétrospective de 18 cas. *Rev Méd Int* .;36:106.
 24. Nhan TX, Gillet Y, Vandenesch F (2012). Diagnostic et traitement des infections dues aux souches de *Staphylococcus aureus*, producteurs de toxines. *J Anti Infect*;14(2):58-67.