

European Scientific Journal, *ESJ*

February 2023

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

February 2023 edition vol. 19, No. 6

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeochea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

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

Anita Auzina,
Latvia University of Agriculture, Latvia

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Universita Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmele Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Université d’Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolívar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
University of the People, USA

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael’s Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Atanga Essama Michel Barnabé,
Université de Bertoua, Cameroun

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Beloke,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
“Barleti” University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

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

Table of Contents:

Detección Temprana de Epilepsia Pediátrica: Progresión de los Electrodos en EEG.....1

Cristhy Miranda

Alfredo Lescher

Aldrual Rojas

Jay Molino

Ernesto Ibarra

Svetlana de Tristan

Aspects Épidémiologiques, et Cliniques des Ascites de Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui, République Centrafricaine.....21

Youssouf Oumarou

Roland Evrard Féléma Mozane

Armand Kobélémbi

*Clémence Djbang*a

Nathalie Akélélo Boua

Bernard Béssanguem

Eveline Germaine Kobélembi Mafini

Nuella Edwige Ignaniamoko Gambo

Serges Magloire Camengo Police

Georges Service

History, Features, Challenges, and Critical Success Factors of Enterprise Resource Planning (ERP) in The Era of Industry 4.0.....31

Md. Al-Amin

Md. Tanjim Hossain

Md. Jahidul Islam

Sanjit Kumar Biwas

Etat des Lieux des Incertitudes Liées à l'Estimation de la Biomasse des Arbres (Revue Bibliographique).....60

Moundounga Mavouroulou Quentin

Ngomanda Alfred

Lepengue Nicaise Alexis

Risk of Complications in Patients Undergoing Complete Thyroidectomy. A Retrospective Study.....81

Igli Kokalari

Lila Shundi

Erjona Abazaj

Ela Ali

Ledina Nikolla

Financement Solidaire des Mutuelles Communautaires de Nutrition (MCN) et l'Amélioration de la Résilience Alimentaire et Nutritionnelle des Enfants: Une Revue Systématique de Littérature.....92

Romaric Dagbeto

Souleimane A. Adekambi

Jacob A. Yabi

Family Farming Systems in Northern Central Cameroon: Challenges and Prospects for Food Security.....115

Pierre Marie Chimi

William Armand Mala

François Manga Essouma

Abdel Karimou Ngamsou

John Hermann Matick

Jean Louis Fobane

Forbi Preasious Funwi

Michele Elodie Kouoguem Kamdem

Lethicia Flavine Feunang Nganmegni

Joseph Martin Bell

Disponibilité des Plantes Aphrodisiaques dans les Jardins de Case et Forêt Classée de l'Ouémé-Boukou au Centre-Bénin.....148

Ismaël Akossibe Batcho

Eben-Ezer Baba Kayodé Ewédjè

Richard Menson Somanin

Paul Ezin Ogan

Hounnankpon Yédomonhan

Physical Agents and Therapeutic Modalities: Main Concepts Implicated in Physiotherapy Treatment Prescription and Into Advanced Physical Therapy Practice.....176

Gustavo Argenis

Sandra Juárez

Comportement Biophysique et Écophysiologique de Cinq Espèces Ligneuses en Plantation dans la Commune Rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali).....185

Ousmane Kassambara

Oumar Sénou

Moussa Karembé

Ibrahim Sambaké

Haematic Potentials of Rhyhchospora corymbosa and Olax subscorpiöidea Extracti in Phenyhydrazine-induced Anaemic Rats.....208

M'béfêhé Soro

Joël Akakpo-Akue

Jacques Auguste Alfred Bognan Ackah

Jean-François Sibri

Yayé Guillaume Yapi

Tatiana Kangah Mireille Kple

Sihi Ephrem Léangeovers Getheme Sanko

Cartographie et Modélisation de l'Érosion Hydrique dans le Bassin-Versant de Ogo (Nord-est du Sénégal) par Approche Statistique Bivariée de la Valeur Informative et Ratio de Fréquence.....222

Amadou Tidiane Dia

Caractérisation Hydro-Chimique et Évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines de l'Environnement Minier du Canton Afema (Sud-Est de la Côte d'Ivoire).....248

Kouadio Assemien François Yao

Kouassi Ernest Ahoussi

Yao Blaise Koffi

Lou Moin Sandrine Tivoli

David Salze

Miguel Lopez-Ferber

Contribution à l'Étude des Macrophytes de la Mare d'Albarkaïzé dans le Département de Gaya au Niger Occidental (Afrique de l'Ouest).....272

Hassane Souley Adamou

Saharatou Bourahima Kimba

Bassirou Alhou

Tahirou Djima Idriasou

Effets Insecticide et Insectifuge des Huiles Essentielles de Cinq Plantes Aromatiques Sur la Bruche de Haricot Cultivé en République du Congo.....294

Mpika Joseph

Mboussy Tsoungould Feldane Gladrich

Landou Mankessi Joe Emmanuelle

Ongouya Liana Dalcantara épse Makanga

Attibayeba Attibayeba

Efecto de la Quema de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) Sobre las Propiedades de los Suelos Agrícolas en la Zona Kárstica del Sur de Quintana Roo.....330

Fragoso-Servón Patricia

Pereira Corona Alberto

Prezas Hernández Benito

Evaluation de la Qualite de Vie des Enfants et Adolescents Inclus dans un Programme de Prise en Charge Tridimensionnelle de l'Exces Ponderal a Abidjan (Côte d'Ivoire).....350

Assi Kaudjhis K.R.

Kouassi K. F.

Kouassi E. S.

Blaou N. R.

Ake- Tano O.

Tiahou G.

Anin Atchibri L.

Evaluation de l'Impact des Activités Anthropiques Sur la Séquestration de Carbone dans le Parc National Du Mont Sangbé, en Côte d'Ivoire.....367

Tra Bi Tra Jeannot

Kouassi Kouadio Henri

Keulai Minty Celestin

**Technique de Multiplication Végétative par Bouturage de Macaranga
beillei Prain (Euphorbiaceae) à Abidjan, Côte d’Ivoire.....392**

Koffi Kouao Jean

Yao N’Guettia Francis

Kouadio Yao Lambert

Haba Jean Florent

Tuo Fatou

Kone Moussa

Adama Bakayoko

Jan Bogaert

**Influence des Facteurs individuels et Contextuels Sur la Rehydratation
par Voie Orale des Enfants Diarrhéiques de Moins de Cinq ans en Côte
d’Ivoire.....423**

Kouassi Boris N’Goran

Hamidou Kone

Ondoua Owoutou

**Connaissance, Attitude et Pratique des Médecins de Toamasina I Sur la
Prévention du Cancer du Col de l’Utérus.....444**

Niaina Ezra Randriamanovontsoa

Hanta Rasataharifetra

Andriatompoina Felanarivo Razafindraibe

Tahino Niaina Andriarivony

Florine Rafaramino

La Dynamique du Système Socio-écologique dans la Concession Forestière des Communautés Locales de la Rivière Mbali en République Démocratique du Congo: Implication pour la Conservation du Bonobo (*Pan Paniscus*).....456

Valentin Omasombo Wotoko

Jean Malekani

Julien Punga

Jean-Philippe Cherel

Jean-Christophe Bokika



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Detección Temprana de Epilepsia Pediátrica: Progresión de los Electrodoes en EEG

Cristhy Miranda, BSc

Alfredo Lescher, MSc

Aldrual Rojas, MSc

Jay Molino, PhD

Laboratorio de Investigación Experimental de Bioseñales, Facultad de Biociencias y Salud Pública, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Corregimiento de Ancón, Albrook, Paseo de la Panamá, Panamá

Ernesto Ibarra, PhD

Programa de Ingeniería Biomédica,

Universidad Latina de Panamá, República de Panamá

Svetlana de Tristan, MSc

Facultad de Biociencias y Salud Pública,

Universidad Especializada de las Américas (UDELAS),

Corregimiento de Ancón, Albrook, Paseo de la Panamá, Panamá

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p1](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p1)

Submitted: 02 November 2022

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Miranda C., Lescher A., Rojas A., Molino J., Ibarra E. & De Tristan S. (2022). *Detección Temprana de Epilepsia Pediátrica: Progresión de los Electrodoes en EEG*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p1>

Resumen

La epilepsia es un trastorno cerebral producido por cambios inesperados de la actividad eléctrica del cerebro, manifestado por comportamientos inusuales llamados convulsiones, que pueden llevar hasta la pérdida del conocimiento, y pueden repetirse varias veces en el transcurso de vida del paciente. La epilepsia pediátrica se manifiesta en forma muy variada con la edad de los niños; ya que, el tipo de convulsiones depende del grado de maduración del sistema nervioso central, la genética predominante en la estructura y los procesos bioquímicos del cerebro en desarrollo. En este orden de ideas, el electroencefalograma (EEG) es una herramienta que apoya el diagnóstico de esta enfermedad por medio del registro eléctrico de las crisis

epilépticas. La actividad bioeléctrica del cerebro es detectada a nivel del cuero cabelludo por los electrodos, luego se amplifica y finalmente, se registra; este proceso es conocido como la neuromonitorización. En esta revisión se describen varias investigaciones que se recopilieron de revisiones de registros existentes en base a ingeniería biomédica, para determinar la efectividad y desempeño de diferentes electrodos de EEG, con énfasis en aplicaciones pediátricas dada la dificultad en este tipo de paciente. Se pretende plantear las tecnologías emergentes que pudieran en un futuro cercano utilizarse en la detección temprana de eventos epileptiformes, permitiendo establecer estrategias de tratamiento desde el inicio de la vida de los pacientes. Aunque ha evolucionado progresivamente, la Electroencefalografía pediátrica todavía carece de medios efectivos y cómodos para monitorizar continuamente el EEG en etapas tempranas. Tecnologías como el grafeno y los polímeros dopados podrían resolver esta problemática.

Palabras Claves: Convulsiones, EEG, electrodos, epilepsia pediátrica, neuromonitorización

Early Detection of Pediatric Epilepsy: EEG Electrode Progression

Cristhy Miranda, BSc

Alfredo Lescher, MSc

Aldrual Rojas, MSc

Jay Molino, PhD

Laboratorio de Investigación Experimental de Bioseñales, Facultad de Biociencias y Salud Pública, Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Corregimiento de Ancón, Albrook, Paseo de la Panamá, Panamá

Ernesto Ibarra, PhD

Programa de Ingeniería Biomédica,

Universidad Latina de Panamá, República de Panamá

Svetlana de Tristan, MSc

Facultad de Biociencias y Salud Pública,

Universidad Especializada de las Américas (UDELAS),

Corregimiento de Ancón, Albrook, Paseo de la Panamá, Panamá

Abstract

Epilepsy is a brain disorder caused by unexpected changes in electrical activity, manifested by unusual behaviors called seizures, which can lead to loss of consciousness and can be repeated several times during the patient's life. Pediatric epilepsy manifests itself in a very varied way with the age of children; since the type of seizures depends on the degree of maturation of the central nervous system the genetics that predominate in the structure and biochemical processes of the developing brain. In this order of ideas, the electroencephalogram (EEG) is a tool that supports the process of diagnosing this disease through the electrical recording of epileptic seizures. The bioelectrical activity of the brain is detected at the level of the scalp by the electrodes, then amplified and finally recorded. This process is known as neuromonitoring. This review describes several investigations done to determine the effectiveness and performance of different EEG electrodes, emphasizing pediatric applications given the difficulty in this type of patient. It is intended to propose emerging technologies that could shortly be used in the early detection of epileptiform events, allowing treatment strategies to be established from the beginning of patients' lives. Although pediatric electroencephalography has been evolving; however, it still lacks effective and comfortable means of monitoring EEG in early stages and long periods. Therefore, emerging technologies that manage to solve this problem continue to be investigated, such as graphene and doped polymers.

Keywords: EEG, electrodes, neuromonitoring, pediatric epilepsy, seizures

Introducción

La medición no invasiva del biopotencial humano es uno de los métodos principales para evaluar las patologías de trastornos neurodegenerativos. La monitorización de estas señales puede detectar funciones fisiológicas normales y anormales de forma precoz, y prevenir el desarrollo de enfermedades mediante un tratamiento eficaz.

La epilepsia se caracteriza por la aparición súbita de convulsiones producto de estados transitorios de hipersincronía eléctrica cerebral debida a un desbalance entre las redes neuronales excitadoras e inhibitoras (foco epiléptico) (Legido y Valencia, 2009).

La epilepsia pediátrica es muy variada con la edad de los niños ya que el tipo de convulsiones lo determina el grado de maduración del sistema nervioso central y la genética; ésta última, durante el desarrollo del niño o niña, juega un papel importante en la estructura y el proceso bioquímico del cerebro de cada uno (Durá Travé et al., 2007) (Lizana et al., 1996) (Díaz, 2008). Aquí es donde se involucra la electroencefalografía, que se define como la “ciencia o técnica de estudio relativa a la actividad eléctrica cerebral” (Merino y Martínez, 2007).

El EEG es una herramienta clave que apoya el proceso de diagnóstico de esta enfermedad; ya que, en caso de detectar una crisis epiléptica en el niño, con el procedimiento puede obtenerse el registro crítico eléctrico cerebral del momento que acontece la crisis. Muchos estudios han demostrado que es una técnica beneficiosa para establecer a tiempo un tratamiento para esta población (Merino y Martínez, 2007) (Legido y Valencia, 2009) (González y Guevara, 2007) (Ríos y Álvarez, 2013). ¿Pero cuáles son los tipos de electrodos o instrumentación que ayuda a tomar los parámetros de los impulsos eléctricos?

En neurofisiología, las neuronas piramidales corticales activadas con cierto grado de coordinación generan un campo eléctrico que se detecta mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo (Ferrari, et al., 2020). Las señales electroencefalográficas son las más débiles en todo el cuerpo (Teplan, 2002), por estar cubiertas de diferentes capas como el líquido cefalorraquídeo y la capa resistente del cráneo que protege al cerebro.

La electroencefalografía ha ido progresando a lo largo de su historia, desde que Galvani descubrió la electricidad animal en 1791, diversos avances tecnológicos le permitieron al neurólogo y psiquiatra alemán Hans Berger registrar los ataques epilépticos de humanos por primera vez desde 1929. Debido a la importancia de sus estudios sobre la actividad eléctrica del cerebro, Berger se convirtió en el padre de la electroencefalografía.

En los años 50 se introdujo el EEG pediátrico, en los 70 el EEG neonatal y en los 80 el EEG digital. En la década de los 80 se desarrollaron los videos

de grabaciones continuas para el monitoreo prolongado a pacientes y así poder diagnosticar la actividad epiléptica sospechosa, siendo un procedimiento eficaz para detectar la epilepsia pediátrica (Shoeb et al., 2005) (Legido y Valencia, 2009), para entonces se aparecieron diferentes maneras de realizar las neuromonitorización con electrodos.

Metodología de Revisión

Se utilizó como método de investigación la revisión sistemática de la literatura disponible del 2001 al 2022, empleando bases de datos científica relacionada al tema, entre las que se encuentran: Google Scholar, Frontiers in Chemistry, American Chemical Society, Wiley, Elsevier, Nature Portfolio journals, Springer Nature, Scientific Electronic Library Online, ScienceDirect, MDPI journals, Jove Journals, IEEE Xplore, Iop Science.

La revisión bibliográfica se basó en artículos científicos e investigaciones de comisiones europeas sobre el tema de los electrodos, los cuales fueron un total de 33 documentos científicos consultados. Esta revisión apunta significativamente a la aplicación de los electrodos utilizados en la técnica de electroencefalografía.

Electrodos usados en la electroencefalografía

En la electroencefalografía convencional pediátrica, al igual que en la de adultos, los electrodos que más se utilizan son los de superficies metálicas Ag/AgCl; otros que también son utilizados incluyen un electrodo con esponja que se introduce en solución salina, para mejorar la interfaz electrodo-piel. También existen alternativas como los electrodos de autoadhesivos con un gel de material conductor, los electrodos subdérmicos con una aguja monopolar que se introduce en la piel y los electrodos invasivos, que sirven para registrar la actividad electroencefalográfica en las zonas como la superficie medial del lóbulo frontal o temporal (Merino y Martínez, 2007).

Todo depende de cada paciente y su evolución, pero cabe destacar que la instrumentación es fundamental para captar las señales débiles e irregulares en los pacientes de esta población menor, ya que en los recién nacidos el tejido fisiológicamente se haya inmaduro, pero se puede observar el estado de las funciones cerebrales y detectar hallazgos patológicos como: trazados muy bruscos, voltajes inferiores a lo normal o un patrón de brote-supresión (Merino y Martínez, 2007).

Ferree et al. (2001) indican que el uso de electrodos subdérmicos tiene riesgos inherentes de infección contra patógenos como el HIV, Hepatitis C y la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob. Demuestran en su investigación que el uso de electrodos superficiales de piel, a pesar de su mayor impedancia, no introducen mayor perturbación debido a las tecnologías de aislamiento y filtrado existentes. Para ello, condujeron experimentos con diferentes

impedancias electrodo-piel, registrando patrones EEG con piel ligeramente erosionada ($10\text{ K}\Omega$) y piel intacta ($40\text{ K}\Omega$). Se determinó que no hay cambios importantes en la amplitud de la señal de EEG en función de la impedancia, y que tampoco afecta en mayor grado el ruido de acople capacitivo producido por la mayor impedancia sobre el ruido total de 60 Hz.

En el artículo de Fiedler et al. (2015) se propone un novedoso sistema de casquillo EEG con electrodos secos multipin, que lo conformaban electrodos secos de 24 pines hecho de poliuretano y un recubierto con Ag / AgCl (Plata y Cloruro de Plata). El sistema de gorro textil contenía 97 de estos electrodos secos, que superan las principales limitaciones de los electrodos húmedos utilizados convencionalmente, permitiendo una rápida aplicación de los gorros multicanal de EEG.

Se realizó la prueba con 20 voluntarios, en los cuales se evaluó la actividad alfa en diferentes estados como reposo y con artefactos de parpadeo, entre otras, no encontrándose diferencias significativas al comparar con electrodos húmedos. Los voluntarios declararon comodidad con el casquillo y el ajuste del gorro; además de los parámetros que se dieron a comparar, en ninguno se observó las diferencias en impedancia, densidades espectrales y el mapa topográfico interpolado, sin resultar diferencias pronunciadas. En conclusión, hubo aceptabilidad dando nuevas aperturas a los EEG con electrodos multipin, como herramienta idónea para futuros pacientes pediátricos con convulsiones inesperadas (Fiedler et al., 2015).

Por otra parte, se realiza una investigación en la Universidad College Cork de Irlanda sobre cómo superar los desafíos prácticos de la electroencefalografía para bebés muy prematuros en la unidad de cuidados intensivos neonatales, mediante una técnica eficaz para aplicar EEG en bebés prematuros utilizando electrodos de EEG empaquetados, planos, estériles y desechables (Boylan et al., 2015).

Según el estudio Boylan et al. (2015) se pone a prueba la misma teoría que el estudio de Fiedler et al. (2015), solo que utilizan una técnica práctica de aplicación de electrodos en UCIN con el sistema internacional de 10 a 20 electrodos en combinación con un sombrero de presión positiva continua de las vías respiratorias (CPAP), que proporciona una buena seguridad para los electrodos y registros de EEG de buena calidad.

Después de una revisión de los tipos de electrodos disponibles para los registros, los electrodos desechables, estériles y de superficie plana, brindan ventajas obvias para la monitorización de EEG neonatal en UCIN (Boylan et al., 2015). Lo habitual son los cascos multiuso de electroencefalograma, pero no se pueden esterilizar. El hecho de solo lavar con agua tibia y jabón (Mullinger et al., 2013) no es ideal para recién nacidos o infantes en salas de UCIN, ya que podría presentar un riesgo grave para la población pediátrica (Boylan et al., 2015).

Luego de monitorizar por más de 72 horas, en el estudio de Boylan et al., (2015) concluyeron que la adhesividad de los electrodos desechables parecía proporcionar seguridad adicional para ayudar a mantener la posición de los electrodos en estos pacientes, dando expectativas altas nuevamente a la técnica del gorro. Resultados semejantes arrojó la investigación de Fiedler et al. (2015) quienes utilizaron electrodos secos de casquillo multipin, donde se pudo denotar que era una alternativa exitosa para esta población y ayudaría a monitorear de forma prolongada a pacientes con sospecha de epilepsia.

Para ese mismo año, un grupo de investigadores (Sohrabpour et al., 2015), realizan un artículo sobre los efectos del número de electrodos de EEG sobre la localización de la fuente epiléptica en pacientes pediátricos. Ellos realizaron 128 registros de canales de EEG de cinco pacientes pediátricos con epilepsia parcial, de tal modo, se compararon con la resección quirúrgica y los registros intracraneales. Asimismo, se realizaron diferentes pruebas de configuraciones de electrodos y para validar los resultados se utilizó una simulación por computadora, concluyendo que, “la localización de la fuente mejora cuando aumenta el número de electrodos, pero la mejora absoluta en la precisión disminuye al aumentar el número de electrodos” (Sohrabpour et al., 2015). Es decir, el aumento del número de electrodos reduce los errores en la localización de la fuente epiléptica.

En 2018, las investigaciones acerca del EEG, la instrumentación y su ayuda al diagnóstico plantean un nuevo aporte mediante el uso de la técnica del gorro. Bajo el nombre de proyecto ANDREA, la Unión Europea reúne un grupo de investigadores a cargo de la profesora Silvia Comani, de la Unión Europea (UE), para realizar un proyecto entre el 2014 y el 2017, destinado al desarrollo de un gorro con un sistema de electrodos secos, que supera las limitaciones en cuanto adquisición de las señales eléctricas sin necesidad de pastas o geles. Comentó la profesora, “El sistema cumple los requisitos de calidad elevada de la señal, confiabilidad, movilidad, gran comodidad para el paciente/sujeto y uso a largo plazo”.

También se mencionó propuestas para el proyecto de cara al futuro sobre estudios de electrodos secos para monitorizar el funcionamiento del cerebro de bebés e impedir el desarrollo de alteraciones neurológicas, cognitivas y motoras, en etapas posteriores de su vida (Unión Europea (UE), 2018).

Para finales de ese año, se publica un artículo basado en un tipo de electrodo en forma de dedo o garra con bandas de poliuretano. Este permite acceder a la superficie del cuero cabelludo a través del cabello, que se ha utilizado en los registros de EEG y en aplicaciones BCI (sistema de interfaz cerebro-computadora), para registrar potenciales evocados visuales de estado estable de alta velocidad (Xing et al., 2018). Además, otro artículo innova con los electrodos autoadhesivos, hechos de un compuesto blando a base de

micropartículas de plata microestructurado, que permitieron obtener registros de ECG y EEG de alta fidelidad, según el estudio (Stauffer et al., 2018).

Del mismo modo, en el estudio de O'Sullivan et al., (2019), se analiza un sistema de monitorización EEG de bajo costo y fuente abierta, con electrodos secos para el uso clínico en la UCI neonatal. En esta investigación se evalúa el desempeño de dos electrodos secos de diferente origen versus electrodos húmedos convencionales estándar de oro. Las señales de EEG fueron tomadas de la base de datos del Centro Irlandés de investigación traslacional fetal y neonatal. Los autores mencionan, al igual que Ferre et al., (2001), que el uso de electrodos húmedos en algunos casos produce irritación en la piel, y es un desafío para los bebés extremadamente prematuros, por su particularidad de tener una piel muy frágil al nacer.

En el mismo contexto, los electrodos secos utilizados fueron la Micro Plataforma de interfaz transdérmica (MicroTIP), que son microagujas poliméricas que penetran el estrato córneo de la piel para hacer contacto con las capas conductoras de la epidermis; y g.tec-g.SAHARA, los cuales son electrodos pasivos reutilizables, para usar sobre la piel y el cabello, constan de ocho clavijas fabricadas con aleación de oro.

Esta investigación muestra que los electrodos secos dieron impedancias entre la interfaz piel y electrodo, más altas que los electrodos húmedos, obteniendo resultados concordantes con lo esperado. Los MicroTIP reducían la impedancia en regiones sin cabello, mientras que los electrodos g.tec-g.SAHARA realizaron lo mismo pero en regiones con cabello. Los resultados arrojan que “con el uso de un filtrado adicional, las impedancias grandes no corrompen las señales de EEG, lo suficiente como para afectar significativamente la inteligibilidad de éstas” (O'Sullivan et al., 2019).

En relación con los electrodos, para el mismo año se publica una revisión en busca de los biosensores que contribuyen al tratamiento de la epilepsia. Se destacaron un nuevo EEG que viene en forma de diadema, con un sensor de electrodo seco para posibles aplicaciones de cuantificación (nombre comercial ENOBIO), diseñado para eliminar las interferencias de ruido y los inconvenientes asociados con el gel electrolítico. La superficie de contacto del electrodo está formada por nanotubos de carbono (CNT), recubiertos con plata para una mejor conductancia y una transferencia de potencial precisa (Tiwari et al., 2019).

En cierto modo, este electrodo o sensor derivado de la nanotecnología mejoró la facilidad y precisión durante el uso con el paciente; además, provocó menos irritación, al no ser necesario los geles conductores, o cirugía para implantar electrodos dolorosos de forma invasiva en el cráneo.

La nanotecnología permitirá en el futuro seguir realizando avances para diagnosticar enfermedades neurodegenerativas como la epilepsia (Tiwari et al., 2019).

En el Servicio de Neonatología del Hospital Universitario La Paz, en Madrid España (Cordeiro et al., 2020), se realizó evaluación de la idoneidad y aplicabilidad clínica de diferentes electrodos para la monitorización de EEG en niños prematuros extremos con menos 28 semanas de nacer. La colocación de los electrodos siempre supone un reto para este grupo de edad, dificultando la neuromonitorización continua en las primeras 24 horas de vida hasta al menos 72 horas. Entre los electrodos que fueron escogidos para la evaluación se encontraban agujas subdérmicas, cucharillas de plata, electrodos autoadhesivos de hidrogel sólido y electrodos autoadhesivos con gel líquido, conductor con cable incorporado y sin cable incorporado, de marcas del mercado médico (Ambu® & Natus®).

Al concluir el análisis, se eligió a los electrodos con gel líquido conductor y cable incorporado por sus grandes ventajas para la monitorización a largo plazo y de buena calidad, además de superar el reto de la colocación de electrodos, permitiendo la monitorización neurológica tanto de paciente adultos como pediátricos. En opinión de los autores, las crecientes evidencias apoyan la utilidad clínica de la monitorización de la función cerebral, mediante EEG en los niños prematuros, porque se puede llevar un control temprano a los futuros pacientes de crisis epilépticas (Cordeiro et al., 2020).

Durante décadas, los electrodos húmedos de Ag / AgCl han sido el estándar de oro en la práctica clínica debido a su excelente relación señal / ruido (SNR), pero es evidente que el sistema convencional húmedo tiene desventajas, ya que, los pacientes desarrollan en algunos casos alergias a los geles o pastas, además que el proceso de secado induce a errores que alteran la calidad de la señal (Ferrari et al., 2020).

Según la investigadora Ferrari, se vislumbra en forma prometedora la aplicación de sensores conductores de contacto en la piel seca a base de polímeros, también llamados calcomanía, hechos de poli (3,4-etilendioxitiofeno): sulfonato de poliestireno (PEDOT: PSS), guardado por un recubrimiento por rotación o impresión por inyección de tinta, sobre un papel de tatuaje temporal disponible comercialmente (Ferrari et al., 2020).

El kit de tatuaje está compuesto por dos láminas: el papel de transferencia de calcomanías y la lámina de cola empleada como sustrato no convencional y capa de pasivación, respectivamente. Esta investigación se llevó a cabo en el Hospital Timone, en Francia, con dos participantes sanos, un hombre y una mujer; parece ser una tecnología que puede comercializarse en un futuro cercano.

Otra tecnología que se viene considerando es el uso de grafeno. Este es un nanomaterial alótropo del carbono compuesto de una monocapa del mismo, con características únicas de tipo mecánica, electrónica, química, magnética y óptica (Saldivar C., 2014). Es a la vez un material biocompatible (Bendali et al., 2013), con alta estabilidad esperada (Banhart et al., 2010) y

flexible que se adapta bien en la corteza cerebral (Lee et al., 2008) en aplicaciones biomédicas.

Al respecto Kozum et al., (2014), resalta las propiedades de bajo ruido, transparencia y flexibilidad que pueden obtenerse al utilizar el grafeno como base en electrodos para electrofisiología. En la referida investigación Kozum et al. (2014) fabricaron microelectrodos de grafeno sobre sustratos flexibles de poliimida (Kapton). El grafeno fue cultivado en cobre (Cu) mediante deposición química de vapor, y luego transferido a un sustrato de poliimida con contactos de oro (Au) previamente modelados. Finalmente, se encapsuló todo el dispositivo menos los contactos de oro con SU-8, el cual es un fotoprotector negativo compuesto de epoxi, usado comúnmente en aplicaciones microelectrónicas. Adicionalmente, el grafeno fue dopado con ácido nítrico, resultando en un dopado tipo P. De la caracterización de impedancia electroquímica de los electrodos de grafeno normal y dopado; así como uno de electrodo de oro prefabricado previamente para ser usado como referencia, se confirman las propiedades del grafeno en contraste con el electrodo de oro, plasmando un modelo característico del mismo que lo explicara a nivel matemático. Para estudiar su relación señal a ruido se realizó un estudio in vitro con ratas, corroborando su excelente valor al registrar las señales neurales correspondientes para los tres casos indicados.

Una investigación que plantea variante en el uso del grafeno para electrodos de EEG, la desarrollaron Shao et al., (2019), mediante un electrodo seco estructurado con una matriz micropiramidal en su superficie el cual ofrece menor impedancia, y mayor confiabilidad y confort. Para tal propósito, fijaron mezcla de grafeno en polvo con hexano y xileno sobre una máscara en placa de silicio con técnica de fotograbado, y posterior secado al horno a 120°C por 4 horas hasta solidificarlo. A continuación, fue raspada la capa de grafeno hasta aparecer la estructura piramidal. Sobre una lámina flexible de circuito (FCP) se colocó pasta de plata, y luego el grafeno previamente tratado, sometiéndolo a calor para fijarlos, obteniéndose de esta forma el electrodo prototipo.

Para analizar el desempeño del electrodo diseñado por Shao et al., (2019) se midieron resistencias de éste y dos electrodos más (uno tipo-dedo de fabricación comercial y otro de grafeno sin tratamiento previo), encontrándose una menor impedancia electrodo-piel en el prototipo, al hacer 20 pruebas de análisis espectral en 4 sujetos. También se hicieron pruebas de medición de impedancia al hacer doblamiento del electrodo prototipo, las cuales revelaron su alta confiabilidad después de mil doblamientos. En las pruebas con EEG se usó un banco electrónico con módulo de adquisición y conversión digital para observarlo en un computador, descomponiendo las señales obtenidas en ondas Alpha, Beta, Gamma, Delta y Theta, usando la configuración aceptada internacionalmente Jasper Fp2 para los electrodos. Al

comparar, en primer lugar, las ondas provenientes del electrodo prototipo y el comercial, se concluyó que son suficientemente similares, además de reportar confort de los pacientes de prueba después de 30 minutos de uso.

Otra investigación en el uso de grafeno como materia prima en el desarrollo de electrodos es la realizada por Zhuo Li et al., (2020), quienes proponen electrodos de óxido de grafeno reducido (rGO) es un proceso de fabricación a escala que, en su opinión, ofrecen menores costos y atributos semejantes que otros diseños más complejos. El diseño consiste en fabricación de sustrato de silicón con una capa de cromo y cobre mediante deposición magnética, posteriormente sumergido en una solución de óxido de grafeno (GO) al 60°C, obteniendo el patrón rGO, el cual es lavado con agua y HCL para remover excedentes y calentado a 50°C para secarlo. Por último, se agregó un agente adhesivo comercial de propósito médico para fijar a la piel.

Respecto a la experimentación y resultados la mencionada investigación en primer lugar optimizó el espesor del rGO, analizando 3 diferentes concentraciones de GO y 4 diferentes tiempos de deposición. De estos escenarios se descartaron aquellos que no ofrecían suficiente espesor o que producirían superficies poco uniformes del electrodo. En cuanto a la medición de impedancias la combinación de 0.5 mg/ml y 2 horas produjo la menor impedancia. Esta medición fue realizada en el rango de frecuencia 20 Hz a 1020 Hz, comparándose con un electrodo comercial rígido Ag/AgCl con gel, obteniendo mejores resultados.

En este mismo orden de ideas, García-Cortadella et al., (2021), señala que una aplicación del grafeno que tiene mucho potencial es el microtransistor de grafeno que permite interfaces de detección neural de banda ancha de frecuencia crónica. Estos pueden detectar la actividad cerebral de muy baja frecuencia que los electrodos tradicionales no pueden medir, ofreciendo información importante en los estudios. En esta investigación se diseñó y construyó una matriz activa de 64 canales de microtransistores de grafeno g-SGFET, demostrando atributos de biocompatibilidad, estabilidad, sensibilidad y homogeneidad.

Los potenciales electroquímicos son captados en las compuertas de los G-SGFET, para luego ser traducidos a señales de corrientes drenaje-fuente (I_{ds}), que son proporcionales a la transconductancia (g_m) del transistor. Al igual que toda la familia FET, en éstos transistores g_m es proporcional a la capacitancia de compuerta por unidad de área y a la relación W/L (*ancho/largo*) del transistor, pero no a su área activa. Los transistores de efecto de campo activados por solución de grafeno (g-SGFET) han demostrado una alta sensibilidad para la detección de potenciales de campo local (LEP) (Hébert et al., 2017). Concluye la investigación realizada por Garcia-Cortadella et al., que los array activos de grafeno se pueden utilizar en diferentes aplicaciones, cubriendo la gama subdural, epidural e intracortical.

Incluso se pueden colocar en forma no invasiva como en el electroencefalograma. Esto abre las posibilidades futuras para el desarrollo en esta área, que podría establecer la monitorización a largo plazo del EEG, en particular los estudios de epilepsia, trayendo las ventajas que estas nanotecnologías poseen.

Una variante que también promete buenos resultados y de características semejantes en algunos aspectos a los G-SGFET, son los OECT (transistor electroquímico orgánico controlado por electrolitos). Son dispositivos de tres terminales (compuerta, drenaje y fuente) y una transconductancia como parámetro amplificador. Entre sus ventajas se encuentran: bajo voltaje de operación, alta transconductancia y biocompatibilidad. El uso del polímero conductor poli (3,4-etilendioxitiofeno) dopado con poli (sulfonato de estireno) (PEDOT:PSS) lo convierte en un componente de alta conductividad iónica y electrónica (Braendlein, 2016), (Bai, 2019). En la tabla 1 se resumen las diferentes clases de electrodos atendiendo al material y sus características.

Tabla 1. Tipos de Electrodos y sus características

Tipo	Material	Características	Referencias
Superficies Metálicas o Húmedos	Ag/AgCl	<ul style="list-style-type: none"> ● mayor impedancia ● produce irritación en la piel o alergias a los geles o pastas ● desafío para los bebés extremadamente prematuros ● excelente relación señal / ruido (SNR) ● el proceso de secado induce a errores que alteran la calidad de la señal 	Merino y Martínez, 2007. Ferrari et al., 2020.
Autoadhesivos	micropartículas de plata microestructurado	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta fidelidad 	Stauffer et al., 2018.
Electrodos Subdérmicos Con Una Aguja Monopolar	Acero inoxidable y desechables	<ul style="list-style-type: none"> ● Tiene riesgos inherentes de infección contra patógenos 	Ferree et al. (2001)
Electrodos con gel líquido conductor y cable		<ul style="list-style-type: none"> ● Monitorización a largo plazo y de buena calidad ● Fácil de colocar 	Cordeiro et al., 2020
Electrodos Secos Multipin	Plata y Cloruro de Plata	<ul style="list-style-type: none"> ● Rápida aplicación ● No se pueden esterilizar 	Fiedler et al. (2015)

			<ul style="list-style-type: none"> ● 97 de estos electrodos secos ● Monitorizar de forma prolongada 	
Electrodos Empaquetados, Planos, Estériles.	Desechables		<ul style="list-style-type: none"> ● Utilizan una técnica práctica de aplicación de electrodos en UCIN con el sistema internacional de 10 a 20 electrodos en combinación con un sombrero de presión positiva continua de las vías respiratorias (CPAP) ● Proporcionan seguridad adicional 	Boylan et al., 2015
Gorro con un sistema de electrodos secos			<ul style="list-style-type: none"> ● calidad elevada de la señal ● confiabilidad ● movilidad ● gran comodidad para el paciente/sujeto ● uso a largo plazo 	Unión Europea (UE), 2018).
Electrodo En Forma De Dedo O Garra	bandas de poliuretano		<ul style="list-style-type: none"> ● Permite acceder a la superficie del cuero cabelludo a través del cabello ● Se ha utilizado en BCI (sistema de interfaz cerebro-computadora) 	Xing et al., 2018
MicroTIP	microagujas poliméricas		<ul style="list-style-type: none"> ● Reducían la impedancia en regiones sin cabello 	
G.tec-g.SAHARA	ocho clavijas fabricadas con aleación de oro		<ul style="list-style-type: none"> ● Electrodo pasivos reutilizables ● Usar sobre la piel y el cabello ● Reducían la impedancia en regiones con cabello 	O'Sullivan et al., 2019.
Diadema (ENOBIO)	nanotubos de carbono (CNT)		<ul style="list-style-type: none"> ● Forma de diadema ● Eliminar las interferencias de ruido ● Elimina los inconvenientes asociados con el gel electrolítico ● Mejoró la facilidad y precisión ● Provocó menos irritación 	Tiwari et al., 2019

* Calcomanía	poli (3,4- etilendioxitiofeno): sulfonato de poliestireno (PEDOT: PSS), guardado por un recubrimiento por inyección de tinta, sobre un papel de tatuaje temporal	<ul style="list-style-type: none"> ● Sensores conductores de contacto en la piel seca ● No utilizan geles 	Ferrari et al., 2020.
* Tecnología con grafeno	Grafeno	<ul style="list-style-type: none"> ● material biocompatible ● alta estabilidad esperada ● flexible que se adapta bien en la corteza cerebral 	Saldivar C., 2014. Lee et al., 2008 Bendali et al., 2013 Banhart et al., 2010
* Microelectrodos	grafeno sobre sustratos flexibles de poliimida (Kapton). Encapsulado de oro con SU-8	<ul style="list-style-type: none"> ● bajo ruido ● transparencia ● flexibilidad 	Kozum et al. (2014)
* Electrodo micropiramidal de grafeno en banda FCP.	mezcla de grafeno en polvo con hexano y xileno sobre una máscara en placa de silicio; lámina flexible de circuito (FCP) se colocó pasta de plata, y luego el grafeno previamente tratado	<ul style="list-style-type: none"> ● matriz micropiramidal ● menor impedancia ● mayor confiabilidad ● confort ● una menor impedancia electrodo-piel 	Shao et al., (2019)
* Electrodos de óxido de grafeno reducido (rGO)	Sustrato de silicón con una capa de cromo y cobre, luego sumergido en una solución de óxido de grafeno (GO).	<ul style="list-style-type: none"> ● Ofrecen menores costos y atributos semejantes que otros diseños más complejos. ● un agente adhesivo comercial de propósito médico para fijar la piel. ● optimizó el espesor del rGO ● menor impedancia. 	Zhuo Li et al., (2020)

<p>* Microtransistores de grafeno g-SGFET</p>	<p>grafeno</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Esta medición fue realizada en el rango de frecuencia 20Hz a 1020Hz, comparándose con un electrodo comercial rígido Ag/AgCl con gel, obteniendo mejores resultados. ● Detectar la actividad cerebral de muy baja frecuencia ● matriz activa de 64 canales de microtransistores de grafeno g-SGFET ● biocompatibilidad ● estabilidad ● Alta sensibilidad ● homogeneidad. 	<p>García-Cortadella et al., (2021)</p>
<p>* OEET (transistor electroquímico orgánico controlado por electrolitos)</p>	<p>polímero conductor (3,4-etilendioxitiofeno) dopado con poli (sulfonato de estireno) (PEDOT:PSS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● bajo voltaje de operación ● alta transconductancia ● biocompatibilidad ● alta conductividad iónica y electrónica ● menor incidencia de gliosis (daño neuronal) 	<p>Braendlein, 2016. Bai, 2019</p>

★ Son tecnologías emergentes que son aplicables pero no asequibles todavía en la actualidad.

Los electrodos contruidos con estos materiales para registrar la actividad neural pueden ser muy efectivos y provocar al mismo tiempo menos respuesta inmune. Por sus características los polímeros se asemejan mucho más a los tejidos cerebrales, con menor incidencia de gliosis (daño neuronal). Una ventaja sobresaliente de los polímeros es que pueden ser nanoestructurados para lograr bajas impedancias. Una opción es combinar PEDOT con películas de nanotubos de carbono para lograr mayor adherencia y menor impedancia (Fairfield, 2018).

Conclusión

Se ha podido realizar una revisión de las investigaciones realizadas con el fin de mejorar la adquisición y el procesamiento de los biopotenciales cerebrales respecto a la instrumentación de entrada de los sistemas de EEG. Se revisaron 33 fuentes provenientes de revistas científicas localizadas en bases de datos médicas. Esto nos lleva a visualizar en el futuro sistemas que

permitan no solo detectar en forma temprana hallazgos iniciales epileptiformes, sino de disponer de tecnologías de punta para la neuromonitorización de largo plazo de dichos pacientes.

Uno de los accesorios que ha mejorado notoriamente el desempeño general de la instrumentación es el gorro, ya que brinda el soporte necesario para la accesibilidad y movilidad de los electrodos, además de mejorar la interfaz de éstos con la piel. Pero no basta con esa estructura sino también de los tipos de electrodos que sean más amigables y efectivos con los pacientes pediátricos.

La electroencefalografía es una de las mejores técnicas para la neuromonitorización, captando en muchas ocasiones pequeñas crisis de las señales débiles del cerebro pediátrico; sin embargo, no solo es la técnica médica, los electrodos son la base fundamental para captar las señales cerebrales, ya sea a corto o largo plazo, con un bajo nivel de ruido y gran sensibilidad. Nuevas perspectivas pudieran aparecer en un futuro en el campo de la nanotecnología inteligente abriendo una ventana hasta ahora indeterminada de aplicaciones en los biosensores, lo cual podría representar una herramienta potencial y prometedora para la detección temprana de la epilepsia.

Los Biomateriales prometen el desarrollo de electrodos más confortables y confiables para los pacientes, y al mismo tiempo con características resaltantes de impedancia, relación señal a ruido y biocompatibilidad. En este orden de ideas, los electrodos de grafeno podrían ser en el futuro dispositivos de uso estándar en la industria médica, derribando el liderazgo de los convencionales Ag/AgCl. Esto sucederá cuando se afinen los procesos de manufactura, permitiendo su escalabilidad a bajos costos y fácil fabricación.

Las tendencias a futuro apuntan al desarrollo de sistemas neuromórficos, chips no invasivos, software, algoritmos más rápidos y la búsqueda de biomateriales micros y nanos que sean amigables con los pacientes. La Ingeniería biomédica debe continuar el desarrollo de sistemas inteligentes, para luchar contra la epilepsia sobre todo en su detección temprana.

References:

1. Bai, L., Elósegui, C. G., Li, W., Yu, P., Fei, J., & Mao, L. (2019). Biological Applications of Organic Electrochemical Transistors: Electrochemical Biosensors and Electrophysiology Recording. *Frontiers in chemistry*, 7, 313. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00313>

2. Banhart, F., Kotakoski, J., & Krasheninnikov, A. V. (2010). Structural Defects in Graphene. *ACS Nano*, 5(1), 26–41. <https://doi.org/10.1021/nn102598m>
3. Bendali, A., Hess, L. H., Seifert, M., Forster, V., Stephan, A. F., Garrido, J. A., & Picaud, S. (2013). Purified Neurons can Survive on Peptide-Free Graphene Layers. *Advanced Healthcare Materials*, 2(7), 929–933. <https://doi.org/10.1002/adhm.201200347>
4. Boylan, G. Lloyd, R., Goulding, R. & Filan, P. (2015). Overcoming the practical challenges of electroencephalography for very preterm infants in the neonatal intensive care unit. *Acta Paediatrica*, 104(2), 152–157. <https://doi.org/10.1111/apa.12869>
5. Braendlein, M., Lonjaret, T., Leleux, P., Badier, J.M., & Malliaras, G. G. (2016). Amplificador de voltaje basado en transistor electroquímico orgánico. *Ciencia avanzada (Weinheim, Baden-Wurttemberg, Alemania)*, 4(1), 1600247. <https://doi.org/10.1002/advs.201600247>
6. Cordeiro, M., Peinado, H., Montes, M. T., & Valverde, E. (2020). Evaluación de la idoneidad y aplicabilidad clínica de diferentes electrodos para la monitorización aEEG/cEEG en el niño prematuro extremo. *Anales de Pediatría*. Published. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.09.009>
7. Durá Travé, T., Yoldi Petri, M., & Gallinas Victoriano, F. (2007). Incidencia de la epilepsia infantil. *Anales de Pediatría*, 67(1), 37–43. <https://doi.org/10.1157/13108084>
8. Fairfield, J. A. (2018). Nanostructured Materials for Neural Electrical Interfaces. *Adv. Funct. Mater.* 28, 1701145. <https://doi.org/10.1002/adfm.201701145>
9. Ferrari, L. M., Ismailov, U., Badier, J.-M., Greco, F., & Ismailova, E. (2020). Conducting polymer tattoo electrodes in clinical electro- and magneto-encephalography. *Electrónica flexible npj*. <https://doi.org/10.1038/s41528-020-0067-z>
10. Ferree, T. C., Luu, P., Russell, G. S., & Tucker, D. M. (2001). Scalp electrode impedance, infection risk, and EEG data quality. *Clinical Neurophysiology*, 112(3), 536–544. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00533-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00533-2)
11. Fiedler, P., Pedrosa, P., Griebel, S., Fonseca, C., Vaz, F., Supriyanto, E., Zanol, F., & Haueisen, J. (2015). Novel Multipin Electrode Cap System for Dry Electroencephalography. *Brain Topography*, 28(5), 647–656. <https://doi.org/10.1007/s10548-015-0435-5>
12. Garcia-Cortadella, R., Schwesig, G., Jeschke, C., Illa, X., Gray, A. L., Savage, S., Stamatidou, E., Schiessl, I., Masvidal-Codina, E., Kostarelos, K., Guimerà-Brunet, A., Sirota, A., & Garrido, J. A. (2021). Graphene active sensor arrays for long-term and wireless

- mapping of wide frequency band epicortical brain activity. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20546-w>
13. González De Guevara, L., & Guevara Campos, J. (2007). Utilidad de la electroencefalografía en las epilepsias y síndromes epilépticos de la infancia. *SciELO*, 70(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06492007000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 14. Hébert, C., Masvidal-Codina, E., Suarez-Perez, A., Calia, A. B., Piret, G., Garcia-Cortadella, R., Illa, X., del Corro Garcia, E., de la Cruz Sanchez, J. M., Casals, D. V., Prats-Alfonso, E., Bousquet, J., Godignon, P., Yvert, B., Villa, R., Sanchez-Vives, M. V., Guimerà-Brunet, A., & Garrido, J. A. (2017). Flexible Graphene Solution-Gated Field-Effect Transistors: Efficient Transducers for Micro-Electrocorticography. *Advanced Functional Materials*, 28(12), 1703976. <https://doi.org/10.1002/adfm.201703976>
 15. Kuzum, D., Takano, H., Shim, E. et al. Transparent and flexible low noise graphene electrodes for simultaneous electrophysiology and neuroimaging. *Nat Commun* 5, 5259 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms6259>.
 16. Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., & Hone, J. (2008). Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*, 321(5887), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.1157996>
 17. Legido Agustín & Valencia Ignacio. (2009). Papel de la monitorización electroencefalográfica continua en el diagnóstico de la epilepsia pediátrica. [Archivo PDF]. https://www.medicinabuenosaires.com/demo/revistas/vol69-09/1_1/v69_n1_1_p92_100.pdf
 18. Lizana, J. R., Marina, L. C., López, M. V., Bonachera, M. C., & Garcia, E. C. (1996). Epidemiología de la epilepsia en la edad pediátrica: Tipos de crisis y síndromes epilépticos. *Anales Especialidades Pediatricas*, 45, 256-260 [Archivo PDF]. <https://www.aeped.es/sites/default/files/anales/45-3-7.pdf>
 19. Merino Milagros & Martínez Antonio. (2007). Electroencefalografía convencional en pediatría: Técnica e interpretación [Archivo PDF]. <https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=S1696281807741185&r=51>
 20. Mullinger, K. J., Castellone, P., & Bowtell, R. (2013). Best Current Practice for Obtaining High Quality EEG Data During Simultaneous fMRI. *Journal of Visualized Experiments*, 76. <https://doi.org/10.3791/50283>

21. O'Sullivan, M., Temko, A., Bocchino, A., O'Mahony, C., Boylan, G., & Popovici, E. (2019). Analysis of a Low-Cost EEG Monitoring System and Dry Electrodes toward Clinical Use in the Neonatal ICU. *Sensors*, 19(11), 2637. <https://doi.org/10.3390/s19112637>
22. Ríos L. P., & Álvarez C. D. (2013). Aporte de los distintos métodos electroencefalográficos (eeg) al diagnóstico de las epilepsias. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(6), 953–957. [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(13\)70249-9](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(13)70249-9)
23. Saiz Díaz, R. A. (2008). Conceptos básicos de la epilepsia infantil. [Archivo PDF]. https://sid.usal.es/idocs/F8/ART12313/conceptos_basicos_epilepsia.pdf
24. Saldivar C. (2014). El grafeno: propiedades y aplicaciones. [Archivo PDF]. <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/grafeno.pdf>
25. Shao, L., Yunfei, G., Wenjun, L., Tai, S. and Dapeng, W. (2019). A flexible dry electroencephalogram electrode based on graphene materials. *Materials Research Express* 6 085619. DOI 10.1088/2053-1591/ab20a7
26. Shoeb A, Schachter S, Schomer D, Bourgeois B, Treves ST, Guttig J.(2005) .Detecting seizure onset in the ambulatory setting: demonstrating feasibility. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2005; 4: 3546-50. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1617245>
27. Sohrabpour, A., Lu, Y., Kankirawatana, P., Blount, J., Kim, H., & Head, B. (2015). Effect of EEG electrode number on epileptic source localization in pediatric patients. *Clinical Neurophysiology*, 126(3), 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.05.038>
28. Stauffer, F., Thielen, M., Sauter, C., Chardonens, S., Bachmann, S., Tybrandt, K., Peters, C., Hierold, C., & Vörös, J. (2018). Skin Conformal Polymer Electrodes for Clinical ECG and EEG Recordings. *Advanced Healthcare Materials*, 7(7), 1700994. <https://doi.org/10.1002/adhm.201700994>
29. Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11. [Archivo PDF]. <http://www.edumed.org.br/cursos/neurociencia/MethodsEEGMeasurement.pdf>
30. Tiwari, S., Sharma, V., Mujawar, M., Mishra, Y. K., Kaushik, A., & Ghosal, A. (2019). Biosensors for Epilepsy Management: State-of-Art and Future Aspects. *Sensors*, 19(7), 1525. <https://doi.org/10.3390/s19071525>
31. Unión Europea (UE). (2018, 11 mayo). Novedoso sistema de electrodos secos en un gorro de EEG para la investigación cerebral.

CORDIS.<https://cordis.europa.eu/article/id/227602-novel-dry-electrode-eeeg-system-for-brain-research-in-a-cap/es>

32. Xing, X., Wang, Y., Pei, W., Guo, X., Liu, Z., Wang, F., Ming, G., Zhao, H., Gui, Q., & Chen, H. (2018). A high-speed SSVEP-based BCI using dry EEG electrodes. *Scientific Reports*, 8(1), 14708. Retrieved 8 September 2021, from <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32283-8>
33. Zhuo L., Wei G., Yuyan H., Kanhao Z., Haokun Y., Hao W. (2020). On-skin graphene electrodes for large area electrophysiological monitoring and human-machine interfaces. *Carbon: Volume 164*, pages 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.03.058>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Aspects Épidémiologiques, et Cliniques des Ascites de Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui, République Centrafricaine

Youssouf Oumarou

Roland Evrard Féléma Mozane

Armand Kobélémbi

Clémence Djbang

Service de Médecine Interne, Centre Hospitalier Universitaire
Communautaire de Bangui

Nathalie Akélélo Boua

Bernard Béssanguem

Eveline Germaine Kobélembi Mafini

Nuella Edwige Ignaniamoko Gambo

Serges Magloire Camengo Police

Service d'Hépatogastroentérologie, Centre Hospitalier Universitaire de
l'Amitié Sino-Centrafricaine, Bangui

Georges Service

Service de Médecine, Centre Hospitalier Universitaire Maman Elisabeth
Domitien, Bangui

Barbara Siolo

Laboratoire de Biologie Clinique et de Santé Publique, Bangui

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p21](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p21)

Submitted: 27 December 2022

Accepted: 03 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Oumarou Y., Mozane R.E.F., Kobélémbi A., Djbang C., Boua N.A., Mafini E.G.K., Gambo N.E.I., Police S.M.C., Service G. & Siolo B. (2022). *Aspects Épidémiologiques, et Cliniques des Ascites de Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui, République Centrafricaine*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 21.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p21>

Résumé

Introduction : L'ascite est un symptôme majeur fréquent dans beaucoup de pathologies digestives. Elle est la complication majeure de la cirrhose décompensée. **Objectif :** contribuer à une meilleure prise en charge de l'ascite à Bangui. **Patients et méthodes :** Il s'agit d'une étude

transversale descriptive d'une durée de 30 mois menée dans le service d'Hépatogastroentérologie du CHU de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui. Elle a porté sur l'ascite chez des adultes des deux sexes dont le diagnostic étiologique était posé. **Résultats** : Durant la période d'étude, 1210 patients étaient hospitalisés dont 204 pour une ascite (16,85%), parmi lesquels 170 (14,9%) étaient inclus dans l'étude. On comptait 100 hommes (58,8%) et 70 femmes (41,2%). La sex-ratio était de 1,42. L'âge moyen des patients était de 46 ans. Les motifs d'hospitalisation les plus fréquents étaient le ballonnement abdominal dans 91,2% des cas suivi de l'œdème des membres inférieurs (OMI) (51,2%) et la douleur abdominale (49, 4%). L'amaigrissement était retrouvé dans 78,8% des cas. L'ascite était de moyenne abondance dans 52,35% des cas. Le foie était d'allure cirrhotique dans 74,7% des cas. **Conclusion** : l'ascite est un signe fréquent en hospitalisation. Le diagnostic étiologique pour la plupart hépatique compliquant souvent une cirrhose doit être recherché pour une meilleure prise en charge. Il concerne en majorité les hommes adultes jeunes.

Mots-clés: Ascites, épidémiologie, clinique, Bangui

Epidemiological and Clinical Aspects of Ascites at the Sino-Central African Friendship University Hospital Center in Bangui, Central African Republic

Youssouf Oumarou

Roland Evrard Féléma Mozane

Armand Kobélémbi

Clémence Djbang

Service de Médecine Interne, Centre Hospitalier Universitaire
Communautaire de Bangui

Nathalie Akélélo Boua

Bernard Béssanguem

Eveline Germaine Kobélembi Mafini

Nuella Edwige Ignaniamoko Gambo

Serges Magloire Camengo Police

Service d'Hépatogastroentérologie, Centre Hospitalier Universitaire de
l'Amitié Sino-Centrafricaine, Bangui

Georges Service

Service de Médecine, Centre Hospitalier Universitaire Maman Elisabeth
Domitien, Bangui

Barbara Siolo

Laboratoire de Biologie Clinique et de Santé Publique, Bangui

Abstract

Introduction: Ascites is a common major symptom in many digestive pathologies. It is the major complication of decompensated cirrhosis. **Objective:** to contribute to better management of ascites in Bangui. **Patients and methods:** This is a descriptive cross-sectional study lasting 30 months conducted in the Hepato-Gastroenterology department of the CHUASC in Bangui. We included in the study patients of both sexes hospitalized for ascites in whom the etiological diagnosis was known. **Results:** During the study period, 1210 patients were hospitalized, 204 of whom presented with ascites (16.85%), of whom 170 (14.9%) met our inclusion criteria. There were 100 men (58.8%) and 70 women (41.2%). The sex ratio was 1.42. The average age of the patients was 46 years old. The most common reasons for hospitalization were abdominal bloating in 155 cases (91.2%), OMI in 87 cases (51.2%), abdominal pain in 84 cases (49.4%). Weight loss was found in 134 cases (78.8%) and fever in 10 cases (5.9%). Ascites was of medium abundance in 89 cases (52.35%). The liver was cirrhotic on physical examination in 127 cases (74.7%). **Conclusion:** ascites is a frequent sign in hospitalization often

associated with abdominal bloating, edema of the lower limbs, abdominal pain, weight loss and fever. Men were the most affected, it mainly concerns young people. In both sexes.

Keywords: Ascites, Bangui, clinic, epidemiology

Introduction

L'ascite est une accumulation anormale de liquide dans la cavité péritonéale à l'exception du sang et du pus (Hsu et al,2013 ; Pariente et al,2018 ; AMIOT et al, 2000). La fréquence hospitalière est variable selon les pays et à l'intérieur d'un même pays selon les services. Elle est de 3,93% à Borgou au Bénin, 6,4% à Cotonou, 4,24% à Lomé, 11,4% à Bobo- Dioulasso au Burkina Faso (Dovonou ,2017, Sehonou J, 2017 ; Djagadou, 2017 : Sawadogo, 2016). En Australie, elle représente 60% des complications de la cirrhose (Isanka, 2022) et le premier mode de décompensation de la cirrhose à Bangui (Camengo et al, 2014). La cirrhose demeure cependant la cause la plus fréquente de l'ascite dans $\frac{3}{4}$ des cas. (Patiente, 2018). Elle est le premier signe de cirrhose dans de nombreuses études (Sehonou, et al 2017 ; Sawadogo et al ; 2016 ; Isanka et,2022). En Centrafrique bien que l'ascite fait partie de motifs courants d'hospitalisation, peu d'études sont existents sur ce symptôme. D'où l'intérêt de cette étude qui a pour but de contribuer à une meilleure prise en charge de cette symptomatologie.

Méthodologie

Nous avons mené une étude transversale descriptive sur une période de 30 mois allant du 1^{er} Janvier 2020 au 30 juin 2022 dans le service d'Hépatogastroentérologie et de Médecine interne du Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine de Bangui. Elle a porté sur des patients hospitalisés pour une ascite. Etaient inclus tous les patients de deux sexes âgés d'au moins 18 ans dont l'analyse du liquide d'ascite et le bilan étiologique étaient réalisés. Le diagnostic de l'ascite était porté par l'examen clinique et/ou l'échographie abdominale. Les données étaient collectées sur une fiche d'enquête individuelle préétablie. Les paramètres étudiés étaient les caractéristiques sociodémographiques, cliniques et biologiques. Les données étaient saisies et analysées à l'aide du logiciel Epi info version 3.5. Le test Khi-carré était utilisé pour la comparaison des données avec un seuil de significativité $p < 0,05$.

Résultats

Durant la période d'étude, 1210 patients étaient hospitalisés dans le service d'Hépatogastroentérologie et de médecine interne du Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine (CHUASC), parmi

lesquels 204 pour une ascite (16,85%). Des 204 cas, 170 avaient répondu à nos critères d'inclusion soit 14,05% des cas.

L'âge moyen des patients était de 39 ans avec des extrêmes de 18 et 78 ans (Tableau I).

Tableau I. Répartition par tranche d'âge

Tranche d'âges (ans)	Fréquence	Pourcentage
18-27	20	11,8
28-37	32	18,8
38-47	40	23,5
48-57	34	20,0
58-67	36	21,20
68-78	8	4,70
Total	170	100

La tranche d'âge de 38 à 47 ans a dominé avec 23,5% des cas suivie de celles 58 à 67 ans (21,2%) et 48 à 57 ans (20%).

Sexe

L'étude comptait 100 hommes (58,8%) et 70 femmes (41,2%). Le sex-ratio était de 1,42.

Profession

Tableau II. Répartition des patients selon la profession

Profession	Fréquence	Pourcentage
Sans profession	44	25,9
cultivateurs	41	24.1
Fonctionnaires	31	18.2
Commerçants	23	13.5
Ouvriers	12	7.1

Elèves/étudiants	10	5.9
chauffeurs	5	2.9
Agents de sécurité	4	2.4
Total	170	100

Les sans profession étaient les plus concernés (25,9%) suivis des cultivateurs (24,1%) et des fonctionnaires (18,2%).

Tableau III. Répartition des motifs d'hospitalisation

Motifs d'hospitalisation Fréquence Pourcentage

Ballonnement abdominal 155 91,2

OMI 87 51,2

Douleur abdominale 84 49,4

Dyspnée 3 1,8

Le ballonnement abdominal (91,2%) était le motif fréquent d'hospitalisation suivi de l'œdème des membres inférieurs (51,2%) et de la douleur abdominale (49,4%).

Le tableau IV présente les antécédents des patients.

Tableau IV. Répartition des antécédents des patient

Antécédents	Fréquence	Pourcentage
Consommation d'alcool	130	76,5
Ictère	47	27,6
Transfusion sanguine	22	12,9
Hépatite B	19	11,2
Tabac	19	11,2

La consommation d'alcool était l'antécédent majoritairement retrouvé chez nos patients (76,5%).

Abondance de l'ascite

La figure 1 présente le stade évolutif de l'ascite à l'admission

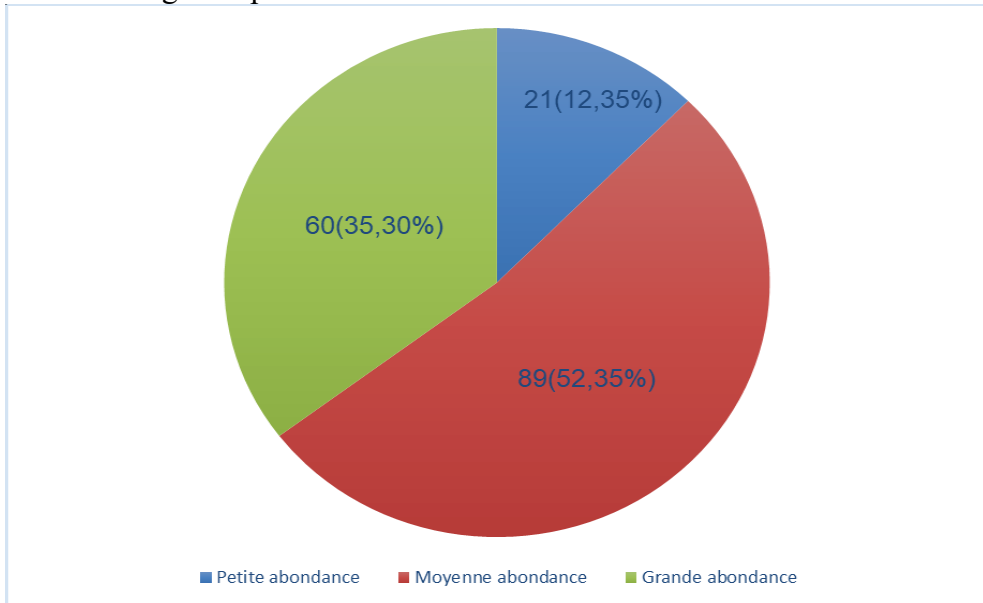


Figure 1. Répartition des patients selon l'abondance de l'ascite

Les patients ayant l'ascite de moyenne abondance étaient plus nombreux (52,35%).

Caractères cliniques du foie

Tableau V. Caractères du foie

Foie	Fréquence	Pourcentage
Cirrhotique	127	88,20
Tumorale	14	9,72
Cardiaque	3	2,08
Total	144	100

Le foie cirrhotique a prédominé dans 88,2% des cas

Discussion

Les patients hospitalisés pour ascite ont représenté 14% des admissions durant la période de notre étude Cette fréquence est supérieure aux séries de Dovonou au Bénin, Djagadou au Lomé et de Sawadogo à Ouagadougou qui ont retrouvé une fréquence respective de 3,83%, 4,24% et

11,4% (Dovonou, 2017 ; Djagadou, 2017 ; Sawadogo, 2016). La fréquence élevée dans notre étude pourrait s'expliquer par le fait que le service d'hépatogastroentérologie du CHUASC est l'unique service de référence du pays en la matière.

L'âge moyen de nos patients était de 39 ans. Il est similaire à celui retrouvé dans la série de Dovonou qui de 39,7 ans mais inférieur à ceux de Djagadou et Sawadogo qui ont trouvé 42,13 ans et 46,9 ans (Dovonou, 2017 ; Djagadou, 2017 ; Sawadogo, 2016). Néanmoins, l'ascite est un signe physique évolutif de certaines pathologies fréquemment retrouvé chez l'adulte jeune dans notre pratique.

La prédominance masculine (58,8%) observée dans notre étude est rapportée par certains auteurs (Dovonou, 2017 ; Djagadou, 2017 ; J Sehonou, 2017 ; Jamal, 2020). La fréquence élevée chez les sujets de sexe masculin pourrait s'expliquer par les facteurs de risque de la maladie causale à laquelle ils sont plus exposés. Les patients sans profession (25,9%), suivis des cultivateurs (24,1%) avaient dominé dans notre étude tandis que dans la série de Sawadogo étaient les plus concernés (Sawadogo,2016). Le faible niveau socioéconomique des patients notamment les sans profession et les cultivateurs conduit les patients à s'exposer aux facteurs de risque de l'hépatopathie chronique à l'origine de l'ascite complication fréquemment révélatrice de la cirrhose (Pariente A. et al, 2012).

L'alcoolisme chronique était retrouvé chez 76,5% de nos patients. Une étude antérieure réalisée par Camengo et dans la série de Noah Noah ont rapporté que l'alcoolisme chronique était la première étiologie de la pathologie hépatique à l'origine de l'ascite (Camengo, 2014 ; Noah Noah, 2016).

Le ballonnement abdominal (91,22%), l'œdème des membres inférieurs (51,2%) et la douleur abdominale (49,4%) étaient les motifs plus fréquents d'hospitalisation. Ces signes étaient rapportés—à dans des proportions variables par (Jamal et al, 2020). Tandis que le ballonnement abdominal (91,2%) et l'œdème des membres inférieurs (51%) l'étaient plus fréquents à Borgou (DovonouAC,et al,2017).

L'altération de l'état général était observée chez 78,8% de nos patients. Elle corrobore la série de Diagadou qui a rapporté 67% des cas chez ses patients La plupart des auteurs ont rapporté sa fréquence au cours de la cirrhose décompensée sur le mode ascitique (Camengo et al, 2014 ;Jamal et al,2020 ;Noah Noah D et al, 2016).

Nous avons noté que 52,3% des patients étaient reçus au stade d'ascite de moyenne abondance. Cette fréquence est superposable à la série de Sehonou à Cotonou qui a observé 50,4% des cas. (Sehonou,et al, 2017), par contre, elle était de grande abondance dans les études de (Djagadou et al 2017) qui a trouvé respectivement 67,56%. Ceci pourrait s'expliquer que nos patients

consultent dès qu'ils constatent un ballonnement anormal de leur abdomen

Le foie d'allure cirrhotique était retrouvé dans 74,7% des cas chez nos patients tandis que l'hépatomégalie sans la précision caractéristique était retrouvée dans 6,3% par (Dovonou et al 2018) à Borgou au Bénin. La présence de l'hépatomégalie traduirait l'étiologie hépatique de l'ascite.

Conclusion

L'ascite est le signe fréquent d'hospitalisation de certaines hépatopathie dans le service d'hépatogastroentérologie. Sa traduction clinique est le ballonnement abdominal associée à la douleur abdominale. Le patient arrive souvent avec une ascite de grade 2. La recherche de ses étiologies revêt une importance capitale pour son traitement.

References:

1. Hsu SJ, Huang HC. Management of ascites in patients with liver cirrhosis: Recent evidence and controversies. *Journal of the Chinese Medical Association* 2013 ;76 :123-130.
2. Pariente A. Ascite. *La Revue du Praticien* 2018 ;68(2):81-87.
3. AMIOT X. Comment traiter une première poussée d'ascite. *Gastroentérologie Clinique et Biologique* ; 2000 ;28 :8118-8122.
4. Dovonou AC., Alassani AC, Saké K, Adè S, Attinsounon CA, Ahoui S., Degla, J, Tognon F, Tchégnoni, Zannou DM, Adè G, Epidemiological clinical and Etiological Aspects of ascites in the Medicine department at the departmental university hospital of Borgou. *open journal of internal Medicine* 2017 ;7(3).
5. Sehonou, J; Dodo, L. R. S; Azon-Kouanou, A; Agbodande, K.A Zannou, D m Houngbe, F profil étiologique des ascites dans le service de médecine interne du centre national hospitalier et universitaire de cotonou. *journal de la société de biologie clinique bénin* 2017 ;27 :28-31.
6. Djagadou KA, Balaka A, Tchamdja T, Nemi KD, Kodjo W, Djalogue L, Djibril MA. Les ascites en milieu hospitalier à Lomé : aspects épidémiologiques, cliniques et étiologiques. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*. 2017 ;19(4) :
7. Sawadogo A, Ouédraogo SM, Kyelem C, Yaméogo TM, Ouédraogo AS, Nikiéma Z, Bambara ML, Kamboule BE. Apport des examens complémentaires dans le diagnostic des ascites à Bobo-Dioulasso. *RAFMI* 2016 ;3(1):30-35.
8. Isanka U Ratnasekera, Amy Johnson, Elizabeth E Powell, Andrew, nn., Henderson , Katharine M Irvine , Patricia C Valery. Epidemiology of ascites fluid infections in patients with cirrhosis in Queensland, Australia from 2008 to 2017: A population-based

- study. *Medicine (Baltimore)* 2022 ;101(20):29217.
9. Camengo Police SM, Koffi B, Boua-Akélélo N, MbekoSimaleko M, Mossoro-Kpindé CD, Longo JDD, Diemer H, KanzilaTangbanda M, Molowakobendo JR. Les complications de la cirrhose à l'hôpital Universitaire de l'Amitié de Bangui. *Médecine d'Afrique Noire* 2014 ;61(11) :537-542.
 10. Jamal Uddin MD, Mehre Darakhshan Mehdi, Sudesh Kumar, Mohabbat Pal Singh. Study of Etiological and Clinical Profile of Ascites in a Tertiary Care Hospital in Seemanchal Region of Bihar. *Annals of International Medical and Dental Research* 2020 :6(5):18-21.
 11. Pariente A. Première poussée d'ascite dans la cirrhose. *Post'U* 2012 :1-10.www.fmcgastro.org/wp-content/uploads/file/pdf/2016/091_098_Alric.pdf
 12. Noah Noah D, Eloumou Bagnaka SAF, Ankouane Andoulo F, Bilounga JN, Luma Namme H. Complications and prognosis of cirrhotic patients at the Douala General Hospital in Cameroon. *Journal of AppliedMedical Sciences* 2016 ;5(1):43-52.
 13. J Schonou, FA Wanvoegbe, AR Kpossou... - *Open Journal of ...*, 2017 - scirp.org



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

History, Features, Challenges, and Critical Success Factors of Enterprise Resource Planning (ERP) in The Era of Industry 4.0

Md. Al-Amin, Ph.D. Student

University of Massachusetts Lowell, USA

Md. Tanjim Hossain, Ph.D. Student

North Carolina State University, USA

Md. Jahidul Islam, MS

Lamar University, USA

Sanjit Kumar Biwas, BS

University of Chittagong, Bangladesh

[Doi:10.19044/esj.2022.v19n6p31](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v19n6p31)

Submitted: 24 December 2022

Accepted: 03 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Al-Amin Md., Md. Hossain T., Md. Islam J. & Biwas S.K. (2023). *History, Features, Challenges, and Critical Success Factors of Enterprise Resource Planning (ERP) in The Era of Industry 4.0*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 31.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p31>

Abstract

ERP has been adopting newer features over the last several decades and shaping global businesses with the advent of newer technologies. This research article uses a state-of-the-art review method with the purpose to review and synthesize the latest information on the possible integration of potential Industry 4.0 technologies into the future development of ERP. Different software that contributed to the development of the existing ERP is found to be Material Requirement Planning (MRP), Manufacturing Resource Planning (MRPII), and Computer Integrated Manufacturing (CIM). Potential disruptive Industry 4.0 technologies that are featured to be integrated into future ERP are artificial intelligence, business intelligence, the internet of things, big data, blockchain technology, and omnichannel strategy. Notable Critical Success Factors of ERP have been reported to be top management support, project team, IT infrastructure, communication, skilled staff, training & education, and monitoring & evaluation. Moreover, cybersecurity has been found to be the most challenging issue to overcome in future versions of ERP.

This review article could help future ERP researchers and respective stakeholders contribute to integrating newer features in future versions of ERP.

Keywords: Enterprise Resource Planning, ERP, Industry 4.0, future ERP, cloud ERP, critical success factors, ERP security, blockchain

Introduction

Enterprise Resource Planning (ERP) is a vital information management tool for both big and small to medium-sized enterprise (SME) organizations in this age of business competition. ERP is a software package that integrates the entire system of a business and provides a smooth flow of information across the organization (Klaus et al., 2000). It is a configurable software architecture of a central database that integrates the real-time flow of information within and across all the functional areas of the enterprise (Rashid et al., 2002). It has been identified as an effective set of business tools in terms of product development, accounting, inventory, procurement, production, planning, human resource, material management, sales, and marketing. The current age is the age of the fourth industrial revolution, commonly known as Industry 4.0, which needs the integration of personalized and customized connectivity and collaboration of technology and information. The future aim of controlling and connecting the Manufacturing Execution System (MES) with an integrated information framework is thought to be possible through ERP. The advanced research paradigm of the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), intelligent algorithms, Engineering Data Analysis (EDA), Supply Chain Management (SCM), and Design Chain Management (DCM) are some of the high potential components of Industry 4.0 that can be integrated into the future ERP (Oztemel & Gursev, 2018). Due to the continued success of this software-based tool to expand a unified IT structure within the enterprise, SMEs have been investing more and more to implement it for superior business performance. Moreover, the smart manufacturing paradigm for Industry 4.0 sets the necessity of uninterrupted connectivity of information and machines across enterprises (Al-Amin et al., 2021). However, apart from many advantages, there are some key challenges that SMEs face as significant obstacles, such as higher cost, data security, long implementation process, and resistance to handling ERP-related modifications (Ghobakhloo & Tang, 2018). Nevertheless, ERP still has many tangible and intangible perspectives to offer the contemporary and future business complex by evaluating and identifying more options to compete with the challenges of Industry 4.0. ERP research is a continuous process, which adds newer features and upgrades over time with the evolution of newer technologies as it is observed from its development history. Latest updates on pertaining

technologies and upcoming trends are always the subject of ERP research. Very few research papers have discussed the perspectives of ERP in the age of Industry 4.0 so far. Therefore, this article purposes on looking for the integrability of the latest technologies, success factors, and security issues in ERP about Industry 4.0.

To depict the overall understanding of the gradual development of ERP including future perspectives, this research article contributes to several sections, such as methods, history, future trends, functional benefits, critical success factors, cybersecurity, and future challenges. History includes different early development of software that contributed to shaping the current state of the ERP, such as MRP, MRPII, CIM, extended ERP, and cloud-based ERP. In cloud-based ERP, the latest editions of ERP architecture have been reviewed. In future trends, the latest emerging technologies that are commonly used in Industry 4.0 systems, have been reviewed. The article aims at helping the reader understand the future shape of the current version of ERP along with the latest disruptive technologies that can be integrated into the ERP in the future to bring a change to the future perspectives of enterprise information and management systems.

Methods

This research article applies the state-of-the-art review method. According to Guevara Patiño (2016), the state-of-the-art review method was introduced at the end of the nineteenth century in the United States, which allows a researcher to approach a bibliographic search of the terms to critically investigate the current development and syntheses of that certain investigative knowledge. It comprises certain basic technical aspects, such as search, description, cataloging, selection, organization, analysis, and interpretation. This research study investigates 105 research articles from various databases such as Scopus, Science Direct, Sage, Emerald Insight, IEEE, Elsevier, and Springer with the help of Google Scholar and the North Carolina State University Library database. The search terms include “ERP history”, “ERP AND future trends”, “future ERP”, “ERP and functions”, “future challenges of ERP”, “critical success factors of ERP”, and “benefits of ERP.” Later, those were narrowed down to the most relevant articles. The primary objectives of this research article were to investigate the following research questions:

- a) What is the historical background of the current version of ERP regarding software and technology development?
- b) What are the future trends of disruptive technologies that could lead to the upgradation of ERP?
- c) What are the critical success factors and security threat challenges in implementing future versions of ERP?

To investigate the aforesaid objectives, a smooth flow of information from historical perspectives on the gradual development of ERP from its earlier stage to the current versions has been synthesized from the literature review in the first section to present a clear view of the functions and evolutions of ERP systems. In the second section, the possibility to integrate potential latest technologies into the current and future versions of ERP has been reviewed to give an idea in advance of how the future ERP would look like. Moreover, different related latest technologies such as blockchain, big data, artificial intelligence, business intelligence, and cybersecurity have been reviewed based on ERP compatibility and future applications in enterprise information management systems. Additionally, in the final section, critical success factors, benefits, and future challenges of ERP have been critically investigated and evaluated. Figure 1 describes the research design used in this research.

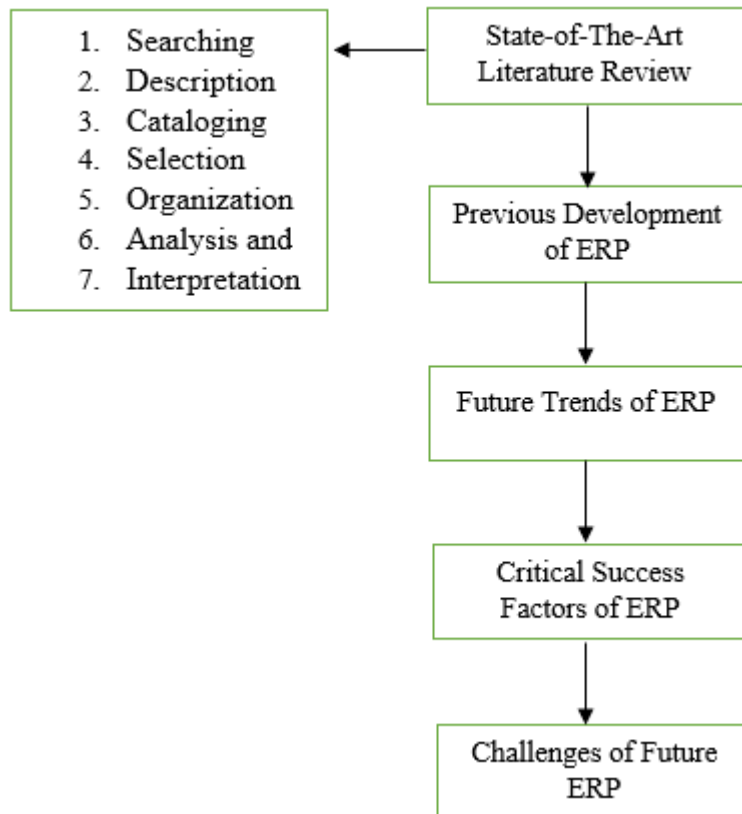


Figure 1. Research design

Total of 46 research articles was investigated about the future trends of technologies that could be integrated into ERP to sustain the pace of the

Industry 4.0 revolution. The frequently discussed technologies in the previous literature have been listed in table 1.

Table 1. Future trends of technologies in ERP

References	Future Trends of ERP
AlBar and Hoque (2017), Muslmani et al. (2018), Small (2016), Abdulraheem et al. (2020), Gottipati (2020), Jadeja and Modi (2012), Majstorovic et al. (2020), Marinho et al. (2021), Katuu (2020)	Progress of Cloud-based ERP
Omar and Gómez (2016), Omar et al. (2016), Zhu and Lin (2017), Muhammad et al. (2020), Cailean and Sharifi, (2014)	Mobile ERP
Rojek and Jagodziński (2012), Rouhani and Ravasan (2013), Farhat and Owayjan (2017), Owayjan (2017), Goundar et al. (2021), Majstorovic et al. (2020), ElMadany et al. (2022), Katuu (2020)	Artificial Intelligence (AI) incorporated ERP
Zhu and Lin (2017), Rouhani and Mehri (2016), Koupaei et al. (2016), Aldossari and Mokhtar (2020), ElMadany et al. (2022)	Business Intelligence (BI) incorporated ERP
Ande et al. (2020), Khan et al (2020), Majeed and Rupasinghe (2017), Tavana et al. (2020), Sethia and Saxena (2021), Majstorovic et al. (2020)	Internet of Things (IoT)
Parikh (2018), Zheng et al. (2018), Banerjee (2018), Hader et al. (2021), Majstorovic et al. (2020)	Blockchain Technology incorporated ERP
Baig et al. (2019), Liu and Chen (2020), Elragal (2014), Shi and Wang (2018), Jin et al. (2015), Labrinidis and Jagadish (2012), Majstorovic et al. (2020), Bandara and Jayawickrama (2021), Akter and Carillo (2018)	Bigdata
Kim and Chun (2018), Mena et al. (2016), Lee (2018), Majstorovic et al. (2020), Saghiri and Mirzabeiki (2021), Katuu (2020)	Omnichannel Strategy in ERP
Majstorovic et al. (2020), Katuu (2020), Syreishchikova et al. (2020), Wölfel and Smets (2012)	Automation

History of ERP

ERP is not merely an isolated development of software packages. It has come to the modern stage of business tools through some other initial software developments that happened to use in the industry between 1950 and 1980. The current state of ERP is the chronologically developed and integrated version of material requirement planning (MRP) (1950), MRP II (1970), and computer-integrated manufacturing (CIM) (1980) (Klaus et al., 2000) software (figure 2). Rashid et al. (2002) reported that between the late 1980s and the early 1990s, the ERP came into the market based on the foundation of MRP, MRPII, and CIM with the power of inter-functional integration and coordination of the business processes that include manufacturing, distribution, accounting, financial, project management, inventory, human resource management, service and maintenance, transportation. Today's ERP is the result of the gradual improvement of earlier versions adding newer add-

ons and extensions, such as advanced planning and scheduling (APS), e-business solutions, customer relationship management (CRM), and supply chain management (SCM).

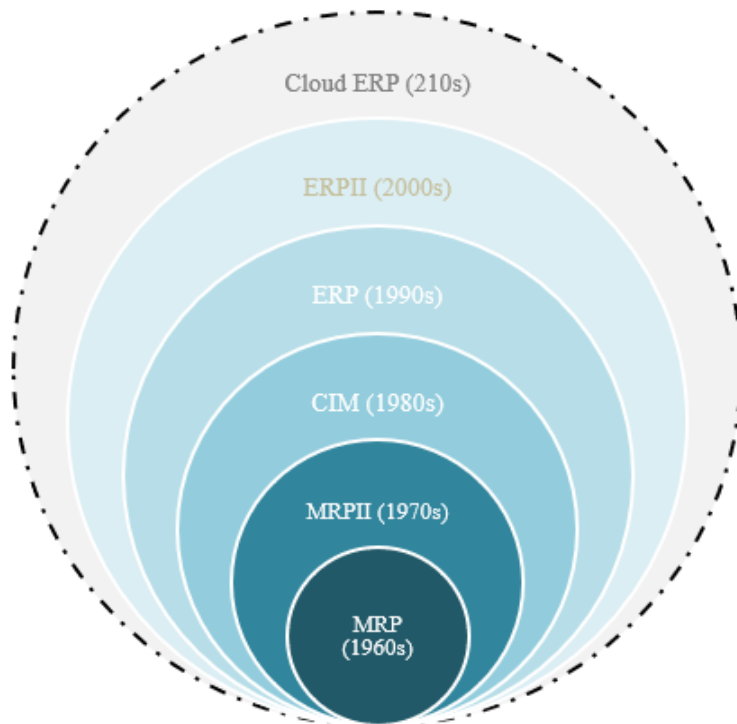


Figure 2. Chronological development of ERP

Material Requirement Planning (MRP)

The emergence of the MRP concept started before the 1950s as soon as the application of computers came into businesses, which introduced bookkeeping and inventory management. Later, in the early 1960s, this use was further developed, adding the bill of material (BOM) and inventory control system (ICM) with it (Patel, 2018). Thus, MRP is considered to be the first predecessor of ERP that evolved after 1950 and got familiar in late 1960 when IBM and JI case jointly introduced this software for planning and scheduling materials for manufacturing products (Jacobs & Weston, 2007). These material management software applications help the enterprise plan for the purchase and production of the components to manufacture items in the master production schedule. It can tell the required amount of materials before the production goes into operation which has greatly controlled inventory levels and improved productivity (Wee & Shum, 1999). Initially, it was designed to support the complex production planning systems in the manufacturing environment. Other than production planning and inventory, it was also able to improve customer service, production scheduling, and

reduction of manufacturing costs (Noori et al., 2008). MRP supports the production schedule to provide the requirements of raw materials in the right amount and at the right time that helps the production slots adjust and respond to the adverse effects come along with various sudden production ambiguities, such as unanticipated needs, machine breakdowns, latest goods initiation, scarcity of raw materials, and unnecessary rejections (Olaore & Olayanju, 2013). Being an earlier version, MRP had some flaws and functional limitations. It disregards the uncertainties to demand and supply quantities. MRP was not practical for job shops or any continuous processes that were closely connected. It could not function until three major inputs, such as production schedule, product structure, and inventory status, were applied (figure 3) (Dinesh et al., 2014). A big technical support team was needed to take care of the mainframe computer, which was difficult to operate, time-consuming, and costly to implement resulting in the failure to achieve the organizational goals (Katuu, 2020).

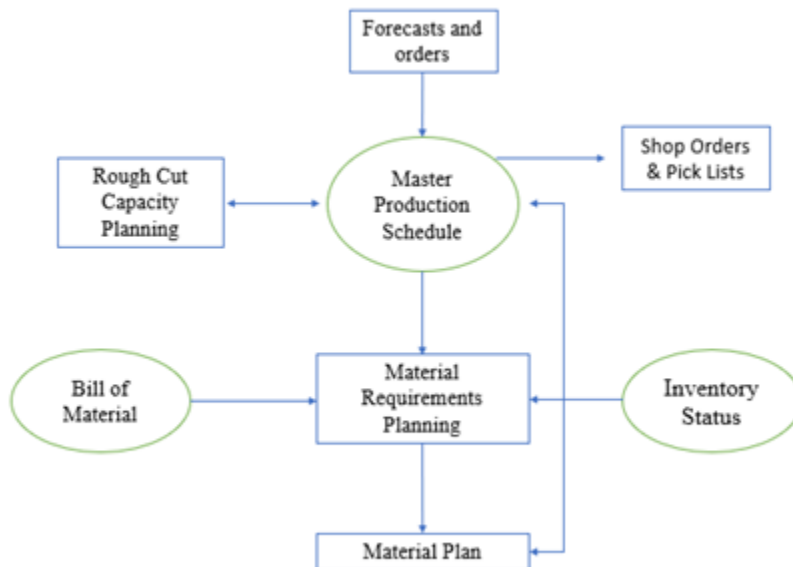


Figure 3. MRP process (adapted from Dinesh et al., 2014)

Manufacturing Resource Planning (MRP II)

In the 1970s, MRP II came into the market and gained gradual upgradation with some additional functions that were absent in the MRP system. MRP II was based on a few assumptions that included the essential planning parameters, such as available capacities, lead times, and processing times that were made more predictable more accurately. Most importantly, MRP II could provide a reasonable master production schedule (Kurbel,

2012). It was designed with the capability of converting the operations of the production plan into financial terms, which made it conducive to financial planning and control. The most exciting part was its partial simulation capabilities that used to help the management develop the marketing and business plans more efficiently (Olaore & Olayanju, 2013). Material management and capacity management are other added functions that helped manufacturing enterprises control cash flow, arrange materials, manage inventory, and allocate human resources (figure 4). The implementation of MRP II was to reduce inventory, enhance customer service levels, and increase productivity (Li et al., 2001). The enterprise management also sought closed-loop scheduling, floor reporting, and cost reporting capabilities in the transition of MRP to MRP II (Jacobs & Weston, 2007). Mbaya (2000) discussed some notable limitations that MRP II needed to get resolved for a more efficient and wide range of functions. The expensive implementation process and training was the first obstacle to this system. It often could not control functioning with its dynamic system nature. In the case of the shop floor, it possessed complicated and centralized functions that needed synchronizing material flow and order release, which made disturbances to the central computer system for hours (Mbaya, 2000). Having an option for planning, and rescheduling was an organizational demand that MRP II did not offer (Katu, 2020).

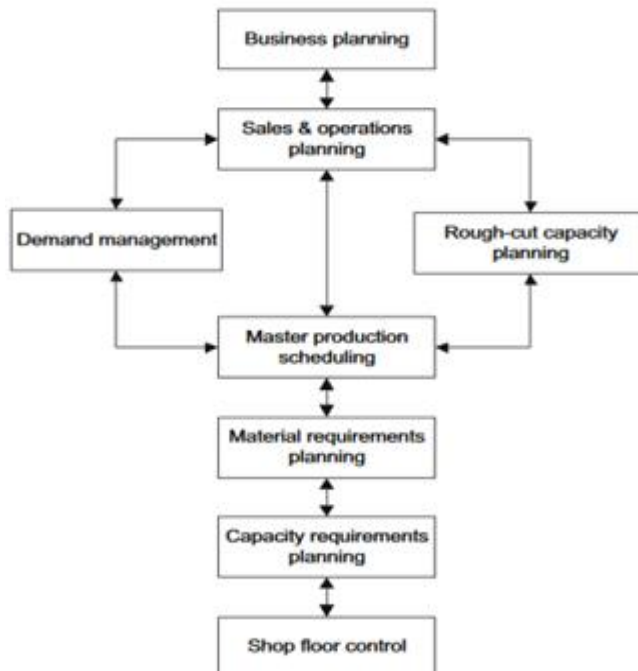


Figure 4. MRPII Process (Kurbel, 2012)

Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Although CIM was different from MRP and MRP II, CIM emerged into the market in the late 1980s intending to offer a computer-integrated manufacturing system, where MRP and MRP II were combined to deliver precise control over manufacturing data. In 1981, Joe Orlicky upgraded the MRP II adding a few more functionalities in Oliver Wight's manufacturing plant, such as demand and time phasing into planning, accounting solutions, and inventory control to calculate material requirements and schedules (Klaus et al., 2000). CIM involved the usage of computer networks across the interconnected production system by integrating advanced technologies in different functional areas effectively to achieve the goal of the enterprise (Nagalingam & Lin, 1999). Being an improved version of the computerized control system, CIM aimed at establishing an interconnection between individual management centers and various control functions. It helped to establish a just-in-time concept in scheduling and material ordering (Beasley et al., 1989). As a progressive development of both production and planning, capacity requirement planning (CRP) was the latest addition to the CIM system, which expedited the CIM toward a manufacturing process optimization approach (Stancu & Drăguț 2018). As part of the manufacturing process optimization approach, CIM could not provide the expected support on different aspects, such as information system development and enterprise model. Nevertheless, the basis of the CIM system provided a background for the integration of the information system, which eventually shaped the base of the currently available ERP system (Patel, 2018).

Enterprise Resource Planning (ERP)

The development of ERP is based on the abundance and complexity of information and workflow in the industry to support business processes and management (Wortmann, 1998). This complexity of industrial business and management has compelled enterprises to adopt the basis of the earlier developments of MRP, MRP II, and CIM given integrating the entire flow of real-time data into a central database. In the 1990s, this integrated software system emerged as ERP (Rashid et al., 2002). The evolution of the internet and interconnectivity in the 1990s expedited the vendor companies to make and supply various software tools for business management, whereas this adoption process of ERP got accelerated for the same reasons (Wortmann, 1998). In the beginning, ERP used to function in production planning, order planning, distribution, finance, accounting, ledger, human resource, project management, and shop floor control. Gradually the breadth of functions started to extend depending on the increase of functionalities of industrial organizations, which brought the new version of ERP known as extended ERP (Shafi et al., 2019). However, the implementation of ERP was a crucial factor

that required a substantial amount of time and a skilled workforce for the maintenance that required a huge amount of money to train the staff (Katu, 2020).

Extended Enterprise Resource Planning (ERP II)

Due to the integration of complex work processes, the industry includes numerous functional departments, textile industry for example has human resource, procurement, sourcing, inventory, warehouse, product development, planning, industrial engineering, production, maintenance, sales, and marketing, logistics, compliance, accounts and finance, and payroll. Moreover, the production department has different parts, such as spinning, knitting, weaving, dyeing, printing, finishing, embroidery, sewing, research and development (R&D), and laboratory. The rush on the delivery and shipping from the brands and retailers within the shortest period has made this process more complicated. Thus, this industry started adopting IT systems with a view to diffusing the smooth flow of real-time information across the enterprise. ERP has made it possible across the business unit to share and view the real-time data required for mutual accomplishments. The latest version of ERP (ERP II) can function in all the aforesaid departments of the industry along with knowledge management, workflow management, customer relationship management, portal capability, and integrated financials (Shafi et al., 2019). The scope of ERP usage surpasses the traditional boundary of functions and applicability nowadays. After encompassing the functionalities in its own enterprise, it is going forward to cooperate with other enterprises. In that case, ERP is being connected with some other software, such as Supply Chain Management (SCM) and Customer Relationship Management (CRM), which evolved in the 2000s under the name of ERP II or extended ERP (Stancu & Drăguț 2018). In 2000, the initiation of the web browser led to “Web-Based Computing”. This computing system showed the way to implement web-based software such as Customer Relationship Management (CRM) into manufacturing software applications. Later, in 2002 ERP II was introduced to provide access to the internet for remote communication between organizations (Cailean & Sharifi, 2014).

Cloud-based ERP

The frequent evolution of new information technologies and their implementation in the management system is encouraging the industry to update the modern versions of ERP with the latest features including extended functionalities (Hernes et al., 2020). The advent of high-speed data transmission including both wired and wireless (5G) internet has paved the way for more opportunities for industrial communication and cyber-physical system. The interconnectivity of the organization has increased tremendously,

which has compelled the organization to think of extending business collaboration with other organizations through a network-based business system (Wang & Gao, 2020). However, the traditional ERP was so expensive that it was not affordable for most of the SME industry (Cailean & Sharifi, 2014). As part of the continuous development of ERP, the vendors and developers tended to the cloud-based ERP system, which has made it cheaper and affordable (Gottipati, 2020). Cloud-based ERP is based on cloud computing and hosted by the vendor, which evolved in the market in the early 2010s. All the data, memory, processing, maintenance, and security system remain in the cloud server of the host. The components of the whole ERP infrastructure, such as hardware, software, and network connection are provided as a service to the client enterprise (Abdulraheem et al., 2020). The main goal of cloud-based ERP is to make sure the better use of available resources, bring those together to achieve higher output and make space for large-scale data processing within minimum time and cost (Jadeja & Modi, 2012).

Future Trends of ERP and Potential Disruptive Technologies

According to table 1, the top technologies have been reviewed and discussed in detail as follows. How these technologies can contribute to the future shape of ERP to compete with the relatively advanced manufacturing landscape of Industry 4.0 has been the key discussion in this section. All the technologies except “automation” have been included in the further review.

Switching to Cloud ERP

The last couple of decades have experienced tremendous progress in cloud computing. Cloud computing is still a potential and evolving paradigm for the development of ERP as data are no longer stored on-premises with more customized design and flexible access to the server regardless of time and location (Mezghani, 2019). Additionally, cloud ERP offers some distinct benefits over traditional ERP, such as low cost (15% less), fast execution (50%-70%), and agility. A substantial number of organizations have already adopted this technology and numerous are supposed to be adopting it in the current decade. Cloud ERP got 11%-27% increase in global market share in 2016-2017 (AlBar & Hoque, 2017). The IT budget of the organization for the cloud ERP increased 15%-25% in 2016-2017. It is anticipated that more than 70% of organizations will place their IT infrastructure into cloud systems in the current decade (Demi & Haddara, 2018). Muslmani et al. (2018) stated several factors why companies will be tending to cloud-based ERP. Firstly, most of the large companies want to go for Initial Public Offering (IPO) market where cloud ERP is a prerequisite. Secondly, cloud software's reputation and its convenient fit into the market. Thirdly, the cloud-based

market will be advancing SMEs significantly in the future. Fourthly, adopting new technology is the critical success factor of any company. Fifthly, Cloud-based ERP offers simplified software management and improved performance levels with minimized cost and maintenance hassle. Finally, Cloud is readily available and considered to be the best platform for integrating future IT-based innovation into the future of ERP. Small (2016) reported that data security, cost-effectiveness, reliability, top management support, and competitive pressure have a partial impact on the future adoption of cloud-based ERP for SMEs, whereas manufacturing companies have more intention of adopting cloud-based ERP than service-providing companies.

Mobile ERP

The rapid emergence and development of portable devices and wireless internet has brought the idea of adopting ERP service through smartphone and tablet computers (both iOS and Android) having an active internet connection. Although the idea evolved back in the early 2000s, yet the idea is very new and promising for the future as the use of mobile devices has become an inevitable part of the 21st century (Omar et al., 2016). Figure 5 shows a systematic illustration of mobile ERP. The idea of Mobile ERP in the research article first appeared in 1998, got a detailed outline in 2002, and accelerated in the decade of 2010s. Cloud-based ERP is considered the precursor of mobile ERP as the central database is based on cloud computing (Cailean & Sharifi, 2014). Zhu and Lin (2017) reported several specific advantages of mobile ERP, such as access to data anytime anywhere, real-time information, more customizing option, and quick update. However, as this technological upgradation is still new and in current research, Omar and Gómez (2016) suggested two issues to resolve for future implementation, such as User Interfaces (UIs) and usability because the complex, inflexible and overstuffed design hinders the users operate the device effectively. Recently, Muhammad et al. (2020) developed and proposed an Android-based mobile ERP for a blood management system for hospitals and blood donors in Pakistan to help patients find blood during a medical emergency. The proposed model includes a database of the blood donors, finding nearby blood donors of a specific group, real-time tracking of the donor, text notifications to the donor, and response from the donor.

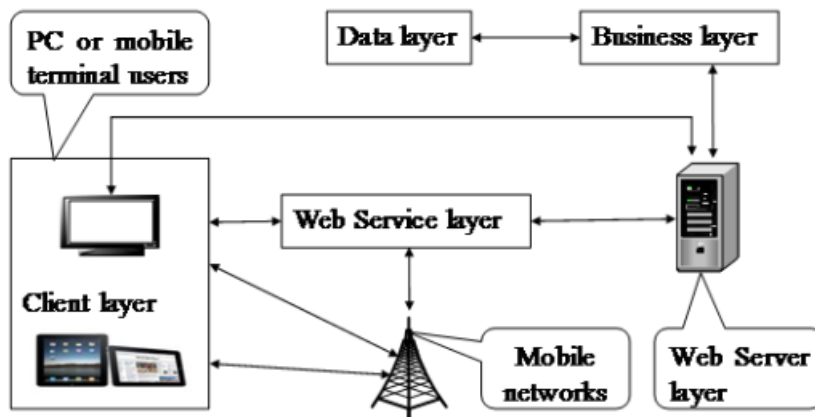


Figure 5. Mobile ERP with business intelligence architecture (Zhu and Lin, 2017)

Artificial Intelligence (AI)

AI is one of the most interesting research topics in the design of modern manufacturing industries based on machine learning. An intelligent system includes the capability to develop new knowledge, self-adaptation, acceptance of faulty or incomplete data, and the ability to create new decisions. This system can monitor coefficients to identify potential threats, forecast, and develop possible action plans. (Rojek & Jagodziński, 2012). Artificial Neural Network (ANN) has been identified as a potential part of AI that can simulate the processing patterns of the human brain using the computation of learning algorithms that can adjust the network behavior. A trained ANN can effectively process the raw data. The future Neural Network (NN) will be multi-layer perceptions including error backpropagation algorithm and radial basis functions that have biological information processing characteristics, such as nonlinearity, learning, ability to process vague and fuzzy information, and ability to simplify those (Rouhani & Ravasan, 2013). It has already been a proven and incorporable tool into ERP for predicting inventory control requirements, cost estimation, loss minimization, and making decisions about marketing segments (Farhat & Owayjan, 2017). Rouhani and Ravasan (2013) proposed an ANN-based ERP structure that can demonstrate the idea of forecasting the ERP attainment level based on the organizational profiles and factors ahead of system implementation and it does not take time frame into account for benefits by interpreting the system profits. The authors recommended that this proposed model will be beneficial for IT managers, CIOs, project managers, and consultants to convince the top management of the benefits of ERP implementation in their organization. Farhat and Owayjan (2017) pointed out several constraints of NN to incorporate it into ERP, such as the inputs of any

event must be verified by economists and the events should be unique for the organization.

Business Intelligence (BI)

Business intelligence (BI) is a crucial part of business analytics and optimal decision-making in an organizational atmosphere. It is a computerized analytical tool to process data into information and knowledge that helps the organization make business decision (Zhu & Lin, (2017). The integration of BI into ERP may bring some distinct benefits for the organization, such as decisional empowerment, improved interactions with customers, increased flexibility in information generation, increased IT infrastructure capabilities, integrated information across the organization, and improved flow of information across the department (Rouhani & Mehri, 2016). Since most organizations are yet to experience BI in their production planning, hence, BI integrated ERP can provide advanced business data analytics including data mining, text mining, predictive analytics, statistical analysis, and macro analysis. It can be very effective in supporting a vast range of business decisions that range from operational to strategic including both internal and external operational and business data (Koupaei et al., 2016). Aldossari and Mokhtar (2020) suggested several factors important for the adoption of BI into ERP, such as technological factors (system quality, service quality, and information quality), organizational factors (change management, effective communication, and training), and environmental factors (clear vision and planning, competitive pressure and policy, and government role). Nevertheless, it has some limitations to work as it is unable to respond to the rapid changes in the market and cannot prevent unexpected events (Zhu & Lin, 2017).

Internet of Things (IoT) and IIoT

The Internet of Things (IoT) is a network of physical devices embedded with sensors or software that are connected through the internet by a wired or wireless connection to monitor the area around itself, to support and automate a response to the changes in the device ecosystem (Ande et al., 2020). The adoption of promising technological trends and deployments of the Internet of Things (IoT) in the industrial ecosystem is leading to the development of Industrial IoT (IIoT). According to Khan et al (2020) “Industrial IoT (IIoT) is the network of intelligent and highly connected industrial components that are deployed to achieve high production rate with reduced operational costs through real-time monitoring, efficient management and controlling of industrial processes, assets and operational time.” The Internet of Things (IoT) and huge data inflows are reviving up the ERP landscape, introducing new prospects for operational superiority and

workflow automation. For example, Radio Frequency Identification (RFID) tag has potential use in inventory control, such as Walmart has reduced 70% of its inventory using RFID tags. Thus, RFID can be vital incorporation with future ERP for tracking real-time goods in the industry (Majeed & Rupasinghe, 2017). Tavana et al. (2020) stated that due to the connectivity and capability of IoT protocols to collect millions of data from different sources, it can be connected with cloud systems, which can incorporate data with ERP. However, the authors mentioned several challenges of IoT-ERP, such as heterogeneity of devices, functionality, big data, and security concerns.

Blockchain Technology

Blockchain is defined as the backend database that has a distributed, decentralized, immutable, and irreversible ledger. It can approve the exchange without the help of someone at the center (Parikh, 2018). The blockchain is a series of subsequent blocks such as the parent block, uncle block, and genesis block. The chain possesses a comprehensive list of transaction data, such as a conventional public ledger. Each block points to the previous block through a reference that is a hash value of the previous block known as the parent block (Zheng et al., 2018). Banerjee (2018) suggested that in manufacturing enterprises different innovative technologies, such as 3D printing, CAD/CAM, and quality monitoring systems can be integrated into ERP with blockchain technology. Moreover, blockchain can be a medium of engineering ERP design and procurement extension. For example, French automaker Renault applied Blockchain-based Microsoft Azure ERP to control car ownership and maintenance details, track its products, and simplify the new designs. The author also pointed out that blockchain could preserve product information during the entire procurement lifecycle that provides customers access to track-and-trace capabilities, greater visibility, better control, lower risk, and improved regulatory compliance. Integration of blockchain in ERP can help enterprises get the current information from the systems and manage the shareability of such information (Parikh, 2018). Apart from many advantages, it has a few challenges in future implementation. Zheng et al. (2018) stated that scalability is a big concern. Now in the Bitcoin network, the transaction is limited to 7/second which would lead to a large blockchain. Furthermore, privacy leakage, hiding mined blocks, and excessive energy consumption are needed to address and fix in future implementation.

Big Data

Big data means a huge amount of data generated from technological perspectives. The advent and development of high-speed internet, social media, computing systems, and Information Technology (IT) have led to the generation of a myriad amount of data every day (more than 2.5 quintillion

bytes) that are commonly referred to as big data (Baig et al., 2019). Big Data technology is a complex system including data collection, processing, distributed storage, parallel computing, and visualization that are widely used in enterprise management activities (Liu & Chen, 2020). The incorporation of big data into ERP must enable organizations to have a better “best practice” that will bring a faster and higher quality implementation (Elragal, 2014). Liu and Chen (2020) developed a big data simulation for ERP that could help virtual teaching practice for university ERP teaching. It will also help collect and analyze students’ data that will expedite reasonable adjustments in teaching plans. In 2014, one of the renowned ERP vendors, SAP started collaborating with Databaricks for developing a data-analytical ERP. In 2017, they brought the first big data-based ERP called “Vora” in which ERP could produce business transactional data and big data systems could generate data from different social media platforms, the Internet of Things (IoT), and cellphones. All those data were unified into an analytic system that represented a critical breakthrough in the new generation big data-ERP system (Shi & Wang, 2018). This Vora system showed new opportunities for research on integrating data-driven systems into future ERP. However, the major challenges of big data-ERP remain in data complexity due to complexity in data type, structure, inter-relationships, and computational complexity. Big data comes from multi-sources in huge volumes, which need more efficient computational systems to fit those into the future ERP (Jin et al., 2015). Additionally, heterogeneity, incompleteness, scale, and privacy are several added challenges the future big data-ERP will have to overcome (Labrinidis & Jagadish, 2012).

Omnichannel Strategy

Technological innovations have driven the abundance of possible channels through which enterprises communicate with consumers to improve their business. These adjustments have substantially influenced business models and consumer engagements. Omnichannel refers to the integration of multichannel and cross-channel concepts for a seamless customer experience where multichannel is more than one channel and cross-channel is referred to as the partial integration of several channels (Mirsch et al., 2016). The omnichannel covers most of the functions included in the retailer’s business activities, such as shipping, logistics, sales tools, promotional activities, and performance measurements. Therefore, customers can access services, place orders online and collect the product at the physical store like “click and collect” (Kim & Chun, 2018). Therefore, all the enterprises must make the product available in different channels irrespective of how, where, and when it is ordered (Banerjee, 2018). For a business model with the integration of different channels to give the customer access to information, ERP is the

convenient option as a significant positive correlation exists between the capability of showing channel information and the integration level of online-offline inventory in a single warehouse (Mena et al., 2016). Lee (2018) reported that the Radio Frequency Identification (RFID) tag has been applied for a smooth flow of information across different supply chain channels of fashion retailing, such as warehouse and inventory for a “see-now-buy-now” business approach. In this case, ERP works as the media to connect the customers with the information channels.

Critical Success Factors (CSFs) in ERP implementation

CSFs are those requirements that must be addressed to implement processes necessary for an organization to compete successfully (Ali & Miller, 2017). CSFs for ERP implementation vary from enterprise to enterprise as these are diversified according to the nature of business and management strategy (Delgir & Pourjabbar, 2018). Loon et al. (2017) identified five critical success factors that are important while implementing ERP in the enterprise, such as benchmark implementation progress on clear milestones and performance metrics, project champion, the competence of the project team, user acceptance, and ERP system capability.

Delgir and Pourjabbar (2018) carried out research on finding the CSFs of implementing ERP in an Iranian bank. They identified the four most important CSFs which are precise selection of ERP package, training, management support, and monitoring and evaluation. Ahmed et al. (2017) studied the CSFs of implementing ERP in small to medium enterprises in Pakistan. Some of the most critical success factors identified by them are management and organizational support, skilled staff, robust user engagement, common goals for all employees, training, good IT infrastructure, and user satisfaction. Chauasi et al. (2016) reviewed 22 literatures on CSF and identified 10 CSFs that are found critical for implementing ERP in any enterprise. Some of the most important from those are clear and concise strategy, top management support, skilled workforces, training, monitoring, and evaluation. Woo (2007) carried out a case study in a Chinese company on the critical success factors of implementing its ERP. The author identified several CSFs, such as top management, project team, project management, process change, education and training, and communication. Based on the previously published literature, the topmost seven CSFs for an ERP implementation are as follows:

Top management support

The big IT project immensely depends on sponsorship from the top management. Without their support, in most of cases, the project does not reach its goal (Chausi et al., 2016). Even weak support from top management

can result in failure of the implementation at the earlier stage. Over 60% of the workforces engaged with ERP implementation want support from their top management from the very initial stage to the final stage (Leandro et al., 2019). They should play a big role in communicating, diffusing direction, and vision among all the workforces to champion the project implementation (Woo, 2007).

Project team

Usually, a vigorous project team consists of competent staff with robust knowledge and past accomplishments who know the organizational detailed objectives and future issues regarding the project requirements. A project team also can communicate across the workforce to diffuse the information (Loon et al., 2017). The team should consist of people with certain qualities, such as knowledge, morals, reputation, flexibility, and motivation (Chausi et al., 2016).

IT Infrastructure

A good IT infrastructure helps facilitate the most suitable system to accommodate the ERP platform (Loon et al., 2017). For a long ERP implementation program, the IT infrastructure of the enterprise needs to be well affluent and organized as it has a substantial effect on the long-term vision and strategy of the enterprise (Leandro et al., 2019).

Communication

Communication between the ERP team and the rest of the workforce is a crucial factor for the success of implementation. Communication must include scopes, objectives, tasks, and formal promotions of ERP-related people (Chausi et al., 2016). The project's significance and management's outlooks need to correspond at every organizational level which should be managed according to the requirements, comments, reactions, and approval of the management (Reitsma & Hilletoth, 2018). Therefore, it is a powerful and structured tool by which an employee can understand what is happening across the enterprise in terms of the objectives and benefits of ERP implementation (Woo, 2007).

Skilled staff

ERP implementation is beyond technological challenges. Other than technology, the staff need to have a clear understanding of the project mission, vision, and soundness of cross-functional activities (Woo, 2007). The workforce should have adequate IT knowledge and skills to execute all the tasks at the individual level in the project (Gheni et al., 2017).

Training and Education

Operating an ERP is one of the most difficult tasks for the staff which takes a substantial time in ERP implementation. A lack of proper training can frustrate ERP users and can make a negative attitude toward the new system (Woo, 2007). Training is a tactical factor while implementing ERP which at some point needs to be redesigned for making it an effective fit for everyone (Chausi et al., 2016). Efficient and appropriate utilization of the system can only be ensured by offering necessary training for the employees. Early education reduces the demand for expert workforces and helps in the long run (Reitsma & Hilletoft, 2018).

Monitoring and evaluation

Performance metrics play a critical role in to succeed of any implementation project. ERP system performance can be monitored and evaluated by getting user feedback to make sure whether it is heading to realize the business objectives (Chausi et al., 2016). Performance measures are essential to maintain tracking of all events and to determine the attainments against the objectives and targets, while evaluation is vital as early signs of accomplishment help manage pessimism (Reitsma & Hilletoft, 2018).

Challenges of Future ERP and Cybersecurity

The future ERP will entirely be based on cloud computing. Apart from the many benefits of this future form of enterprise tool, it can also offer some challenges. Security risk to the users is a major challenge for the ERP system. Confidentiality of data is one of the key data security issues, which must be taken into account before implementing cloud ERP (Saa et al., 2017). ERP system is perilous due to the amount of data it contains and adopts the complete confidentiality of these data, which are often susceptible to a security breach (Hadidi, & Hadidi, 2020). IDC group conducted a survey in 2013 among 1,100 organizations to figure out the biggest obstacle to accepting cloud-based ERP solutions and around 50% of the organizations reported security issues as their primary concern (Saa, Moscoso-Zea, et al., 2017). Larger organizations often feel insecure to adopt cloud-based ERP systems as cloud providers have the access to their data. Any misconduct or criminal activities of the employees from cloud providers will impose significant risk on the confidentiality and integrity of data of the organization. For instance, the loss of confidentiality of data can occur by spying on communications and revelation by cloud providers to an unapproved third party for financial benefits (Gupta & Misra, 2016). In some cases, cloud providers host multiple clients' data in the same data center, which increases the risk of corporate espionage or information leakage (Puthal et al., 2015). Therefore, cloud providers must concentrate on their security infrastructure and conduct a proper background check at the time of hiring employees to maintain the

integrity of client data. Switching cloud providers from the existing provider is a complicated, time-consuming, and costly process for an organization. Therefore, organizations should negotiate properly at the beginning with cloud providers and check the comprehensive security framework of the provider to make sure that stringent security strategies will be taken to protect data integrity (Saa et al., 2017).

Human factors are a major source of security breaches besides technical failure due to the lack of proper training of employees in an organization. For instance, Sony Picture Entertainment faced a major security breach in 2014 which cost them around 35 million dollars to recover their IT system (Rîndașu, 2018). It happened when the directors of the company received an email from Apple asking for email verification. Afterward, hackers collected the password from their Apple accounts which allowed them to gain access to confidential information of the company including Sony service passwords. This incident demonstrates how important it is to train and promote cyber security among employees in the organization (Rîndașu, 2018). However, a large number of organizations are still unaware to create consciousness among their employees to handle confidential information properly, which makes the ERP application vulnerable. Thus, internal employees can misuse the data of an organization as managers have access to multiple business areas including their departments (Peng & Nunes, 2009). Management may consider allowing access to the employees based on their position in the company to minimize the risk. Administrators of a conventional ERP-adopted organization can have sensitive data on their laptops. Wrong handling of these devices or data can cause data leakage or data loss for the organization (Gupta & Misra, 2016). To implement the ERP system, companies must monitor their system, conduct audits regularly, and train their employees to ensure proper data security. Companies also need to understand the risk associated with data storage infrastructure, and cloud platforms to prevent security incidents to adapt to ERP systems.

Conclusion

The findings of the first research question show that today's ERP is the result of the gradual development of a few other earlier software, such as MRP, MRPII, CIM, and traditional ERP. However, the second research question identifies the need for the integration of many disruptive technologies such as AI, BI, IoT, blockchain technology, big data, and omnichannel strategy to remain updated for the uninterrupted flow of information not only for the interconnection but also for the intra-connection of the enterprises. ERP offers a significant role to play in sharing public data across organizations of the same business nature. AI has already been a proven and incorporable tool into ERP for predicting inventory control requirements, cost estimation, loss

minimization, and making decisions about marketing segments. The integration of BI into ERP can provide advanced business data analytics including data mining, text mining, predictive analytics, statistical analysis, and macro analysis. IoT can help the enterprise by providing real-time data for tracking goods, machine maintenance, unexpected hazard, inventory, and minimum human intervention. On the other hand, the future ERP is potential to be linked and upgraded with big data analyses. The incorporation of big data into ERP must enable organizations to have a better “best practice” that will bring a faster and higher quality implementation. Additionally, given that future business will be much more customer and social-media-centric, integration of omnichannel strategy into future ERP will enable the enterprises to relate to customers directly giving access them to real-time inventory and warehouse updates. Furthermore, the incorporation of blockchain with ERP can help enterprises get the current information from the systems and manage the shareability of such information. Finally, the third research question identifies several critical success factors that play important roles while implementing ERP, such as top management’s support, communication, IT infrastructure, skilled staff, training and education, and monitoring and evaluation. However, apart from many possibilities and benefits, there are still some challenges in future ERP. As the future ERP would be completely in cloud servers, there is always a threat of breaching security systems. Therefore, a strong cybersecurity system for the ERP architecture has been found to be the subject of future concerns for ERP researchers and respective stakeholders. This review article strongly recommends more research on each of the incorporation of new technology, their security protocol, and data privacy in future ERP to make sure business organizations are never at risk of data breaches for the best use of Industry 4.0 technologies.

References:

1. Abdulraheem, A. S., Abdulla, A. I., & Mohammed, S. M. (2020). Enterprise Resource Planning Systems and Challenges. *Technology Reports of Kansai University*. 62(4). 1885-1894.
2. Ahmed, N., Shaikh, A. A., & Sarim, M. (2017). Critical success factors plays a vital role in ERP implementation in developing countries: an exploratory study in Pakistan. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(10), 21-29.
3. Akter, S., & Carillo, K. (2018). ERP Adoption and Use in Production Research: An Archival Analysis and Future Research Directions. *Challenges and Opportunities in the Digital Era*, 539.
4. Al-Amin, M., Hossain, T., & Islam, J. (2021). The Technology Development and Management of Smart Manufacturing System: A

- Review On Theoretical and Technological Perspectives. *European Scientific Journal*, 17(43), 170-193. 10.19044/esj.2021.v17n43p170
5. AlBar, A. M., & Hoque, M. R. (2017). Factors affecting cloud ERP adoption in Saudi Arabia. *Information Development*, 026666691773567. 10.1177/0266666917735677
 6. Aldossari, S., & Mokhtar, U. A. (2020). A Model to Adopt Enterprise Resource Planning (ERP) and Business Intelligence (BI) among Saudi SMEs. *International Journal of Innovation*, 8(2), 305-347.
 7. Ali, M., & Miller, L. (2017). ERP system implementation in large enterprises—a systematic literature review. *Journal of Enterprise Information Management*.
 8. Ande, R., Adebisi, B., Hammoudeh, M., & Saleem, J. (2020). Internet of Things: Evolution and technologies from a security perspective. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101728.
 9. Baig, M. I., Shuib, L., & Yadegaridehkordi, E. (2019). *Big data adoption: State of the art and research challenges*. *Information Processing & Management*, 56(6), 102095. 10.1016/j.ipm.2019.102095
 10. Baig, M. I., Shuib, L., & Yadegaridehkordi, E. (2019). Big data adoption: State of the art and research challenges. *Information Processing & Management*, 56(6), 102095.
 11. Bandara, F., & Jayawickrama, U. (2021). Emerging Interactions of ERP Systems, Big Data and Automotive Industry. In *Advances in Software Engineering, Education, and e-Learning* (pp. 863-877). Springer, Cham.
 12. Banerjee, A. (2018). Blockchain technology: supply chain insights from ERP. In *Advances in computers* (Vol. 111, pp. 69-98). Elsevier.
 13. Beasley, T. B., Cearley, T. W., Chandler, D. A., Gondring, K. A., Guarino, R. A., Hutchins, W. G., ... & Smith, C. M. (1989). *U.S. Patent No. 4,827,423*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
 14. Cailean, D. A., & Sharifi, K. (2014). Mobile ERP: A literature review on the concept of Mobile ERP systems.
 15. Chausi, B. A., Chausi, A., & Dika, Z. (2016). Critical success factors in ERP implementation. *Academic Journal of Business, Administration, Law and Social Sciences*, 2(3).
 16. Delgir, M., & Pourjabbar, M. (2018). Critical Success Factors (CSF) for Enterprise Resource Planning (ERP) in Financial Institutes (Case Study: Bank Saderat Iran). *Int. J. Comput. & Info. Technol*, 6(2), 77-88.
 17. Demi, S., & Haddara, M. (2018). Do Cloud ERP Systems Retire? An ERP Lifecycle Perspective. *Procedia Computer Science*, 138, 587–594. 10.1016/j.procs.2018.10.079

18. Dillon, T., Wu, C., & Chang, E. (2010). Cloud Computing: Issues and Challenges. *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. 10.1109/aina.2010.187
19. Dinesh, E. D., Arun, A. P., & Pranav, R. (2014). Material requirement planning for automobile service plant. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, 3(3), 1171-1175.
20. Egwutuoha, I. P., Chen, S., Levy, D., & Calvo, R. (2013). Cost-effective cloud services for HPC in the cloud: The IaaS or the HaaS?. In *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA)* (p. 217). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
21. ElMadany, H., Alfonse, M., & Aref, M. (2022). Forecasting in Enterprise Resource Planning (ERP) Systems: A Survey. *Digital Transformation Technology*, 395-406.
22. Elragal, A. (2014). ERP and Big Data: The Inept Couple. *Procedia Technology*, 16, 242–249. 10.1016/j.protcy.2014.10.089
23. Farhat, J., & Owayjan, M. (2017). ERP neural network inventory control. *Procedia computer science*, 114, 288-295.
24. Gheni, A. Y., Jusoh, Y. Y., Jabar, M. A., & Ali, N. M. (2017). The critical success factors (CSFs) for IT projects. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 9(3-3), 13-17.
25. Ghobakhloo, M., Azar, A., & Tang, S. H. (2018). Business value of enterprise resource planning spending and scope. *Kybernetes*. 10.1108/k-01-2018-0025
26. Gottipati, P. (2020). Information security considerations for cloud-based Enterprise Resource Planning system and best practices for its retirement phase. 10.7939/r3-rhe2-8e43
27. Goundar, S., Nayyar, A., Maharaj, M., Ratnam, K., & Prasad, S. (2021). How artificial intelligence is transforming the ERP systems. *Enterprise Systems and Technological Convergence: Research and Practice*, 85.
28. Guevara Patiño, R. (2016). The State of the Art as a Research Technique: Knowledge Analysis or Quest for New Meanings?. *Folios*, (44), 165-179.
29. Gupta, S., & Misra, S. C. (2016). Compliance, network, security and the people related factors in cloud ERP implementation. *International Journal of Communication Systems*, 29(8), 1395-1419.

30. Hader, M., El Mhamedi, A., & Abouabdellah, A. (2021, January). Blockchain Integrated ERP for a Better Supply Chain Management. In *2021 The 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe)* (pp. 193-197).
31. Hadidi, M., & Hadidi, S. (2020). ERP Security Based on Web Services. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
32. Hernes, M., Rot, A., & Jelonek, D. (Eds.). (2020). *Towards Industry 4.0 — Current Challenges in Information Systems. Studies in Computational Intelligence*. doi:10.1007/978-3-030-40417-8
33. Jadeja, Y., & Modi, K. (2012). Cloud computing - concepts, architecture and challenges. *2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET)*. 10.1109/icceet.2012.6203873
34. Jin, X., Wah, B. W., Cheng, X., & Wang, Y. (2015). Significance and challenges of big data research. *Big Data Research*, 2(2), 59-64.
35. Katuu, S. (2020). Enterprise Resource Planning: Past, Present, and Future. *New Review of Information Networking*, 25(1), 37–46. 10.1080/13614576.2020.1742770
36. Kaur, H., & Singh, H. (2016) Data Analytics as a Service (Daaas): Cloud Based Analytical Model. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*. 2(8), 531-540.
37. Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 81, 106522.
38. Kim, J. C., & Chun, S. H. (2018). Cannibalization and competition effects on a manufacturer's retail channel strategies: Implications on an omni-channel business model. *Decision Support Systems*, 109, 5-14.
39. Klaus, H., Rosemann, M., & Gable, G. G. (2000). What is ERP? *Information systems frontiers*, 2(2), 141-162.
40. Koupaei, M. N., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2016). An Integrated Enterprise Resources Planning (ERP) Framework for Flexible Manufacturing Systems Using Business Intelligence (BI) Tools. *International Journal of Supply and Operations Management*, 3(1), 1112.
41. Kurbel, K. E. (2012). MRP II: Manufacturing Resource Planning. *Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management*, 61–93. 10.1007/978-3-642-31573-2_3
42. Labrinidis, A., & Jagadish, H. V. (2012). Challenges and opportunities with big data. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 5(12), 2032-2033.

43. Leandro, F. C. F., Méxas, M. P., da Silveira Batista, H. M. C., Dias, A. C., & Drumond, G. M. (2019). Identification of The Most Influential Critical Success Factors in The Application of ERP Systems In Brazilian Public Educational Institutions. *InterSciencePlace*, 14(3).
44. Lee, J. K. (2018). Utilization of RFID Technology for Omni-channel Fulfillment in the See-Now-Buy-Now Business Model of Fashion. *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers - UbiComp '18*. 10.1145/3267305.3267630
45. Li, L. X., Chaudhry, S. S., Chaudhry, P. E., & Wang, Y. (2001). Evaluation of a acquiring and implementing a manufacturing resource planning system. *Production and Inventory Management Journal*, 42(3/4), 1.
46. Liu, J. H., & Chen, M. J. (2020). ERP Virtual Simulation Practice Platform based on Big Data. *DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science*, (icesd).
47. Loon, L. T., Yee, K. M., Mahdzir, A., & Bakar, N. A. (2017). Critical Success Factors (CSF) of ERP Implementation: A Study with TRIZ Perception Mapping. *Malaysian Construction Research Journal (MCRJ)*, 1(1), 140-259.
48. Majeed, A. A., & Rupasinghe, T. D. (2017). Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(1), 25-40.
49. Majstorovic, V., Stojadinovic, S., Lalic, B., & Marjanovic, U. (2020, August). ERP in Industry 4.0 Context. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 287-294). Springer, Cham.
50. Marinho, M., Prakash, V., Garg, L., Savaglio, C., & Bawa, S. (2021). Effective Cloud Resource Utilisation in Cloud ERP Decision-Making Process for Industry 4.0 in the United States. *Electronics*, 10(8), 959.
51. Mbaya, M. M. N. (2000). *The constraints and limitations of manufacturing resource planning (MRP II) as a tool for shop floor control* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
52. Mena, C., Bourlakis, M., Hübner, A., Wollenburg, J., & Holzapfel, A. (2016). Retail logistics in the transition from multi-channel to omni-channel. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
53. Mezghani, K. (2019). From on-premise ERP to cloud ERP. In *Advanced methodologies and technologies in business operations and management* (pp. 816-826). IGI Global.

54. Mirsch, T., Lehrer, C., & Jung, R. (2016). Channel integration towards omnichannel management: a literature review.
55. Muhammad, G., Asif, H., Abbas, F., Memon, I., & Fazal, H. (2020). An ERP Based Blood Donation Management System for Hospital and Donor. *Sukkur IBA Journal of Emerging Technologies*, 3(1), 44-54.
56. Muslmani, B. K., Kazakzeh, S., Ayoubi, E., & Aljawarneh, S. (2018). Reducing integration complexity of cloud-based ERP systems. *Proceedings of the First International Conference on Data Science, E-Learning and Information Systems - DATA '18*. doi:10.1145/3279996.3280033
57. Nagalingam, S. V., & Lin, G. C. (1999). Latest developments in CIM. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(6), 423-430.
58. Noori, S., Feylizadeh, M. R., Bagherpour, M., Zorriassatine, F., & Parkin, R. M. (2008). Optimization of material requirement planning by fuzzy multi-objective linear programming. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(7), 887-900. 10.1243/09544054jem1014
59. Olaore, R. A., & Olayanju, M. (2013). Purchasing Functions and MRP in Foodservice Firms. *European Journal of Business and Management*, 5(13), 107-113.
60. Omar, K., & Gómez, J. M. (2016, November). A selection model of ERP system in mobile ERP design science research: Case study: mobile ERP usability. In *2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)* (pp. 1-8). IEEE.
61. Omar, K., Rapp, B., & Gómez, J. M. (2016). Heuristic evaluation checklist for mobile ERP user interfaces. In *2016 7th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)* (pp. 180-185). IEEE.
62. Oztemel, E., & Gursev, S. (2018). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 10.1007/s10845-018-1433-8
63. Parikh, T. (2018). The ERP of the future: blockchain of things. *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, 4(1), 1341-1348.
64. Patel, D. M. (2018). *CRM Integrates With ERP*. Red'shine Publication. Pvt. Ltd.
65. Peng, G. C., & Nunes, M. B. (2009). Surfacing ERP exploitation risks through a risk ontology. *Industrial Management & Data Systems*.
66. Puthal, D., Sahoo, B. P. S., Mishra, S., & Swain, S. (2015). Cloud computing features, issues, and challenges: a big picture. In *2015 International Conference on Computational Intelligence and Networks* (pp. 116-123). IEEE.

67. Ranjan, S., Jha, V. K., & Pal, P. (2016). *Literature review on ERP implementation challenges. International Journal of Business Information Systems*, 21(3), 388. 10.1504/ijbis.2016.074766
68. Rashid, M. A., Hossain, L., & Patrick, J. D. (2002). The evolution of ERP systems: A historical perspective. In *Enterprise Resource Planning: Solutions and Management* (pp. 35-50). IGI global.
69. Reitsma, E., & Hilletoft, P. (2018). Critical success factors for ERP system implementation: A user perspective. *European Business Review*.
70. Rîndașu, S.-M. (2018). Information security challenges-vulnerabilities brought by ERP applications and cloud platforms. *Audit Financiar*, 16(149), 131–139.
71. Robert Jacobs, F., & “Ted” Weston, F. C. (2007). Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of Operations Management*, 25(2), 357–363. 10.1016/j.jom.2006.11.005
72. Rojek, I., & Jagodziński, M. (2012, March). Hybrid artificial intelligence system in constraint based scheduling of integrated manufacturing ERP systems. In *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems* (pp. 229-240). Springer, Berlin, Heidelberg.
73. Rouhani, S., & Mehri, M. (2016). Does ERP have benefits on the business intelligence readiness? An empirical study. *International Journal of Information Systems and Change Management*, 8(2), 81. 10.1504/ijiscm.2016.079559 1789
74. Rouhani, S., & Ravasan, A. Z. (2013). ERP success prediction: An artificial neural network approach. *Scientia Iranica*, 20(3), 992-1001.
75. Saa, P., Cueva Costales, A., Moscoso-Zea, O., & Luján-Mora, S. (2017). Moving ERP systems to the cloud-data security issues.
76. Saa, P., Moscoso-Zea, O., Costales, A. C., & Luján-Mora, S. (2017). Data security issues in cloud-based Software-as-a-Service ERP. In *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1–7). IEEE.
77. Saghiri, S., & Mirzabeiki, V. (2021). Omni-channel integration: the matter of information and digital technology. *International Journal of Operations & Production Management*.
78. Sethia, V., & Saxena, K. (2021). Automated ERP System with Internet of Things. In *Innovative Data Communication Technologies and Application* (pp. 121-126). Springer, Singapore.
79. Shafi, K., Ahmad, U. S., Nawab, S., Bhatti, W. K., Shad, S. A., Hameed, Z., ... & Shoaib, F. (2019). Measuring performance through enterprise resource planning system implementation. *IEEE Access*, 7, 6691-6702.

80. Shi, Z., & Wang, G. (2018). Integration of big-data ERP and business analytics (BA). *The Journal of High Technology Management Research*. 10.1016/j.hitech.2018.09.004
81. Small, R. (2016). Factors affecting the adoption of enterprise resource planning (ERP) on cloud among small and medium enterprises (SMES) in Penang, Malaysia. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 88(3).
82. Stancu, A. M. R., & Drăguț, B. M. (2018). ERP systems-past, present and future. *Knowledge Horizons. Economics*, 10(4), 33-44.
83. Syreishchikova, N. V., Pimenov, D. Y., Mikolajczyk, T., & Moldovan, L. (2020). Automation of Production Activities of an Industrial Enterprise based on the ERP System. *Procedia manufacturing*, 46, 525-532.
84. Tavana, M., Hajipour, V., & Oveisi, S. (2020). IoT-based Enterprise Resource Planning: Challenges, Open Issues, Applications, Architecture, and Future Research Directions. *Internet of Things*, 100262. 10.1016/j.iot.2020.100262
85. Vadivelu, K., Balaji, N., Poongavanam, N., Tamilselvan, S., & Rajakumar, R. (2018). Cloud-ERP: Implementation strategies, benefits and challenges. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119(14), 1359-1364.
86. Wang, X., & Gao, L. (2020). 5G Communication Technology in Industry 4.0. In *When 5G Meets Industry 4.0* (pp. 75-96). Springer, Singapore.
87. Wee, H. M., & Shum, Y. S. (1999). Model development for deteriorating inventory in material requirement planning systems. *Computers & industrial engineering*, 36(1), 219-225.
88. Wijaya, S. F., Prabowo, H., Meyliana, & Kosala, R. (2017). Identification of key success factors and challenges for ERP systems — A systematic literature review. *2017 International Conference on Applied Computer and Communication Technologies (ComCom)*. 10.1109/comcom.2017.8167091
89. Wölfel, K., & Smets, J. P. (2012). Tailoring FOS-ERP packages: Automation as an opportunity for small businesses. In *Free and Open Source Enterprise Resource Planning: Systems and Strategies* (pp. 116-133). IGI Global.
90. Woo, H. S. (2007). Critical success factors for implementing ERP: the case of a Chinese electronics manufacturer. *Journal of manufacturing technology management*.
91. Wortmann, J. C. (1998). Evolution of ERP systems. In *Strategic Management of the manufacturing value chain* (pp. 11-23). Springer, Boston, MA.

92. Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.
93. Zhu, Z., & Lin, B. (2017, April). The research and implementation of ERP-based Mobile Business Intelligence system. In *2017 5th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology (ICMMCT 2017)*. Atlantis Press.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Etat des Lieux des Incertitudes Liées à l'Estimation de la Biomasse des Arbres (Revue Bibliographique)

Moundounga Mavouroulou Quentin, Doctorant

Institut de Recherche en Écologie Tropicale du Centre National de Recherches. Scientifiques et Technologiques, Libreville-Gabon, Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

Ngomanda Alfred, Maître de Recherche

Institut de Recherche en Écologie Tropicale du Centre National de Recherches. Scientifiques et Technologiques, Libreville, Gabon

Lepengue Nicaise Alexis, Professeur Titulaire

Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

[Doi:10.19044/esj.2022.v19n6p60](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v19n6p60)

Submitted: 11 October 2022

Accepted: 20 February 2022

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Moundounga Mavouroulou Q., Ngomanda A. & Lepengue N.A. (2022). *Etat des Lieux des Incertitudes Liées à l'Estimation de la Biomasse des Arbres (Revue Bibliographique)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 60.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p60>

Résumé

La quantification des stocks et flux de carbone forestier avec précision est absolument essentielle pour comprendre le rôle que jouent les forêts dans le cycle global du carbone et pour mettre en place des politiques efficaces d'atténuation du réchauffement climatique mondial induit par l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine anthropique. Cette étude vise à présenter l'état actuel des connaissances sur les incertitudes associées à la quantification du carbone forestier, en particulier dans les forêts tropicales. Plusieurs études montrent que les incertitudes sur les stocks et flux de carbone séquestrés dans les forêts tropicales sont extrêmement larges, estimés respectivement 188 et 272 milliards de tonnes de carbone et entre 0.17 et 1.16 milliards de tonnes de gaz carbonique. Ces énormes incertitudes sont sans doute liées aux méthodes

utilisées pour quantifier la biomasse des arbres vivants. Dans la quasi-totalité des études sur le carbone forestier, la biomasse des arbres n'est réellement jamais mesurée sur le terrain, mais plutôt estimés à l'aide des modèles mathématiques ou équations allométriques qui entraîne une incertitude d'environ 20% sur l'estimation de la biomasse. Notre étude montre aussi que la réduction de ces incertitudes pourrait dépendre de plusieurs facteurs tels que: (i) la méthode de collecte des données de la biomasse aérienne (ii) la mesure des attributs de taille (diamètre et hauteur) des arbres et traits d'espèces (densité du spécifique du bois, taille de la canopée) lors des inventaires forestiers, (iii) la forme mathématique et qualité d'ajustement des modèles allométriques (erreur propre du modèle) employés, et (iv) possiblement d'une inadéquation entre structure diamétrique des arbres dans les données de calibration des modèles et dans les données inventaires forestiers. Toutefois, l'absence d'études ayant mesuré la biomasse totale d'une forêt à une échelle spatiale fixée (exemple 1 ha) ne permet pas actuellement d'évaluer la contribution de chaque source d'erreurs sur l'incertitude totale de l'estimation finale de carbone.

Mots-clés: Biomasse, incertitude, équation allométrique, variable dendrométrique, Télédétection

State of Play of the Uncertainties Linked to the Estimation of the Biomass of Trees (Bibliographical Review)

Moundounga Mavouroulou Quentin, Doctorant

Institut de Recherche en Écologie Tropicale du Centre National de Recherches. Scientifiques et Technologiques, Libreville-Gabon, Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

Ngomanda Alfred, Maitre de Recherche

Institut de Recherche en Écologie Tropicale du Centre National de Recherches. Scientifiques et Technologiques, Libreville, Gabon

Lepengue Nicaise Alexis, Professeur Titulaire

Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes, Unité de Recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

Abstract

The quantification of forest carbon stocks and fluxes is absolutely essential to understand the role that forests play in the global carbon cycle and to put in place effective policies to mitigate global warming induced by the increase in greenhouse gases of anthropogenic origin. This study aims to present the current state of knowledge on the uncertainties associated with quantifying forest carbon, particularly in tropical forests. Several studies show that the uncertainties on the carbon stocks and fluxes sequestered in tropical forests are extremely large, estimated respectively at 188 and 272 billion tonnes of carbon and between 0.17 and 1.16 billion tonnes of carbon dioxide. These huge uncertainties are probably related to the methods used to quantify the biomass of living trees. In almost all studies on forest carbon, the biomass of trees is never really measured in the field, but rather estimated using mathematical models or allometric equations which leads to an uncertainty of about 20% on the estimated biomass. Our study also shows that the reduction of these uncertainties could depend on several factors such as (i) the aboveground biomass data collection method (ii) the measurement of tree size attributes (diameter and height) and tree traits. species (specific density of the wood, size of the canopy) during forest inventories, (iii) the mathematical form and quality of adjustment of the allometric models (specific error of the model) used, and (iv) possibly an inadequacy between tree diameter structure in model calibration data and in forest inventory data. However, the absence of studies that have measured the total biomass of a forest at a fixed spatial

scale (example 1 ha) does not currently allow an assessment of the contribution of each source of error to the total uncertainty of the final carbon estimate.

Keywords: Biomass, uncertainty, allometric equation, dendrometric variable, remote sensing

Introduction

L'incertitude d'une prédiction de biomasse aérienne (AGB) et du stock de carbone (C) est l'intervalle de valeurs dans laquelle se trouve la valeur exacte de la biomasse. La quantification de l'incertitude de l'AGB et du C des forêts tropicales est cruciale pour comprendre le cycle global du C et mettre en œuvre le Programme des Nations Unies sur la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (ONU-REDD). Les programmes tel que ONU-REDD proposent des incitations financières aux pays forestiers tropicaux afin de les encourager à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre en limitant la déforestation et dégradation forestière et/ou à renforcer la séquestration du carbone dans les forêts intactes et en reconstitution (marché d'échange des crédits carbone), transformant ainsi les forêts tropicales en puits au lieu d'être une source de carbone. Toutefois, pour bénéficier de ces incitations financières – près de deux milliards de dollars sont en effet actuellement engagés dans de tels programmes (Yanai et al. 2020) – les pays participant à ces programmes incitatifs doivent d'abord documenter aussi précisément et juste que possible les stocks et flux carbone forestier par rapport à un niveau de référence (Pelletier et al. 2013). Or, la quantification du carbone forestier comporte encore de larges erreurs, ce qui rend difficile l'évaluation des efforts d'atténuation du réchauffement climatique issu du secteur forestier. En effet, plusieurs études montrent que les forêts tropicales stockent entre 188 et 272 milliards de tonnes de CO₂ (Pan et al. 2011, Saatchi et al. 2011), et qu'elles séquestrent chaque année entre 0.17 et 1.16 (soit en moyenne 0.68) milliards de tonnes de CO₂ (Hubau et al. 2020). L'estimation incertaine de ces stocks et les flux de carbone, telle qu'elle est indiquée par ces valeurs a des implications considérables pour une cartographie précise de la distribution spatiale du stock de C tropical et pour l'évaluation des politiques publiques en matière de réduction des émissions de CO₂. Evaluer les marges d'erreur avec plus de précision est donc essentiel pour déterminer le poids réel des forêts dans le cycle global du carbone terrestre et leur capacité à être une solution solide et durable pour atténuer le réchauffement climatique mondial.

Pour quantifier les stocks et flux de carbone forestier, on utilise la biomasse aérienne des arbres vivants comme variable primaire d'observation et de suivi de la dynamique forestière. Or, l'AGB est rarement mesurée

directement sur le terrain ou par télédétection, mais est plutôt estimée à partir des mesures de la dimension des arbres qui sont faciles à collecter dans des parcelles lors d'inventaire forestier (Clark et al. 2012). Celles-ci sont ensuite converties en biomasse sèche puis en carbone à l'aide des modèles statistiques et formules standards. En additionnant la biomasse des arbres inventoriés dans chaque parcelle, et en multipliant la moyenne de celle-ci par la superficie de la forêt, on établit des estimations à différentes échelles spatiales et temporelles (locale, régionale et mondiale) des stocks ou des flux de carbone. Toutefois, la multiplicité des méthodes utilisées lors de chaque étape constitue des sources potentielles d'erreurs qui peuvent se propager d'une étape à une autre, et rendre ainsi très incertaines les estimations finales du carbone forestier (Réjou-Méchain et al. 2019).

L'objectif de cette étude est de présenter l'état actuel des connaissances sur les incertitudes liées à l'estimation de la biomasse et de proposer des pistes pour les éviter ou les minimiser. Après avoir décrit les méthodes de mesure de la biomasse et identifié les sources d'incertitudes inhérentes à chaque étape, nous allons discuter des problèmes associés à l'utilisation des relations allométriques pour transformer les données d'inventaires forestiers en stocks ou flux de carbone, et aborder l'impact que les erreurs potentiellement générées durant les différentes étapes ou par ces changements d'échelle (passage de la biomasse d'un arbre à celle d'une forêt) ont sur la cartographie finale des stocks et flux de carbone à partir des données de télédétection. Puis, afin de réduire les erreurs d'estimation de la biomasse, des pistes visant à prendre en compte ces différentes erreurs seront proposées.

Mesure de la biomasse au niveau de l'arbre et source d'erreur

Mesure par méthode destructive

Pour mesurer avec une grande précision la biomasse d'une forêt, la meilleure approche serait de (i) couper chaque arbre qui la compose, en l'abattant aussi près que possible du sol, (ii) éliminer par séchage la quantité d'eau qu'il contient et (iii) le peser entièrement pour en obtenir la masse sèche. En pratique, la mesure de la biomasse par cette méthode destructive se déroule d'une manière légèrement différente. En premier lieu, l'arbre est abattu en utilisant une tronçonneuse, puis chaque compartiment (souche, tronc, branches, feuilles, fleurs et fruits) est subdivisé en plusieurs lots qui sont ensuite pesés séparément. Puis, un sous-échantillon de chaque compartiment est aléatoirement prélevé et pesé avant d'être séché. La biomasse sèche totale des compartiments est donc obtenue en multipliant la biomasse fraîche totale par le ratio entre la biomasse sèche et humide du sous-échantillon de chaque compartiment. Comme la méthode destructive est laborieuse à mettre en œuvre sur le terrain, pour limiter les coûts d'échantillonnage, la biomasse de la partie ligneuse (ex. souche, tronc et branches) d'un arbre peut être obtenue

en multipliant la masse volumétrique (quantité de masse de matière sèche par unité de volume frais) par volume frais de chaque compartiment, deux paramètres qui peuvent être aisément mesurés après abattage (Goodman et al. 2014, Ploton et al. 2016, Fayolle et al. 2018)

Même si la méthode destructive semble être intuitivement la plus précise pour mesurer la biomasse, elle comporte tout de même quelques limites. De l'abattage à la mesure de la biomasse sèche totale, chaque étape est en effet susceptible de générer des pertes non négligeables. Par exemple, comme l'abattage est généralement réalisé à l'aide d'une tronçonneuse, une fraction de la biomasse aérienne est systématiquement perdue sous forme de sciures et d'éclats de bois ou bien laisser in-situ dans la souche (environ 10 cm au-dessus du sol). Ensuite, la chute de l'arbre à la fin de l'abattage entraîne souvent un éparpillement des branches cassées, feuilles, fleurs et fruits qui peuvent être aussi difficilement récupérables. Par ailleurs, la mesure de la biomasse fraîche et sèche de chaque compartiment fait intervenir de nombreux opérateurs (entre 10 et 20 techniciens pour mesurer la biomasse d'un arbre sur le terrain). Comme elle est, en zone tropicale, très souvent réalisée dans des conditions de travail extrêmement rude, voire hostile (parmi tant exemples, la transpiration des techniciens générée par un effort métabolique intense durant l'échantillonnage attire très souvent de nombreux insectes nuisibles tels que les mouches hématophages, les abeilles, les moucheron, etc.), celles-ci peuvent affecter la concentration des opérateurs et donc biaiser la pesée des arbres et/ou engendrer une prise des notes erronées sur le terrain. Enfin, déterminer le volume en mesurant uniquement le diamètre et la longueur de chaque compartiment ligneux peut engendrer une surévaluation de la biomasse. C'est notamment le cas des arbres ayant des contreforts racinaires ou déformations au niveau du tronc qui ne permettent pas de mesurer aussi précisément que possible le diamètre avec les instruments dendrométriques classiques. C'est aussi le cas des arbres ayant des creux ou pourritures à l'intérieur de leur tronc qui traduisent une perte importante de biomasse. Par exemple, Moundounga Mavouroulou et al. (2014) ont montré que l'utilisant de la biomasse déduit du volume du tronc de 101 arbre ont surestimé de 19 % la biomasse dans les forêts de la Zadié.

Au cours des dernières décennies, la biomasse de milliers d'arbres a été mesurée par ces méthodes destructives, soit en pesant entièrement l'arbre ou la combinant avec la mesure indirecte basée sur les caractéristiques géométriques de chaque individu (Fayolle et al. 2013, Chave et al. 2014, Fayolle et al. 2018). En ré-analysant les données de biomasse utilisée par Chave et al. 2014 (base de données comporte 4004 arbres collectée de manière destructive à l'échelle pantropicale qui sont actuellement en accès libre) pour élaborer le modèle allométrique pantropicale, Burt et al. 2019 ont montré que la distribution des 4 variables mesurées n'est pas uniformément répartie, la

majorité des échantillons étant essentiellement des arbres de petites tailles (diamètre < 70 cm). Même si Chave et al. 2014 estiment avoir sélectionnée de manière rigoureuse les arbres-échantillons intégrés dans la base des données, Burt et al. 2020 souligne tout de même, après avoir ré-analysé les protocoles de mesure de chaque arbre décrit dans les publications originales, des doutes raisonnables sur la qualité de mesure de certains arbres, notamment celles des échantillons collectés dans les années 1960 à 1980.

Mesure par méthode géométrique

La biomasse aérienne sèche d'un arbre peut également être quantifiée indirectement en mesurant entièrement sa structure tridimensionnelle (3D) qui peut être décrite au moyen des techniques de photogrammétrie (Bauwens et al. 2017) ou bien en utilisant un scanner laser (Calders et al. 2013). La photogrammétrie est une technique de mesure non destructive qui consiste à l'acquisition des photographies d'un arbre et à générer un nuage de point pour reconstruire la structure de l'arbre avec des sections transversales. Et à partir des courbes de conicité, la morphologie de la tige est reconstituée. Elle a récemment été utilisée pour estimer un diamètre équivalent à 1.30 de plusieurs arbres ayant des contreforts avec une erreur inférieure à 5% (Bauwens et al. 2017, Bauwens et al. 2021). Toutefois, ces techniques ne sont utilisées généralement que pour une partie de l'arbre (ligneux) et non pour les compartiments non ligneux tels que les feuilles, fleurs et fruit.

Le scanner Laser Terrestre (TLS), également appelé LiDAR terrestre (détection et télémétrie de lumière), est une technique de télédétection active qui consiste à numériser l'arbre à partir de différentes positions afin d'obtenir des nuages de points. À l'aide de différents modèles statistiques (exemple des modèles de structure quantitative, QCM), le nuage de point est segmenté pour reconstruire l'ensemble de l'architecture de branchement topologique de l'arbre, ensuite la surface et le volume de chaque segment est reconstruit en ajustant des cylindres à chacun des segments (Gonzalez de Tanago et al. 2018). Les modèles de cylindres résultants sont ensuite utilisés pour le calcul automatique du volume de toute la fraction ligneuse des arbres individuels (tronc et branches). L'utilisation de l'approche TLS a également montré des biais moyens relativement faibles -3,7% avec les données de 20 arbres (Gonzalez de Tanago et al. 2018) et <1% pour un ensemble de données de 391 arbres de 111 espèces avec un diamètre de tige allant de 8,5 à 180,3 (Miro et al. 2022). Sur un plan pratique, le traitement des images par TLS, particulièrement l'étape de segmentation feuille/bois, reste encore limitée. Par exemple, la séparation des feuilles du nuage de point est assez chronophage et nécessite entre 1 et 15 heures de travail par arbre selon la taille de l'arbre (Momo Takoudjou et al. 2018). L'identification des creux dans les arbres sur pieds est quasiment impossible, ce qui constitue une difficulté importante car

les trous et les creux sont souvent fréquents dans les grands arbres (Nogueira et al. 2006) lesquels stockent une importante quantité de biomasse. Au niveau de la parcelle, la difficulté majeure porte sur la segmentation individuelle des arbres et des cimes lorsqu'il y a des occlusions et des chevauchements ou encore des contacts entre les cimes des arbres voisins (Tao et al. 2015, Trochta et al. 2017). Sur un plan économique l'utilisation des TLS reste encore limitée dans plusieurs régions tropicales. En effet le TLS entraîne des coûts en termes d'équipement (terrain et laboratoire) et de temps (pour le déploiement et le traitement). Par exemple, une station Leica C10 coûte environ 18 000 € euro, alors que pour une station RIEGLE VZ 400i 3D le prix est encore plus élevé, autour de 100 000 € et 120 000 €.

Allométrie et problème associées à l'utilisation des modèles allométriques

A la place d'une mesure directe de la biomasse, la quasi-totalité des études sur le carbone forestier utilisent les modèles allométriques pour estimer la biomasse des arbres à partir de la mesure de leurs caractéristiques dendrométriques (diamètre, hauteur et masse volumétrique). L'allométrie, terme utilisé pour la première fois par Julian Huxley et Georges Teissier en 1936, désigne les relations qui existent entre deux ou plusieurs caractéristiques morphologiques ou métaboliques d'un individu. Sur cette base, plusieurs auteurs étudiant la croissance des plantes (King 1996, West et al. 1997, 1999) ont émis l'hypothèse qu'il existe chez les plantes une relation de proportionnalité ou d'échelle entre la biomasse et la taille d'un individu et que celle-ci prend la forme, $B = \alpha \times X^\beta$, où B représente la biomasse, X les attributs de tailles (diamètre et/ou hauteur); α et β correspondent respectivement aux coefficients de proportionnalité et d'allométrie. En utilisant les données empiriques examinant la croissance des plantes dans différents environnements et groupes taxonomiques (Shinozaki et al. 1964, Whittaker and Woodwell 1968, Niklas 1994), ils ont démontré que le coefficient d'allométrie varie autour de 2.667 pour toutes les plantes. Les relations allométriques entre la biomasse et les attributs de taille d'une plante traduisent la façon dont une plante alloue à ses différentes structures et fonctions les carbohydrates qu'elle produit lors de la photosynthèse en transformant le gaz carbonique atmosphérique en matières organiques. Donc, la croissance d'une plante peut être prédite en mesurant sans la détruire et de manière régulière, la taille de ses structures. En écologie forestière, l'allométrie se réfère à l'estimation de la biomasse d'un arbre à partir d'un modèle mathématique dit allométrique. Un modèle allométrique est une relation statistique qui permet de prédire la biomasse aérienne d'un arbre (AGB) à partir de ses paramètres dendrométriques que sont le diamètre (D), sa hauteur (H) et sa densité du bois (ρ) ((Brown 1997).

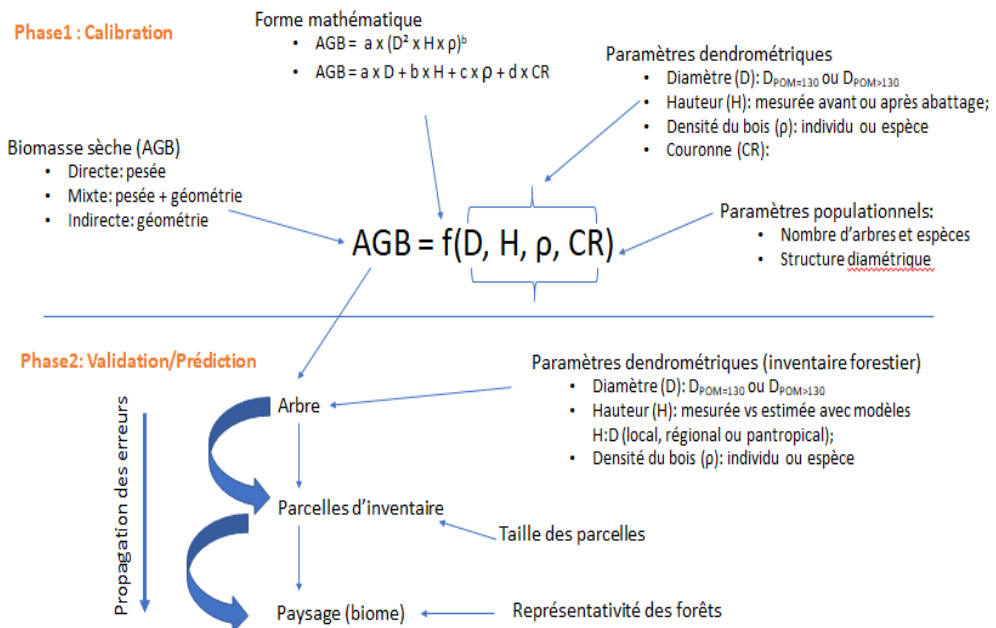


Figure 1. Différentes phases du processus d'estimation de la biomasse d'une forêt et des sources d'incertitudes associées

Ces modèles sont établis empiriquement en ajustant la biomasse sèche d'une centaine d'arbres mesurés par méthode destructive simultanément avec leurs paramètres dendrométriques (D, H, ρ). Une fois qu'un modèle allométrique a été construit à partir de certaines données d'étalonnage sous-jacentes dans l'échantillon, une prédiction de l'AGB de l'arbre hors échantillon est faite en entrant les mesures des variables d'arbre provenant d'inventaire des parcelles dans le modèle. L'AGB à l'échelle de la parcelle est estimé en additionnant les prédictions pour chaque arbre à l'intérieur d'une parcelle forestière particulière. Cependant, le processus de transformation des variables et la prédiction de la biomasse reste un problème majeur dans la problématique des estimations de stocks de carbone. Ces différentes étapes sont responsables des incertitudes associées aux estimations de la biomasse. La figure 1 ci-dessus résume les différentes variables statistiques des modèles allométriques ainsi que les sources d'erreurs qui sont principalement liées à la manière dont elles sont mesurées au moment de calibration du modèle ou bien lors de l'inventaire forestier.

Mesure des paramètres dendrométriques

Erreur de mesure affectant la mesure du diamètre (D)

Le diamètre de l'arbre est le plus important prédicteur dans l'estimation de la biomasse. Le diamètre des arbres est mesuré à la même

hauteur de référence (définissant le « point de mesure », POM. La norme internationale pour le POM est « à hauteur de poitrine », et le diamètre correspondant est appelé diamètre à hauteur de poitrine (DBH, Belyea 1931). Ce POM est généralement définie comme 1,3 m au-dessus du niveau du sol (Alder and Synnott 1992), à l'exception des arbres à contreforts ou ayant une déformation à cette limite standard. Donc le diamètre des arbres ayant des troncs irréguliers, est systématiquement mesuré 30 cm au-dessus de la déformation. Dans le cas de certaines espèces ayant des contreforts, le POM du diamètre peut même atteindre 450 cm au-dessus du sol (Picard and Gourlet-Fleury 2008). Comme ce POM change dans le temps au fur et à mesure que les contreforts poussent vers le haut, la mesure de l'accroissement en diamètre peut ainsi être problématique lorsqu'on étudie les flux de carbone séquestrés dans les parcelles permanentes de suivi de la dynamique des forêts d'une part (Condit 1998). D'autre part, toutes les équations allométriques reliant la biomasse au diamètre ont été développées sur l'hypothèse que la mesure du diamètre a été effectuée à 130 cm au-dessus du sol ou 30 cm au-dessus des contreforts sur des arbres abattus de manière destructive (Chave et al. 2014). On considère dès lors que les variations du POM n'affectent pas ou peu l'ajustement des modèles allométriques et donc les erreurs potentielles de mesure du diamètre sont négligeables (Chave et al. 2014) et ne devraient pas influencer les estimations de biomasse forestière, surtout que celles-ci sont basées sur des données d'inventaires utilisant le même protocole de mesure des arbres que les données de calibration des modèles. Intuitivement cette interprétation est contestable, car certaines études ont montré que la mesure du diamètre des contreforts sous-estime de 20% la surface terrière et donc le diamètre réel des arbres (Ngomanda et al. 2012, Noelke et al. 2015). La sous-estimation du diamètre des gros arbres à troncs irréguliers intégrés dans la base de données de Chave et al. 2014 pour la calibration de l'équation allométrique pan tropical explique sans doute pourquoi ce modèle allométrique produit un biais important (plus de 50%) lorsqu'on prédit la biomasse d'un arbre (Burt et al. 2020). Comme les arbres à troncs irréguliers représentent parfois plus de 28% du nombre d'individus dans une parcelle (Milliken 1998) et qu'ils sont généralement les gros individus contribuant à plus de 25% à la biomasse d'un peuplement forestier (Slik et al. 2013), le fait de mesurer le diamètre des arbres à contreforts à des POM différents, aussi bien durant la phase de calibration du modèle allométrique que durant l'inventaire forestier, pourrait entraîner un biais d'estimation de la biomasse plus élevée, quel que soit l'échelle considérée. Malheureusement l'absence d'information sur le POM des arbres dans les données de biomasse en accès libre ne permet pas pour l'instant de tester l'impact des variations du POM du diamètre sur l'ajustement (précision) d'un modèle allométrique, et de déterminer comment l'erreur résiduelle du modèle engendré par le POM affecte l'estimation de la biomasse forestière.

L'influence de la précision des instruments : cas de la mesure de la hauteur (H)

La hauteur totale d'un arbre (H) est une variable clé pour estimer la biomasse des arbres et étudier le cycle de vie des arbres, mais il est difficile de mesurer dans les forêts avec des canopées hautes et denses et des cimes larges. Sa mesure lors de l'échantillonnage destructive de la biomasse varie d'une étude à une autre. Par exemple dans les données de Chave et al. (2014), 19 % des arbres ont été mesuré avant abattage par les méthodes trigonométriques, 65 % après abattage à l'aide d'un ruban mètre, alors que 15% ne comporte aucune information sur la méthode de mesure de la hauteur (Tableau 2, Burt et al. 2020). Or, la variation des protocoles méthodologiques de mesure de la hauteur peuvent fortement augmenter l'incertitude des modèles allométriques. Par exemple Larjavaara and Muller-Landau (2013) ont utilisées des méthodes trigonométriques (méthodes de tangente et la méthode de de sinus) pour estimer la hauteur totale des arbres via 6 opérateurs différents. Cette étude a rapporté que 1.6% des opérateurs ont surestimé la biomasse de 100% avec les deux approches à cause des problèmes d'appréciation des angles supérieurs 70° lors du tir vers le haut. De plus, comme le sous-bois n'est pas souvent accessible dans certains cas, il bloque souvent la visibilité jusqu'à la base de l'arbre, les techniciens utilisant la méthode des sinus ne mesurent pas souvent directement la distance verticale entre le point de mesure et la base de l'arbre, mais est plutôt estimez en fonction du terrain et de leur propre hauteur. Toutes ces variations dans la mesure de la hauteur devraient être prises en compte dans les collectes de données de hauteur lors des campagnes de mesure

Erreur sur la mesure de la densité du bois (ρ)

La densité du bois (ρ) fait référence à la masse volumétrique d'un arbre, obtenue en divisant la masse sèche anhydre d'un échantillon de bois (chauffé à 105°C) par son volume vert (Williamson and Wiemann 2010). La ρ n'est mesuré sur des arbres individuels dans les inventaires forestiers, mais estimé à partir du volume d'un échantillon de bois lequel est mesuré soit par méthodes trigonométrique soit en utilisant la méthode de déplacement de l'eau (Tableau 1). Pour mesurer le volume d'un échantillon du bois, on prélève un échantillon lors de l'approche destructif. Or la taille de l'échantillon de bois et son niveau de prélèvement varie suivant le protocole défini par chaque étude. Par exemple les travaux de Henry et al. (2010) ont prélevé les échantillons en forme de disc et l'étude de Fayolle et al. (2018) au prélevé des échantillons en forme de camemberts ou même sous forme de carotte. A ce jour, nous ne savons pas exactement si la taille de l'échantillon de bois utilisé pour estimer la densité du bois influence la valeur de la biomasse finale. De plus le niveau de prélèvement varie également d'une étude à l'autre et en fonction des arbres

échantillons, c'est le cas par exemple des grands arbres commerciaux où les échantillons sont prélevés au niveau de la base de la tige principale et de son extrémité contrairement aux arbres non commerciaux où un autre prélèvement de l'échantillon est fait au milieu de l'arbre. Or des variations de la densité du bois ont été observées le long du tronc d'un arbre individuel (Wassenberg et al. 2015) et intra-individuelle à la fois radialement et verticalement (Momo-Takoudjou et al. 2020). De plus l'utilisation de plusieurs sources de ρ pour convertir le volume en biomasse a conduit à une surestimation de l'AGB d'environ 1-10 % au niveau des parcelles (Sagang et al. 2018).

Dans les forêts tropicales, on note également le problème de l'identification botanique des arbres (Gomes et al. 2013) ou le manque d'information disponible sur la densité du bois de certaines espèces. En effet, en examinant les bases de données d'inventaire forestier AIGentry, il a été rapporté que plus d'un tiers des arbres ne sont pas déterminés au niveau du genre ou de l'espèce (Réjou-Méchain et al. 2019). Améliorer les identifications botaniques et mesurer la densité du bois combiné au volume obtenu par approche LiDAR (Light Detection And Ranging) pourraient clairement être envisagés afin de fournir les estimations de la biomasse non biaisée. Des avancées méthodologiques de mesure du volume pourraient également permettre d'améliorer l'une des premières sources d'incertitude rapportées par Chave et al. (2004).

Tableau 1. Le protocole utilisé dans plusieurs expériences de récolte destructive compilé par Chave et al. (2014) pour mesurer la densité du bois (ρ)

Mesure de ρ	
Principe d'Archimède	Méthode géométrique
Fayolle et al. 2013 ; Vieilledent et al. 2012 ; Saldarriaga et al. 1988 ; Martinez-Yrizar et al. 1992 ; Sagang et al. 2018 ;	Basuki et al. 2009 ; Alvarez et al. 2012 ; Henry et al. 2010 ;
non réalisé	
Ngomanda et al. 2014 ; Nogueira et al. 2008 ; Burger and Delitti, 2008;Ketterings et al. 2001; Araujo et al. 1999 ;	

Erreur sur la mesure des dimensions de la couronne (Cr)

Les dimensions de la couronne ont récemment été prises en compte comme variable explicative de la biomasse des arbres (Goodman et al. 2013 ; Ploton et al 2016 ; Fayolle et al. 2018). Les dimensions de la couronne sont définies comme étant la distance horizontale entre la base du tronc et les extrémités du houppier. Elles sont mesurées suivant quatre directions cardinales (N, S, W et E) (Poorter et al. 2006) ou suivant une seule direction

quand la couronne de l'arbre est considéré comme symétrique (Blanchard et al. 2016). Mais en zone tropicale il est difficile de mesurer ses dimensions dans les forêts avec des canopées hautes. En effet, quand le sous-bois est dense la visibilité de la couronne des arbres pose un gros problème et parfois certaines des directions cardinales ne sont pas souvent accessibles. Conséquence on mesure in fini le rayon de directions alternatives de la couronne (NE, SW, SE et NW, respectivement). Ces mesures alternatives pourraient induire des erreurs dans le calcul du diamètre moyen de la couronne qui est l'une des variables prédictive qui permet de réduire l'incertitude chez les gros arbres.

Erreurs liées aux choix de la forme du modèle mathématique

Pour établir les relations allométriques entre biomasse et variables de taille des arbres, on utilise des fonctions mathématiques pour transformer les valeurs des paramètres dendrométriques en valeur de biomasse forestière et stocks de carbone. Ces fonctions mathématiques sont diverses et peuvent être séparées en deux grandes familles : les fonctions puissance et les fonctions non puissance. Les fonctions puissances à un prédicteur ($M = aD^b$, avec M la biomasse de l'arbre en Kg, D le diamètre à hauteur de poitrine en cm, a et b étant les coefficients et leur équivalent log linéaire (c'est-à-dire $\log(M) = a + b \times \log(D)$) ont largement été développées dans la littérature. Cette forme fonctionnelle est préférée parce qu'elle est généralement fondée sur la nature multiplicative de la croissance des plantes, qui suit généralement une loi puissance (Brown et al. 1989), ainsi que sa forme relativement simple qui facilite l'ajustement des modèles de biomasse et l'estimation des paramètres (Sileshi 2014). Cependant cette forme fonctionnelle peut être inappropriée dans certaines régions tropicales. Par exemple, le modèle non linéaire de Chave et al. (2014) a montré des surestimations de la biomasse dans plusieurs types forestiers d'Afrique centrale (Fayolle et al. 2018). Contrairement à cette allométrie simple, les allométries beaucoup plus complexes ou polynomiaux, non fondées sur le modèle puissance ont également été développées (Ter-Mikaelian and Korzukhin 1997, Pilli et al. 2006). L'allométrie complexe fait généralement intervenir plusieurs variables prédictives telles que le diamètre, la hauteur, la densité du bois et les dimensions de la couronne. Mais cette forme de modèle a été très critiquée en raison, d'une part, du nombre de prédicteurs qui rend difficile l'estimation des paramètres, et d'autre part, à cause de la mauvaise compréhension des relations entre de nombreuses variables (Sileshi 2014). Or ces modèles complexes non puissance sont une autre forme d'allométrie. Par exemple il a été montré que les modèles d'allométriques complexes ont fourni une qualité d'ajustement similaire aux modèles puissance quelle que soit la métrique de qualité d'ajustement utilisée (Picard et al. 2015). Bien qu'il semble difficile de faire une recommandation

particulière sur la forme mathématique à utiliser pour l'ajustement des modèles, nous ne voyons aucune raison évidente pour laquelle de telles formes, ou même des formes plus exotiques, ne devraient pas être envisagées, à condition que la précision, la justesse et l'exactitude de leurs prédictions AGB soient bien comprises.

Incertitude liée aux paramètres populationnels

Les caractéristiques de l'échantillon d'arbres sont relatives à sa taille et à sa répartition en classe de diamètre, y compris les diamètres minimum et maximum des arbres à échantillonner. Le nombre d'arbres qui concourt à la taille optimale est celui pour lequel le coefficient de variation (CV%) se stabilise. A partir des données de 362 arbres provenant de plusieurs études en Afrique tropicale, il a été montré que pour des tailles d'échantillon de 20, 50, 100 et 150 arbres, les CV sont respectivement de 10%, 5%, 3.3% et 2.9% (Fonton et al. 2014). La répartition égale en classes de diamètre conduit approximativement au même résultat de 10% pour 21 arbres et 3,6% pour 126 arbres. En conséquence la taille de 100 arbres-échantillons au moins par strate, apparaît raisonnable pour l'établissement d'une équation allométrique multi-espèces (Chave et al. 2004). Pour des modèles allométriques spécifiques à l'espèce, une tailles d'échantillons $n > 50$ individus sont nécessaires et fournissent une approximation raisonnable de l'AGB (Paul et al. 2018). Toutefois, l'équation allométrique construite à partir d'échantillons de petites tailles ne couvrant qu'une petite plage de diamètre doit être évitée car elle est une source potentielle d'incertitude. Un autre problème associé à l'utilisation des modèles allométriques est lié à la structure des données de calibration. En effet, à l'échelle mondiale la calibration des modèles allométriques a été réalisée avec les données pour lesquels la distribution de fréquence du diamètre des arbres à hauteur de poitrine à une structure en J inversé. Bien que cette structure soit typique de forêt tropicale dynamique (Hitima et al. 2004 ; Pascal. 2006), il existe cependant une certaine variabilité selon les conditions écologiques stationnelles (Lovett et al. 2006). C'est par exemple le cas dans certaines forêts de montagne d'Afrique de l'Est où les proportions d'individu de classe de diamètre de la strate inférieur c'est-à-dire 10-30 augmente suivant le gradient d'altitudinal ((Imani et al. 2016). Donc appliquée des modèles allométriques actuels à de telles forêts avec des proportions d'arbre différent dans les strates pourrait biaiser les estimations de la biomasse. De même, à travers une simulation du profil de quelques structures diamétriques, il a été démontré que les modèles basés sur des échantillons d'arbres uniformément répartis sur la plage de diamètre produisent des prédictions de biomasse les plus précises, quelle que soit la distribution diamètre dans l'ensemble de données d'inventaire (Dutcă et al. 2020). Nous croyons que la distribution des fréquences de diamètre dans les données d'inventaires devrait être prise en

compte lors de la calibration des modèles allométriques de façon à obtenir un profil diamétrique représentatif des peuplements forestiers pour lesquels la biomasse sera estimée. De telle possibilité pourrait nous permettre d'adapter des modèles allométriques à chaque profil diamétrique spécifique d'un peuplement forestier.

Incertitudes liées au passage de l'arbre à la forêt

Appliquée sur une ou plusieurs parcelles forestières d'au moins 1 ha, réparties dans différents types de forêts et gradient de perturbation, la mesure directe de la biomasse des arbres pourrait fournir des données précieuses pour capturer la réalité des stocks de carbone séquestrés dans les forêts tropicales (Clark et al. 2012). Or, à date et à notre connaissance, aucune étude de cette nature n'a été réalisée dans les forêts naturelles en zone tropicale, en raison notamment des problèmes liés plus à des questions éthiques (risque de destruction de grande superficie des forêts intactes) que des difficultés méthodologiques. L'absence de telles études ne permet pas *in fine* de tester si les larges incertitudes observées sur les stocks de carbone à l'échelle pantropicale (Mitchard et al. 2013) reflète bien une réalité biologique (c'est-à-dire un continuum allant des forêts dégradées ayant une faible quantité de carbone aux forêts intactes ayant une forte teneur en carbone) ou au contraire sont la conséquence d'incertitudes inhérentes à la méthode d'estimation de la biomasse qui est basée sur l'utilisation des modèles allométriques et la mesure des arbres lors d'inventaires forestiers.

Conclusion et orientations futures

Cette synthèse bibliographique montre que l'acquisition des données biomasse par méthodes destructives ou non reste une étape clé dans la quantification des stocks et flux de carbone forestiers. L'analyse des méthodes de mesure révèle que les modèles allométriques sont ajustés avec des données qui sont collectées avec plusieurs approches ou avec des données de source différentes. Bien que le biais du modèle allométriques soit assez bien connu, cette étude souligne aussi que la structure des données de calibration et de validation reste une importante source potentielle d'erreur. Pour limiter les erreurs, des travaux supplémentaires sont nécessaires, notamment pour répondre aux questions suivantes : – Comment les variations du point de mesure du diamètre affectent l'estimation de la biomasse à l'échelle de l'arbre, de la parcelle et du paysage ? – Devrait-on coupler pesée directe et mesure de volume lors de la récolte des données de biomasse ? – La collecte d'une nouvelle génération de données d'AGB basées sur les approches non destructives telle que le TLS à l'échelle parcellaire afin de mieux explorer les gammes de variabilité dans les estimations de la biomasse aérienne ; – Comment les arbres à tronc irrégulier varie-t-il à l'échelle d'1ha dans les forêts

tropicales Africaine ? – Es ce que les larges incertitudes observées dans l'estimation de la biomasse totale d'une forêt à une échelle spatiale fixée (exemple 1 ha) reflète réellement l'incertitude totale de l'estimation finale de carbone actuel ?

Au terme de notre analyse il ressort que la prise en compte de ces thématiques serait nécessaire pour améliorer la stratégie de mesure, de vérification et rapportage des stocks de biomasse avec une grande certitude pour la mise en œuvre réussie des programmes internationaux de paiement REDD+.

References:

1. Alder, D., and T. J. Synnott. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Oxford Forestry Institute, University of Oxford.
2. Araújo, T. S. M., N. Higuchi, and J. A. de Carvalho Júnior. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117:43-52.
3. Bauwens, S., A. Fayolle, S. Gourlet-Fleury, L. M. Ndjele, C. Mengal, and P. Lejeune. 2017. Terrestrial photogrammetry: a non-destructive method for modelling irregularly shaped tropical tree trunks. *Methods in Ecology and Evolution* 8:460-471.
4. Bauwens, S., P. Ploton, A. Fayolle, G. Ligot, J. J. Loumeto, P. Lejeune, and S. Gourlet-Fleury. 2021. A 3D approach to model the taper of irregular tree stems: making plots biomass estimates comparable in tropical forests. *Ecological Applications* 31:e02451.
5. Belyea, H.C. 1931. *Forest Measurement*. Wiley & Sons, New York, NY, USA; Chapman & Hall, London, UK.
6. Blanchard, E., P. Birnbaum, T. Ibanez, T. Boutreux, C. Antin, P. Ploton, G. Vincent, R. Pouteau, H. Vandrot, and V. Hequet. 2016. Contrasted allometries between stem diameter, crown area, and tree height in five tropical biogeographic areas. *Trees* 30:1953-1968.
7. Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food & Agriculture Org.
8. Brown, S., A. J. Gillespie, and A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science* 35:881-902.
9. Burt, A., K. Calders, A. Cuni-Sanchez, J. Gómez-Dans, P. Lewis, S. L. Lewis, Y. Malhi, O. L. Phillips, and M. Disney. 2020. Assessment of bias in pan-tropical biomass predictions. *Frontiers in Forests and Global Change* 3:12.

10. Calders, K., G. Newnham, M. Herold, S. Murphy, D. Culvenor, P. Raumonon, A. Burt, J. Armston, V. Avitabile, and M. Disney. 2013. Estimating above ground biomass from terrestrial laser scanning in Australian Eucalypt Open Forest. Pages 90-97 *in* Proceedings SilviLaser 2013, 9-11 October, Beijing, China.
11. Chave, J., R. Condit, S. Aguilar, A. Hernandez, S. Lao, and R. Perez. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 359:409-420.
12. Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, and R. C. Goodman. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob Chang Biol* 20:3177-3190.
13. Clark, D. B., J. R. Kellner, and M. Palmer. 2012. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *Journal of Vegetation Science* 23:1191-1196.
14. Condit, R. 1998. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots. Springer Science & Business Media.
15. Dutcã, I., R. Mather, and F. Ioraş. 2020. Sampling trees to develop allometric biomass models: How does tree selection affect model prediction accuracy and precision? *Ecological Indicators* 117:106553.
16. Fayolle, A., J.-L. Doucet, J.-F. Gillet, N. Bourland, and P. Lejeune. 2013. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 305:29-37.
17. Fayolle, A., A. Ngomanda, M. Mbasi, N. Barbier, Y. Bocko, F. Boyemba, P. Couteron, N. Fonton, N. Kamdem, J. Katembo, H. J. Kondaoule, J. Loumeto, H. M. Maïdou, G. Mankou, T. Mengui, G. Mofack, II, C. Moundounga, Q. Moundounga, L. Nguimbous, N. Nsue Nchama, D. Obiang, F. Ondo Meye Asue, N. Picard, V. Rossi, Y.-P. Senguela, B. Sonké, L. Viard, O. D. Yongo, L. Zapfack, and V. P. Medjibe. 2018. A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management* 430:228-240.
18. Gomes, A. C., A. Andrade, J. S. Barreto-Silva, T. Brenes-Arguedas, D. C. López, C. C. de Freitas, C. Lang, A. A. de Oliveira, A. J. Pérez, and R. Perez. 2013. Local plant species delimitation in a highly diverse Amazonian forest: do we all see the same species? *Journal of Vegetation Science* 24:70-79.

19. Gonzalez de Tanago, J., A. Lau, H. Bartholomeus, M. Herold, V. Avitabile, P. Raunonen, C. Martius, R. C. Goodman, M. Disney, and S. Manuri. 2018. Estimation of above-ground biomass of large tropical trees with terrestrial LiDAR. *Methods in Ecology and Evolution* 9:223-234.
20. Goodman, R. C., O. L. Phillips, and T. R. Baker. 2014. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecological Applications* 24:680-698.
21. Henry, M., A. Besnard, W. Asante, J. Eshun, S. Adu-Bredu, R. Valentini, M. Bernoux, and L. Saint-André. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* 260:1375-1388.
22. Hubau, W., S. L. Lewis, O. L. Phillips, K. Affum-Baffoe, H. Beeckman, A. Cuní-Sanchez, A. K. Daniels, C. E. Ewango, S. Fauset, and J. M. Mukinzi. 2020. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature* 579:80-87.
23. Imani, G., L. Zapfack, J. Kalume, B. Riera, L. Cirimwami, and F. Boyemba. 2016. Woody vegetation groups and diversity along the altitudinal gradient in mountain forest: case study of Kahuzi-Biega National Park and its surroundings, RD Congo. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 8:134-150.
24. Imani, M. G., Zapfack, L., Mangambu Mokoso, J. D., Penedimanja, P., Mwanga Mwanga, J-
25. C., Boyemba, F., et C. Aman. 2016. Caractérisations Structurale, Floristique Et Biomasse Ligneuse Du Peuplement À Hagenia abyssinica Du Parc National De Kahuzi-Biega (Rift Albertin, RDC). *Journal scientifique européen*, 12 (15), 189. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p189>
26. King, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12:25-44.
27. Larjavaara, M., and H. C. Muller-Landau. 2013. Measuring tree height: a quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. *Methods in Ecology and Evolution* 4:793-801.
28. Milliken, W. 1998. Structure and Composition of One Hectare of Central Amazonian Terra Firme Forest 1. *Biotropica* 30:530-537.
29. Mitchard, E. T., S. S. Saatchi, A. Baccini, G. P. Asner, S. J. Goetz, N. L. Harris, and S. Brown. 2013. Uncertainty in the spatial distribution of tropical forest biomass: a comparison of pan-tropical maps. *Carbon balance and management* 8:1-13.
30. Momo Takoudjou, S., P. Ploton, B. Sonké, J. Hackenberg, S. Griffon, F. De Coligny, N. G. Kamdem, M. Libalah, G. I. Mofack, and G. Le

- Moguédéc. 2018. Using terrestrial laser scanning data to estimate large tropical trees biomass and calibrate allometric models: A comparison with traditional destructive approach. *Methods in Ecology and Evolution* 9:905-916.
31. Moundounga Mavouroulou, Q., A. Ngomanda, N. L. Engone Obiang, J. Lebamba, H. Gomat, G. S. Mankou, J. Loumeto, D. Midoko Iponga, F. Kossi Ditsouga, R. Zinga Koumba, K. H. Botsika Bobé, N. Lépengué, B. Mbatchi, and N. Picard. 2014. How to improve allometric equations to estimate forest biomass stocks? Some hints from a central African forest. *Canadian Journal of Forest Research* 44:685-691.
 32. Ngomanda, A., Q. M. Mavouroulou, N. L. E. Obiang, D. M. Iponga, J.-F. Mavoungou, N. Lépengué, N. Picard, and B. Mbatchi. 2012. Derivation of diameter measurements for buttressed trees, an example from Gabon. *Journal of Tropical Ecology* 28:299-302.
 33. Ngomanda, A., N. L. E. Obiang, J. Lebamba, Q. M. Mavouroulou, H. Gomat, G. S. Mankou, J. Loumeto, D. M. Iponga, F. K. Ditsouga, and R. Z. Koumba. 2014. Site-specific versus pantropical allometric equations: which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *Forest Ecology and Management* 312:1-9.
 34. Niklas, K. J. 1994. *Plant allometry: the scaling of form and process*. University of Chicago Press.
 35. Noelke, N., L. Fehrmann, S. J. I Nengah, T. Tiryana, D. Seidel, and C. Kleinn. 2015. On the geometry and allometry of big-buttressed trees-a challenge for forest monitoring: new insights from 3D-modeling with terrestrial laser scanning. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 8:574.
 36. Nogueira, E. M., B. W. Nelson, and P. M. Fearnside. 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management* 227:14-21.
 37. Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, and J. G. Canadell. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *science* 333:988-993.
 38. Paul, K. I., P. J. Radtke, S. H. Roxburgh, J. Larmour, R. Waterworth, D. Butler, K. Brooksbank, and F. Ximenes. 2018. Validation of allometric biomass models: How to have confidence in the application of existing models. *Forest Ecology and Management* 412:70-79.
 39. Pelletier, J., D. Martin, and C. Potvin. 2013. REDD+ emissions estimation and reporting: dealing with uncertainty. *Environmental Research Letters* 8:034009.

40. Picard, N., and S. Gourlet-Fleury. 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. COMIFAC.
41. Picard, N., E. Rutishauser, P. Ploton, A. Ngomanda, and M. Henry. 2015. Should tree biomass allometry be restricted to power models? *Forest Ecology and Management* 353:156-163.
42. Pilli, R., T. Anfodillo, and M. Carrer. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management* 237:583-593.
43. Ploton, P., N. Barbier, S. Takoudjou Momo, M. Réjou-Méchain, F. Boyemba Bosela, G. Chuyong, G. Dauby, V. Droissart, A. Fayolle, and R. C. Goodman. 2016. Closing a gap in tropical forest biomass estimation: taking crown mass variation into account in pantropical allometries. *Biogeosciences* 13:1571-1585.
44. Poorter, L., L. Bongers, and F. Bongers. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87:1289-1301.
45. Réjou-Méchain, M., N. Barbier, P. Coutron, P. Ploton, G. Vincent, M. Herold, S. Mermoz, S. Saatchi, J. Chave, F. de Boissieu, J.-B. Féret, S. M. Takoudjou, and R. Pélissier. 2019. Upscaling Forest Biomass from Field to Satellite Measurements: Sources of Errors and Ways to Reduce Them. *Surveys in Geophysics* 40:881-911.
46. Saatchi, S. S., N. L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E. T. Mitchard, W. Salas, B. R. Zutta, W. Buermann, S. L. Lewis, and S. Hagen. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the national academy of sciences* 108:9899-9904.
47. Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hozumi, and T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: I. Basic analyses. *Japanese Journal of ecology* 14:97-105.
48. Sileshi, G. W. 2014. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures. *Forest Ecology and Management* 329:237-254.
49. Slik, J. F., G. Paoli, K. McGuire, I. Amaral, J. Barroso, M. Bastian, L. Blanc, F. Bongers, P. Boundja, and C. Clark. 2013. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global ecology and biogeography* 22:1261-1271.
50. Tao, S., F. Wu, Q. Guo, Y. Wang, W. Li, B. Xue, X. Hu, P. Li, D. Tian, and C. Li. 2015. Segmenting tree crowns from terrestrial and mobile LiDAR data by exploring ecological theories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 110:66-76.

51. Ter-Mikaelian, M. T., and M. D. Korzukhin. 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97:1-24.
52. Trochta, J., M. Krůček, T. Vrška, and K. Král. 2017. 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR. *PloS one* 12:e0176871.
53. Wassenberg, M., M. Schinker, and H. Spiecker. 2015. Technical aspects of applying high frequency densitometry: Probe-sample contact, sample surface preparation and integration width of different dielectric probes. *Dendrochronologia* 34:10-18.
54. West, G. B., J. H. Brown, and B. J. Enquist. 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *science* 276:122-126.
55. West, G. B., J. H. Brown, and B. J. Enquist. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature* 400:664-667.
56. Whittaker, R. H., and G. M. Woodwell. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *The Journal of Ecology*:1-25.
57. Williamson, G. B., and M. C. Wiemann. 2010. Measuring wood specific gravity correctly. *American Journal of Botany* 97:519-524.
58. Yanai, R. D., C. Wayson, D. Lee, A. Espejo, J. L. Campbell, M. B. Green, J. M. Zukswert, S. Yoffe, J. Aukema, and A. Lister. 2020. Improving uncertainty in forest carbon accounting for REDD+ mitigation efforts. *Environmental Research Letters* 15:124002.

Risk of Complications in Patients Undergoing Complete Thyroidectomy. A Retrospective Study

Igli Kokalari

Surgeon at Regional Hospital of Gjirokastra, Albania

Lila Shundi

Institute of Public Health, Tirana, Albania

Erjona Abazaj

Institute of Public Health, Tirana, Albania

University Medicine, Faculty of Technical Medicine Science, Albania

Ela Ali

Institute of Public Health, Tirana, Albania

Ledina Nikolla

University Medicine, Faculty of Technical Medicine Science, Albania

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p81](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p81)

Submitted: 22 November 2022

Accepted: 30 January 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kokalari I., Shundi L., Abazaj E., Ali E. & Nikolia L. (2022). *Risk of Complications in Patients Undergoing Complete Thyroidectomy. A Retrospective Study*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 81. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p81>

Abstract

Introduction: The main aim of this study was to determine the influence of surgery on postoperative complications in patients undergoing total thyroidectomy. **Methods:** Patients diagnosed with goiter and undergoing total thyroidectomy for more than ten years were retrospectively enrolled, and the main study outcomes were postoperative complications. Statistical analysis was done by chi-square and t-test with a p-value <0.05 as significant. **Results:** A total of 116 patients with goiter were identified (mean age, 45.3 ± 8.75 years, with minimum and maximum age of 23 to 69). The most affected age with goiter resulted in 41-50 years old with 41.4% (95% CI, 37.4 to 45.8%). The majority of patients with goiter were women (85.3%), with a mean age of 47 years. After the thyroid surgery, male patients had significantly higher rates of hospital readmission than females with a risk ratio [RR] of 1.05; 95% CI [0.67–1.52], p-value = 0.02. Either hemorrhage/hematoma occurred in 4.7% and cardiopulmonary and thromboembolic events in 3.1% of the

patients undergoing total thyroidectomy. In addition, either hypoparathyroidism was observed in 3.1% and temporary recurrent laryngeal nerve palsy (RLN) in 1.56%. **Conclusion:** The current study demonstrates that total thyroidectomy is associated with an increased rate of hemorrhagic complications. RLN palsies and hypoparathyroidism are less observed. Male patients undergoing thyroidectomy have higher rates of readmission and ICU admission. Furthermore, male patients revealed higher rates of hemorrhage and wound infection, while hypoparathyroidism or temporary recurrent laryngeal nerve palsy was more frequent among female patients.

Keywords: Thyroidectomy, complications undergoing patients, surgery

Introduction

According to the 2015 American Thyroid Association (ATA) guidelines, patients with thyroid nodular disease with indeterminate cytology can undergo a total thyroidectomy or a hemithyroidectomy (Haugen et al., 2016). Surgical procedures have the potential for complications, and thyroidectomy is no exception (Christou & Mathonnet, 2013). When complications occur, they fall into several categories, including errors of omission or commission; and they may be inevitable or unanticipated. They may occur during the preoperative, operative, or postoperative phase; and they adversely affect anatomic structures, physiologic function, or both (Del Rio et al., 2021). A carefully obtained history that emphasizes symptoms, general physical status, genetic abnormalities, drug intake (particularly aspirin or other anticoagulants), response to previous surgery, and any previous abnormal bleeding problems are important factors to elicit and consider in a workup directed toward thyroidectomy. A thorough physical examination can alert the surgeon to possible preoperative and intraoperative difficulties and allow steps to be taken to reduce problems by making the appropriate referral to an endocrinologist, cardiologist, radiologist, or anesthesiologist; appropriate steps can be taken before the operation (Christou & Mathonnet, 2). Complications can be roughly divided into milder (or minor) and more serious (or major) ones. The formation of a seroma and more pronounced scarring of the wound are classified as milder complications (Lukinović & Bilić, 2020). Thyroid surgery risks include general postoperative complications, such as postoperative fever, infection, hematoma/hemorrhage, cardiopulmonary and thromboembolic events, and thyroid surgery-specific complications, such as hypoparathyroidism/hypocalcemia and vocal cord/fold paralysis (Ardito et al., 2016; Hauch et al., 2014; Caulley et al., 2017). The long-term consequences of injury to the recurrent laryngeal nerve (RLN) should occur in fewer than 1% of patients undergoing thyroidectomy. Although prevention of injury can never be absolute, careful observation during every operative step to monitor

the wide range of possible variations in the course of the nerve should substantially reduce the risk (Sedowski et al., 2017; Shen et al., 2013). The cause of hypoparathyroidism after thyroidectomy is not always readily explicable. There is a risk of iatrogenic injury to the parathyroid glands during any operation in which both lobes of the thyroid gland are explored or resected, although permanent hypoparathyroidism may not be due to direct injury alone. Hypocalcemia following thyroidectomy is usually temporary. There is a wide variation in the reported incidence ranging from 1.6% to 50.0%, although most surgical units experienced in total thyroidectomy report a 2% or less incidence of persistent dysfunction. Hypocalcemia is considered permanent if calcium levels do not normalize within 6 months (1.3-3.0% of cases) (Ortega et al., 2022; Chen et al., 2021)

Hemorrhage within a thyroidectomy wound usually occurs within 24 hours of operation, with most significant hematomas becoming apparent within 6 to 8 hours. Acute respiratory embarrassment is potentially lethal unless surgically relieved as an emergency procedure (Del Rio et al., 2021). In an extensive study performed by Prgomet et al., (2012) postoperative bleeding occurred in 336 (80.6%) of 417 patients within the first 6 hours after surgery (Prgomet et al., 2012). Upon review of 6 other studies, we found that the incidence within the first 8 hours varied from 0-25% the largest study being the one by Lacoste on more than 3000 thyroidectomies (Del Rio et al., 2019; Balentine & Sippel, 2016; Lacoste et al., 1993; Schwarts et al., 1998; Hurtado-López et al., 2002; Abbas et.al 2001). Bleeding occurs very rarely after 24 hours (Wang et al., 2017). The main aim of this study was to assess the rate of complications in patients undergoing thyroidectomy.

Materials and Methods

This is a retrospective, observational study on patients of the General Surgery Unit at a secondary health center situated in the district of Gjirokastra, Albania. Patients included in this study underwent the procedure of total thyroidectomy between January 2008 and December 2018. Data were collected from hospital patient records files. The study comprised 116 who obtained the service at the surgical ward in the city of Gjirokastrë. In this study, we included patients of both sexes that had files with complete data. While excluded from the study were subjects with inadequate specimens for diagnosis, incomplete data, or data acquisition errors. The clinical history of each patient was taken throughout the examination. The information regarding the general socio-demographic data, which includes, age, gender, residential area, marital status, occupation, education level, economic status, and family history was collected from the record files of each patient. Based on the previously reported literature and a priori knowledge of risk factors for postoperative complications, we included preoperative risk variables to

analyze the primary endpoint of interest, 30-day postoperative complication rates for inpatient versus outpatient total thyroidectomy (Abraham et al., 2014). A composite outcome of interest, overall postoperative complication rates, was established. Overall postoperative complication rates included: pneumonia, pulmonary embolism, ventilator requirement >48 hours, progressive renal insufficiency, acute renal failure, urinary tract infection, stroke with neurological deficit, coma >24 hours, cardiac arrest, myocardial infarction, deep vein thrombosis, sepsis, septic shock, readmission, superficial, deep and organ space surgical site infection, wound disruption, We generated descriptive statistics for our study cohort, including the frequency of general and thyroid surgery-specific postoperative complications. Univariate analyses were conducted to determine the association of patient characteristics with cardiopulmonary/thromboembolic complications, postoperative fever/local complications, hypoparathyroidism/hypocalcemia, and vocal cord/fold paralysis. Multivariable logistic regression was used to identify factors associated with general and thyroid surgery-specific complications. The χ^2 test for linear trend was used to determine trends of general and thyroid surgery-specific postoperative complications according to SEER thyroid cancer stage, patient age, and Charlson/Deyo comorbidity score. All data were analyzed using the software SPSS version 26.0.

Results

In this study, were involved one hundred sixteen patients presented with goiter. The mean age of patients is 45.3 ± 8.75 years, with minimum and maximum ages of 23 to 69 respectively. Table 1 shows the baseline socio-demographic characteristics of the patients. About 85.3% of patients with goiter were women whereas the other 14.7% were men. The most affected age resulted in 41-50 years old with 41.4% (95% CI, 37.4 to 45.8%). Patients from the urban 67.2% were the most predominant compared with patients from the rural area, married were more than 70.7%, the most predominant patients 68.1% resulted with high school level, employment was most than half of the patients 52.6% and approximately 55.2% resulted in moderate economic status.

Related to some of the risk factors, 36.2% reported a family history of goiter, most of them 44% consummated salt at a moderate level, whereas 41.4% at a low level. According to the body mass index of patients, 3.4% were underweight, 22.4% in normal weight, 33.6% in overweight, 27.6% in obese class I, and 12.9% in obese class II and III. Most of them 74.1% have a sedentary life, almost one quarter 24.1% were alcohol users, and 31.9% were smoker users.

Table 1. Baseline socio-demographic characteristics of the patients

Variables		N (%)
Gender	Women	99 (85.3)
	Men	17 (14.7)
Age	< 30 years old	8 (6.9)
	31-40 years old	13 (11.2)
	41-50 years old	48 (41.4)
	51-60 years old	27 (23.3)
	≥61 years old	20 (17.2)
Residence	Rural	38 (32.8)
	Urban	78 (67.2)
Marital status	Singe	4 (3.4)
	Married	82 (70.7)
	Divorced	17 (14.6)
	Widow	13 (11.2)
Education	Primary level	11 (9.5)
	High school	79 (68.1)
	University	26 (22.4)
Occupation	No	55 (47.4)
	Yes	61 (52.6)
Economic status	Low Income	32 (27.6)
	Moderate	64 (55.2)
	High Income	20 (17.2)
History family	No	74 (63.8)
	Yes	42 (36.2)
Salt consumption	Low	48 (41.4)
	Moderate	51 (44.0)
	High	17 (14.7)
BMI	underweight (BMI: ≤18.4kg/ m2)	4 (3.4)
	normal weight (BMI: 18.5–24.9kg/m2)	26 (22.4)
	overweight (BMI: 25.0–29.9kg/m2)	39 (33.6)
	obese class I (BMI: 30.0– 34.9kg/m2)	32 (27.6)
	obese class II–III (BMI: ≥35.0kg/m2)	15 (12.9)
Physical activities	No	86 (74.1)
	Yes	30 (25.9)
Alcohol use	No	88 (75.9)
	Yes	28 (24.1)
Smoking use	No	79 (68.1)
	Yes	37 (31.9)

Additionally, 26.7% of patients have referred presence of hypertension, 16.4% have diabetes mellitus, and 14.6% have cardiovascular diseases. Regarding the histology of goiter, 57.7% presented a goiter diffuse, 26.7% solitary nodule, and 15.5% multinodular. Almost 43.75% underwent total thyroidectomy, and the majority of patients were women (85.3%), with a mean age of 47 years. After the thyroid surgery, men patients had significantly

higher rates of hospital readmission than women with a risk ratio [RR] of 1.05; 95% CI [0.67–1.52], p-value = 0.02. Additionally, the men presented also a higher risk for postoperative admission with a RR of 1.38; 95% CI, [0.85–1.79], p-value = 0.04. We have evaluated the short-term and long-term complications of patients undergoing total thyroidectomy. Fever, infection, and seroma were the most predominant short-term complications in patients undergoing total thyroidectomy. Hematoma/hemorrhage in 4.7% of the patients whereas fever, infection, and seroma in 17.2%, 12.5%, and 7.8% respectively. In addition, either hypoparathyroidism was observed in 3.1%, temporary recurrent laryngeal nerve palsy (RLN) in 1.56% whereas cosmetic scares and dysphonia were the most predominant long-term complications in 20.3% and 6.25% respectively.

Table 2. Clinical data and risk factors complication of patients

Variables		Number (%)	P value
Metabolic syndrome	Hypertension	31 (26.7)	0.001
	Diabetes	19 (16.4)	
	Cardiovascular diseases	17 (14.6)	
Histopathology of goiter	Diffuse	67 (57.7)	0.02
	Solitary nodule	31 (26.7)	
	Multinodular	18 (15.5)	
Surgery	Yes	64 (55.2)	0.08
	No	52 (44.8)	
General postoperative complications (No=241)	Yes	28 (43.75)	0.007
	No	36 (56.25)	
Short-term complications	Hematoma/hemorrhage	3 (4.7)	0.004
	Fever	11 (17.2)	
	Infection	8 (12.5)	
	Seroma	5 (7.8)	
	Cardiopulmonary and thromboembolic events	2 (3.1)	
	Dyspnea	10 (15.6)	
	Dysphonia	12 (18.75)	
	Paresthesia	4 (6.25)	
Long-term complications	Recurrent nerve palsy	1 (1.56)	0.009
	Cosmetic scares	13 (20.3)	
	Dysphonia	4 (6.25)	
	Hypocalcemia	3 (4.7)	
	Hypoparathyroidism	2 (3.1)	

Table 3 shows the logistic regression of some of the risk factors and postoperative complications. Based on logistic regression of data, patients in

age over 41 years old, women and patients with BMI $\geq 30\text{kg/ m}^2$ presented a higher risk for complication with a significant association, p-value <0.05 . Related to metabolic syndrome, a higher risk was seen for patients with diabetes and patients with cardiovascular diseases, with a p-value <0.05 .

Table 3. Logistic regression of risk factors and postoperative complications of patient

Predicators	Odds ratio	95% confidence interval	p-value
Age ≥ 41 years old vs ≤ 40 years old	1.3	[0.78-2.24]	0.03
Women vs men	1.8	[0.91-3.52]	0.04
BMI $\geq 30\text{kg/ m}^2$ vs $\leq 29\text{kg/ m}^2$	2.3	[1.05-5.67]	0.005
Hypertension yes vs no	1.1	[0.34-2.31]	0.07
Diabetes yes vs no	1.6	[0.58-2.49]	0.041
Cardiovascular diseases yes vs no	1.48	[0.73-2.86]	0.003
History family yes vs no	2.2	[0.90-4.3]	0.01
Salt consumption is low vs	1.06	[0.48-2.61]	0.045
Physical activities yes vs no	0.89	[0.04-1.72]	0.7
Alcohol use yes vs no	0.94	[0.33-1.69]	0.8
Smoking use yes vs no	1.4	[0.40-2.81]	0.03
Short-term complications	2.7	[1.03-3.46]	0.008
Long-term complications	1.8	[0.92-3.40]	0.04

Discussion

Historically, total thyroidectomy has been performed in inpatient surgery due to the associated risk of life-threatening complications including hypocalcemia and airway obstruction, either due to the bilateral recurrent laryngeal nerve (RLN) injury or neck hematoma (Canu et al., 2022). Even though there has been a trend towards performing procedures as an outpatient as permitted by advancements in anesthetic and surgical techniques (Steward, 2014) again, patients are more inclined to perform inpatient thyroidectomy due to significant comorbidity, simultaneous neck, and mediastinal procedures, and social circumstances not conducive to outpatient surgery (Balentine & Sippel, 2016; Sahmkow et al., 2012; Sørensen & Klug, 2015). In this study, we found that the rates of complications after total thyroidectomy surgery are relatively high compared to previously reported data from another study (Pandey et al., 2015). We found that patients older than 41 years old and with one or more comorbid conditions were at increased risk for postoperative complications. These findings are similar to another study conducted by Papaleontiou et al., (2017) (Papaleontiou et al., 2017).

Dehal et al, and Narayanan et al, highlighted in their study that hemorrhage/hematoma are the most predominant postoperative complication rates after the total thyroidectomy. The range of hemorrhage/ hematoma varied from 0.3% to 5% (Narayanan et al., Dehal et al., 2014). Whereas Christou and Mathonnet report another range for the two most common early complications of thyroid surgery such as hypocalcemia in a range (20-30%)

and recurrent laryngeal nerve injury (5-11%) (Christou & Mathonnet, 2013). Additionally, Grogan et al, reported that the increased age and the presence of comorbidities were found to be significant risk factors for pulmonary, cardiac, and infectious complications in a prior population-based study that had a 30-day postoperative follow-up (Grogan et al., 2012). In this study, Hematoma/hemorrhage resulted in 4.7%, whereas cardiopulmonary and thromboembolic events in 3.1%. the most predominant short-term complications were fever, 17.2%, infection 12.5%, and seroma 7.8%. In addition to long-term complications, cosmetic scares were more frequent at 20.3%, dysphonia at 6.25%, and hypocalcemia at 4.7%. Moreover, we found a significant association, between total thyroidectomy and short-term and long-term complications.

Conclusion

The current study demonstrates that total thyroidectomy is associated with an increased rate of hemorrhagic complications. RLN palsies and hypoparathyroidism are less observed. Male patients undergoing thyroidectomy have higher rates of readmission and ICU admission. Furthermore, male patients revealed higher rates of hemorrhage and wound infection, while hypoparathyroidism or temporary recurrent laryngeal nerve palsy was more frequent among female patients.

Consent for publication: All authors have given their consent for the publication of this paper

Competing interests: Not applicable

Funding Source: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. No financial or any other reward was offered to students who completed the survey. There was no control group, as all participants in the study completed the same survey.

Conflict of interest: The authors declare that there is no financial or non-financial conflict of interest. All the data presented in this paper have been collected on my part and the participant's anonymity is preserved.

References:

1. Abbas, G., Dubner, S., Heller, K.S. (2001). Re-operation for bleeding after thyroidectomy and parathyroidectomy. *Head Neck*.23: 544–6. DOI: 10.1002/hed.1076
2. Abraham, C.R., Ata, A., Carsello, C.B., et al. (2014). A NSQIP risk assessment for thyroid surgery based on comorbidities. *J Am Coll Surg*, 218:1231–7. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.01.055
3. Ardito, G., Revelli, L., Polistena, A., Lucchini, R., Giustozzi, E., Guidi, M. L., Ardito, F., & Avenia, N. (2016). Complications of Neck

- Dissections in Papillary Thyroid Carcinoma: A Modified Procedure to Reduce Parathyroid Morbidity. *In vivo* (Athens, Greece), 30(3), 303–308.
4. Balentine, C.J., Sippel, R.S.(2016). Outpatient Thyroidectomy: Is it Safe?.*Surg Oncol Clin N Am*, 25(1):61-75. doi: 10.1016/j.soc.2015.08.003
 5. Canu, G.L., Medas, F., Cappellacci, F., Giordano, A.B.F., Gurrado, A., Gambardella, C., Docimo, G., et al. (2022). Risk of Complications in Patients Undergoing Completion Thyroidectomy after Hemithyroidectomy for Thyroid Nodule with Indeterminate Cytology: An Italian Multicentre Retrospective Study. *Cancers* (Basel), 17;14(10):2472. doi: 10.3390/cancers14102472.
 6. Caulley, L., Johnson-Obaseki, S., Luo, L., & Javidnia, H. (2017). Risk factors for postoperative complications in total thyroidectomy: A retrospective, risk-adjusted analysis from the National Surgical Quality Improvement Program. *Medicine*, 96(5), e5752. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000005752>
 7. Chen, Z., Zhao, Q., Du, J., Wang, Y., Han, R., Xu, C., Chen, X., & Shu, M. (2021). Risk factors for postoperative hypocalcaemia after thyroidectomy: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of international medical research*, 49(3), 300060521996911. <https://doi.org/10.1177/0300060521996911>
 8. Christou, N., Mathonnet, M. (2013). Complications after total thyroidectomy. *J Visc Surg*, 150(4):249-56. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2013.04.003.
 9. Christou, N., Mathonnet, M. (2013). Complications after total thyroidectomy. *J Visc Surg*,150(4):249-56. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2013.04.003.
 10. Dehal, A., Abbas, A., Al-Tememi, M., Hussain, F., Johna, S. (2014). Impact of surgeon volume on incidence of neck hematoma after thyroid and parathyroid surgery: ten years' analysis of nationwide in-patient sample database. *Am Surg*, 80(10):948–952. <https://doi.org/10.1177/000313481408001008>
 11. Del Rio, P., Carcoforo, P., Medas, F., Bonati, E., Loderer, T., Koleva Radica, M., & Calò, P. (2021). Adverse events in thyroid surgery: observational study in three surgical units with high volume/year. *BMC surgery*, 21(1), 352. <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01353-6>
 12. Del Rio, P., Rossini, M., Montana, C.M. et al. (2019). Postoperative hypocalcemia: analysis of factors influencing early hypocalcemia development following thyroid surgery. *BMC Surg* 18 (Suppl 1), 25 <https://doi.org/10.1186/s12893-019-0483-y>

13. Grogan, R.H., Mitmaker, E.J., Hwang, J., Gosnell, J.E., Duh, Q.Y., Clark, O.H., Shen, W.T. (2012). A population-based prospective cohort study of complications after thyroidectomy in the elderly. *J Clin Endocrinol Metab*, 97(5):1645–1653. doi: 10.1210/jc.2011-1162.
14. Hauch, A., Al-Qurayshi, Z., Randolph, G. et al. Total Thyroidectomy is Associated with Increased Risk of Complications for Low- and High-Volume Surgeons. *Ann Surg Oncol* 21, 3844–3852 (2014). <https://doi.org/10.1245/s10434-014-3846-8>
15. Haugen, B. R., Alexander, E. K., Bible, K. C., Doherty, G. M., Mandel, S. J., Nikiforov, Y. E., et al. (2016). 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer: The American Thyroid Association Guidelines Task Force on Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. *Thyroid: official journal of the American Thyroid Association*, 26(1), 1–133. <https://doi.org/10.1089/thy.2015.0020>
16. Hurtado-López, L.M., Zaldivar-Ramirez, F.R., Basurto, Kuba. E., et al. (2022). Causes for early reintervention after thyroidectomy. *Med Sci Monit*, 8: CR247–50. PMID: 11951065.
17. Lacoste, L., Gineste, D., Karayan, J., et al. (1993). Airway complications in thyroid surgery. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 102:441–6. DOI: 10.1177/000348949310200607.
18. Lukinović, J., & Bilić, M. (2020). Overview of Thyroid Surgery Complications. *Acta clinica Croatica*, 59(Suppl 1), 81–86. <https://doi.org/10.20471/acc.2020.59.s1.10>
19. Narayanan, S., Arumugam, D., Mennona, S., Wang, M., Davidov, T., Trooskin, S.Z. (2016). An evaluation of postoperative complications and cost after short-stay thyroid operations. *Ann Surg Oncol*, 23(5): 1440–1445. doi: 10.1245/s10434-015-5004-3.
20. Ortega, Beltrá. N., Martínez, Ruiz. de Apodaca. P., Guallart Doménech, F., Cuesta, González. M.T., Dalmau, Galofre. (2022). Postoperative hypocalcaemia predictors after total thyroidectomy. *J. Rev Osteoporos Metab Miner*, 14(4):131-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.4321/S1889-836X2022000300006en>.
21. Pandey, A.K., Maithani, T., Agrahari, A., Varma, A., Bansal, C.H., Bhardwaj, A., et al. (2015). Postoperative Complications of Thyroid Surgery: A Corroborative Study with an Overview of Evolution of Thyroid Surgery. *International Journal of Head and Neck Surgery*, 6(4):149-154. DOI:105005/jp-journals-10001-1245.
22. Papaleontiou, M., Hughes, D.T., Guo, C., Banerjee, M., Haymart, M.R. (2017). Population-Based Assessment of Complications

- Following Surgery for Thyroid Cancer. *J Clin Endocrinol Metab*, 102(7):2543–2551. DOI: 10.1210/jc.2017-00255.
23. Prgomet, Drago and Bilić, Mario and Kovač, Lana and Hutinec, Zdenka and Topić, Iva (2012) *Lokalno invazivni papilarni karcinom štitnjače - naša iskustva [Locally invasive papillary thyroid cancer - our experience]*. *Liječnički vjesnik*, 134 (9-10). pp. 266-20. ISSN 0024-3477.
 24. Sørensen, K.R., Klug, T.E. (2015). Routine outpatient thyroid surgery cannot be recommended. *Dan Med J*, 62: pii: A5016.
 25. Sadowski, S. M., Vidal Fortuny, J., & Triponez, F. (2017). A reappraisal of vascular anatomy of the parathyroid gland based on fluorescence techniques. *Gland surgery*, 6(Suppl 1), S30–S37. <https://doi.org/10.21037/g.s.2017.07.10>
 26. Sahmkow, S.I., Audet, N., Nadeau, S., et al. (2012). Outpatient thyroidectomy: safety and patients' satisfaction. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, (suppl 1): S1–2. PMID: 22569044.
 27. Schwartz, A.E., Clark, O.H., Ituarte, P., Lo, Gerfo. P. (1998). Therapeutic controversy: Thyroid surgery the choice. *J Clin Endocrinol Metab*, 83:1097–105. doi: 10.1210/jcem.83.4.4740-1.
 28. Shen, C., Xiang, M., Wu, H., Ma, Y., Chen, L., & Cheng, L. (2013). Routine exposure of recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery can prevent nerve injury. *Neural regeneration research*, 8(17), 1568–1575. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5374.2013.17.00>
 29. Steward, D.L. (2014). The pros and cons of outpatient thyroidectomy. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 140:1074–6. doi: 10.1001/jamaoto.2014.2353.
 30. Wang, Y., Bhandari, A., Yang, F., Zhang, W., Xue, L., Liu, H., Zhang, X., Chen, C. (2017). Risk factors for hypocalcemia and hypoparathyroidism following thyroidectomy: a retrospective Chinese population study. *Cancer Manag Res*, 9:627-635 <https://doi.org/10.2147/CMAR.S148090>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Financement Solidaire des Mutuelles Communautaires de Nutrition (MCN) et l'Amélioration de la Résilience Alimentaire et Nutritionnelle des Enfants: Une Revue Systématique de Littérature

Romaric Dagbeto

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Souleïmane A. Adekambi

Institut Universitaire de Technologie (IUT), Centre de Recherche en
Entrepreneuriat-Création et Innovation (CRECI) & Laboratoire de
Recherche en Dynamique Economie et Sociale (LARDES – UP)

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Jacob A. Yabi

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Institut Universitaire de Technologie (IUT), Centre de Recherche en
Entrepreneuriat-Création et Innovation (CRECI) & Laboratoire de
Recherche en Dynamique Economie et Sociale (LARDES – UP)

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p92](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p92)

Submitted: 22 August 2022
Accepted: 21 February 2023
Published: 28 February 2023

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

Cite As:

Dagbeto R., Adekambi S.A. & Yabi J.A. (2023). *Financement Solidaire des Mutuelles Communautaires de Nutrition (MCN) et l'Amélioration de la Résilience Alimentaire et Nutritionnelle des Enfants: Une Revue Systématique de Littérature*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 92. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p92>

Résumé

La présente étude s'est penchée sur les acquis scientifiques concernant la contribution des mutuelles communautaires de nutrition (MCN) à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des enfants en Afrique et surtout au Bénin. L'objectif de l'étude était de faire un point systématique des revues

scientifiques en lien direct ou indirecte avec la thématique d'étude. Pour ce faire, les principales bases de données numériques AGORA, Google Scholar, Pubmed et Scopus ont été consultées. AGORA a permis de constituer la base de données des revues scientifique pour un traitement statistique. Les combinaisons booléennes utilisées sont (Mutuelle communautaire) AND (Nutrition) ((Sécurité alimentaire) OR (sécurité nutritionnelle)) AND ((Afrique) OR (Mutuelle santé) AND/OR (Enfant). Au total, 1213 articles ont été répertoriés sur le serveur de recherche. L'insertion des critères d'exclusion a permis de recenser 321 articles, qui étaient en lien indirect ou ayant des thématiques similaires avec notre sujet de recherche. Somme toute, après lecture des résumés et ou texte, 34 articles sont en relation de similitude avec la thématique de recherche. Il s'agit de 33 articles de revue et 1 chapitre de livre. L'analyse des données a révélé que la majorité des articles ont été publiés entre 2000 et 2021. Par ailleurs, du point de vue des domaines d'études abordés, le traitement des informations recueillies a montré que les domaines ayant enregistré plus de publication sont : la santé publique, la médecine, l'économie, la sociologie, l'éducation, la science politique et la littérature. Cependant, on note de façons générale un grand vide en ce qui concerne les informations faisant état ou faisant le lien entre les mutuelles et la sécurité alimentaire et nutritionnelle (SAN) chez les enfants. A l'issue de cette revue il ressort que les mutuelles, de par la solidarité entre les membres et la participation démocratique qu'elles favorisent, contribueraient à améliorer significativement le bien-être des populations. Il est également à noter que ces mutuelles ressentent beaucoup d'insuffisances sur le plan socio-économique en occurrence un faible taux d'adhésion et de pénétration qu'il urge à corriger pour les rendre encore plus performant.

Mots-clés : Mutuelle communautaire de nutrition, Sécurité alimentaire, Sécurité nutritionnelle, SAN, Enfants

Mutual Community Nutrition (MCN) and Food and Nutritional Security of Children, Improving Household Nutritional Resilience in a Context of Sustainable Development in Africa: A Systematic Literature Review

Romarc Dagbeto

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Souleïmane A. Adekambi

Institut Universitaire de Technologie (IUT), Centre de Recherche en
Entrepreneuriat-Création et Innovation (CRECI) & Laboratoire de
Recherche en Dynamique Economie et Sociale (LARDES – UP)
Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Jacob A. Yabi

Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin
Institut Universitaire de Technologie (IUT), Centre de Recherche en
Entrepreneuriat-Création et Innovation (CRECI) & Laboratoire de
Recherche en Dynamique Economie et Sociale (LARDES – UP)
Laboratoire de Recherche en Dynamique Economie et Sociale
(LARDES – UP), Université de Parakou, Bénin

Abstract

This study looked at the scientific findings concerning the contribution of community mutuals to the food and nutritional security of children in Africa and especially in Benin. It has set itself the objective of systematically reviewing scientific journals directly or indirectly related to the study theme. To do this, the main digital databases consulted are AGORA, GoogleScholar, Pubmed and Scopus. Agora made it possible to constitute the database of scientific journals for statistical processing. The Boolean combinations used are (Community mutual) AND ((Food security) OR (nutritional security)) AND ((Africa) OR (Health mutual) AND / OR (Child). A total of 1213 articles were listed on the server. After inclusion of the exclusion criteria, 321 articles were directly or indirectly related to our research topic. All in all, after reading the abstracts and / or text, 34 articles are directly related to the research topic of 33 journal articles and 01 book chapter. Analysis of the data revealed that the majority of articles were published between 2000 and 2021. In addition, from the point of view of the fields of study covered, the treatment of the information collected showed that the fields which registered more publication

are: public health, medicine, economics, sociology, education, political science and literature. However, it is important to notify that of the 1213 articles identified, only 37 articles dealt with the contribution of mutual health organizations to food and nutritional security for children in Africa once the interest of this study. At the end of this review, it appears that the mutuals, basing themselves more on criteria such as solidarity and democratic participation, play a significant role in the well-being of the populations. It should also be noted that these mutuals have a lot of shortcomings that need to be corrected to make them even more efficient.

Keywords: Community mutual, Food security, Nutritional security, SAN, children

1. Introduction

En Afrique, pendant les années 70, les aides provenaient principalement des bailleurs de fonds des pays occidentaux. Après une crise majeure survenue au cours de cette période, ils n'ont eu d'autres choix que de suspendre ces flux de capitaux, mettant ainsi fin aux subventions en Afrique (Waelkens, 2004). En conséquence, de nombreuses familles n'ont pas accès à certains services à cause des coûts qui y sont associés. Il était donc devenu ardu pour les habitants des milieux ruraux africains de profiter de certains services sans mettre en péril leur revenu financier (Vanlee, 2017 ; Nyssens & Vermer, 2012).

C'est dans ce contexte d'exclusion induite par une perte d'accessibilité financière, que des programmes d'assurances et de micro finances voient le jour dans les années 1990 en Afrique, à travers les institutions de micro finances (IMFs) (LC, 2018). Malheureusement, ces institutions instaurées ont peine à s'ancrer durablement en Afrique. De nombreux chercheurs ont déploré le faible taux d'adhésion des populations, ce qui a remis fortement en question la viabilité de ces institutions (Defourny et Failon, 2011 ; Bastin et De Leener, 2013 ; Higuette et De Leener, 2018 ; Defourny et Failon, 2011 ; Gankpe et al., 2018 ; Niang et Fall, 2017). Plusieurs études ont été réalisées pour mettre en exergue les raisons du faible taux d'adhésion. Celles-ci se manifestent principalement par le manque de ressources financières, la qualité des services fournis par les prestataires, le faible niveau d'éducation et le manque de compréhension des concepts établis par les institutions de microfinance. (Defourny et Failon, 2011, Kagambega, 2011 ; Gbénahou, 2019).

Suite à ces constats et soucieuse d'augmenter les taux de pénétration ou d'adhésion au niveau des structures (...), les institutions ont opté pour une nouvelle stratégie d'approche, qu'est l'inscription collective des groupements

ou associations à une mutuelle donnée, appelé la « mutuelle communautaire » (Gueyie, 2010 ; Boidin, 2015, Ridde et al., 2021 ; Richard, 2015 ; Buchenrieder, 2019 ; Lekane, 2003 et 2011 ; Boidin, 2012 ; OMS, 2006 ; Nzongang, 2020). Cette stratégie de mutualisme offre plusieurs possibilités aux adhérents. En effet, de nombreuses petites activités, généralement des activités commerciales, ont toujours existé. Ces activités sont développées par des petits-entrepreneurs qui rencontrent d'importantes difficultés ou ne peuvent pas obtenir de financement, ce qui freine leur développement. En raison du manque de garanties, ils ont manqué pendant longtemps des fonds nécessaires (De Briey, 2005) et adhèrent donc à des institutions d'entraide communautaire pour apporter plus de garanties aux institutions de micro finance. Nombreux sont les auteurs qui se sont penchés sur ce système d'approche des IMFs et des programmes d'aide en Afrique (Nzongang, 2003 ; Boidin, 2012 ; Turcotte, 2021).

C'est dans ce contexte, à la fois marqué par une nécessité d'améliorer l'accessibilité financière des populations face à la résilience alimentaire et nutritionnelle que différents systèmes de financement de la nutrition ont vu le jour en Afrique, notamment au Bénin. Ces derniers prennent des formes diverses comme les mutuelles communautaires de nutrition, le prépaiement à travers les systèmes d'épargne-nutrition (constitution d'un fonds d'épargne par un groupe d'adhérents), etc (Nyssens, 2012).

Les défis auxquels sont confrontées ces mutuelles ne sont pas négligeables : au départ, elles suscitent l'enthousiasme auprès des populations cibles, ensuite nombre d'entre elles connaissent des taux d'adhésion inférieurs aux prévisions, un pourcentage faible de renouvellement et des problèmes dans la collecte des cotisations qui sont versées sur base volontaire et non obligatoire (Lona, 2017)

La présente étude se donne pour objectif de faire une revue de littérature sur la thématique « les Mutuelles Communautaires de Nutrition (MCN) face aux risques de la malnutrition chez les enfants de 0 à 59 ans: Une Revue Systématique de Littérature », afin de voir si ce sujet a été largement abordé.

2. Matériels et méthodes

2.1. Méthodologie de recherche

Une revue systématique a été réalisée sur la thématique de recherche et a inclus les mots-clés et expressions suivantes dans diverses combinaisons : (Mutuelle communautaire) AND (Nutrition) ((Sécurité alimentaire) OR (sécurité nutritionnelle)) AND ((Afrique) OR (Mutuelle santé) AND/OR (Enfant). Les principales bases de données numériques consultées sont AGORA, Google Scholar, Pubmed et Scopus. AGORA a permis non seulement de constituer la base de données des revues scientifique pour un

traitement statistique mais aussi d'élaborer les différentes combinaisons d'expressions avec les mots booléens, de même que les synonymes. Des termes d'exclusion ont été également introduits pour éliminer les articles relatifs au domaine de la politique et les notes et rapports non scientifiques. Les termes de recherche finales, y compris les opérateurs booléens, étaient les suivants : ("Mutuelles" ET "Communautaire" OU "Santé" OU "Communauté" ET "SAN" OU "Sécurité alimentaire" ET "Nutritionnelle") ET/OU financement solidaire '

2.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

Toutes les études faisant cas de mutuelles de santé, d'épargne, de tontine, d'accompagnement en Afrique a été inclus pour des analyses supplémentaires. Les études publiées en anglais de même que les résumés en liens avec notre thématique ont été prises en comptes. Les études en espagnol, en portugais, les études modélisant l'évolution future des mutuelles ont été exclues. Les études analysant les mutuelles dans les pays en voie de développement ont été sélectionnées, par souci de cohérence. Nous avons étendu le champ de l'analyse en ajoutant des recherches qui portent sur les affiliations à d'autres types de mutuelles.

Ce processus a été entrepris en trois phases, d'abord sur la base des titres, puis des résumés et enfin les mots clés. Les titres et les résumés ont été examinés indépendamment par une équipe. Les titres comprenant le mot-clé « Mutuelle communautaire » et/ou « mutuelle de santé » et/ou « SAN », sont passés à la phase abstraite de sélection. Les résumés contenant une phrase suggérant l'approche mutualiste et/ou traitante de la SAN ont été choisis. Toutes les analyses ont été faites avec le logiciel R.

3. Résultats

3.1. Description statistique des données de l'état de l'art

D'après les données issues de l'état de l'art, 1213 articles ont été répertoriés sur le serveur de recherche d'AGORA (figure 1), après la première requête. L'insertion des critères d'exclusion a permis de recenser 321 articles, qui étaient en lien indirect ou ayant des thématiques similaires avec notre sujet de recherche. Somme toute, après lecture des résumés et ou texte, 34 documents sont en relation de similitude avec la thématique de recherche (Figure 2). Il s'agit de 33 articles de revue et 1 chapitre de livre. L'analyse des données a révélé que la majorité des articles ont été publiés entre 2000 et 2021 (Figure 3). Les domaines de publication sont : la santé publique, la médecine, l'économie, la sociologie, l'éducation, la science politique et la littérature (Figure 4). On note de façons générale un grand vide en ce qui concerne les informations faisant état ou faisant le lien entre les mutuelles et la SAN chez les enfants

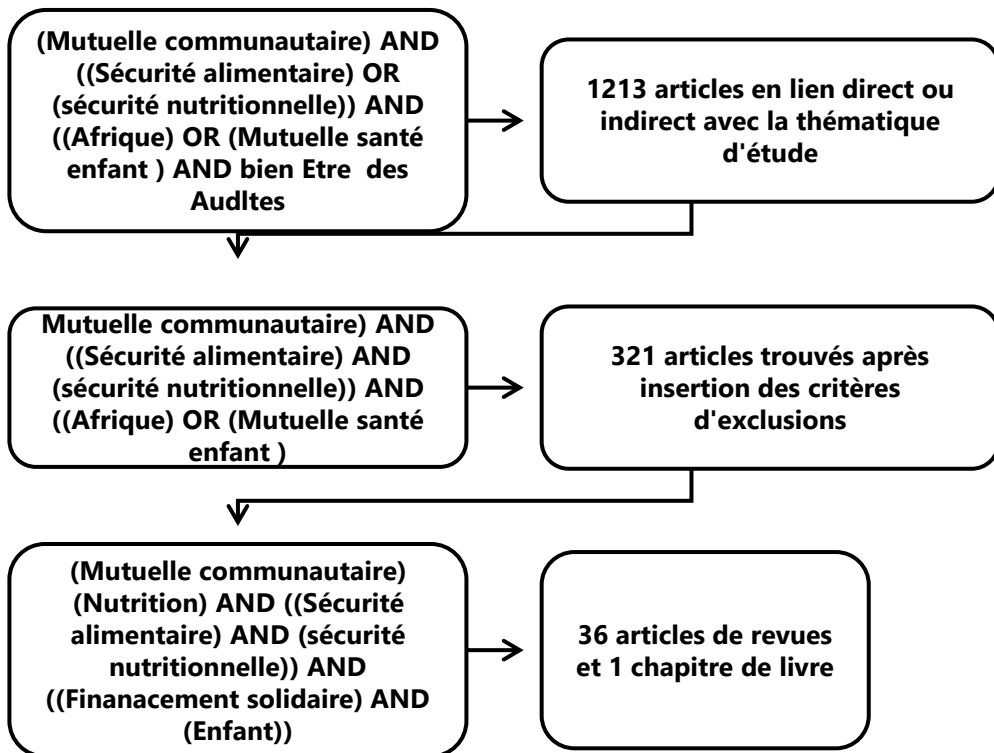


Figure 1. Organigramme de recherche avec les indicateurs booléens

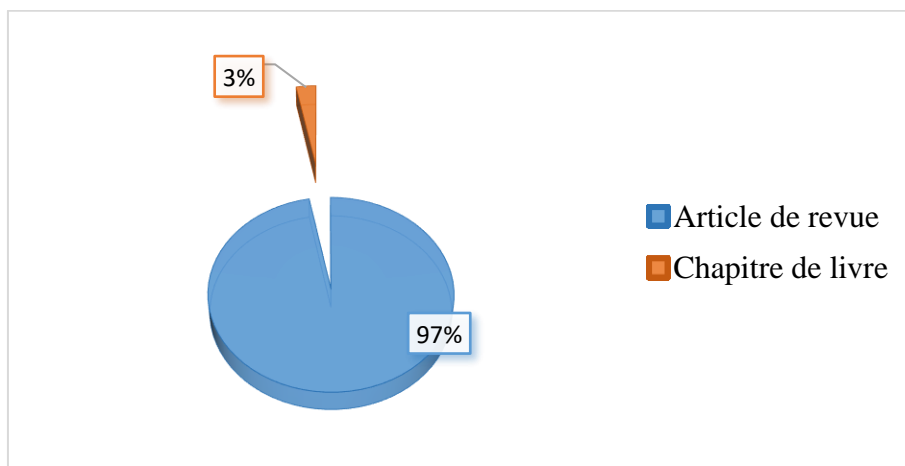


Figure 2. Documentations en lien directe avec la thématique d'étude

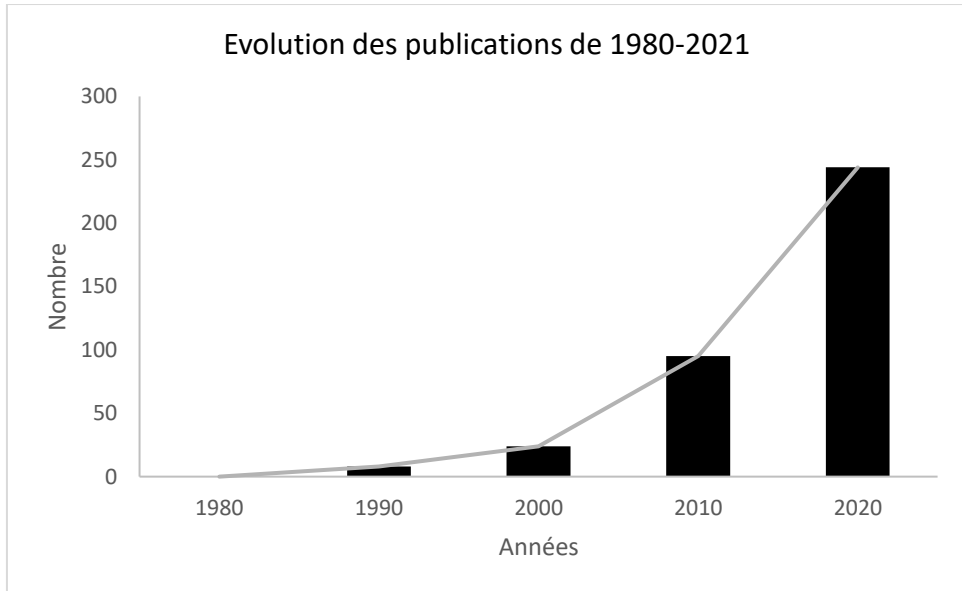


Figure 1. Evolution des publications depuis 1980

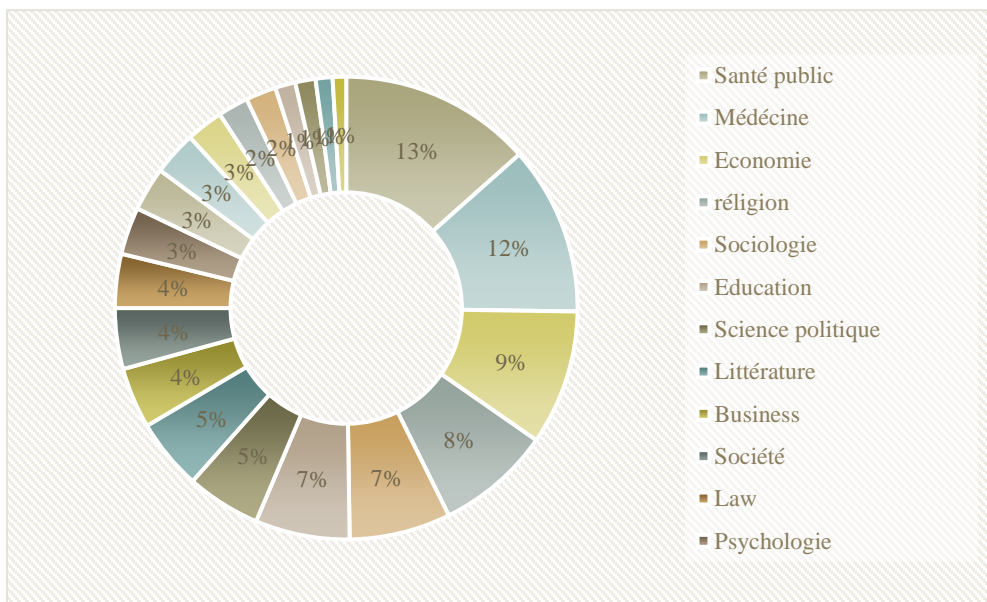


Figure 4. Les différents domaines de publication

3.2. Solidarité et mutualité

Le concept de solidarité a été largement développé dans plusieurs études pour démontrer qu'il n'y pas de mutualité sans un préalable dépendance réciproque. Au total 17 études sur les 33 s'accordent généralement sur le fait que l'adhésion à une mutuelle ne semble pas

liée au genre (De Allegri et al., 2006b ; Jütting, 2005 ; Musango et al., 2004 ; Dubois, 2002, Seck et al., 2017, etc.). les valeurs de solidarité semblent similaires et primordiales chez les membres et les non-membres de la mutuelle de Zabré (Dubois, 2002).

Les milieux qui ne se qualifient pas encore de solidaire prêchent un partage, une unification des différents milieux sociaux ; ils désirent une étroite universelle des hommes. La solidarité ainsi prônée entrevoit la communion et la délivrance collective (Blais, 2008). Atim (2000) indique par ailleurs que, parmi les mutuelles à adhésion volontaire couvertes par son étude, seules deux mutuelles dont le groupe cible était solidairement soudé sont parvenues à atteindre un taux de pénétration élevé (supérieur à 50%).

Même si les mutuelles sont d'abord considérées comme un moyen de couvrir des risques personnels, les membres et anciens membres approuvent les principes de solidarité sur lesquels se basent les mutuelles. Les mécanismes de solidarité informels existants ne suffisent pas à couvrir les risques de santé des ménages. Les mutuelles peuvent donc être un complément opportun à ces mécanismes (Lona, 2017)..

3.3 Déterminants de l'adhésion et de la fidélisation aux mutuelles

Cette partie fait une analyse à partir des études existantes, les raisons pour lesquelles les personnes s'affilient à une mutuelle et renouvellent cette affiliation (Lona, 2017). Nous nous sommes concentrés sur les facteurs principaux qui sont souvent invoqués dans la littérature. Il s'agit principalement de :

- L'accessibilité financière,
- La compréhension de l'assurance
- La confiance,

a. Accessibilité financière

La raison qui est sans doute le plus souvent avancée pour expliquer le faible pourcentage d'affiliations est le fait que les personnes ne peuvent pas payer leur cotisation. Ce motif est en effet régulièrement mentionné par les membres eux-mêmes. C'était également la principale explication du non-renouvellement des membres à une assurance santé au Burkina Faso (Dong et al., 2009). Nous constatons par ailleurs que le montant de la cotisation a une incidence sur les affiliations. Lorsque le montant diminue de 10 %, les affiliations augmentent de 4 à 11 % (Cole et al., 2013 ; Dercon et al., 2011 ; Karlan et al., 2014).

Mais l'accessibilité financière de la cotisation n'est certainement pas la seule cause de ces faibles taux d'affiliation. Dans le cadre des assurances agricoles, Cole et al. (2013) et Karlan et al. (2014) en étudiant des assurances qui ont été vendues à un prix fortement réduit ont montré que malgré tout,

moins de 50 % des personnes ont souscrit à ces assurances. Dans le cadre des assurances santé, tant Bonan et al. (2012) que Thornton et al. (2010) ont octroyé une assurance gratuite dans un premier temps, mais le pourcentage d'affiliation n'atteignait qu'environ 30 %. L'accessibilité financière est donc une raison importante des faibles taux d'affiliation, mais un prix plancher n'est pas un élément suffisant pour générer de nombreuses affiliations.

b. Compréhension de l'assurance

Après l'engouement autour du microcrédit dans les politiques de développement, la micro-assurance suscite l'intérêt croissant de nombreux bailleurs de fonds du développement. Parmi le large éventail de pratiques que revêt ce concept, les mutuelles de santé sont caractérisées par un partage solidaire des risques entre ses membres (Nyssens, 2012). La moitié des articles étudiés se sont accordées sur le fait qu'une bonne compréhension de la notion d'assurance par les adhérents potentiels constitue un grand défi pour les mutuelles. Le concept d'assurance - verser de l'argent en échange d'un remboursement potentiel pour un problème potentiel - n'est pas si simple. Une compréhension limitée du concept d'assurance pourrait donc avoir un impact important sur les taux d'affiliation (Kestemont, 2020). Les études disponibles en donnent toutefois une image plutôt contrastée. Le fonctionnement de l'assurance est bien souvent mal compris. Le fait que les nouveaux membres demandent régulièrement s'ils récupéreront leur cotisation lorsqu'ils n'ont pas bénéficié d'un remboursement pendant un an, en constitue probablement le meilleur exemple (Basaza et al., 2008). Il est possible que leur niveau plus élevé d'éducation leur permette de mieux comprendre le concept d'assurance et facilite leur affiliation (Lona, 2017).

Une bonne compréhension des assurances semble toutefois bel et bien être un facteur important pour les affiliations à long terme. Platteau et Ugarte (2016) ont remarqué, dans une assurance santé en Inde, qu'en général, les membres ne renouvelaient pas leur affiliation lorsqu'ils ne recevaient pas de remboursement pendant un an, sauf lorsqu'ils avaient bien compris le concept des assurances. Pour mettre en place une assurance durable qui peut conserver ses membres et en attirer de nouveaux, il semble dès lors important que la notion d'assurance soit bien comprise par les membres.

c. Confiance

Parmi les facteurs qui influencent l'adhésion, la part de la confiance reste sous-documentée même si son importance est reconnue. En s'affiliant à une mutuelle, un membre accepte de commencer par payer une cotisation et ne recevoir des remboursements que plus tard. Il faut donc avoir la certitude que les montants soient effectivement remboursés en temps voulu. La réaction des membres aux remboursements est un facteur indiquant que la confiance

est un élément important dans la décision de devenir membre et de le rester. Les membres qui bénéficient de remboursements renouvellent beaucoup plus souvent leur affiliation (Fitzpatrick et al., 2011 ; Dong et al., 2009 ; Platteau et Ugarte, 2016). Plusieurs explications sont possibles, mais la plus probable est que les membres qui reçoivent des remboursements font davantage confiance à la mutuelle. Dans le cadre des assurances agricoles, Cole et al. (2013) ainsi que Karlan et al. (2014) pensent par exemple que les personnes souscrivent plus souvent des assurances si elles constatent que leurs connaissances reçoivent des remboursements. Une confiance suffisante semble donc être un facteur important dans la décision de s'affilier.

Les discussions de groupes tenues dans le cadre de la mutuelle Maliando mettent en exergue deux dimensions de la confiance : d'abord il y a la confiance dans la gestion du système, ce qui est fonction de la compétence et de l'intégrité des gestionnaires ; et d'autre part la confiance dans la capacité du système pour mise en place pour l'atteinte des résultats escomptés (Waelkens, 2004)

3.4. Rôles et potentiels des mutuelles communautaires de nutrition

Le concept de mutuelles communautaires de nutrition n'a pas été évoqué dans aucune des études que nous avons explorées au cours de notre recherche. La plupart des études se sont penchées sur les mutuelles de santé communautaires, micro-assurance santé, Community-based Health Insurance etc.

L'environnement conceptuel qui est à la base de l'étude et de la classification des systèmes financiers de mutualisation des risques maladie est fondamentalement différent dans la littérature francophone et anglophone. Cette différence d'approche s'exprime d'abord dans la terminologie utilisée (Waelkens, 2004). Atim (1998) constate qu'il n'y a pas d'équivalent anglais précis pour traduire le terme français mutuel de santé parce que le concept ne semble pas exister dans la culture anglo-saxonne. Il a proposé le terme *Mutual Health Organisations* pour définir les mutuelles qui se sont formées en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale francophone. Le terme qui prévaut dans les études de l'Afrique de l'Est anglophone est l'assurance maladie communautaire (« *community-(based) health insurance* »).

Toutesfois, la population cible des mutuelles communautaires est toute la population d'une aire définie, par exemple la population d'un village, d'un quartier ou d'une ville. La gestion en est généralement assurée par des membres de la communauté. Plusieurs mutuelles communautaires offrent un crédit mutuel aux membres et n'ont pas (encore) adopté l'assurance. L'Association togolaise d'entraide en santé (ATES) au Togo (Broohm, 2000) et la mutuelle. La famille, associée au centre de santé Alodo à Cotonou au Bénin (Gbaguidi, 1998), sont des mutuelles d'épargne-crédit. Les mutuelles

de la région de Luweero en Ouganda offrent un crédit jusqu'à un certain montant et font appel à l'assurance pour les sommes qui dépassent cette limite (McCord et Osinde, 2002a). Les mutuelles communautaires les mieux connues sont celles de la région de Thiès au Sénégal (Wade, 2001). Comme toutes les mutuelles de santé décrites au Sénégal, elles ont adopté le mécanisme d'assurance.

Le concept de mutualité est soumis à une large gamme d'interprétations. Depuis son origine, il admet des traductions très variées (Blais, 2008). Aux premières lueurs des années 90, Borgetto (cité par Pratte, 2010, p. 21) annonce que « mutualité » est le maître mot du champ social et politique en Afrique. Plusieurs auteurs se sont intéressés au concept. Pour mieux cerner les contours, il nous semble nécessaire d'étudier les analyses faites par ceux-ci et de mettre en exergue les propriétés communes. Ainsi, la mutualité communautaire se voit remodelée autour du principe de « responsabilisation » reposant sur les facultés des hommes à décider, choisir et exécuter (Léonard, 2013).

De cette idée de responsabilité mutuelle découle la notion de « dette sociale » qui s'ancre dans la théorie du solidarisme de Léon Bourgeois (Mièvre, 2001). Il est fréquent d'entendre dire que l'Afrique est renommée pour être une société « solidaire ». Pour certains auteurs, ce serait un phénomène évident, voire même légendaire. Toujours selon les mêmes auteurs, les traditions africaines valoriseraient plus qu'ailleurs les relations sociales à un échelon villageois et plus largement ethnique et communautaire. Ainsi, il existerait, tant sur les plans social, économique et culturel, des coopérations constituant des lieux de rencontre et d'associations formelles ou informelles pour la valorisation des intérêts individuels et collectifs (Balse et al., 2015 ; Pollet, 2009 et Tadjudje, 2016).

La mutuelle communautaire, comme n'importe quelle autre organisation sociale, est basée sur des principes qui régissent son fonctionnement. Les principes fondamentaux de la mutuelle sont la solidarité, la participation démocratique, l'autonomie et la liberté dans le respect des lois, l'épanouissement de la personne, la responsabilité dans la gestion et le comportement des membres, la dynamique d'un mouvement social et le but non lucratif (Richard, 2005 ; Atchoua, 2017 ; Mangenot, 2001 ; Mossoux, 2012 ; Demonchy, 2013 ; Synteta, 2010 ; Millet, 2021 ; Nicolai, 2012). Mais de tous ces principes, la solidarité et la participation démocratique constituent la pierre angulaire des mutuelles (Gauthé, 2003). La doctrine mutualiste retient trois (03) modèles : Le modèle mutualiste participatif, le modèle mutualiste géré par le ou les prestataires et le modèle mutualiste de prépaiement (Criel et al., 2005 ; Boidin, 2021).

3.5. Mode de fonctionnement des mutuelles communautaires

Plusieurs études ont expliqué le mode de fonctionnement des mutuelles communautaires en insistant sur son caractère solidaire. La mutuelle communautaire est une association facultative de personnes, à but non lucratif, dont la base de fonctionnement est la solidarité entre tous les membres. Au moyen de la cotisation de ses membres principalement et sur la base de leurs décisions elles mènent en leur faveur et en celle de leur famille, une action de prévoyance d'entraide et de solidarité dans le domaine de risques sociaux (Gueye et al, 2001). L'adhérent d'une mutuelle désigne la personne morale ou physique qui souscrit au système. Dans les mutuelles ou les coopératives, l'adhérent est membre de l'Assemblée générale et dispose, à ce titre, de responsabilités en matière de gestion. L'adhérent, suivant les systèmes et les zones, peut être désigné par d'autres termes comme « affilié », « titulaire », ou « membre » (Kadio, 2017).

La cotisation d'un membre d'une mutuelle désigne une somme d'argent déterminée que l'adhérent de la mutuelle verse à cette dernière pour pouvoir bénéficier de ses services. Elle est encore appelée prime ou contribution. Le droit d'adhésion, est la contribution versée lors de l'adhésion par le nouvel adhérent (Ridde, 2021). Le droit d'adhésion est différent de la cotisation et n'est versé généralement qu'une fois par l'adhérent. Il couvre le plus souvent des frais administratifs et n'est pas récupérable par l'adhérent lorsque celui-ci met fin à son adhésion (Deville, 2018). Les droits d'adhésion sont aussi appelés « droits d'admission » « droits d'entrée », « droits d'inscription ». Toutefois, plusieurs de ces termes peuvent être utilisés dans un même système par exemple, droits d'adhésion pour les adhérents et droits d'inscription pour les autres bénéficiaires (Boidin, 2015).

3.6. Principales typologies des mutuelles répertoriée dans notre étude

Pour différencier les types de mutuelles de santé, deux séries d'études des mutuelles de santé de l'Afrique de l'Ouest¹ se basent sur les liens sociaux entre les membres. On y distingue essentiellement les formes suivantes :

- Les mutuelles corporatistes ;
- Les mutuelles communautaires : parmi celles-ci, Tine (2001) pour le Sénégal, distingue :

¹ Les séries d'études « Contribution actuelle et potentielle de mutuelles de santé au financement, à la fourniture et à l'accès aux soins de santé », résumée dans Atim, 1998 ; la série d'études « Banque de données sur les mutuelles de santé et leurs structures d'appui » qui avait pour objectif de faire l'inventaire des mutuelles de santé dans neuf pays, coordonnée par la « Concertation » <www.concertation.org>.

- Les mutuelles communautaires villageoises ou de quartier qui cherchent à atteindre toute la population d'une aire géographique définie ;
- Les mutuelles initiées et gérées par le prestataire.

Cette typologie met en lumière une classification sur la base d'adhésion des membres : unis par une appartenance professionnelle (mutuelles corporatistes du secteur formel, travailleurs du secteur informel) ou sur base géographique (mutuelles communautaires rurales ou urbaines ; mutuelles initiées par le prestataire). A cela s'ajoute le modèle traditionnel axé sur l'appartenance ethnique (Atim, 1998a)

Ce modèle de classification montre uniquement le lien entre membres mais l'identité du gestionnaire n'est pas mise en exergue.

Sans doute pour contourner ce dilemme, Atim, sur base d'observations au Ghana (1998a), a groupé les mutuelles selon leur mode d'affiliation et participation communautaire à la gestion. Il différencie quatre types (modèles) de mutuelles de santé :

- le modèle à participation communautaire réduite : la gestion est assurée par le prestataire;
- le modèle basé sur un mouvement social : ce modèle est le plus développé parmi les employés du secteur formel urbain (ce qui équivaut aux mutuelles corporatistes, mais inclut également les mutuelles initiées par des coopératives, syndicats, etc.) ;
- le modèle basé sur un réseau d'appartenance ethnique ;
- le modèle complexe de financement communautaire, caractérisé par une forte participation des membres².

3.7. Sécurité alimentaire et nutritionnelle (SAN) des ménages

Dans les pays africains, les interventions des gouvernements et acteurs au développement se poursuivent dans la lutte contre l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Toutefois, force est de constater que le nombre de personnes qui sont privées de la nourriture dont elles ont besoin pour mener une vie saine et active reste inacceptable (FAO, 2015). Selon la FAO, 2018, l'insécurité alimentaire et nutritionnelle des enfants est notamment liée à la disponibilité alimentaire inégalement réparties dans les pays et à une forte incidence de pauvreté dans un contexte récurrent de hausse des prix des denrées alimentaires de base.

Pour plusieurs auteurs, la sécurité alimentaire et nutritionnelle comprend plusieurs dimensions : (i) la disponibilité de la nourriture dans les ménages, aux niveaux local et régional et aux marchés,(Janin, 2012) (ii)

² Ce type de modèle est celui des Mutuelles communautaire de nutrition dont cette étude fait objet.

l'accès à la nourriture pour les ménages (accès physique et financier) (Touzard et Temple, 2012, (iii) la nutrition des membres du ménage (y inclus accès à l'eau potable, repas nutritifs, etc.) (Lankouande et Sirpe, 2020), (iv) la stabilité de ces trois dimensions, (v) l'accès de la population aux services sociaux de base (Klennet, 2006), ainsi que (vi) la capacité défensive des ménages en cas de chocs (Blaney, 2008) et (vii) la participation institutionnelle de la population (à travers des organisations de producteurs, des réseaux locaux, dans les dynamiques communales,...) (Touzard, 2014).

Les ménages sont fortement dépendants des marchés pour s'approvisionner et ont du mal à y accéder financièrement, les IMFs et les systèmes d'entraides communautaires instaurés permettent à ces ménages accès facile aux financements de base au niveau des institutions.

Les pratiques d'alimentation du jeune enfant constituent des facteurs déterminants de l'état nutritionnel des enfants. L'alimentation de complément chez les enfants est très insuffisante. Les stratégies souvent adoptées par les ménages sont la réduction des dépenses non-alimentaires (Namulondo, 2021). C'est une stratégie plus souvent adoptée par les ménages les plus défavorisés et qui ont une consommation alimentaire limite. En revanche, les ménages appartenant aux groupes de l'indice de richesse moyen ont tendance à dépenser leur épargne plus fréquemment. Dépenser l'épargne est une stratégie légèrement plus utilisée par les ménages avec une consommation acceptable que les ménages avec consommation limite. L'expérience a démontré que les plus riches ont plus le réflexe et la possibilité d'épargner et de réinvestir afin de maintenir leur niveau de vie, contrairement aux pauvres qui consacrent la grande partie de leur revenu à leur alimentation et à leurs moyens de production (Mulumeoderhwa et al., 2020).

3.8. Contraintes et particularités des analyses d'impact des mutuels communautaires de nutrition sur la SAN

Les mutuelles communautaires de nutrition ne disposent pas encore d'une documentation suffisante en matière d'analyses d'impact approfondies sur la SAN contrairement aux analyses en termes de viabilité et sur les causes profondes de la pauvreté qui justifient l'existence des IMFs mais le besoin de cette étude nous amène à faire une articulation précise sur deux problématiques :

- La contribution des mutuelles sur le revenu et la consommation des ménages pauvres ;
- l'impact de ce système collectif d'entraide sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle des enfants des ménages.

L'essentiel de la revue de la littérature s'est basé sur les systèmes de micro-finances étudiés par certains chercheurs de 1980 à 2020.

Les études de Malik en 1999 intitulées «Poverty and rural credit» se fondent sur trois enquêtes de ménages pakistanais effectuées au niveau national en 1973, 1985 et 1990. Les résultats obtenus indiquent que l'accès au crédit a un impact positif direct sur la richesse des usagers grâce au lissage efficient de leur consommation combiné à la facilitation des gains de productivité. Les micro-crédits restent indéniablement un mode de financement et de refinancement des activités génératrices de revenu des ménages.

Par ailleurs, les résultats de l'estimation probit des déterminants de l'accès au crédit institutionnel indiquent que la probabilité d'accès au crédit institutionnel augmente significativement avec le montant de la demande. Le niveau d'éducation et les ratios de dépendance (nombre d'enfants par adultes) ont respectivement un impact positif et négatif sur l'accès au crédit institutionnel. De la même manière, la probabilité d'accès augmente significativement avec la valeur des actifs détenus par le demandeur.

Concernant la question de l'adaptation de la micro-finance aux plus pauvres, une des analyses les plus importantes est celle que proposent Hulme et Mosley (1996) dans leur ouvrage « finance against poverty ». En s'appuyant sur les données d'institutions de micro-finance de sept pays, ils comparent la croissance des revenus des emprunteurs avec ceux d'un groupe témoin. Selon leurs conclusions, les institutions qui contribuent avec succès à la réduction de la pauvreté sont particulièrement efficaces dans l'amélioration du statut des segments intermédiaire et supérieur de la population pauvre. En revanche, les personnes se trouvant en deçà du seuil de pauvreté voient leur situation se détériorer après avoir bénéficié d'un crédit. Par ailleurs, l'impact sur les revenus des clients semble être directement lié à leur niveau de revenu initial, ce qui renforce la tendance des institutions de micro-finance soucieuses de préserver leur viabilité à se consacrer aux moins pauvres. En conséquence, la mise au point et l'amélioration des produits de micro-finance continuent d'être orientées vers les segments intermédiaire et supérieur de la population pauvre, au détriment des plus pauvres. Hulme et Mosley estiment que la reconnaissance de l'hétérogénéité des pauvres devrait favoriser l'innovation et l'expérimentation et permettre aux services financiers de toucher davantage les plus pauvres. Toutefois, il existe encore, parmi les pauvres «bancaisables» (ayant une capacité d'endettement) une forte demande en services financiers non satisfaite.

On observe le développement d'un type de système financier non institutionnel au Sénégal et au Bénin qu'on appelle la tontine. L'objectif de ce mode de financement est de permettre de lever les contraintes de crédit mais aussi de partager le risque. Les principes de base qui fondent cette pratique sont: la proximité, l'absence de barrière à l'entrée, simplicité, souplesse,

procédures orales, instantanéité du prêt, occasion de rencontrer et de convivialité, arrangement à l'amiable, coûts faibles.

3.9 Financement communautaires des mutuelles

La question de financement des mutuelles de communautaires nutrition n'a pas fait objet des études ont nous avons parcouru. Plusieurs recherches se sont focalisées sur les financements de mutuelles de santé communautaires. Ainsi dans la mesure où l'État est le premier garant de la santé de la population, celui-ci peut soutenir financièrement les mutuelles de nutrition. À l'exception des mutuelles de sécurité sociale qui bénéficient d'un appui du Ministère du travail, l'État n'intervient pas actuellement financièrement dans ce secteur. Bien que cet appui soit envisagé dans l'avant-projet d'acte communautaire, les ressources financières limitées dont dispose l'État, ne lui permettent pas de soutenir directement les mutuelles. Celui-ci envisage plutôt un rôle de plaider vis-à-vis des partenaires internationaux pour obtenir des financements.

En cas de financement, divers types d'appui sont envisageables. Des soutiens directs peuvent être octroyés. Ainsi, les mutuelles pourraient être financées non seulement par les cotisations des membres mais aussi par des ressources publiques, logique qui est développé au Rwanda (Musango, 2005). Dans la même optique, certains sont favorables à un soutien financier de l'État pour faciliter l'accessibilité des indigents.

Depuis 2001, le Fonds de secours et d'aides sociales cogéré par les Ministères béninois de la santé et des affaires sociales, vise à améliorer l'accès des plus démunis à la santé ; toutefois, par manque d'information, les bénéficiaires potentiels le sous-utilisent. Celui-ci pourrait être mobilisé pour rendre solvable la demande des indigents à travers une prise en charge des cotisations à la mutuelle. Enfin, cibler un soutien financier auprès d'un public particulier peut engendrer certains effets pervers tels qu'une discrimination négative néfaste pour les non-bénéficiaires.

Des soutiens de nature plutôt indirecte peuvent être également déployés. Ils présentent l'avantage, par rapport aux soutiens directs, de préserver l'autonomie du mouvement mutualiste par rapport aux pouvoirs publics.

Ainsi, l'État peut favoriser le développement des mutuelles de nutrition en contribuant à mettre en place un environnement qui leur soit favorable. Cette contribution se manifeste à travers une sensibilisation des populations à la prévoyance et à la culture de l'assurance etc. (Trommershäuser, 2006). Il peut également constituer un fonds de garantie pour les mutuelles communautaires.

La Commission macroéconomie et santé propose une classification qui met l'accent sur la participation communautaire dans les méthodes de

financement des soins de santé (Jakab et Krishnan, 2001). Ils regroupent les différents mécanismes sous le terme de financement communautaire (*community financing*). Par ce terme, les auteurs entendent des systèmes dans lesquels les usagers, qui doivent désormais payer pour les soins de santé, participent à la prise de décision ou à la gestion des systèmes de financement. Ils différencient quatre systèmes :

1. *Community cost sharing* ou *community-managed user fees* : un système de paiement à l'acte, dans lequel les usagers sont activement impliqués dans la détermination des tarifs et des modalités de paiement. Il s'agit en fait de la participation communautaire mise en place dans le cadre de l'Initiative de Bamako ;
2. *Community prepayment* ou *community-based prepayment schemes* ou *mutual health organisations* : les membres de la communauté sont responsables de la collecte des contributions et du paiement des prestataires ;
3. *Provider-based community health insurance* : les prestataires collectent et gèrent les contributions ;
4. *Government or social insurance supported community driven scheme* ou *community-based prepayment linked to government or social insurance system* : un système organisé en annexe d'un régime de sécurité sociale et co-financé par celui-ci ou par l'État.

4.0 Sources de financement des adhérents aux mutuelles

La problématique de source de financement a été évoquée dans plusieurs études (Arhin-Tenkorang, 2001 ; Fonteneau, 2001 ; Ginneken, 2003 ; ACF, 2018) et notamment avec Musango et al. (2004) où il note deux sources importantes des contributions à la mutuelle: l'épargne personnelle d'une part, et le recours à un tiers d'autre part (essentiellement des associations communautaires et/ou des organismes de coopération). Le financement de la contribution par la famille est toujours resté un phénomène marginal. Au cours des quatre ans de fonctionnement de la mutuelle, la première source de financement a progressivement gagné en importance. Ils ont en effet constaté dans les années 2002–2003, que 2/3 des membres ont financé l'adhésion avec des ressources propres.

Pour ce qui est de la fidélisation des adhérents à la mutuelle, la première cohorte annuelle de 115 membres à des taux de fidélisation respectivement 85%, 76% et 96% après un, deux et trois ans. Pour la seconde cohorte ce taux est de 83% pour la première année et de 88% la deuxième année. La troisième cohorte, qui en est à sa seconde année d'adhésion, a un taux de fidélisation de 91% ce qui suggère que le système mutualiste semble suffisamment attractif aux populations. (Musango et al., 2004). Quand un

ménage décide de ré-adhérer à une mutuelle de santé ou à un autre type d'assurance maladie, il compare les avantages de son adhésion précédente à la prime payée (Meessen et al. 2002).

Conclusion

Cette revue systématique de littérature a révélé qu'aucune des études n'ont été réalisées sur la contribution des mutuelles communautaires de nutrition à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages mais plutôt sur les mutuelles de santé. D'après les données analysées seulement 35 articles scientifiques traitent réellement de ce sujet. Néanmoins, les statistiques et la recherche documentaire ont montré qu'il y a une bonne documentation dans le domaine de la mutualité communautaire.

Mais les différents ouvrages parcourus ne proposent pas de réflexion sur les impacts des mutuelles communautaires de nutrition e. En somme, des 1213 articles identifiés de la plateforme AGORA à travers le moteur de recherche research4life, seulement 321 avaient un lien direct ou indirect la dite thématique L'analyse de ces articles a montré que la majorité de ces ouvrages ont été publiés entre 2010 et 2020. Cependant, on note de façon générale un grand vide en ce qui concerne les informations faisant état ou faisant le lien entre les mutuelles et la SAN chez les enfants. Il serait donc intéressant de se pencher sur cette recherche afin d'approfondir les recherches dans ce domaine et d'apporter des outils de prise de décision aux acteurs du développement. D'après nos études, il ressort que les activités de sécurité alimentaire doivent prendre en compte le climat, la géographie, les systèmes socioéconomiques, ou les structures politiques. Voilà pourquoi les programmes sont conçus pour répondre aux besoins spécifiques de chaque crise et de chaque communauté.

References:

1. Atim, C. (1998) The contribution of Mutual Health Organizations to Financing, Delivery, and Access to Health Care: Synthesis of research in nine West and Central African Countries. Bethesda, MD: Abt Associates Inc. <www.concertation.org>
2. Atim, C. (1998a) Contribution actuelle et potentielle des mutuelles de santé au financement, à la fourniture et à l'accès aux soins de santé: Etude de cas au Ghana. Dakar: USAID/PHR, BIT/ACOPAM, BIT/STEP and ANMC/WSM. <<http://www.concertation.org/>>
3. Atchouta, R. A. (2017). De la mutualisation de la santé communautaire à la gouvernance de santé publique: Analyse des déterminants d'adhésion aux mutuelles de santé dans un contexte de dynamique sociale au Centre-Bénin. *Africa Development*, 42(1), 33–54.

4. Balse, M., Ferrier, C., Girard, P., Havard, M., Herbel, D., & Larue, F. (2015). Une expérience originale de mécanisation partagée en Afrique. Les Coopératives d'utilisation de matériel agricole au Bénin.
5. Bastin, M., & De Leener, P. (s. d.). " Les mutuelles de santé dans le nord du Bénin : En quoi la mise en place d'un mécanisme d'adhésions collectives destiné aux groupements socioculturels peut booster le taux de pénétration des mutuelles de santé?"
6. Boidin, B. (2012a). Extension de l'assurance maladie et rôle des mutuelles de santé en Afrique : Les leçons de l'expérience sénégalaise. *Économie publique/Public economics*, 28-29, 47-70.
7. Boidin, B. (2015a). L'extension de la couverture maladie par les mutuelles communautaires en Afrique : Mythes et réalités. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 108(1), 63-69.
8. Boidin, B. (2021). Les mutuelles en Afrique : Enjeux et perspectives. *MTSI*, 1(2).
9. Buchenrieder, G., Gnilachi, J. N., & Benjamin, E. O. (2019). Poverty alleviation through microcredit in Sub-Saharan Africa revisited : New evidence from a Cameroonian village bank, the Mutuelle Communautaire de Croissance. *Agricultural Finance Review*.
10. Criel, B., Diallo, A. A., Vennet, J. V. der, Waelkens, M.-P., & Wiegandt, A. (2005). La difficulté du partenariat entre professionnels de santé et mutualistes : Le cas de la mutuelle de santé Maliando en Guinée-Conakry. *Tropical Medicine & International Health*, 10(5), 450-463.
11. OMS. (2006). Mutuelles communautaires au Maroc et l'OMS.
12. Defourny, J., & Failon, J. (2011). Les déterminants de l'adhésion aux mutuelles de santé en Afrique subsaharienne : Un inventaire des travaux empiriques. *Mondes en développement*, 1, 7-26.
13. Demonchy, M. (2013). Mutualisation : La boîte à outils juridiques. *Gazette des archives*, 232(4), 19-32.
14. Deville, C., Fecher-Bourgeois, F., & Poncelet, M. (2018). Les mutuelles de santé subventionnées comme instruments de la Couverture Maladie Universelle au Sénégal.
15. Dunia, G. M. B. (2013). Implantation des sites de soins communautaires en République Démocratique du Congo : Consécration d'un double standard dans l'accès aux soins. *The Pan African Medical Journal*, 14.
16. Faye, A., Amar, S., & Tal-Dia, A. (2016). Déterminants de l'adhésion aux mutuelles de santé en milieu rural sénégalais. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 64, S259.

17. Gankpe, G. F., Gankpe, E. C., Baleba, A. N., Zinsou, L., & Mesenge, C. (2018). Les mutuelles de santé reproduisent-elles les inégalités de santé au Bénin? *Santé Publique*, 30(3), 389–396.
18. Gbénahou, H. B. M. (2019). Comprendre les faibles taux d'adhésion et de cotisation aux mutuelles de santé : Exploration dans quatre communes du Bénin. *Anthropologie & Santé. Revue internationale francophone d'anthropologie de la santé*, 18.
19. Gueyie, J.-P., Nishimikijimana, É., & Kamdjoug, J. R. K. (2010). Efficience des institutions de microfinance regroupées en réseau : Cas des mutuelles communautaires de croissance du Cameroun. *La revue des Sciences de Gestion*, 3, 103–109.
20. Higuët, E., & De Leener, P. (s. d.). " Les mutuelles de santé dans le nord du Bénin En quoi la mise en place d'un mécanisme d'adhésions collectives destiné aux groupements socio-économiques peut booster le taux de pénétration des mutuelles de santé?
21. Huber, G., Hohmann, J., & Reinhard, K. (2003). *Mutuelles de santé-5 années d'expérience en Afrique de l'Ouest*. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
22. Janin, P., & De Suremain, C.-E. (2012). *L'insécurité alimentaire : Dimensions, contextes et enjeux*. La Documentation française.
23. Kadio, K., Ouedraogo, A., Kafando, Y., & Ridde, V. (2017). Émergence et formulation d'un programme de solidarité pour affilier les plus pauvres à une assurance maladie au Burkina Faso. *Sciences sociales et santé*, 35(2), 43–68.
24. Kagambega, M. (2011). *l'assurance maladie au Burkina Faso : De la logique thérapeutique des acteurs sociaux, à l'appropriation des systèmes de mutualisation des risques sanitaires [PhD Thesis]*. Bordeaux 2.
25. Kestemont M., UCLouvain & Paul E. *Le rôle des mutuelles de santé et des initiatives d'économie sociale dans l'extension des mécanismes de protection sociale aux travailleurs ruraux du Bénin*
26. Klennert, K. (2006). *Assurer la sécurité alimentaire et Nutritionnelle*. ImVent. Stuttgart, 303.
27. Lankouande, E., & Sirpe, G. (2020). *Analyse Dimensionnelle de La Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle : Approche des Capabilités*.
28. Laverentz, M. (2010). *Mutualité, Passage à l'échelle et extension de l'assurance maladie*.
29. Lekane, T. D. (2003). *Mutuelle communautaire de croissance (MC2) et de développement rural à Baham (Cameroun)*. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 56(221), 67–86.
30. Lekane Tsobgou, D. (2011). *Micro finance et développement communautaire au Cameroun : Le cas du réseau des mutuelles*

- communautaires de croissance (MC²) [PhD Thesis]. Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun.
31. Malik, S. J. (1999). Poverty and rural credit : The case of Pakistan.
 32. Mangenot, F., & Miguet, M. (2001). Suivi par Internet d'un cours de maîtrise à distance : Entre individualisation et mutualisation. Cinquième colloque hypermédias et apprentissages, 259–266.
 33. Marchandon, G. (2000). L'avenir du concept " mutualiste". La Revue des Sciences de Gestion: Direction et Gestion, 186, 5.
 34. Meessen, B., Criel, B. et Kegels, G. (2002) Les arrangements formels de mise en commun des risques maladie en Afrique subsaharienne : Pistes de réflexion sur les obstacles rencontrés. Revue Internationale de Sécurité Sociale. 55(2) : 91-116.
 35. Millet, P.-A. (2021). L'avenir de l'intercommunalité–Blog Vénissian de Pierre-Alain Millet.
 36. Mossoux, Y. (2012). L'application du principe du pollueur-payeur à la gestion du risque environnemental et à la mutualisation des coûts de la pollution. Lex electronica, 17(1).
 37. Laurent Musango, Bruno Dujardin, Michel Dramaix and Bart Criel (2004). Le profil des membres et des non membres des mutuelles de santé au Rwanda: le cas du district sanitaire de Kabutare. Cahiers Santé 14.
 38. Niang, B. B., & Fall, Nd. (2017). La couverture maladie universelle et les mutuelles de santé. L'économie informelle, l'entrepreneuriat et l'emploi, 103.
 39. Nicolaï, J.-P. (2012). Financement du budget communautaire et "valeur de l'union". Document de travail du Centre d'Analyse Stratégique, 2012-10.
 40. Nyssens, M., Vermer, M.-C., & Wélé, P. (2007). La régulation des mutuelles de santé au Bénin. GRAP/OSC, Louvain-la-Neuve.
 41. Nzongang, J., & Nimpa, A. T. (2020). Gouvernance communautaire et pérennité des Institutions de Micro Finance au Cameroun : Le cas du réseau MC² (Mutuelle Communautaire et Croissance). Revue internationale des sciences de l'organisation, 1, 33–55.
 42. Pollet, I. (2009). Coopératives en Afrique : L'âge de la reconstruction– Synthèse d'une étude menée dans neuf pays africains. International Labour Organization.
 43. Richard, V. (2005a). Financement communautaire de la santé en Afrique : Les mutuelles de santé. Médecine Trop, 65, 87–90.
 44. Richard, V. (2005b). Financement communautaire de la santé en Afrique : Les mutuelles de santé. Médecine Trop, 65, 87–90.

45. Ridde, V., Antwi, A. A., Boidin, B., Chemouni, B., Hane, F., & Touré, L. (2021a). Les défis des mutuelles communautaires en Afrique de l'Ouest. Vers une couverture sanitaire universelle en 2030?
46. Ridde, V., Antwi, A. A., Boidin, B., Chemouni, B., Hane, F., & Touré, L. (2021b). Les défis des mutuelles communautaires en Afrique de l'Ouest. Vers une couverture sanitaire universelle en 2030?
47. Rubel, K. (2002). Le concept de mutualité et l'évolution des assurances sociales en Europe [PhD Thesis]. Paris 2.
48. Synteta, D. K. S.-V. (s. d.). Community building, mutualisation de connaissances et knowledge management.
49. Tadjudje, W. (2016). Le cautionnement mutuel et l'inclusion financière en Afrique.
50. Touzard, J.-M., & Temple, L. (2012). Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire : Vers un nouvel agenda de recherche? *Cahiers Agricultures*, 21(5), 293–301.
51. Turcotte-Tremblay, A.-M., Gali-Gali, I. A., & Ridde, V. (2021). Le financement basé sur les résultats a engendré des conséquences non intentionnelles dans des centres de santé au Burkina Faso. Vers une couverture sanitaire universelle en 2030?
52. Maria-Pia Waelkens, and Bart Criel (2004). Les mutuelles de santé en Afrique Sub-saharienne : État des Lieux et Réflexions sur un Agenda de Recherche.

Family Farming Systems in Northern Central Cameroon: Challenges and Prospects for Food Security

Pierre Marie Chimi

Department of Plant Biology - Research Unit in Forest Ecology
Department of Plant Biology - Laboratory of Plant Genetics and Improvement.
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

William Armand Mala

Department of Plant Biology - Research Unit in Forest Ecology
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

François Manga Essouma

Vegetable Production Division, Institute of Agricultural Research for Development
(IRAD), Yaoundé, Cameroon. Department of Plant Biology - Laboratory of
Biotechnology, Unit of Phytopathology and Microbiology
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Abdel Karimou Ngamsou

Department of Plant Biology - Research Unit in Forest Ecology
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

John Hermann Matick

Department of Plant Biology-Laboratory of pharmacology and toxicology

Jean Louis Fobane

Department of Biology, Teacher training college
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Forbi Preasious Funwi

Department of Plant Biology - Research Unit in Forest Ecology
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon
Millennium Ecologic Museum, Yaoundé, Cameroon

Michele Elodie Kouoguem Kamdem

Lethicia Flavine Feunang Nganmegni

Department of Plant Biology - Research Unit in Forest Ecology
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Joseph Martin Bell

Department of Plant Biology - Laboratory of Plant Genetics and Improvement.
University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p115](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p115)

Submitted: 20 October 2022

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Chimi P.M., Mala W.A., Essouma F.M., Ngansou A.K., Matick J.H., Fobane J.L., Funwi F.P., Kamdem M.E.K., Nganmegni L.F.F. & Bell J.M. (2023). *Family Farming Systems in Northern Central Cameroon: Challenges and Prospects for Food Security*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 115. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p115>

Abstract

If family farming is supported, it can serve as a foundation for growth and food security. One of Cameroon's biggest development challenges is still food insecurity. Therefore, the purpose of this study was to investigate the situation and key determinants of food security in the northern forest-savanna transition zone of the Central Cameroon Region. To do this, 180 family farmers from Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala participated in a survey and field observations (January-March 2020; March-May 2021, and July-September 2021). According to this survey and these findings, the useful agricultural area is 4.55 ± 0.21 hectares. Cocoa, yam, cassava, maize, plantain, sweet potato, and peanut are the principal crops mentioned. With a mixed workforce, the vast majority of agricultural work is performed manually (machetes, daba, etc). (Family and external). Seven significant challenges face family farming in these areas: poor market organization, bad road/track conditions, a lack of inputs, seasonal uncertainties/rainfall deficits, challenging access to irrigation, unstable land tenure, challenging access to credit, and challenging access to agricultural equipment. Each community faces unique challenges. The family agricultural industry, which these people rely on for their food security, needs to be saved to overcome these obstacles. According to the findings, expanding access to financial and commercial services will help agricultural operations in the study area increase food security. This will be in line with initiatives made by both governmental and non-governmental organizations to advance agricultural technologies as a way to address the issue of food insecurity.

Keywords: Food insecurity, family farming, agricultural methods, the unreliability of the climate

Introduction

In worldwide development objectives, such as the Sustainable Development Goals, one of the key challenges is food security (SDGs). This indicates how crucial it is for emerging nations. Globally, 815 million people are undernourished, according to (FAO, 2021), and the trend is continuing to worsen in comparison to earlier years. People from developing nations make up the majority of the undernourished.

As a result, research and public policy must reconsider agricultural innovation trajectories to consider their long-term social implications in light of the resurgence of development issues in Africa linked to climate disruption

and the crises of the industrial agriculture paradigm (Temple et al., 2018). This rejuvenation is critical because it takes place amid quickening socio-demographic changes, which are evident in Sub-Saharan Africa's explosive population increase and urbanization (Leridon, 2015). Africa's agricultural innovation is still firmly centered on achieving sustainable food security goals, i.e., providing for and maintaining the health of a rising population while protecting the environment.

Indeed, the green revolution of the 1970s and 1980s, which concentrated on intense and highly productive agricultural models, has left its mark on the design of agricultural systems. These models are now under scrutiny, as demonstrated by the research on pesticide contamination of groundwater by (Branchet et al., 2021). Therefore, better defining the innovation processes that will enable the rejuvenation of the agricultural model(s) fit the present and future development problems of the African continent is a key scientific, economic, political, and food issue. With more than 95% of farmers living on rainfed fields, it is the area of the world that is most vulnerable to long-term declines in rainfall and seasonal rainfall variability (Christensen & Christensen, 2007). The agricultural problem in Africa is primarily seen through the lenses of hunger, malnutrition, poverty, and therefore underdevelopment, as stated by (Cervantes-Godoy & Dewbre, 2010).

Due to the negative consequences of climate change, the majority of African countries' currently-cultivated land would be useless by 2050 (Burke et al., 2009). Furthermore, smallholder family farms that employ a variety of cropping methods and products that are geared toward both self-consumption and the market dominate African agriculture. They produce more than 80% of Africa's agricultural output (Ajadi et al., 2015). There are a few small and medium-sized farms nearby these larger farms. They frequently work in unfavorable conditions, such as those caused by bad soil, low productivity, limited access to resources, an unorganized market information system, etc. The environment's social, cultural, economic, and spiritual structure has further effects on them (Ajadi et al., 2015).

Several development methods have been started in response to these limitations, both to help the farms and to integrate them into a context of global and sustainable development. (Knox et al., 2012) project declines of up to 50% in some of Africa's principal crops, particularly the staple foods of the bulk of the population, rice, maize, wheat, sorghum, and millet. Strategies to address the food demands of African populations in rural and urban regions depend heavily on the growth of family farms. Farms, however, come in a wide range of sizes, levels of availability to resources for production, technical options, and sensitivity to changes in the external environment. Because of this variety,

government interventions and those of different development assistance groups are complicated (Agossou et al., 2015).

For some, these phenomena will cause recurring food crises in the future, which will have an even greater impact on global food security (FAO, 2016; Y. Allé et al., 2013). The ability to get food will be significantly impacted in several African nations. In most climate scenarios, sub-Saharan Africa will be responsible for 40-50% of the world's hunger by 2080, up from 24% currently (UNDP, 2021).

Due to its cultural, geographic, and economic diversity, Cameroon, which is situated in Central Africa on the Gulf of Guinea, is referred to as a miniature Africa. The nation, which has a total size of about 475,000 km², has a lot of agroecological potential (WFP, 2016). According to estimates from (IMF, 2022)), Cameroon's population increased significantly between 1980 and 2015, rising from roughly 8823000 to 23100000. More than half of Cameroon's population lives in rural areas, according to the general population and housing census conducted in 2005 (BUCREP/INS, 2005). This compares to 48.8 percent who live in urban areas. When considering the population's contribution to the expansion of agriculture, this represents a comparative advantage.

Cameroon is not immune to these problems, and the northernmost sector of its central region is particularly vulnerable. The nation faces the threat of climate change in addition to the weight of demographics. Additionally, roughly one million people, or 9.6 percent of households, experience food insecurity in rural areas as a whole (2.2 percent severe and 7.4 percent moderate). This national average conceals significant regional variation and especially high rates in the country's north (WFP, 2016). Because approximately 86 percent of the working population is employed in agriculture, which depends on rainwater, the nation's food security is more vulnerable to the negative consequences of climate change (MINEPDED, 2015).

Therefore, several studies on the determinants of adaptation to climate change have been conducted, including (Chimi et al., 2022)), and food security management strategies have been developed by the state and development organizations. These studies have helped to better understand the concept of food security that suits the adverse effects of climate change (WFP, 2016). The majority of this research is devoted to figuring out how to adapt to changing climates and build resilience to them.

This study expands upon the body of previous research in this area by utilizing distinctive primary data from the Central Region. As a result, it made an effort to assess the situation and key determinants of food security in the forest-savanna transition zone in the northern Central Region of Cameroon. To do this, it had to look at the socioeconomic circumstances of agricultural

households, their production practices, and their access to key production inputs. Several theories were advanced, including the following: (i) experience, wealth, and decision-making are significantly influenced by age; (ii) production systems in the four districts are highly variable; (iii) labor types have an impact on yields, and (iv) cultivation practices vary among the study sites. The results will be confirmed after a debate in light of the findings and evaluation of current development challenges, taking into account the agroecological diversity of the forest-savanna transition zones.

Conceptual framework

The intellectual underpinnings of food security are presented in this section. Food security is defined as everyone having access to enough food for a healthy life at all times (Mohamed, 2021; Von Braun et al., 1992). According to (Pieters et al., 2013), this study employs a conceptual framework that takes into account this notion of food security (Figure 1). The household's accessibility to food is referred to as the food availability dimension of food security. In this regard, the current study assumes that crop production and livestock ownership play a significant role in determining this dimension. As a result, consideration is given to both livestock and factors that influence crop output. Access to markets affects food availability, which is also significant (Pieters et al., 2013). Another somewhat similar idea is having access to food. Access to enough food is referred to as this. Off-farm income and credit availability are taken into consideration when calculating households' capacity to buy food. Similar to this, a household's susceptibility to food shortages influences the status of the household's food security, which is heavily influenced by the shock's occurrence, the education level (including analytical and forecasting skills), and the ownership of animals (Muche et al., 2014).). Diet quality is mostly correlated with food usage. The gender and degree of education of the household head may have a significant impact on the decision to consume a high-quality diet. Additionally, gender and age may have an impact on nutritional requirements (Pieters et al., 2013).

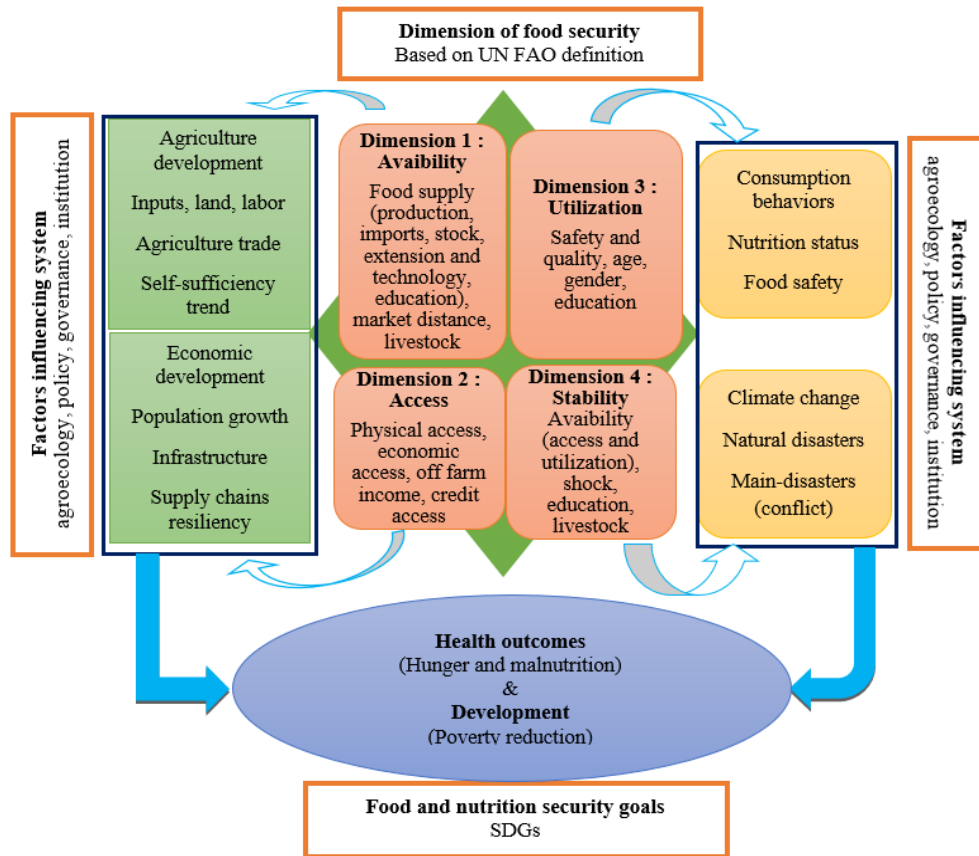


Figure 1. Conceptual framework of the study

Materials and Methods

Presentation of the study sites

This study was carried out in the Central Cameroon region's two departments: Mbam-et-Kim, namely in the arrondissements of Ntui and Mbangassina, and Lékié, specifically in the communes of Batchenga and Obala (Figure 2). There are two separate rainy seasons per year at these various study locations since they are situated in a bimodal humid forest zone. The agroecological zone (AEZ) that is the largest is this one (Boulaud, 2014). The transition zones between the forest and savanna include both departments (Letouzey et al., 1985; Onana, 2018). It seems to contain several exemplary agroclimatic systems. These terroirs were selected for more reasons than only the contrasts in average yearly rainfall, demography, access to land, and marketability. The predominance of food crops and cocoa in these departments is their defining characteristic. In fact, (i) this region ranks among the top in the country for production; (ii) this region has diverse agro-

ecological characteristics, the dynamism of family farms, and (iv) understanding the individual representations of farmers regarding their means and techniques of production in that the study invokes the notion of perception, and clarifying the meaning of practice.

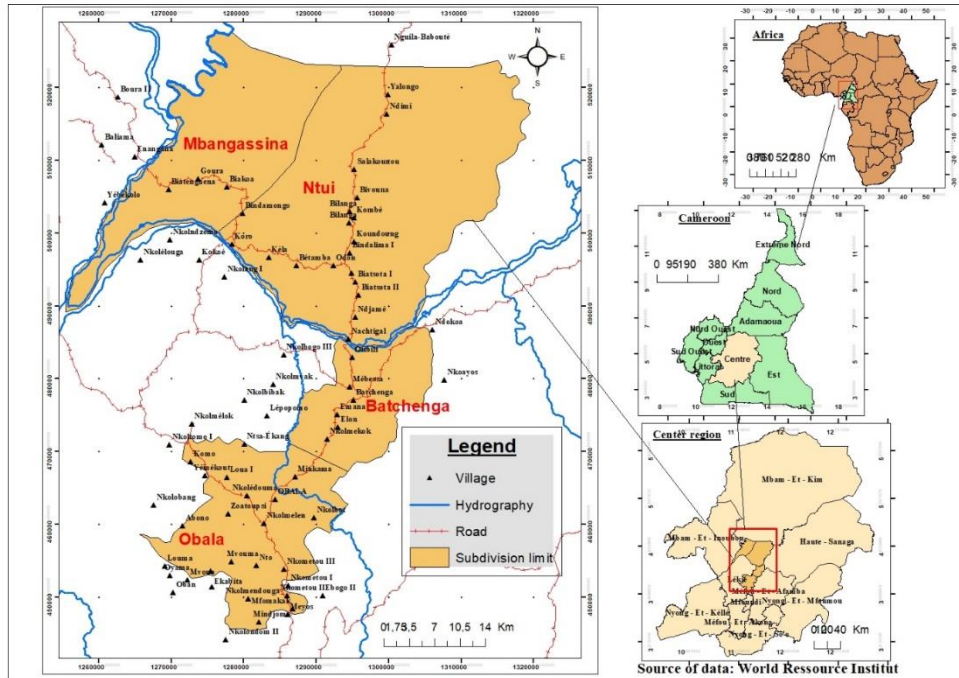


Figure 2. Map of the study area

Methods Sampling

The intended sample size was used to calculate the number of households (N) to be surveyed in each village for the study's selection of farm households, with N equal to 10, 15, and 20 in villages with more than [0-99], [100-199], and [300-399] households, respectively (Bocquet, 2000; Chimi et al., 2022). A systematic or interval sampling approach was used to sample the entire hamlet. Calculating the number of households in the space (R) between the two households to be interviewed as part of this sampling technique (N). The gap that needed to be filled was calculated using the formula ($R = P/N$) (Chimi et al., 2022; PAR, 2018).

Where N is the total number of households to be questioned; R is the number of households that make up the gap between the two households to be interviewed, and P is the total number of households in the village.

To determine the number of households in each village, a preliminary interview was held with each chief and the MCHW(s) in charge of their respective regions. Based on origin, gender, age, and length of residence, each

responder served as the head of the farm. The requirement for non-origin responders was an independent farm. Surveys were carried out in 17 communities within the study region, which was chosen based on the location of the croplands (dryland and/or floodplain). 180 agricultural homes were chosen as the sample size.

Data collection techniques and tools

The Accelerated Participatory Research Method (APRM), which employs techniques like semi-structured interviews, participatory observation, data mining, revealing quotes, and triangulation, was used to collect the data (Chimi et al., 2022; Mayer et al., 2000). The sampled farm managers were given a semi-structured questionnaire that was used to collect both qualitative and quantitative data. The information relates to the respondent's socioeconomic and demographic traits, the various crops planted, the area sown, and the availability of financial services and agricultural advice throughout the previous agricultural seasons. A semi-structured interview guide was used to create a monograph of each hamlet through a focus group of 10–15 individuals with a range of socio-professional characteristics.

The gathering process was divided into three phases: January through March 2020; March through May 2021; and July through September 2021. The organization of farms provides the foundation for the questionnaire. The socio-demographic characteristics (gender, level of education, marital status, age, and size of the household), as well as the number of farm assets, production equipment, crop areas, inputs used, off-farm activities, the type of laborer employed, crops grown, farm equipment, and issues specific to family farming, were the main variables collected and calculated. The farms' two rainfed crop cycles and off-season crops are the subjects of the data that was gathered there.

In addition, 180 chosen family farmers participated in a survey that used a systemic approach. This strategy involves familiarizing oneself with how farms operate (Mushagalusa et al., 2015). Along with this strategy, observation was more important in comprehending the farming environment. The farmers in the seventeen villages were chosen at random, and the villages were purposefully chosen. The districts of Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala were picked because they were easily accessible and because agriculture predominated there throughout the year. Family farmers are preferred because they are the ones who decide on the farming methods to use, as well as the producers and consumers of their farms' food. To achieve this, the study's interest in family farming aligns with the ideas of (Ferraton & Touzard, 2009; Mushagalusa et al., 2015): family farming gathers a sizable portion of the population, then it is impoverished and aids in development, and

finally, it provides a variety of services to society, including ensuring food security.

Data processing and statistical analyses

A database produced with the KoBo toolkit was subjected to statistical analyses and tests of average comparison using SPSS 20, Xlstat 2022.2.1.1294, and Rstudio 2022.07.1-554. The latter was utilized to gather data on the ground. For processing, the data was moved to Excel 2022. For calculations and the creation of tables and graphs, this spreadsheet was used. The data was combined using pivot tables.

The information for this task came from the answers to the questions. After obtaining the database, many analyses might be carried out. These were employed to bolster the discussion's point. The primary parameters of position (mean, frequency, maximum, and minimum) and dispersion (variances, standard deviation, and/or standard deviation) were first determined by descriptive studies. Graphical representations were then created (histogram, boxplot, bar, and pie charts). Tests of statistics (pairwise comparisons, association, parametric and non-parametric). Regression analysis was utilized to establish the relationship between household size and family labor, and the Kruskal Wallis test at the 5% level was employed to compare means and village differences. After entering the map data into Excel, Arcgis 9.1 exported it for processing. The primary challenge in doing this research is the dispersed nature of farmer fields, which causes some farmers to underestimate the size of their farms. The interpretation of a figure less than 1' may be unclear because so few farmers in the entire sample had less equipment (a pickaxe, planter, and watering can), especially because rounding has been reserved. The outcome of the data analysis enables us to characterize the farms' contributions to food security to display the results.

Results

1. Socio-economic situation and production system in the zone

1.1 Socio-demographic characteristics of farmers

The findings indicate that there is a difference between the four localities, with men making up 73.3 percent of FTs and women 26.7 percent (p-value = 0.008). The majority of farm managers are wed (60.5 percent). Christians make up 83.63 percent of respondents, while Muslims make up 9.45 percent. With 62.2 percent of its sample, the Obala district has the highest percentage of civil and religious weddings. Most males in the EC live monogamous lives—91.93%. With 15.4%, Ntui has the highest polygamy rate. 55.56 percent of FTs do not belong to a cooperative that represents farmers. There is no independent relationship between localities and participation in a peasant group because the calculated p-value (p-

value=0.0002) is below the significance level $\alpha=0.05$. Additionally, the p-values (Fisher's exact test) of the no and yes modalities for Mbangassina, Ntui, and Obala are significant at the $\alpha=0.05$ level (0.040 and 0.040, 0.040 and 0.040, and 0.0001 and 0.0001, respectively).

The findings show that while 17.8 percent of respondents lack formal education, 82.3 percent of respondents can at least read and write. Of the respondents, 42.8% have completed at least their elementary schooling. 4.45 percent of farm managers have a higher degree, which is a very small percentage. Additionally, because the computed p-value is greater than the significance level of $\alpha=0.05$, there is no locality difference. With only 1% of the total institutions in the three districts being higher education facilities, there is a notable lack. The socio-demographic profile also reveals significant variations in these districts.

The average age of the 17 villages according to socioeconomic surveys is 49.42 \pm 0.93 years, indicating that young people do not have easy access to land and do not inherit relatively young. The typical number of years in farming is 21.17 \pm 0.18 years. There are 8 people in the typical home. Additionally, the sample reveals that 69.44 percent of FTs are also responsible for other persons. On average, there are 4 of them. 85 percent of the 180 farmers who were interviewed believe that they are primarily farmers (84 percent of farmers and 1 percent of retired civil servants converted into farmers).

The primary source of income for households in the study region, which has an average area of 4.560.21 ha, is agriculture. The petty trade sector (6%) and employment in public administration follow agriculture (4 percent). The research area's average monthly household income is 777472 - 67510.90 F CFA.

1.2 Agricultural equipment used

Family farms use a variety of equipment. The analysis of variance data revealed a substantial variation in the number of machetes, daba, boots, wheelbarrows, and sprayers owned between the districts. Seeders, files, watering cans, gangs, sprayers, cocoa harvesting hoses, motorbikes, motor pumps, motor tricycles, pickaxes/planters, rakes, tractors, and chainsaws were all reported to be in the same amount of possession. The daba is the only item held in higher quantities, it is stated (85.55 percent). Only a small percentage of farmers in Batchenga (17.78%) and Ntui (26.67%) have watering cans and hoes, respectively (Table 1).\

Table 1. Equipment used on the farms

EAF material	Batchenga	Mbangassina	Ntui	Obala	p-value	Average
Daba	2.3±0.21 ^b	2.69±0.20 ^b	1.33±0.10 ^a	2.32±0.18 ^b	<0.0001	2.20±0.10
Boots	2.27±0.36 ^b	1.65±0.16 ^{ab}	2±0.33 ^{ab}	1.33±0.08 ^a	0.037	1.65±0.10
Wheelbarrow	1.67±0.16 ^{ab}	1.95±0.19 ^b	1.79±0.20 ^{ab}	1.30±0.07 ^a	0.036	1.68±0.08
Machete	2.4± 0.09 ^b	1.52±0.07 ^a	3.31±0.65 ^{ab}	2.35±0.32 ^b	<0.0001	2.3±0.15
Sprayer	1.09±0.06 ^a	2.52±0.35 ^b	1.67±0.28 ^{ab}	1.65±0.26 ^{ab}	0.001	1.78±0.15

The different letters next to the means ± standard error indicate the significant difference at the 5% probability threshold after the two-tailed Steel-Dwass-Critchlow-Fligner test.

1.3. Production Systems

Subsistence agriculture, which is practiced in the northern zone of Central Cameroon, has three main characteristics: small-scale farming; primarily manual labor using basic tools like a machete, daba, boots, wheelbarrow, and sprayer; and the use of high-performance agricultural inputs for cocoa cultivation, such as seeds or cuttings of improved varieties, pesticides, and chemical fertilizers.

1.3.1. Useful agricultural areas and main crops

With a minimum of 0.75 ha and a high of 17 ha, the average size of fields used for farming is 4.55 0.21 ha. There is a significant difference between the localities and the variable useable agricultural area because the estimated p-value is less than the threshold for significance alpha=0.05. According to the data, the major crop's minimum and maximum acreage are 0.25 ha and 15 ha, respectively, with a combined average of 3.12 0.2 ha for the four districts. At the 5% cutoff, there is a considerable discrepancy between the values of the four districts (p-value = 0.0002).

There is a link between the four localities, and the area used for market gardening is 1.09 0.13 hectares. The computed p-value is below the 5 percent cutoff. *Theobroma cacao*, or cocoa, is the primary cash crop and is grown by farmers in the northern section of the Central Region on an average of 3.540.03 ha. The 4 communes are connected (p-value = 0.0003). The producing basins of Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala are used to grow food crops. This basin is 1.67 0.18 ha on average, with a minimum area of 0.25 ha and a maximum area of 4.5 ha. p-value=0.08; there is no connection between the places because the calculated p-value is greater than the significance level alpha=0.05.

According to the findings, a farmer typically cultivates 0.37 x 0.031 hectares (ha) of *Zea mays* (maize), 0.46 x 0.03 ha of *Manihot esculenta* (cassava), 0.19 x 0.011 ha of *Arachis hypogaea* (groundnut), 0.16 x 0.01 ha of *Ipomea batatas* (sweet potato), 0.28 x 0.03 ha of *Dioscorea* spp. (plantain).

Musa spp. (sweet banana), *Cucumeropsis mannii* (cucumber), *Xanthosoma* sp. (cocoyam), *Sesamum indicum* (sesame), *Vigna subterranea* (voadzou), and other fruit trees are further crops connected to the latter. Few people farm *Oryza sativa* (rice) on 7 acres of land in the Batchenga district. However, the districts of Batchenga and Obala stand out for the area dedicated to maize, cassava, and market garden crops, while the districts of Ntui and Mbangassina rank second and third, respectively, for cocoa and plantains.

1.3.2. Yields for the main crops

The same key agricultural yields differ per district. The average yield of groundnut is 10.11.3. The highest yield was recorded in Batchenga (0.300.03), and the lowest yield was recorded in Obala. The districts are interconnected. Plantain, cassava, and yam yields are about equal across the study's various locations. The average number of bunches for these crops is 45.44.6, 92.215.5, and 330.635.3, respectively. With a production of 499.1187.4, the district of Batchenga leads the way in maize. The Ntui commune produces the sweetest potatoes. The predominant crop in the study's various localities, cocoa, has an average of 4863.6477.6. The top two producers are Mbangassina and Ntui, with 6106.71088.8 and 5617.51132.6, respectively (Table 2).

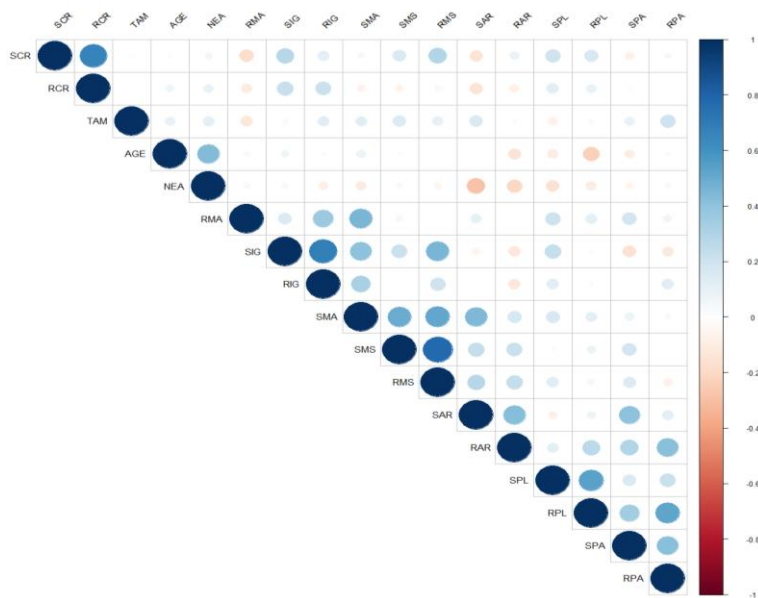
According to the analysis, 90% of farmers think that the production rate is irregular, while 10% think that it is normal. There is no correlation between production rate and locales because the calculated p-value is greater than the significance threshold of $\alpha=0.05$. Fisher's exact test results show that the p-values for both modalities are significant for the Obala area (0.047). The level of yield, according to 60.56 percent of FTs, has declined; 35.56 percent say it is constant; and 3.89 percent say it has improved. At the 5% level, there is no difference between the two variables. However, the stable modality is significant at 0.05 in the Batchenga locale, according to Fisher's exact test. The crop has not satisfied 68.33 percent of farmers. As a result, 68.33 percent of the respondents are dissatisfied with their crops. Additionally, the chi-square test indicates that there is no difference between localities at the level of 5%.

Table 2. The yield of the main crops in Kg

District	Groundnut	Yam	Maize	Cassava	Sweet potato	Plantain	Cocoa
Batchenga	12.4±2.5 ^b	37.4±7.6 ^a	499.1±187.4 ^b	62.5±8.5 ^a	40.6±10.5 ^{ab}	311.1±68.7 ^a	1906.67±430.77 ^a
Mbangassina	12.3±3.08 ^{ab}	40.6±5.5 ^a	28.6±7.9 ^a	143.6±44.6 ^a	35.1±9.5 ^a	388.3±73.1 ^a	6106.7±1088.8 ^b
Ntui	9.5±2.6 ^{ab}	41.6±8.7 ^a	73.9±40.8 ^a	100.4±36.4 ^a	43.7±7.6 ^b	353.3±73.4 ^a	5617.5±1132.6 ^b
Obala	4.57±1.6 ^a	61.8±13.8 ^a	673.6±186.2 ^{ab}	55.4±10.1 ^a	23.91±8 ^a	237.2±52.3 ^a	5076.3±634.6 ^{ab}
Average	10.1±1.3	45.4±4.6	324.6±71.6	92.2±15.5	36.5±4.7	330.6±35.3	4863.6±477.6
p-value	0.005	0.81	0.0005	0.662	0.016	0.71	0.015

The different letters next to the means ± standard error indicate the significant difference at the 5% probability threshold after the two-tailed Steel-Dwass-Critchlow-Fligner test.

There is a lot of information on the correlation matrix, according to the Pearson correlation test at the 5 percent threshold between the variables of area, the yield of the various crops, and variables like labor, household size, age, and several years of experience in agriculture. The correlation coefficient (r) between cocoa area and yield is 0.67, indicating a relationship between the two. With correlation coefficients of 0.78, 0.54, and 0.69, respectively, the acreage and yields of maize, plantains, and yams are likewise related. Consequently, the yield rises as the area does. Additionally, peanuts, sweet potato, and cassava yield and area had positive correlations with $0.46 \leq r \leq 0.42$. Additionally, there is no connection between household size, age, years of agricultural expertise, or yield characteristics (Figure 3).



Legend: SCR (cocoa area); RCR (cocoa yield); SMA (cassava area); RMA (cassava yield); SMS (maize area); RMS (maize yield); SPL (plantain area); RPL (plantain yield); SPA (sweet potato area); RPA (sweet potato yield); SIG (yam area); RIG (yam yield); SAR (groundnut area); RAR (groundnut yield); AGE (age); NEA (years of farming experience); TAM (household size)

Figure 3. Image of the correlation matrix

There are a variety of used variants, based on the theory. 2.630.18 kinds of tubers/roots are the most prevalent. Given that the estimated p-value is less than the threshold of 5% for the Kruskal-Wallis’s test, there is a relationship between the variety and localization of the variables. There are 2.52 varieties of cocoa, plus or minus 0.19. This variable and the various communes have a relationship (p-value=0.004). There is no discernible variation between places and this parameter for the major legume varieties, which are 1.980.18. Cereals have a reliance between the four boroughs and a record 2.220.18 variety (p-value).

There are a variety of used variants, based on the theory. 2.63 ± 0.18 kinds of tubers/roots are the most prevalent. Given that the estimated p-value is less than the threshold of 5% for the Kruskal-Wallis’s test, there is a relationship between the variety and localization of the variables. There are 2.52 varieties of cocoa, plus or minus 0.19. This variable and the various communes have a relationship (p-value=0.004). There is no discernible variation between places and this parameter for the major legume varieties, which are 1.98 ± 0.18 . With a reliance between the four boroughs, cereals have 2.22 ± 0.18 varieties (p-value 0.0001). The average number of variations for the remaining secondary crops (sweet banana, squash, and sesame) is 1.67 ± 0.21 .

However, the Kruskal Wallis test at the 5% level indicates that the districts are independent.

1.3.3. Livestock

40% of respondents did not engage in subsistence farming, compared to 60% who did. 49.07 percent practiced it for consumption, and 50.93 percent for sale. The chi-square test indicates a dependence between locales and this parameter at the 5% level (p -value = 0.0001). According to the studies, 50% of the farmers in the northern region of Central Cameroon who do not raise livestock think they are not proficient in the technical travel routes of cattle. However, 44.23 percent of respondents said they lacked the necessary resources. At the 5% cutoff, there is a large variation between localities.

According to the findings of the analysis of variance, there is a considerable discrepancy in the number of chickens owned between the districts. There were no differences noted in the ownership of goats, pigs, or sheep. The only group kept in greater numbers is fowl. Several farms breed pigs and poultry in Mbangassina in the Batchenga area. The Shapiro-Wills test indicates that the number of goats, sheep, pig, and poultry breeds is not homogeneous at the 5 percent level. On average, goats have 1, pigs 2, chickens 3, and sheep 1.

The study area contains several livestock farmers. Small ruminants and pigs are the most common types of livestock that are raised, along with poultry for special occasions like celebrations and urgent financial demands. Small-scale livestock is present in the markets because there is an immediate demand for money that cannot be satisfied by selling staple foods.

2. Access to factors of production

2.1. Land

The ability to access land is not a significant barrier to farming in the Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala regions. Inheritance accounts for the majority of appropriations (58.33%), followed by rental income (14.43%) and short-term loans and assignments (1.43%). (10.56 percent). The methods used to acquire land and the regions have little bearing on one another. 45.55 percent of farmers grow perennial crops like cacao to protect their land. 25.55 % of the land is left fallow. The security depends on the research locations and has a p -value of 0.0001 for the χ^2 .

50 percent of farmers use both food and cash crops as their primary land uses. 20% make use of savannahs. Old fallows make up 12.22% of the area, and forest galleries make up 17.78%. The four districts are dependent on the type of predominant land use. In fact, the χ^2 test of independence has a p -value of 0.05 (p -value=0.0003). Additionally, the cash crop and food crop modalities' Fisher-adjusted residual values are significant in Batchenga (-

2.003 and 4.538, respectively) and Ntui (3.204 and -2.656). Batchenga (-2.152) and Mbangassina communes have substantial values for the savanna mode (2.152).

The field and the farm manager's home are separated by 3698.61161.65 meters. According to the Kruskal-Wallis's test, there is a significant difference between the several localities at the level of 5%. The analyses show that 70 percent of farmers believe the distance between their home and field is fair, 23.33 percent believe it to be far away, and 6.67 percent believe it to be far away. There is no correlation between location and distance assessment because the estimated p-value is greater than $\alpha=0.05$, the threshold for significance. However, the p-value of Fisher's exact test at 0.05 indicates that the modality "far enough away" is significant in Batchenga.

2.2. Seeds, fertilizers, good agricultural practices, and pest management

In the region, there are no official seed vendors. The majority of the propagating material used is regional (80 percent). It is primarily derived from previous harvests (47.77%) but also from local market purchases (15.15%), GIC/Cooperative purchases (18.89%), agricultural institutions (10.56%), and contributions from other producers (7.77 percent). Some farmers do, however, employ modified seeds (20 percent). More people use these seeds in the communities of Batchenga and Obala.

According to 64.44 percent of farmers, soil fertility is unchanged. In Batchenga, it has marginally decreased. This variable and the various places show a significant difference at the 5% level ($p\text{-value} = 0.0001$). 52.78 percent left agricultural residues in place to allow the soil to recover naturally. The prevalence of this practice is high in Mbangassina (67%) and Ntui (64.44 percent). Districts do not relate to one another because the computed p-value is greater than 0.05. Organic amendments are used by 62.22 percent (chicken droppings, pig dung). There is a connection between the 4 municipalities and this parameter because the estimated p-value is less than the $\alpha=0.05$ level of significance. In farms, chemical fertilizers are rarely used (74.78 percent). However, vegetable farmers employ them to increase crop production.

Crop rotation is used by 78.88% of the sample. There is a reliance between this practice and the various places because the determined p-value is less than $\alpha=0.05$, which is considered to be the level of significance. Crop rotation is used by 92.22 percent of farmers. At the 5% level, there is a significant difference between this variable and the four districts according to the chi-square test of independence. 8.33 percent of people don't follow. These people fall under the non-native category. Chi2's p-value is more than 0.05, indicating that the study sites are independent. Farmers reported several issues

with weeds, diseases, and pests in their crops. Plant wilt and scattered stand are therefore the most prevalent, as indicated by 47.78 percent of the sample. Severe defoliation (18.33%), shredded leaf edges (17.77%), and devoured/emptied seeds follow this (16.11 percent). There is a significant difference (p-value 0.0001) between the locales and this variable according to the Chi-square test of independence. In the locales of Batchenga (0.041 and 0.0001) and Ntui, the p-values (Fisher's exact test) of the modalities: shredded leaf edges and plant wilting is significant at the 5 percent threshold (0.025 and 0.020 respectively). In Batchenga, only the sparse stand modality (p-value = 0.005) was significant.

2.3 Workforce

At the arrondissement level, a considerable variation in household sizes was seen. The largest households are in Batchenga, which has 9 members, while the smallest are in Mbangassina, which has 7 members. Family labor makes up the majority of the labor force on farms. With an average of 4 workers per farm, the family labor force on farms spans from 1 to 20 persons. There is a considerable difference between locality and family labor at the 5 percent threshold. Family labor appears to be less prevalent in Mbangassina with 4 people. Between one and five people, external labor is found. There are typically two active people. Furthermore, according to 69.59 percent of respondents, this workforce is youthful. There is a dependency between the two variables because the calculated p-value of the chi-square test of independence of the locales and workforce constituents is below the significance level $\alpha=0.05$ (p-value=0.002).

2.4 Relationship between household size and agricultural labor

More than 54.44 percent of the family farms surveyed admit that they only use family labor. There is a significant difference between the four districts because the estimated p-value is less than the threshold for significance, $\alpha=0.05$. One-time, temporary, and permanent employees make up the external labor force the four localities do not significantly differ from one another (p-value = 0.91).

The following equations represent the relationship between household size and family labor: $y = 1.57x + 1.74$ and $R^2 = 0.79***$ where y is labor, x is household size, and R^2 is the coefficient of determination. For all the differences seen, household size determines 79 percent of the labor force. In addition, the explanatory variable accounts for 79 percent of the variation in the dependent variable, household size. The information offered by the explanatory factors is considerably better than what would be explained by the mean of the dependent variable alone, given the F-statistic p-value associated with it (0.0001) and the significance level of 5 percent chosen (Figure 4).

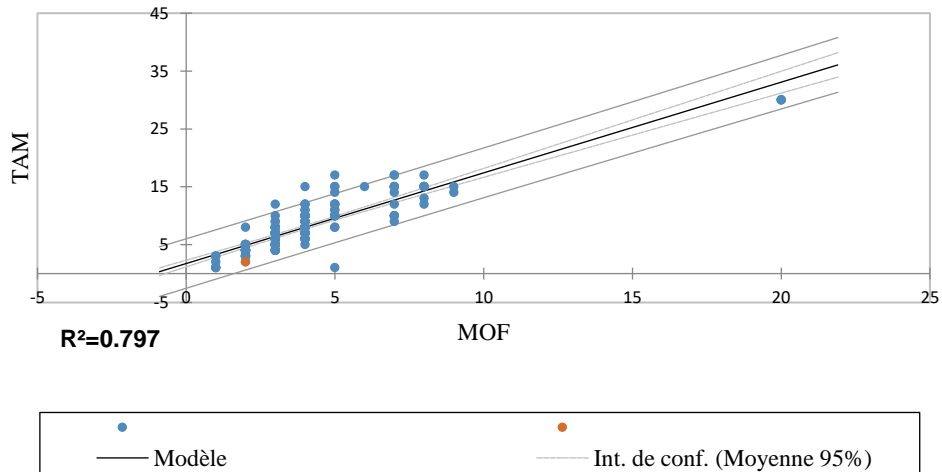


Figure 4. Simple regression curve of household size versus labor force

2.5. Production and transport equipment

Family farms employ a wide variety of machinery. The analysis of variance results revealed a substantial variation in the number of hoes, wheelbarrows, boots, sprayers, and seeders owned between the districts. Files, watering cans, gangs, sprayers, cocoa harvesting hoses, motorbikes, motorcycle pumps, motorcycle tricycles, pickaxes/planters, rakes, tractors, and chainsaws were all reported to be in the same amount of ownership. The hoe is the only piece of equipment that is retained in greater quantity, it is noted. As with chainsaws in Ntui, very few farmers in Batchenga own watering cans.

Analysis of the data reveals that 71.11 percent of respondents think it is difficult to get agricultural mechanization via tractors. 17.78 percent, on the other side, believe it to be simple. 11.11 percent of respondents claimed that mechanization was unavailable where they lived. There is a correlation between location and access to mechanization because the calculated p-value (p-value 0.0001) is below the significance level $\alpha=0.05$. The tough (0.0001), easy (0.001), and non-existent (0.002) modalities for the commune of Batchenga are significant, per the p-values (Fisher's exact test). The challenging modality for Ntui is significant (p-value = 0.023).

2.6. Market access and product orientation

The analyses show that 67.22 percent of respondents think it is tough to access the market. The isolation of the industrial locations can be used to explain this. The market access variable is correlated with the four study districts (p-value 0.0001). Fisher's exact test p-values for the districts of Mbangassina (p-value 0.0001), Ntui (p-value 0.0001), Batchenga (p-value 0.0001), and Obala (p-value = 0.01) are significant at the 5% level for both the

easy and difficult modes. 96.77% of companies use motorcycles to transport their goods to customers. The consumers are varied. Re-sellers (bayam-sellam/coxeurs) make up 50%, followed by loan sharks (41.67%), and local purchasers (8.33%). Products are autonomous. Regarding the selling kind, 42.78 percent occur at the bayam-sellam/coxeurs field. In large towns like Yaoundé, 15.56 percent are sold in groups; 22.22 percent are sold at the district market; 15% are sold by the roadside, and 4% are sold at the weekly village market. There is a correlation between locality and type of sale because the estimated p-value is less than $\alpha=0.05$, which is the level of significance. 86.11 percent of farm managers let 11-50 percent of customers know how their farms produce their products. The 4 research locations and the production process are interdependent (p-value 0.0001). When asked about the marketing of farm-produced goods, 60% of the farm managers who were questioned said that 11–30% of the goods from their farms are sold locally. There is a relationship between the various localities and the percentage of products marketed locally because the calculated p-value of the χ^2 test of independence of variables is below the significance level $\alpha=0.05$ (p-value 0.0001).

61.89% of farmers sell between 61 and 80 percent of their harvest to customers outside the area (bayam-sellam). 27.78% of the farmers sell between 21 and 60 percent of their harvest to the latter. There is no independence between the variables locale and percentage of goods sold to resellers because the estimated p-value is below the significance level $\alpha=0.05$ (p-value 0.0001). 85.56 percent of the farmers in the sample who live in the communities of Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala said they only use 1 to 10 percent of the produce from their fields. 14.54% of the analyses eat between 11% and 20% of their harvest. Given that the estimated p-value is greater than $\alpha=0.05$, there is an independent association between the relevant variables.

2.7. Sustainability of the farming activity

When asked if the farm will still be in operation in ten years, 49.44 percent responded that it is almost certain that it will. However, 50.56 percent mention the desired existence (if possible) and a probable existence (27.22 percent) (23.33 percent). There is a correlation between the locales and this parameter because the estimated p-value is less than $\alpha=0.05$, which is considered to be the level of significance. Additionally, the Obala locality (0.040) and Batchenga locality (nearly certain, 0.003) of the Fisher test are significant at the $\alpha=0.05$ level for the desired existence.

3. Current challenges and nature of problems at the borough level

14.44 percent of respondents, as determined by the analysis, believe that infrastructure is lacking on three fronts. 13.88 percent report having restricted access to agricultural inputs, and 11.67 percent mention having trouble getting access to mechanization. Access to credit is a real issue, according to 11.11 percent of respondents. 8.89% of farmers think there is a shortage of rain, which is related to the rainfall deficit. 8.89% bring up a shoddy market structure. 7.78% of the sample cited the shoddy condition of the tracks and roadways. Integrating livestock and agriculture, not having enough money or other resources, and having unstable land tenure, respectively, account for 8.33 percent, 7.78 percent, and 7.22 percent of the farmers polled. There is a connection between the issues and the various localities because the estimated p-value is below the threshold of significance $\alpha=0.05$. Both the absence of financial/material resources and access to credit have significant p-values (Fisher's exact test) at the $\alpha=0.05$ level.

Discussion

Socio-economic situation and production system in the zone

This age (42.42 years) is seen as a vibrant and active one that probably displays inventions for financial gain. This result is essentially identical to earlier research by (Singh & Singh, 2017)), who noted that age significantly influences experience, income, and decision-making, which in turn affects how people work and, ultimately, individual productivity.

Understanding environmental phenomena and agricultural management depend heavily on the respondents' educational background. Farmers who have this education are better able to comprehend agricultural methods and devise plans for adapting to changing conditions and raising their level of life. We spoke with farmers with various levels of education. Small-scale farmers have the chance to impart agricultural knowledge and technologies to help the region address the difficulties of sustainable development with this level of schooling. Additionally, food insecurity is more prevalent in homes headed by FTs with lower levels of education. Another factor that helped to ensure the food security of the home was the household head's education level. The justification for this finding is intuitive: households with higher levels of literacy may choose more logically and intelligently when it comes to the production and marketing of agricultural goods. There are 8 people in the typical home. This is roughly the size of Kindu's agricultural households, which have an average of 6 people (Masumbuko et al., 2012).

The primary characteristics of family farming are the existence of organic ties between the household economy of the family and the production unit as well as the mobilization of family labor (Fréguin-Gresh et al., 2015).

As a result, a crucial element in the process of defining farms is the research on the socioeconomic circumstances of the farm household. Farm households are primarily headed by men in the Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala areas (73.3 percent). In Central Kongo Province, the percentage of households with a male head of household is comparable to the national average (Mpanzu Balomba, 2014) (Kalambayi et al., 2019). This is because, unless they are widows or heirs, women are rarely EC in the study area. Additionally, this can be because households led by men have better access to social and physical resources that allow them to make, buy, and consume a variety of wholesome foods (Sani & Kemaw, 2019). Another explanation could be that households led by men are more likely to have access to labor and have more experience in farming than their female counterparts. Younger household heads are more likely to have access to food than other household heads, maybe because they often have the physical strength to run their farms and make money from other sources outside of farming.

The primary source of income for households in the study region, which has an average area of 4.56 ± 0.21 ha, is agriculture. This region is larger than farming households in the Democratic Republic of the Congo's Kasai Central, South Kivu's Ruzizi plain, and Katanga province, according to data from (Furaha Mirindi et al., 2016), and Kasai Central in the Democratic Republic of Congo, respectively (Kalambayi et al., 2019). The petty trade sector (6%) and employment in public administration follow agriculture (4 percent). The sub-study area's average monthly household income is 777472 ± 67510.90 CFA. The primary source of income for households in Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala continues to be agriculture. At the 5 percent level, there is a considerable local variation in annual income (p -value = 0.007).

Subsistence agriculture is practiced in the region of Central Cameroon's northern zone. This was brought up by (Chimi et al., 2022) in their research. There are three key qualities of it: small-scale farming, which consists primarily of manual labor using simple implements such as a daba, boot, wheelbarrow, machete, and sprayer. There is extremely little use of productive agricultural inputs like herbicides, chemical fertilizers, improved variety seeds or cuttings, etc. In Kasai Central, the same observation was also made by (Kalambayi et al., 2019). Bushfires, deforestation, conventional farming methods, a lack of agricultural inputs, and a lack of farmer monitoring all contribute to low agricultural production.

Cocoa, maize, cassava, plantain, sweet potato, yam, and peanuts are the principal crops farmed in the region. Major crops include cocoa, maize, and cassava. This is so that cocoa speculation can profit from its potential to bring in money. Fufu and "cassava sticks," which are major meals in the region of interest, are made mostly from the cassava harvest. In addition to the seven

main crops, households also raise a smaller number of other crops including cowpeas, sesame, pistachios, voandzou, tomatoes, etc. However, they enable households to diversify their sources of income and increase the variety of foods they consume.

According to survey findings, the zone's yields for cassava, maize, groundnuts, yams, sweet potatoes, plantains, and cocoa range from 92.2 to 15.5 for cassava, 324.6 to 71.6 for maize, 10.1 to 1.3 for groundnuts, and 45.4 to 4.6 for yams. The yield for cassava is lower than both the FAO's suggested average for Central Africa and the yields of Niger, which has the best yield in Africa and India, which has the best yield globally, as determined by (Furaha Mirindi et al., 2016). This poor performance would result from continued use of antiquated cultivation techniques (cultivation in primary forest and on slash and burn, crop association, etc.). This yield for maize is slightly lower than that seen in the Ruzizi plain but significantly greater than that shown in Central Kongo province (Mpanzu et al., 2011) but lower than that observed in the Ruzizi plain (Furaha Mirindi et al., 2016).

Overall, public policies should encourage the increase in these crops' yields and the productivity of the zone's production elements. Although these crops are grown in a range of environments, the seven major crops mentioned prefer the broad fields of the savanna. In the savannah, households plant maize, although very few do so in the forest. Cassava cultivation shows a similar pattern. These results go against those of (Kalambayi et al., 2019), who demonstrated that the forest is more frequently utilized for the production of these crops. Furthermore, they claim that the fertility of forest land and the higher harvests it produces are the key factors in choosing it. Even if the savannah is becoming more and more popular, cocoa is still growing more in the forest.

Given that this is slash-and-burn agriculture, this reality gives rise to concerns about the adverse consequences of agricultural practices on forest regions. This largely explains why farmers are traveling more and farther in quest of forest land that is thought to be more fertile. The majority of households in Mbangassina territory open up their fields in the forest, in contrast to Obala territory where households do not do so since forest areas have all but vanished from the terrain. In the forest, households without fields cultivate crops near their houses and in the savanna.

40% of households in the study region unacceptably consume food. Their food intake is meager or restricted. Families do not eat enough wholesome food to support an active and healthy lifestyle. 18.5 percent of farm managers believe that their homes consume too little food. These households eat a lot of tubers, roots, and grains (such as cassava, sweet potatoes, and yams), along with some vegetables (voadzou, and various vegetables). Dairy and animal proteins are seldom ever found in their diet.

36.2 percent of people consume little food. Families often consume cereals, roots, and tubers together with a small amount of protein once a week.

The research area does not have a mixed agricultural system, or at least livestock is raised according to tradition. Therefore, livestock does not contribute much to household agricultural productivity and subsequently to food security. The majority of smallholder farmers in the northern area of Central Cameroon do not employ oxen for threshing and plowing work. The selling of cattle and livestock products is not a means of generating revenue, supplementing one's diet, or providing transportation. Additionally, cattle cannot be used as a coping strategy in the event of natural disasters such as crop loss. It should be mentioned that although there is a lot of livestock in this area, the owners are Bororo nomads. Farming households raise livestock for their own needs. This outcome differs from that of (Mohamed, 2021) who conducted research in Ethiopia.

Access to factors of production

According to several theses, there is a relationship between the amount of producible food and the contributions of a group of factors whose knowledge is of interest and that it is feasible to produce more with a certain quantity of factors (work, land, etc.). Some production factors merit in-depth examination to help classify farms in terms of their significance. Each socio-cultural group's evolution of the laws governing access to, purchase of, and use of land is reflected in these laws (Gislain et al., 2018). In the study territories, access to land does not present a significant obstacle to farming. Inheritance accounts for 58.33% of all appropriations, and axe right is the mode that tends to diminish (8.5 percent). This runs counter to how Congolese land is accessed. In fact, in the Central Kongo province, where nearly 87.5% of agricultural households have direct ownership (Mpanzu Balomba, 2014). Similar to this, (Mulumeoderhwa Munyakazi et al., 2022) demonstrated in their research that tenancy dominates 66.7 percent of farmers. Customary rights holders who inherited the land from their ancestors are the main landowners and farmers in the area under evaluation. Land tenure is dualistic between the legal and the traditional, as (Ngalamulume Tshiebue, 2010) emphasizes. There is often no issue with the area's access to fertile land. The availability of arable land for field extension is cited by 70% of agricultural farm managers. 8 percent of people even think that this land is bountiful. When the regions are looked at separately, it seems that Mbangassina and Ntui have equal access to arable land. In Batchenga and Obala, it is also challenging to find more arable land for field extension. According to perception, Ntui has more arable land than the other places. The same conclusions were reached by (Kalambayi et al., 2019).

The majority of farmers in the study area favor forest soils because of their fertility, however, these are spread out over large distances of up to 8 km. Due to the dearth of forested regions, the proximity of homes (3698.61 ± 161.65 meters), and the convenience of evacuating the gathered goods, the majority of the harvested fields are situated in the savanna and on the periphery of the huts (52 percent). For 25% of farmers, a major challenge is the lack of rain during the planting season. The majority of farmers—30.4 percent—believe that the market is poorly organized.

Farmers start by cultivating areas near the villages using shifting cropping systems. They follow the declining fertility of the land as soon as it happens. In the savannahs, there is a need to support those who engage in agroforestry, i.e., to support food crops, cash crops, and trees, particularly fruit trees, melliferous tree species, and insect hosts, as well as species that can nourish the soil in the savannahs through improved fallows. This method might increase food security and bring in more money for farmers.

Although agricultural schools assert to be the best suppliers of certified seed in the region, there are no official suppliers of certified seed there. Almost always, local material is used as a spreading medium (80 percent). It is primarily derived from past harvests (47.77%), but it also comes from local market purchases (15.15%), contributions from other farmers, agricultural institutes (10.56%), and cooperatives (18.89%). (7.77 percent). More than half of the cassava, maize, plantain, bean, and peanut propagation material in Central Kongo Province, according to (Mpanzu Balomba, 2014), comes from past harvests or the local market. Similar findings were made by (Kalambayi et al., 2019), even though they did not discuss agricultural institutions and farmer organizations. The findings of this study also demonstrated that the use of agricultural technologies does not significantly and favorably affect the level of food security in households. According to the findings, households that used better seeds produced more and were consequently more likely to have access to food than their counterparts. The use of agricultural technologies, according to studies by (Kalambayi et al., 2019) (Mohamed, 2021), has a favorable impact on family food security. This conclusion is supported by this outcome.

The primary type of manure in the area is organic matter, especially litter. For 21% of farmers in the zone, getting access to these inputs is a severe challenge. Any increase in labor productivity, according to the OECD and FAO (2016), more than proportionally raises the availability of food. The household from which labor is provided is intimately related to that home. The majority of agricultural labor is non-wage in the research area. Family labor is used in 70% of fields, 25.3 % of households utilize temporary or permanent wage labor, and self-help group labor, or tontine labor, begins to decrease (4.7 percent). Even if there is a bigger percentage of non-wage labor in this

circumstance than in (Kalambayi et al., 2019), who reached the same conclusions. However, these findings differ significantly from those made by (Gislain et al., 2018) in the Senegal River Valley, where non-household labor rates for conventional farms can reach as high as 62.5 percent. These findings concur with those from (Minani et al., 2013; Ndahama et al., 2014) , who reported that 73 percent of family farms in Burundi and Katana, respectively, rely only on family labor. The average age of individuals under 18 is merely 4 in various homes. Both agricultural and non-agricultural activities are included in this.

Most farmers in the study area cover significant distances on foot. The journey to the fields and the numerous markets each takes around an hour. 25 percent of people own motorcycles. These modes of transportation are heavily utilized in agricultural pursuits. The daba is the most widely-used farming instrument in farm households, followed by the boot, wheelbarrow, sprayer, and machete in terms of production equipment. The local market is where most of these tools are bought. This rural area is in a precarious state due to widespread poverty and a critical lack of support from the State and NGOs for grassroots development, which is explained by the absence of productive equipment alone.

The lines of supply for farming equipment are unofficial. This demonstrates the poor governance of the local agricultural sectors, where farmers' access to farming equipment is a significant barrier. All of these conclusions are in line with those of (Tshiebue & Tshiebue-G, 2011), who discovered that farming in the Kasai Occidental province is modest due to the primarily physical labor, crude tools, and extremely restricted access to effective agricultural inputs.

Agriculture experiences systemic issues. The outcomes from the application of subsequent agricultural policies are still not up to par. Crop production for food and export is still insufficient. Each hamlet has unique issues related to infrastructure. Farmers suffer as a result of the lack of conservation methods since they are forced to sell the majority of their crops at harvest and borrow money at exorbitant interest rates to make purchases during the lean season. A granary is only present in 24.5 percent of farmers. Particularly during the lean season, these granaries enable the villages to conserve and better manage their inventories. The study area's agriculture industry struggles with a lack of funding. Only one-fourth (25%) of households have access to finance on a household level. The typical producer cannot afford the products offered by banks or microfinance. The family and the tontine are the two primary sources of credit. Rural producers continue to face severe supply issues concerning the availability and accessibility of agricultural inputs. Almost 81 percent of rural farming households don't use inputs. The vast majority of farmers and residents in the study area are small-

scale producers. Their modest, family-run farms employ conventional techniques. Hand tools and/or a tractor are virtually the only production tools available. Only 10% of households rent tractors for plow work, while only 1.5% of households own chainsaws.

The main obstacle to the utilization of agricultural inputs and the improvement of farmers' living conditions is the lack of access to loans. Although the land may occasionally be accessible, they only farm limited sections since they lack the necessary funds. This is in line with the research of (Mpanzu Balomba, 2014), which found that credit is not a means of funding agricultural operations in Bas-rural Congo's districts. Ntumba et al. (2015), found that 86.9% of market gardeners self-finance their operations from money from other sources, as opposed to 13.1% who receive support from other household members, likewise hold the same opinion (Balasha et al., 2019). According to (Gislain et al., 2018), 16 percent of rice farmers in the Ruzizi plain receive formal credit, suggesting that the situation is different in other places. Additionally, finance is less accessible to the poorest households. These credits are mostly used to pay for food purchases, medical expenses, the purchase of agricultural supplies, ceremonial fees, and many other expenses in rural communities.

Another factor that has helped improve food security is access to financing, maybe by alleviating smallholders' liquidity issues. It is a regular occurrence for many smallholder farmers to be cash-strapped right before planting when they most need it. Farmers must regulate their consumption during the planting season due to liquidity restrictions that prevent them from purchasing agricultural inputs. The data also demonstrates that having access to finance has a favorable and considerable impact on the food security of households. This outcome is consistent with earlier discoveries (Fekede et al., 2016; Kassie et al., 2014).

Selling their goods on the markets is a great challenge for local farmers. They dislike unfair power relations caused by unregulated commodity chains, unstructured markets, and low prices. Because the production basins are located far from the consuming centers and are marked by impassable roads and a lack of suitable transportation, there are structural and geographic obstacles to entry. Farmers travel to nearby marketplaces in an hour on average. Motorcycles are used to deliver the harvested goods. In addition to these challenges, the broad manufacturing system poses production risks, lacks economies of scale, and is characterized by price instability, opportunistic field sales, high transaction costs, limited bargaining power, and weak human capital. 80 percent of manufacturers make sales on their own.

The supply, demand, and price of the market are unknown to around 54% of producers before they enter it, while 35.5% learn about product availability, buyer presence, and pricing through unofficial methods,

particularly other producers. The potential to satisfy a substantial demand to sell the harvested products in a short period plays a significant role in the decision of the sales location. These sales are not focused on added value; rather, they try to increase prices through geographical (price disparity between the village and the site of sale) and temporal (price differential between the harvest period and the lean period) differences. They are driven by a desire for a more lucrative price than what is offered in rural areas. There is never a shortage of storage space. In contrast to the central markets' booths, which are occasionally hygienic and constructed of sturdy materials, rural markets' stalls are frequently dirty and pose a health risk. There is frequently no electricity or water at markets. Family farming faces significant obstacles as a result of all of these concerns in the northern region of Central Cameroon.

Conclusion

If family farming is supported, it can serve as a foundation for growth and food security. One of the biggest issues preventing Cameroon's progress is still food insecurity. Therefore, the purpose of this study was to investigate the situation and key determinants of food security in the northern forest-savanna transition zone of the Central Cameroon Region. The tiny size of farmed plots, the poor usage of agricultural inputs, and the use of crude tools are all factors that contribute to food insecurity among rural communities in this region of the country. These households don't have a diverse enough diet or grow enough food to feed themselves all year long. Very modest holdings of no more than 17 hectares are what define the useful agricultural area. The daba, machete, boots, wheelbarrow, and sprayer are among the implements used by family farmers who are still struggling in the face of uncontrollable changes (climatic hazards, rural exodus, declining soil fertility). Poverty also restricts access to cutting-edge agricultural technologies that could increase crop yields in addition to the dwindling family labor force and unstable access to land. Due to its strong agricultural potential, this region can feed its population and satisfy domestic demand. The vast amount of available land is one of its advantages. For family farming in the northern Central Cameroon Region to have an impact on food security and become competitive, it is necessary to take into account both upstream concrete incentive actions (financial means, incentives for the best food producers, ongoing monitoring, supervision, availability of inputs, land security), as well as the downstream commercial policy that is more conducive to a better connection of family farmers to the market (evacuation routes, remunerative prices, building local markets).

Credit authorship contribution statement

Chimi: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing-original draft. **Mala:** Methodology, Validation, Visualization, Writing-review & editing. **Manga:** Data curation, Formal analysis, Methodology, Validation, Visualization, Writing-review & editing. **Matick, Funwi, Kouoguem, Ngamsou, Feunang, Fobane & Bell:** Validation, Visualization, Writing-review & editing.

Acknowledgments

The populations of the villages of the District of Mbangassina, Ntui, Batchenga, and Obala for their contribution to the realization of this study. The sectors (district delegation of agriculture, fishing and animal industry, the environment, trade, and the institute of agricultural research for development) for their informative contribution to the preliminary data.

Declaration of Competing Interests

The authors affirm that they have no known financial or interpersonal conflicts that would have appeared to have an impact on the research presented in this study.

Financial interests: The authors declare that they have no financial interests.

References:

1. Agossou, G., Gbehounou, G., Zahm, F., & Agbossou, E. K. (2015). Typologie des exploitations agricoles de la basse vallée de l'Ouémé, République du Bénin. *Agronomie Africaine*, 27(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/aga.v27i3>
2. Ajadi, A. A., Oladele, O. I., Ikegami, K., & Tsuruta, T. (2015). *Rural women's farmers access to productive resources: The moderating effect of culture among Nupe and Yoruba in Nigeria | Agriculture & Food Security | Full Text*. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-015-0048-y#citeas>
3. Balasha, A. M., Murhula, B. B., & Munahua, D. M. (2019). Yard Farming in the City of Lubumbashi: Resident Perceptions of Home Gardens in Their Community. *Journal of City and Development*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.12691/jcd-1-1-8>
4. Bocquet, G. (2000). Gumuchian H., Marois C., Fevre V., Initiation à la recherche en Géographie. *Géocarrefour*, 75(4), 346–346. https://www.persee.fr/doc/geoca_1627-4873_2000_num_75_4_2494

5. Boulaud, A.-L. (2014). *Agriculture familiale au Cameroun, analyse comparée entre forêt et savane*. Montpellier SupAgro. http://agritrop.cirad.fr/575610/1/document_575610.pdf
6. Branchet, P., Arpin-Pont, L., Piram, A., Boissery, P., Wong-Wah-Chung, P., & Doumenq, P. (2021). Pharmaceuticals in the marine environment: What are the present challenges in their monitoring? *Science of The Total Environment*, 766, 142644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142644>
7. BUCREP/INS. (2005). *BUCREP - 3ème RGPH*. <http://www.bucrep.cm/index.php/fr/recensements/3eme-rgph/20-3eme-rgph/presentation>
8. Burke, M. B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J. A., & B.Lobell, D. (2009). Warming increases the risk of civil war in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20670–20674. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907998106>
9. Cervantes-Godoy, D., & Dewbre, J. (2010). Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction. *OECD, Directorate for Food, Agriculture and Fisheries, OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers*.
10. Chimi, P. M., Mala, W. A., Fobane, J. L., Essouma, F. M., Ii, J. A. M., Funwi, F. P., & Bell, J. M. (2022). Climate change perception and local adaptation of natural resource management in a farming community of Cameroon: A case study. *Environmental Challenges*, 8, 100539. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100539>
11. Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81(1), 7–30. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9210-7>
12. FAO. (2016). *La situation mondiale de l'alimentation et l'agriculture (SOFA)* (FAO). <https://www.fao.org/documents/card/fr/c/3fe586ed-52e8-47d4-a2e4-1b4282f9a5d2/>
13. FAO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021 | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/publications/sofi/2021/en/>
14. Fekede, G., Lemma, Z., & Jemal, Y. (2016). Determinants of farm household food security in Hawi Gudina district, West Hararge zone, Oromia Regional National State, Ethiopia. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 8(2), 12–18. <https://doi.org/10.5897/JAERD2014.0660>
15. Ferraton, N., & Touzard, I. (2009). *Comprendre l'agriculture familiale—Diagnosing production systems*. Librairie Quae.

- <https://www.quae.com/produit/34/9782759203406/comprendre-l-agriculture-familiale>
16. Fréguin-Gresh, S., Cortes, G., Trousselle, A., Sourisseau, J.-M., & Guétat-Bernard, H. (2015). Le système familial multilocalisé. Proposition analytique et méthodologique pour interroger les liens entre migrations et développement rural au Sud. *Mondes en développement*, 172(4), 13–32. <https://doi.org/10.3917/med.172.0013>
 17. Furaha Mirindi, G., Namegabe Mastaki, J. L., & Lebailly, P. (2016). *L'impact des activités non agricoles sur la pauvreté et l'inégalité rurales dans les groupements Bugorhe et Irhambi-Katana (Territoire de Kabare, Province du Sud-Kivu)*. Journal Of Oriental And African Studies. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/193113>
 18. Gislain, K. T. R., Ibouraima, Y., Théodore, A. T., Parfaite, K., Grégoire, S. S., & Sègbè, H. C. (2018). Influences Des Modes D'accès A La Terre Sur La Production Agricole Dans Les Communes De Dassa-Zoumé Et De Glazouè Au Centre Du Bénin. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(6), Article 6. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p412>
 19. IMF. (2022). *Cameroon and the IMF*. IMF. <https://www.imf.org/en/Countries/CMR>
 20. Kalambayi, A. R. M., Malankanga, G. S., & Kinkela, C. (2019). *Typologie des exploitations agricoles familiales dans les territoires de Kazumba, Dimbelenge et Demba au Kasai Central en République Démocratique du Congo*. 14.
 21. Kassie, M., Jaleta, M., & Mattei, A. (2014). Evaluating the impact of improved maize varieties on food security in Rural Tanzania: Evidence from a continuous treatment approach. *Food Security*, 6(2), 217–230. <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0332-x>
 22. Knox, J., Hess, T., Daccache, A., & Wheeler, T. (2012). Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7(3), 034032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034032>
 23. Leridon, H. (2015). Afrique subsaharienne: Une transition démographique explosive. *Burkina Faso*, 16.
 24. Letouzey, R., Institut de la Carte Internationale de la Vegetation, T., & Institut de la Recherche Agronomique, Y. (1985). *Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1:500,000 (1985)*. Toulouse (France). https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Notice+de+la+carte+phytogeographique+du+Cameroun+au+1%3A500%2C000+%281985%29&author=Letouzey%2C+R.&publication_year=1985

25. Masumbuko, C. K., Makuta, M. C., & Ntamwira, N. (2012). Enquete socio-économique dans les bassins de production agricole du PIRAM dans la Province du Manièma en RD CONGO. Décembre 2012. In *Working Papers* (hal-00871281; Working Papers). HAL. <https://ideas.repec.org/p/hal/wpaper/hal-00871281.html>
26. Mayer, R., Ouellet, F., Saint-Jacques, M.-C., & Turcotte, D. (2000). *Méthodes de recherche en intervention sociale* (Paris: Morin (Editeur Gaetan), 2000). https://scholar.google.com/scholar?as_q=&as_epq=M%C3%A9thodes%20de%20recherche%20en%20intervention%20sociale&as_occt=title&as_sdt=1.&as_sdtp=on&as_sdtf=&as_sdts=22
27. Minani, B., Rurema, D.-G., & Lebailly, P. (2013). *Family agriculture and environment in Kirundo province, Northern Burundi*. III International Scientific Conference “Climate Change, Economic Development, Environment and People.” <https://orbi.uliege.be/handle/2268/163183>
28. MINEPDED. (2015). *Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques, Cameroun*. https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/PNACC_Cameroun_VF_Valid%C3%A9_24062015%20-%20FINAL.pdf
29. Mohamed, A. A. (2021). [PDF] *Pastoralism and Development Policy in Ethiopia: A Review Study by Abduselam Abdulahi Mohamed* · OA.mg . [10.33258/birci.v2i4.562](https://oa.mg/work/10.33258/birci.v2i4.562). <https://oa.mg/work/10.33258/birci.v2i4.562>
30. Mpanzu Balomba, P. (2014). *Memoire Online—Approvisionnement de la ville de Kinshasa en banane dessert et banane plantain*. <https://www.memoireonline.com/02/08/958/approvisionnement-kinshasa-banane-dessert-banane-plantain.html>
31. Muche, M., Endalew, B., & Koricho, T. (2014). Determinants of Household Food Security among Southwest Ethiopia Rural Households. *Asian Journal of Agricultural Research*, 8(5), 248–258. <https://doi.org/10.3923/ajar.2014.248.258>
32. Mulumeoderhwa Munyakazi, F., Maniriho, A., Neema Ciza, A., Banza Iyoto, E., Nfuamba Lukeba, F., Vwima Ngerizabona, S., Furaha Mirindi, G., Mastaki Namegabe, J.-L., & Lebailly, P. (2022). Characterisation of Small-Scale Farming as an Engine of Agricultural Development in Mountainous South Kivu, Democratic Republic of Congo. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 12(2), 123–129. <https://doi.org/10.55493/5005.v12i2.4475>
33. Mushagalusa, B., Baraka, S., Lenga, A., & Madi, M. (2015). *Genre et exploitations familiales en milieu rural au Katanga Etude de cas de Kipushi*. *Journal international d'innovation et d'études appliquées*,

- 11, 367-375. - *Références—Publications de Recherche Scientifique*.
[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453ed%20snp55rrgjt55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2822744](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453ed%20snp55rrgjt55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2822744)
34. Ndahama, N., Bagalwa, M., & Bayomgwa, C. (2014). Étude de la pollution organique totale et fécale dans les systèmes aquatiques de l'Est de la République Démocratique du Congo. *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.4314/afsci.v10i2>
35. Ngalamulume Tshiebue, G. (2010). L'approche champ-école paysanne (CEP): Une méthode de recherche-action impliquant davantage les producteurs ruraux dans la maîtrise et l'amélioration de leur système de production. L'exemple des CEP du Kasai occidental/R.D.Congo. In E. Coudel, H. Devautour, C.-T. Soulard, & B. Hubert (Eds.), *ISDA 2010* (p. 10 p.). Cirad-Inra-SupAgro. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00510547>
36. Onana, J. M. (2018). Cartographie des écosystèmes du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.25>
37. PAR. (2018). *Assessing Agrobiodiversity: A Compendium of Methods (Platform for Agrobiodiversity Research, Rome)*. www.agrobiodiversityplatform.org
38. Pieters, H., Guariso, A., & Vandeplas, A. (2013). *Conceptual framework for the analysis of the determinants of food and nutrition security*.
39. Sani, S., & Kemaw, B. (2019). Analysis of households food insecurity and its coping mechanisms in Western Ethiopia. *Agricultural and Food Economics*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0124-x>
40. Singh, R., & Singh, G. S. (2017). Traditional agriculture: A climate-smart approach for sustainable food production. *Energy, Ecology and Environment*, 2(5), 296–316. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0074-7>
41. Temple, L., Gaunand, A., Trouche, G., & Vall, E. (2018). Évaluer les impacts des recherches en agriculture sur la société et les écosystèmes: Outils, méthodes, études de cas. *Cahiers Agricultures*, 27(3), 34002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018022>
42. Tshiebue, G. N., & Tshiebue-G. (2011). *Politique Agricole Et Sécurité Alimentaire Au Congo-Kinshasa*. International Book Market Service Limited.
43. UNDP. (2021). *UNDP Annual Report 2020 | United Nations Development Programme*. UNDP. <https://www.undp.org/publications/undp-annual-report-2020>

44. Von Braun, D. J., Bouis, H. E., Kumar, S. K., & Pandya-Lorch, R. (1992). *Améliorer la sécurité alimentaire des pauvres* | *IFPRI : Institut international de recherche sur les politiques alimentaires*. <https://www.ifpri.org/publication/improving-food-security-poor>
45. WFP. (2016). *Cameroun—Évaluation de la sécurité alimentaire dans les régions de l'Est, Adamaoua, Nord et de l'Extrême-Nord, septembre 2016* | *Programme alimentaire mondial*. <https://www.wfp.org/publications/cameroon-evaluation-securite-alimentaire-est-adamaoua-nord-extreme-septembre-2016>
46. Y. Allé, U., Vissoh, P., Guibert, H., Agbossou, E., & Afouda, A. (2013). Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *Vertigo : la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(3). <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2013-v13-n3-vertigo01538/1026868ar/>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Disponibilité des Plantes Aphrodisiaques dans les Jardins de Case et Forêt Classée de l'Ouémé-Boukou au Centre-Bénin

Ismaël Akossibe Batcho
Eben-Ezer Baba Kayodé Ewédjè
Richard Menson Somanin
Paul Ezin Ogan

Laboratoire de Botanique, Ecologie végétale appliquée et Génétique forestière, Ecole Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées, ENSBBA-Dassa-Zoumé, Dassa-Zoumé, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques UNSTIM-Abomey, Benin

Hounnankpon Yédomonhan

Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Benin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p148](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p148)

Submitted: 25 November 2022

Accepted: 03 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Batcho I.A., Ewédjè E.E.B.K., Somanin R.M., Ogan P.E. & Yédomonhan H. (2023). *Disponibilité des Plantes Aphrodisiaques dans les Jardins de Case et Forêt Classée de l'Ouémé-Boukou au Centre-Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 148.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p148>

Résumé

Les Produits Forestiers Non Ligneux d'origine végétale à usage aphrodisiaque sont surexploités pour la commercialisation au Bénin. L'objectif de cette étude est d'évaluer la disponibilité et l'abondance des plantes aphrodisiaques dans les jardins de case et la forêt classée de l'Ouémé-Boukou au Centre-Bénin. La méthodologie utilisée a consisté à l'installation de 142 relevés d'inventaire carrés de 400 m² à l'intérieur desquelles toutes les espèces aphrodisiaques présentes ont été recensées suivant l'approche sigmatiste de Braun-Blanquet. Au total, 85 espèces de plantes aphrodisiaques regroupées en 80 genres au sein de 47 familles ont été recensées dont 45 dans les jardins de case et 18 dans la forêt classée. Les espèces communes aux deux sites d'inventaires sont au nombre de 22. La famille des Fabaceae (27,66%) est la plus représentée. Les données floristiques, soumises aux analyses

multivariées, ont permis d'individualiser sept (07) groupements végétaux dont 4 provenant des jardins de case et 3 de la forêt classée. La richesse spécifique varie de 42 à 55 espèces entre les différents groupes de jardins de case contre 19 à 31 espèces pour les groupes de la forêt classée. La densité tend être la même au niveau des jardins de case (222 ± 188 tiges/ha à 306 ± 271 tiges/ha) tandis que qu'elle varie significativement de 138 ± 91 tiges/ha (jachères) à 514 ± 263 tiges/ha (galeries forestières) et à 685 ± 388 tiges/ha (savanes arborées-arbustives). Dans les jardins de case, 18 espèces sont préférentielles et abondantes ($R_i < 80\%$) tandis que 49 espèces sont rares ($R_i > 80\%$). S'agissant de la forêt classée, sur les 40 espèces inventoriées, 14 sont abondantes et 26 rares. Ce travail fournit des informations scientifiques qui peuvent servir de base à une meilleure gestion des espèces médicinales notamment celles aphrodisiaques au Centre-Bénin.

Mots clés : Plantes aphrodisiaques, disponibilité, indice de raréfaction, jardins de case, forêt classée de l'Ouémé-Boukou, Centre-Bénin

Availability of Aphrodisiac Plants in Home Gardens and Classified Forest of Ouémé-Boukou in Center-Benin

Ismaël Akossibe Batcho
Eben-Ezer Baba Kayodé Ewédjè
Richard Menson Somanin
Paul Ezin Ogan

Laboratoire de Botanique, Ecologie végétale appliquée et Génétique forestière, Ecole Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées, ENSBBA-Dassa-Zoumé, Dassa-Zoumé, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques UNSTIM-Abomey, Benin

Hounnankpon Yédomonhan

Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Benin

Abstract

Non-Timber Forest Products from plants with aphrodisiac purposes are over-exploited for marketing in Benin. This study aimed to access the availability and abundance of aphrodisiac plants in home gardens and Ouémé-Boukou classified forest in Center-Benin. Data were collected through floristic inventory carried out in 142 square plots of 400 m² in which all aphrodisiac species found were listed according to Braun-Blanquet sigmatist approach. A

total of 85 aphrodisiac plant species belong to 80 genera and 47 families were recorded including 45 from home gardens and 18 from the classified forest. The common species to both inventory sites are 20 in total. Fabaceae family (27.66%) were mostly represented. Floristic data submitted to multivariate analyses individualized seven (07) plant groups, including 4 from home gardens and 3 from the classified forest. Specific richness reach from 42 to 55 species within home gardens groups versus 19 to 31 species for groups of classified forest. Density tends to be the same in home gardens (222 ± 188 stems/ha to 306 ± 271 stems/ha) while it varies significantly from 138 ± 91 stems/ha (fallow) to 514 ± 263 stems/ha (galleries forest) and 685 ± 388 stems/ha (tree-shrub savannas). In the home gardens, 18 species are preferential and abundant ($R_i < 80\%$) while 49 species are less rare ($R_i > 80\%$). Regarding the classified forest, of the 40 species inventoried, 14 are abundant and 26 rare. This work provides scientific information that can serve as a basis for better management of medicinal species, mainly aphrodisiac plants in Center-Benin.

Keywords: Aphrodisiac plants, availability, rarefaction index, home gardens, Ouémé-Boukou classified forest, Center-Benin

Introduction

L'importance des plantes médicinales n'est plus à démontrer surtout en milieu rural dans les pays en développement. Les principales raisons sont la pauvreté, l'inaccessibilité à la médecine moderne (Jiofack et al., 2010 ; Dibong et al., 2011) et l'efficacité des plantes dans le traitement des pathologies. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 80% de la population des pays développés ou en développement font traditionnellement recours aux extraits de plantes surtout les plantes supérieures ou leurs principes actifs pour les soins de santé primaire (Farnsworth et al., 1986; Ahouansikpo et al., 2016). Mieux, dans certains pays en développement, les guérisseurs traditionnels sont aujourd'hui encore les seuls ou les principaux prestataires de soins pour des millions de ruraux.

En Afrique, par exemple, on dénombre 1 guérisseur pour 500 personnes, contre 1 médecin pour 40 000 personnes (OMS, 2013). Ainsi, l'usage de la médecine traditionnelle est de 60 % en Uganda et en République Unie de Tanzanie, de 70 % au Ghana et au Rwanda, de 80 % au Bénin et de 90 % au Burundi et en Ethiopie (Organisation Ouest Africaine de la Santé, OOAS, 2020). A titre illustratif, au Ghana, au Mali, au Nigeria et en Zambie, pour 60 % des enfants atteints de forte fièvre due au paludisme, le traitement de première intention fait appel aux plantes médicinales administrées à domicile (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture, UNESCO, 2010). En outre, 145 espèces végétales ont été inventoriées

en Afrique de l'Ouest pour la prise en charge des affections respiratoires pouvant se manifester au cours de la Covid-19 (Haidara et al., 2020).

Au Bénin, la médecine traditionnelle constitue une alternative aux besoins des populations en matière de soins de santé face à un système moderne de santé peu accessible. On recense, 10 999 tradipraticiens contre seulement 901 médecins pour près de 12 millions d'habitants (Ministère de la Santé, MS, 2022). Ces derniers font recours aux plantes pour composer leurs recettes médicamenteuses (Dresse & De Baeremaeker, 2013). Près de 814 plantes sont utilisées (Sinsin & Owolabi, 2001). Les pathologies traitées sont entre autres les hépatites, le diabète, le paludisme, la gale humaine, la fièvre typhoïde, la stérilité féminine, la faiblesse sexuelle etc. (Guinnin et al., 2015 ; Lawin et al., 2015 ; Lagnika et al., 2016; Dougnon et al., 2017 ; Dougnon et al., 2018 ; Houmènou et al., 2018 ; Batcho et al., 2020).

Malheureusement, la couverture forestière au Bénin s'amenuise de nos jours à un rythme alarmant. Le pays a connu une perte en couvert forestier de près de 36 400 ha équivalent à plus de 22% de régression de 2001 à 2017 (Conférence des Nations unies sur la biodiversité COP 15, 2021). Ceci conduit inévitablement à la disparition des ressources biologiques y compris les plantes médicinales. En outre, les parties sensibles (racines, tiges feuillées, fleurs, fruits, graines) et même la plante entière de certaines plantes médicinales sont impliquées dans les recettes traditionnelles et vendues dans les marchés comme activité pourvoyeuse de revenus de plusieurs acteurs (Adomou et al., 2012; Fah et al., 2013; Quiroz et al., 2014 ; Kouchadé et al., 2016; Kpodji et al., 2019). Cette pratique compromet également la survie des plantes surtout celles déjà menacées de disparition dans leur habitat naturel. Dans ces conditions, la disponibilité de certaines plantes médicinales risque d'être compromise à long terme à cause de la forte demande du marché en drogues végétales. Il urge alors de disposer d'importantes données sur la disponibilité et l'abondance de ces ressources biologiques dans les différents habitats de leur extraction afin de mieux planifier leur gestion durable.

Cependant, au Bénin, les travaux menés sur les plantes médicinales se sont limités généralement à des inventaires qualitatifs de ces plantes et leurs différentes utilisations. A ce jour, peu de travaux ont évalué la disponibilité des plantes médicinales et l'impact des prélèvements de leurs différentes parties sur les peuplements forestiers (Sidi et al., 2017).

Par ailleurs, les récents travaux ethnobotaniques effectués par Batcho et al. (2022) ont permis de dresser une liste non exhaustive de 148 espèces de plantes aphrodisiaques utilisées traditionnellement au Bénin dont les différentes parties de 45 espèces sont fréquemment vendues dans les marchés. Les drogues végétales sont généralement prélevées dans les formations végétales à proximité des populations et dans les jardins de case. Dès lors, pour une gestion durable et rationnelle de ces plantes médicinales, il apparaît

indispensable d'en faire un état des lieux. Aborder cette problématique permettrait de résoudre, partiellement, la gestion durable de ces ressources naturelles au Bénin.

Ce travail a été entrepris afin d'évaluer la disponibilité et l'abondance de ces plantes aphrodisiaques dans les jardins de case et forêt classée de l'Ouémé-Boukou au Centre-Bénin.

Méthodologie

Milieu d'étude

L'étude a été réalisée au centre Bénin précisément dans les jardins de case des communes de Dassa-Zoumé, Glazoué, Savè et dans la forêt classée de l'Ouémé-Boukou (Figure 1). Les trois communes d'étude comptent 323 730 habitants (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique du Bénin INSAE, 2016), répartis en trois principaux groupes ethniques à savoir les Yoruba et apparentés (46,2%), Fon et apparentés (38,5%) et les Peulh et apparentés (5,6%) (INSAE, 2017). La zone d'étude est caractérisée par un climat soudano-guinéen à un régime pluviométrique annuel (unimodal) de mai à octobre avec une pluviométrie annuelle variant entre 900 et 1100 mm (Gnanglè et al., 2011). La végétation est une mosaïque de savanes, de forêts claires parsemées de galeries forestières, des champs et des plantations (Akoègninou et al., 2006). La savane arborée à *Daniella oliveiri* est la végétation dominante. La zone abrite quelques forêts classées, fortement menacées par les actions anthropiques principalement la recherche de terres fertiles, l'exploitation de bois d'œuvre et de chauffage (INSAE, 2016). On y rencontre également des jardins de case avec leur micro flore source de plantes aphrodisiaques pour la population. Leurs principales activités économiques sont l'agriculture, la pêche et la chasse. On note également le commerce, la restauration, l'hébergement et les industries manufacturières.

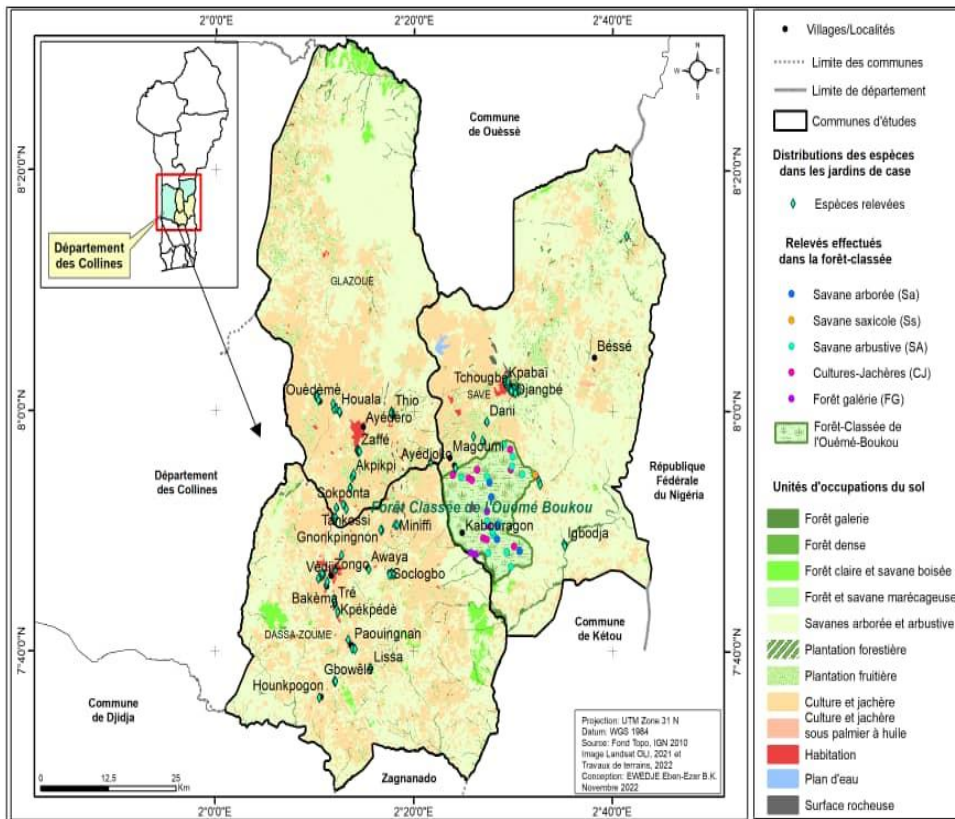


Figure 1. Localisation géographique du milieu d'étude montrant la distribution des placettes de relevés floristique

Collecte de données

Les données ont été collectées au moyen d'un inventaire floristique réalisé dans les jardins de case et forêt classée de l'Ouémé-Boukou (FCOB). L'échantillonnage aléatoire a guidé le choix des jardins de case à travers les trois communes de l'étude. Au total 100 jardins de case ont fait l'objet de relevés phytosociologiques. S'agissant de la FCOB, elle a été retenue compte tenu de son étendu et sa proximité aux communes d'étude. À partir d'une carte d'occupation du sol du secteur d'étude (Institut Géographique National du Bénin IGN, 2018) une stratification a priori de la forêt classée a été faite en tenant compte du type de formation végétale. La collecte des données physiques (points-échantillons) a été faite par maillage aléatoire dans QGIS 3.22. Proportionnellement à la superficie de chaque type de végétation, 42 points-échantillons ont été sélectionnés aléatoirement dans le secteur d'étude à raison de 20 dans les savanes, 7 dans la galerie forestière et 15 dans la jachère. Les coordonnées des points-échantillons ont été insérées dans le

Garmin GPSmap 64s et l'installation des placettes a été faite suite à la recherche de ces points sur le terrain. Dans les deux sites d'inventaires (jardins de case et FCOB), les relevés ont été effectués sur des placettes carrées de 400 m². Dans chaque placette, toutes les espèces ligneuses et herbacées aphyllées ont été recensées affectées d'un coefficient d'abondance-dominance suivant l'échelle de Braun-Blanquet (1932).

Le coefficient d'abondance-dominance d'une espèce exprime le nombre d'individus et son recouvrement par unité de surface dans le milieu. Il varie de 0 à 5 :

- 0 : individus rares ou très rares et à recouvrement très faible (< 1%) ;
- 1 : individus assez abondants, mais à recouvrement faible (1 à 5%) ;
- 2 : individus très abondants et à recouvrement compris entre 6 et 25% ;
- 3 : nombre d'individus quelconque, recouvrement allant de 26 à 50% ;
- 4 : nombre d'individus quelconque, recouvrement allant de 51 à 75% ;
- 5 : nombre d'individus quelconque et recouvrement compris entre 76 à 100%.

Traitement des données

Diversité floristique

Pour le bilan floristique, la matrice des 142 relevés et 85 espèces a été constituée en présence/absence et soumise à l'ordination « Detrended Correspondence Analysis (DECORANA ou DCA) ». La matrice issue de chacun des 2 groupes de relevés individualisés par la DCA a été soumise à la classification grâce au logiciel Community Analysis Package (CAP) (Henderson et Seaby, 2002) suivant la méthode de Ward's afin d'identifier les groupes de relevés ayant des compositions floristiques semblables. La diversité floristique a été appréciée pour chaque groupement à l'aide de la richesse spécifique (RS), de l'indice de diversité de Shannon (H) et l'Équitabilité de Piélu (Eq). La densité (N) a été également calculée pour chaque groupement. Leurs formules sont les suivantes :

- Richesse spécifique : $RS=S$; S étant le nombre total d'espèce
- Indice de diversité de Shannon : $H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$ avec n_i = l'effectif de l'espèce i et N, l'effectif total des espèces (Legendre et Legendre 1984; Frontier et Pichod-Viale, 1995). La diversité est faible lorsque $H < 3$ bits, moyenne si H est compris entre 3 et 4 puis élevée quand $H \geq 4$ bits.
- Équitabilité de Piélu : $Eq = \frac{H}{H_{max}}$ avec $H_{max} = \log_2 S$

La valeur de l'indice d'équitabilité de Piélu varie 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équitépartition des individus entre les différentes

espèces). L'équitabilité de Piéou élevé est le signe d'un peuplement équilibré (Dajoz, 1985).

- La Densité N est le nombre moyen d'arbres de $dbh \geq 5$ cm par unité de surface. Sa formule mathématique est la suivante : $N = \frac{n}{s}$; n est le nombre total d'arbres par placette et s , la surface de la placette en ha (0,04 ha dans notre cas).

Ces paramètres ont été soumis à des analyses de variance (ANOVA) pour tester si les différences observées entre les formations végétales sont significatives. Le test de comparaisons multiples de moyennes de Tukey a été appliqué. Pour ces analyses, les valeurs de la richesse spécifique et celles de la densité ont été transformées en $\log(x+1)$ pour palier au problème d'inégalité de variance. Le logiciel R 4.0.0 (R Core Team, 2020) a été utilisé pour la réalisation des tests statistiques.

- L'indice de similarité de Jaccard (Jaccard, 1908) a été utilisé pour calculer le taux de similarité ($SJ*100$) entre les groupements végétaux identifiés. Sa formule est la suivante :

$$SJ = \frac{N_{xy}}{[(N_x + N_y) - N_{xy}]}$$
 avec N_x le nombre d'espèces recensées dans le groupement x , N_y le nombre d'espèces recensées dans le groupement y et N_{xy} le nombre d'espèces communes aux deux groupements x et y .

Le spectre biologique a été établi à partir des types biologiques définis par Raunkiaer (1934).

- *Évaluation de la disponibilité des espèces* : Elle a été évaluée à partir de l'indice de raréfaction (R_i) des espèces, calculé à partir de l'équation de Géhu & Géhu (1980). Cet indice se calcule selon l'équation suivante :

$$R_i = \left(1 - \frac{n_i}{N}\right) \times 100$$
 avec n_i : nombre de placettes où l'espèce i est retrouvée N : nombre total de placettes posées dans le milieu.

Les espèces dont l'indice de raréfaction est inférieur à 80 % sont considérées comme très fréquentes et abondantes dans les zones étudiées. Celles dont les indices de raréfaction sont supérieurs à 80 %, sont dites rares et donc fortement menacées d'extinction dans la localité.

Résultats

Typologique des formations végétales de la zone d'étude

Ordination des relevés floristiques

La figure 2 présente le résultat de l'ordination de tous les relevés floristiques soumis à la Detrended Correspondence Analysis (DCA). La matrice des 142 relevés et 85 espèces discrimine 2 groupes de relevés correspondant aux deux différents sites. Le premier groupe correspond au jardin de case comportant 100 relevés tandis que le second groupe rassemble

les 42 relevés effectués dans la forêt classée. Ces deux groupes ont un faible taux de similarité (SJ=25,88%).

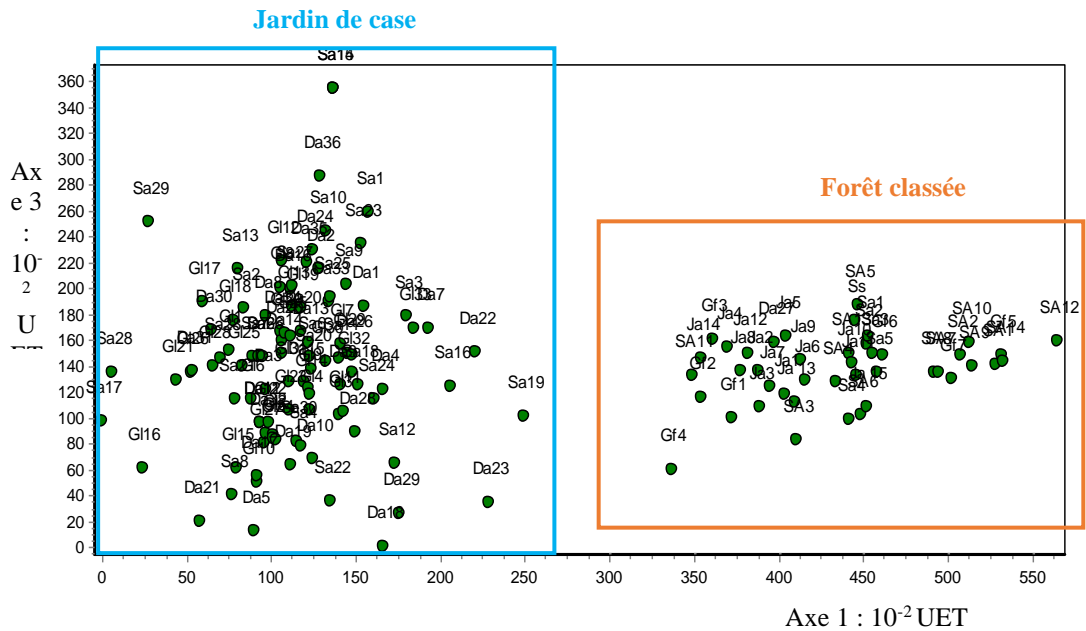


Figure 2. DCA des relevés floristiques des deux sites d'inventaire

UET : Unité d'Écart-Type ; Axe 1 (score : 0,84 ; longueur de gradient : 5,65 UET) ; Axe 3 (score : 0,24 ; longueur de gradient : 3,54 UET).

Discrimination des différentes formations végétale

La classification hiérarchique ascendante appliquée à la matrice des 100 relevés et 67 espèces de plantes aphrodisiaques correspondant au jardin de case a permis de discriminer quatre groupes (Figure 3). Le groupe G1 est constitué de 23 relevés dont 11 réalisés dans la Commune de Savè, 10 à Dassa-Zoumé, et 2 à Glazoué. Le groupe G2 regroupe 24 jardins de case dont 9 dans la Commune de Dassa-Zoumé, 8 à Glazoué et 7 à Savè. Quant au groupe G3, 29 jardins de case y sont regroupés (18 provenant de Glazoué, 8 de Savè et 3 de Dassa-Zoumé). Le dernier groupe G4 est composé de 24 jardins de case répartis comme suit : 14 à Dassa-zoumé, 7 à Savè et 3 à Glazoué.

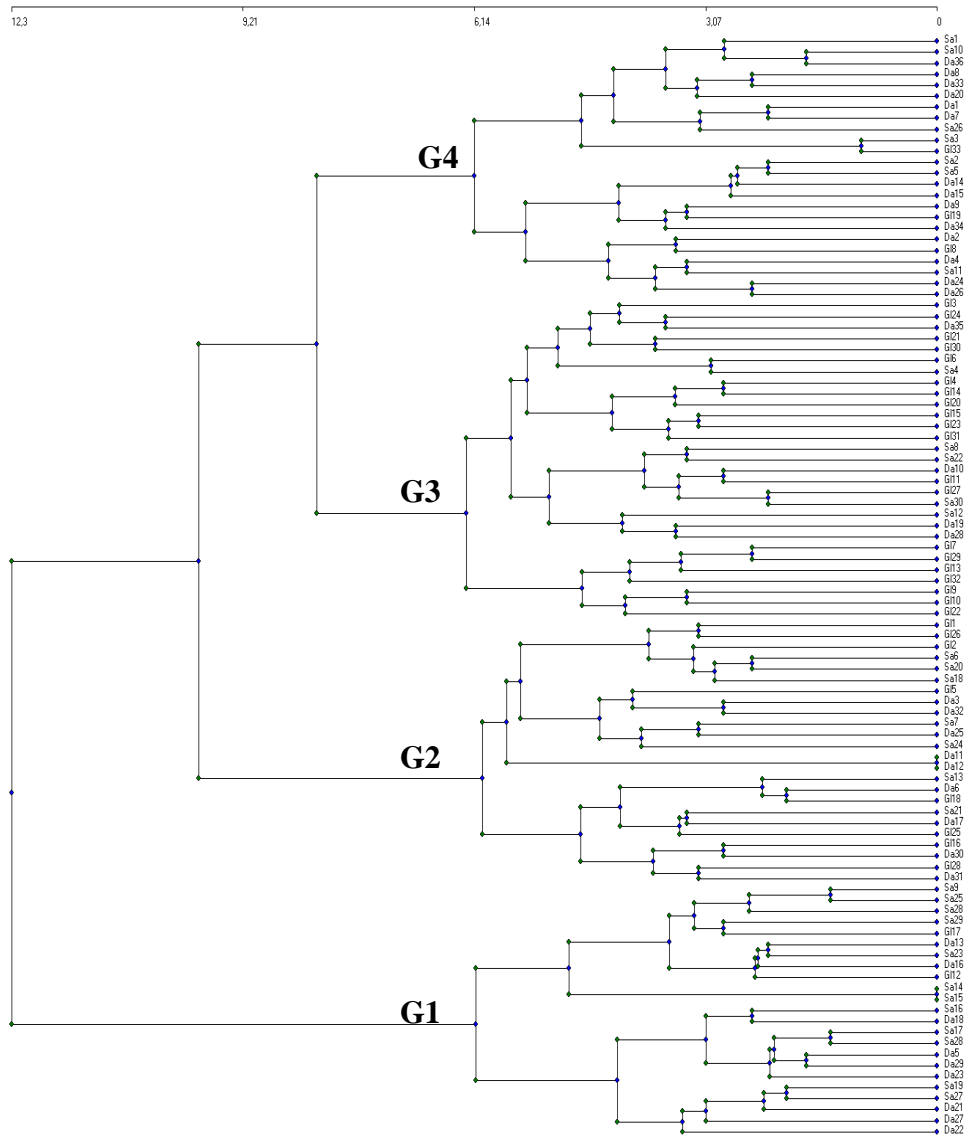
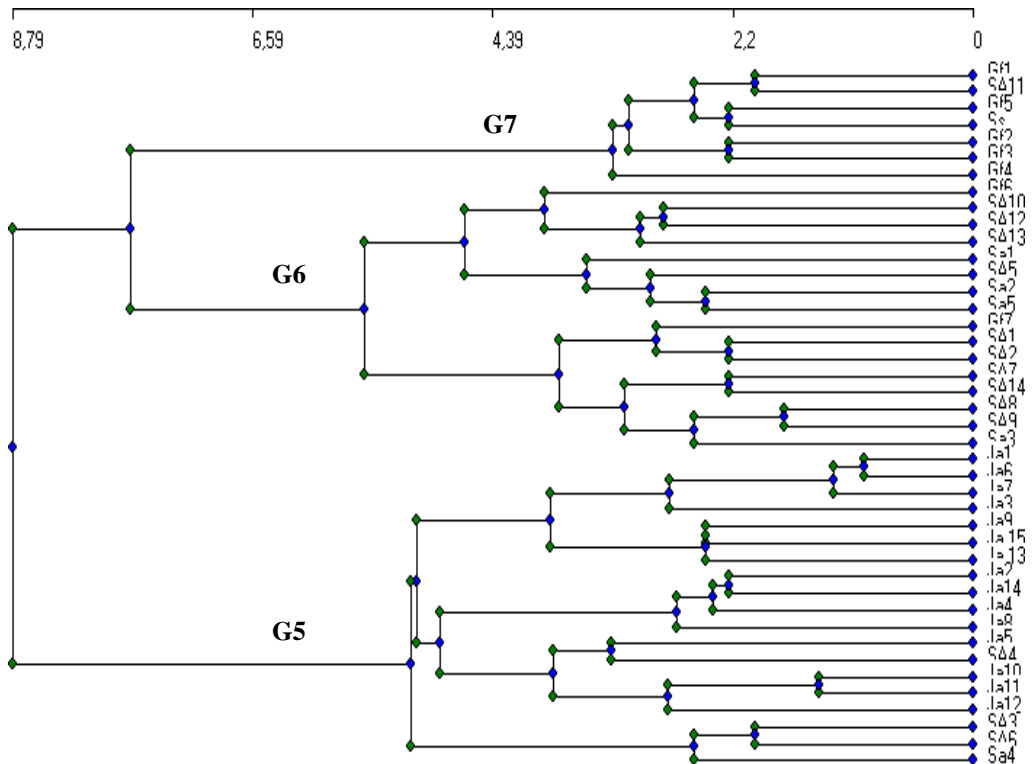


Figure 3. Dendrogramme de distribution des relevés du jardin de case

Le résultat de la discrimination sur la base de la présence-absence des 40 espèces provenant de 42 relevés floristiques effectués dans la forêt classée est présenté par la figure 4. Trois groupes de relevés correspondant à trois principaux types de végétation sont individualisés. Il s'agit des jachères (G4), des savanes arborées-arbustives (G5) et des galeries forestières (G6). La discrimination présente du bas vers le haut une distribution des formations ouvertes vers les plus fermées.

Figure 4. Dendrogramme de distribution des relevés de la forêt classée



Richesse et composition floristique des groupements végétaux identifiés

La flore inventoriée (jardin de case et forêt classée) est riche de 85 espèces de plantes aphrodisiaques provenant de 80 genres et 47 familles botaniques. La famille la plus représentative de la zone d'étude est celle des Fabaceae (27,66%). Ces différents paramètres qui caractérisent la composition floristique du milieu varient d'un groupement à l'autre.

Jardin de case (G1)

Le groupe G1 est constitué de 43 espèces de plantes aphrodisiaques réparties dans 43 genres et 23 familles botaniques dont les plus représentées sont les Poaceae (18,52%), Euphorbiaceae et Fabaceae (14, 81% chacune). Les espèces les plus fréquentes sont *Azadirachta indica* A. Juss. (52,17% des relevés), *Jatropha curcas* L. (43,48% des relevés), *Elaeis guineensis* Jacq., *Moringa oleifera* Lam. (Chacune 39,13% des relevés) et *Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton (30,43% des relevés). Ce type de jardin de case se retrouve plus à Savè (47,83%), à Dassa-Zoumé (43,48%) et moins à Glazoué (8,70%).

Jardin de case (G2)

Le groupe G2 a une richesse spécifique de 44 plantes aphrodisiaques provenant de 42 genres et 28 familles botaniques. Les familles dominantes sont les Fabaceae (17,86%), Poaceae (14,29%), Arecaceae et Euphorbiaceae (10,71% chacune). Les espèces fréquemment retrouvées sont *Carica papaya* L. (79,17% des relevés), *Moringa oleifera* Lam. (70,83% des relevés), *Newbouldia laevis* (P. Beauv.) Seemann ex Bureau (70,83% des relevés), *Elaeis guineensis* Jacq. (66,67% des relevés), *Ocimum gratissimum* L. (62,50% des relevés), *Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton (58,33% des relevés), *Borassus aethiopum* Mart. (50% des relevés), *Citrus aurantifolia* (Christm. & Panzer) Swingle (45,83% des relevés) et *Phyllanthus amarus* Schumach. & Thonn. (41,67% des relevés). Ce groupe de jardin de case est retrouvé à Dassa-Zoumé (37,5%), Glazoué (33,33%) et à Savè (29,17%).

Jardin de case (G3)

Le groupe G3 est constitué de 29 relevés renferme au total 55 espèces de plantes aphrodisiaques issues de 52 genres et 33 familles de plante. Les familles majoritaires sont les Fabaceae (18,18%), Poaceae (15,15%) et Euphorbiaceae (12,12%). Les espèces les plus caractéristiques de ce groupe sont *Musa sapientum* auct. div. (65,52% des relevés), *Phyllanthus amarus* Schumach. & Thonn. (58,62% des relevés), *Citrus aurantifolia* (Christm. & Panzer) Swingle (55,17%), *Sida acuta* Burm.f. ssp. *carpinifolia* (L.f.) Borss.Waalk. (55,17% des relevés), *Carica papaya* L., *Moringa oleifera* Lam., *Elaeis guineensis* Jacq., *Vernonia amygdalina* Delile (37,93% des relevés chacune), *Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton (34,48% des relevés) et *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. (31,03% des relevés). Ce type de jardin de case est plus fréquent à Glazoué (62,07%).

Jardin de case (G4)

Ce groupe est riche de 42 espèces de plantes aphrodisiaques. Les espèces proviennent de 40 genres répartis dans 31 familles botaniques. Les plus représentées sont les Fabaceae, Arecaceae et Euphorbiaceae (9,68% chacune). Les espèces les plus fréquentes sont *Sida acuta* Burm.f. ssp. *carpinifolia* (L.f.) Borss.Waalk. (70,83%), *Ocimum gratissimum* L. (54,17% des relevés), *Ocimum canum* L. (45,83% des relevés), *Azadirachta indica* A. Juss. (41,67% des relevés), *Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton (37,50% des relevés), *Cocos nucifera* L., *Citrus sinensis* Osbeck, et *Newbouldia laevis* (P. Beauv.) Seemann ex Bureau (33,33% des relevés chacune). Le groupe 4 regroupe plus les relevés effectués à Dassa-Zoumé (58,33%).

Jachères (G5)

Le groupe G5 est constitué de 19 relevés où sont inventoriées 26 espèces réparties dans 26 genres et 14 familles botaniques. Les familles majoritaires sont les Fabaceae (50%) et Euphorbiaceae (28,57% des relevés). Les espèces les plus fréquentes sont *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) E. A. Bruce (84,21% des relevés), *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv. (78,95% des relevés), *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. Ssp. *paradoxa* (73,68% des relevés), *Annona senegalensis* Pers. (68,42% des relevés), *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh., *Rourea coccinea* (Thonn.ex Schumach.) Benth. (57,89% des relevés chacune), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (42,11% des relevés) et *Pseudocedrela kotschyi* (Schweinf.) Harms (36,84% des relevés).

Savanes arborées-arbustives (G6)

Le groupe G6 constitué de 16 relevés a une richesse spécifique de 30 espèces de plantes aphrodisiaques. Elles proviennent de 29 genres et 18 familles botaniques dont les plus représentées sont les Fabaceae (38,89%), Euphorbiaceae, et Meliaceae (16, 67% chacune). Les espèces fréquemment rencontrées sont *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh., *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. ssp. *Paradoxa* (87,5% des relevés chacune), *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr. (81,25%), *Annona senegalensis* Pers., *Cissus populnea* Guill. & Perr. (75% des relevés chacune), *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) E. A. Bruce (56,25%), *Flueggea virosa* (Roxb.ex Willd) Voigt., *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. (50% des relevés chacune), *Desmodium gangeticum* (L.) DC. var. *gangeticum* et *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch. (43,75% des relevés chacune).

Galeries forestières (G7)

Ce groupe regroupe 6 relevés floristiques où sont inventoriées 18 espèces de plantes aphrodisiaques provenant de 18 genres et 15 familles botaniques. Les plus majoritaires sont les Fabaceae (21,43% des relevés) et Arecaceae (14,29% des relevés). Les espèces les plus fréquentes sont *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr. (100% des relevés), *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC. (83,33% des relevés), *Acacia polyacantha* Willd. ssp., *Cassia sieberiana* DC. (66,67% chacune des relevés) et *Paullinia pinnata* L. (50% des relevés).

Diversité quantitative des groupements végétaux

L'analyse comparative des caractéristiques floristiques des différents groupements végétaux (Tableau 1) révèle une richesse spécifique totale (RSt) plus élevée au niveau des jardins de case (42 à 55 espèces contre 19 à 31 espèces pour la forêt classée). La richesse spécifique moyenne (RSm) varie

significativement entre les différents groupements végétaux ($p=0,001$). Elle est plus élevée (10 ± 3 espèces/placette) au niveau des jardins de case G2 (à *Carica papaya* et *Moringa oleifera*) et G3 (à *Musa sapientum* et *Phyllanthus amarus*) de même qu'au niveau des savanes arborées-arbustives (G7). La diversité floristique est faible dans toute la zone d'étude ($H < 3$ bits au niveau de tous les groupements) avec des valeurs moyennes d'indice de Shannon statistiquement différentes ($p=0,01$). Elle varie de $1,13\pm 0,48$ bits (jardins de case G2 à *Azadirachta indica* et *Jatropha curcas*) à $2,05\pm 0,69$ bits (galeries forestière). S'agissant de l'Équitabilité de Pielou, elle varie d'un groupement à un autre avec des valeurs proche de 1 indiquant une équirepartition des espèces. Le test statistique montre que la différence entre les différentes valeurs n'est pas significative ($p=0,24$). La densité des espèces varie entre les différents groupements végétaux. Les différences sont moins fortes au sein des groupements de jardin de case alors qu'elles sont plus élevées au sein des groupements de forêt classée. Ces différences sont significative ($p=0,01$). Dans toute la zone d'étude, les savanes arborées-arbustives (685 ± 388) et les galeries forestières (514 ± 263) ont les valeurs les plus élevées de densité tandis que la faible densité est enregistrée au niveau des jachères (138 ± 91).

Tableau 1. Caractéristiques floristiques des différents groupes

Sites d'inventaires	Groupements végétaux	RSt	RSm	H (bits)	Eq	N (tiges/ha)
Jardins de case	G1	43	$5^{a\pm 2}$	$1,13^{a\pm 0,48}$	$0,76\pm 0,20$	$222^{ab\pm 188}$
	G2	44	$10^{c\pm 3}$	$1,89^{b\pm 0,60}$	$0,84\pm 0,15$	$330^{b\pm 217}$
	G3	55	$10^{c\pm 3}$	$1,53^{ab\pm 0,68}$	$0,80\pm 0,20$	$306^{ab\pm 271}$
	G4	42	$8^{b\pm 2}$	$1,47^{ab\pm 0,67}$	$0,76\pm 0,21$	$278^{ab\pm 193}$
Forêt classée	G5	27	$8^{bc\pm 1}$	$1,41^{ab\pm 0,47}$	$0,89\pm 0,12$	$138^a\pm 91$
	G6	31	$10^{bc\pm 2}$	$1,64^{ab\pm 0,67}$	$0,73\pm 0,21$	$685^c\pm 388$
	G7	19	$7^{abc\pm 2}$	$2,05^{b\pm 0,69}$	$0,80\pm 0,23$	$514^{bc\pm 263}$
Test statistique (ANOVA)			$F=11,95 ; p=0,001$	$F=3,51 ; p=0,01$	$F=1,35 ; p=0,24$	$F=7,76 ; p=0,001$

*les moyennes ayant les lettres similaires au niveau d'une même colonne ne sont pas significativement différentes

Spectre biologique

Le spectre biologique des deux formations végétales (Figure 5) montre la prédominance des Phanérophytes avec les mésophanérophytes (36,59%) et microphanérophytes (21,21%) respectivement plus dominants dans la forêt classée et les jardins de case. Les Thérophytes (18,18%) sont plus représentés dans les jardins de case tandis que les nanophanérophytes (14,63%) plus abondants dans la formation naturelle.

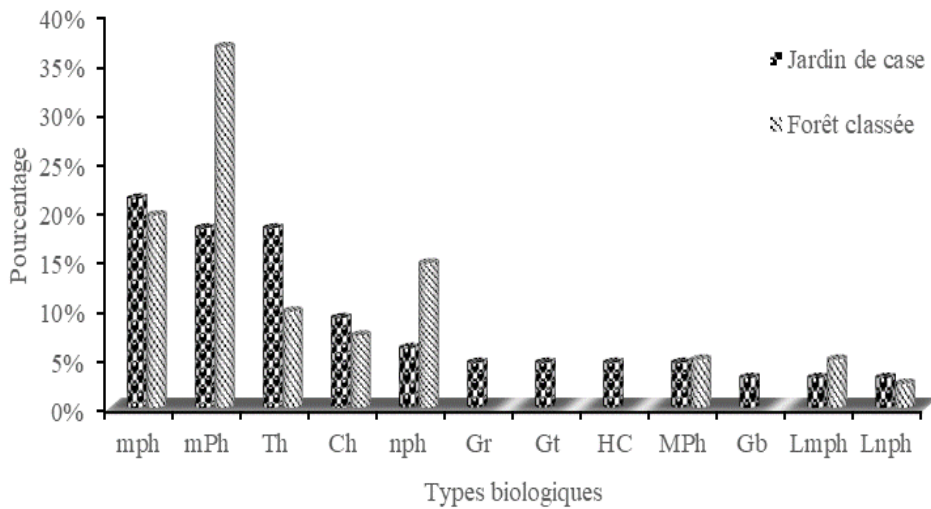


Figure 5. Spectre biologique des espèces inventoriées

Légende : mph=microphanérophyte; mPh=mésophanérophyte; MPh=Mégaphanérophyte; Th=Thérophyte; Ch=Chaméphyte; nph=nanophanérophyte; Gr=Géophyte rhizomateux; Gt=Géophyte tuberculeux ; HC=Hémicryptophyte ; Gb=Géophyte bulbeux ; Lmph=microphanérophyte lianescent; Lnph=nanophanérophyte lianescent

Disponibilité des plantes aphrodisiaques dans la zone d'étude

La valeur de l'indice de raréfaction des espèces varie de 58 à 99% pour les espèces de jardins de case et de 28,57% à 97,62% pour celles recensées dans la forêt classée. Sur les 67 espèces de jardins de case, 18 sont préférentielles, fréquentes et abondantes dans les jardins de case ($R_i < 80\%$) tandis que 49 ont des valeurs de R_i supérieures à 80% (Tableau 2). S'agissant de la forêt classée, sur les 40 espèces inventoriées, 14 sont abondantes et 26 rares.

Tableau 2. Disponibilité des plantes aphrodisiaques dans la zone d'étude

Sites d'inventaires	Espèces préférentielles, fréquentes et abondantes	Espèces rares	Total
Jardin de case	<i>Carica papaya</i> L. (58%), <i>Moringa oleifera</i> Lam. (59%), <i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T. Aiton (60%), <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. (60%), <i>Newbouldia laevis</i> (P. Beauv.) Seemann ex Bureau (62%), <i>Ocimum gratissimum</i> L. (63%), <i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn. (63%), <i>Citrus aurantifolia</i> (Christm. & Panzer) Swingle (69%), <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. (70%), <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf (71%), <i>Vernonia amygdalina</i> Delile (71%), <i>Sida acuta</i> Burm.f. ssp. <i>carpinifolia</i> (L.f.) Borss.Waalk. (72%), <i>Musa sapientum</i> auct. div. (73%), <i>Jatropha curcas</i> L. (74%), <i>Ocimum canum</i> L. (75%), <i>Cocos nucifera</i> L. (77%), <i>Borassus aethiopum</i> Mart. (78%), <i>Citrus sinensis</i> Osbeck (79%),	<i>Caesalpinia bonduc</i> (L.) Roxb. (82%), <i>Zea mays</i> L. (82%), <i>Momordica charantia</i> L. (83%), <i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd. (83%), <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench (84%), <i>Heliotropium indicum</i> L. (84%), <i>Manihot esculenta</i> Crantz (84%), <i>Psidium guajava</i> L. (84%), <i>Boerhavia diffusa</i> L. (85%), <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott (85%), <i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss. (87%), <i>Cerathoteca sesamoides</i> Endl. (88%), <i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f. (89%), <i>Imperata cylindrica</i> (L.) P. Beauv. (89%), <i>Sida cordifolia</i> L. (89%), <i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-LeComte ex O'Rorke) (90%), <i>Adansonia digitata</i> L. (91%), <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. (93%), <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam. (93%), <i>Cassia sieberiana</i> DC. (94%), <i>Saccharum officinarum</i> L. (94%), <i>Lawsonia inermis</i> L. (96%), <i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh. (96%), <i>Scoparia dulcis</i> L. (96%), <i>Dioscorea alata</i> L. (97%), <i>Launaea taraxacifolia</i> (Willd.) Amin ex C. Jeffrey (97%), <i>Persea americana</i> Mill. (97%), <i>Rourea coccinea</i> (Thonn.ex Schumach.) Benth. (97%), <i>Tragia senegalensis</i> Müll.Arg. (97%), <i>Abrus precatorius</i> L. (98%), <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex Wendel (98%), <i>Capsicum annum</i> L. (98%), <i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl. (98%), <i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E. A. Bruce (98%), <i>Allium cepa</i> L. (99%), <i>Bridelia ferruginea</i> Benth. (99%), <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. (99%), <i>Desmodium velutinum</i> (Willd.) DC. (99%), <i>Dioscorea dumetorum</i> (Kunth) Pax (99%), <i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth. (99%), <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl. (99%), <i>Lippia multiflora</i> Moldenke (99%), <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don (99%), <i>Paullinia pinnata</i> L. (99%), <i>Piper guineense</i> Schumach. & Thonn. (99%), <i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir. (99%), <i>Tamarindus indica</i> L. (99%), <i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn. ssp. <i>Paradoxa</i> (99%), <i>Zingiber officinale</i> Roscoe (99%).	
Total	18	49	67
Forêt classée	<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn. ssp. <i>Paradoxa</i> (28,57%), <i>Imperata cylindrica</i> (L.) P. Beauv. (33,33%), <i>Annona senegalensis</i> Pers. (40,48%), <i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr. (42,86%), <i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh. (42,86%), <i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E. A. Bruce (45,24%), <i>Rourea coccinea</i> (Thonn.ex Schumach.) Benth. (61,90%), <i>Pseudocedrela kotschy</i> (Schweinf.) Harms (64,29%), <i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr. (66,67%), <i>Flueggea virosa</i> (Roxb.ex Willd) Voigt. (71,43%), <i>Gardenia</i>	<i>Desmodium velutinum</i> (Willd.) DC. (83,33%), <i>Desmodium gangeticum</i> (L.) DC. var. <i>gangeticum</i> (83,33%), <i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn. (83,33%), <i>Sterculia setigera</i> Delile (83,33%), <i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels (85,71%), <i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. DC. (85,71%), <i>Hymenocardia acida</i> Tul. (88,10%), <i>Paullinia pinnata</i> L. (88,10%), <i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir. (88,10%), <i>Acacia polyacantha</i> Willd. ssp. <i>campylacantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) (88,10%) Brenan, <i>Cassia sieberiana</i> DC. (88,10%), <i>Borassus aethiopum</i> Mart. (90,48%), <i>Bridelia ferruginea</i> Benth. (90,48%), <i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i> (Lam.)	

	<i>erubescens</i> Stapf & Hutch. (71,43%), <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. (73,81%), <i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub. (71,81%), <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don (76,19%).	(90,48%), <i>Sida acuta</i> Burm.f. ssp. <i>carpinifolia</i> (L.f.) Borss.Waalk. (90,48%), <i>Ocimum canum</i> L. (92,86%), <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. (95,24%), <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. (95,24%), <i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth. (95,24%), <i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth. ex Baker) (95, 24%), <i>Tamarindus indica</i> L. (95,24%), <i>Trema orientalis</i> (L.) Blume syn <i>Trema guineensis</i> (Schumach. & Thonn.) Ficalho (95,24%), <i>Vernonia amygdalina</i> Delile (95,24%), <i>Securidaca longepedunculata</i> Fres. (95,24%), <i>Entada africana</i> Guill. & Perr. (97,62%), <i>Tragia senegalensis</i> Müll.Arg. (97,62%).	
Total	14	26	40

*La valeur de l'indice de rareté (Ri) est mise entre parenthèse pour chaque espèce du tableau

Discussion

Bilan floristique des formations végétales

Les inventaires floristiques ont permis de recenser 85 espèces de plantes aphrodisiaques, soit 57,43% des 148 espèces aphrodisiaques documentées au Bénin (Batcho et al., 2022). En se référant à ces mêmes travaux 15, des 85 espèces inventoriées sont prioritaires dans les recettes aphrodisiaques. Tout cela traduit une disponibilité assez importante des plantes aphrodisiaques dans la zone d'étude correspondant à une grande ressource pour la médecine traditionnelle. Ce nombre est similaire à celui de 84 plantes prioritaires recensées dans de pareilles études en Côte d'Ivoire (Kouadio et al., 2020). Par contre la richesse spécifique trouvée par cette étude est largement supérieure à celle de 31 et 48 espèces médicinales respectivement inventoriées dans la région du Sahara Septentrional (Khenifer & Lattachi, 2018) et au Nord-est algérien (Lazli et al., 2019). Contrairement à la zone d'étude ces régions à faible diversité floristique se trouvent dans la zone désertique de l'Afrique ce qui pourrait justifier cette grande différence. La prédominance des Fabaceae trouvée par la présente étude n'est pas anodine. Elle a été préalablement citée comme la famille la plus riche en espèces aphrodisiaques au Bénin (Batcho et al., 2022). De plus, les Fabaceae représentent la famille la plus riche de la flore du Bénin devant les Poaceae, Rubiaceae, Cyperaceae, Asteraceae et Euphorbiaceae (Akoègninou et al., 2006). Par ailleurs, cette famille occupe le troisième rang des grandes familles de plantes à fleurs dans le monde (Ahmad et al., 2016). Aussi, nos résultats confirment-ils des relevés phytosociologiques antérieurs effectués au Centre-Bénin (Ahouandjinou et al., 2017; Somanin et al., 2021).

Les résultats de cette étude ont montré également que les jardins de case regorgent une grande diversité de plantes aphrodisiaques que la forêt classée de l'Ouémé-Boukou. Ceci confirme leur importance dans la conservation de la biodiversité au Bénin comme précédemment démontré par les travaux de Idohou et al. (2014) et Salako et al. (2014). En effet, les jardins de case sont de meilleures stratégies endogènes de conservation *in situ* des plantes médicinales et même alimentaires (Idohou et al., 2014). D'autres études portant sur les jardins de case ont montré la forte présence des plantes médicinales dans les jardins de case. On peut citer en autres celles de Lawin et al. (2016) qui ont identifié 34 plantes antidiabétiques conservées dans les jardins de case au Centre-Bénin et celle de Arouna et al. (2022) qui ont montré l'importance des jardins de case dans la conservation de 50 espèces de plantes sauvages à Kétou. De même, 41 espèces ligneuses alimentaires ont été inventoriées dans les jardins de case à la périphérie de la forêt classée de la Lama (Assogbadjo et al., 2021). Il urge alors de prendre en considération les jardins de case dans les stratégies et politiques nationales de conservation de la biodiversité surtout, dans le contexte actuel de la valorisation des essences

autochtones pour une économie verte durable lancé par le gouvernement béninois lors de la 38e édition de la Journée nationale de l'arbre (JNA, 2022). Notons que les plantes aphrodisiaques caractéristiques des jardins de case sont *Carica papaya*, *Moringa oleifera*, *Calotropis procera*, *Newbouldia laevis*, *Ocimum gratissimum*, *Phyllanthus amarus*, *Citrus aurantifolia*, *Azadirachta indica*, *Vernonia amygdalina*, *Musa sapientum*, *Jatropha curcas*, *Ocimum canum*, *Cocos nucifera*, *Borassus aethiopum*, *Citrus sinensis* *Caesalpinia bonduc*. Des travaux antérieurs ont fait cas de ces espèces dans les jardins de case au Bénin (Assogbadjo et al., 2011 ; Salako et al., 2014; Idohou et al., 2014; Lawin et al., 2016; Assogbadjo et al., 2021; Arouna et al., 2022). La majorité de ces espèces sont également alimentaires.

La richesse floristique estimée à 40 espèces dans la forêt classée de l'Ouémé-Boukou est inférieure à celle trouvée (68 à 95 espèces) dans les différents groupements individualisés de la forêt classée de la Lama au Sud-Bénin (Folahan et al., 2018). Même constat en considérant les 186 espèces recensées dans le bassin Supérieur de l'Alibori abritant une grande partie de la forêt classée de l'Alibori supérieur au nord-Bénin (Arouna et al., 2016). La différence pourrait être justifiée par le fait que ces travaux antérieurs ne se sont pas focalisés spécifiquement sur l'inventaire des plantes médicinales. Cependant, nos travaux corroborent ceux de Cherry et al. (2015) qui ont inventorié 47 espèces végétales sources de PFNL à usage médicinal dans la forêt classée de de Yapou-Abé en Côte d'Ivoire. La faible richesse floristique enregistrée dans la forêt classée de l'Ouémé-Boukou pourrait se justifier notamment par le niveau d'anthropisation très prononcé constaté sur le terrain (agriculture hautement élevée, plantation forestière assez importante, carbonisation très fréquente et surpâturage). D'ailleurs l'abondance des espèces telles que *Azadirachta indica* et *Imperata cylindrica* remarquée dans cette formation végétale est indicatrice de sa forte dégradation. De plus, les valeurs relativement faibles de l'indice de diversité de Shannon ($1,41 \pm 0,47$ à $2,05 \pm 0,69$) illustrent bien cela. La régression de ce couvert végétal a été estimée à 70% entre 1949 et 1998 (Houndagba et al., 2007). Et la tendance est la même pour plusieurs forêts classées au Bénin (Avakoudjo et al., 2014 ; Biaou et al., 2019 ; Orou N'gobi et al., 2020 ; Mama et al., 2020 ; Dossa et al., 2021). Vu que la forêt classée de Ouémé-Boukou bénéficie du « projet forêts classées Bénin » en raison de sa forte dégradation (Cadre de Gestion Environnementale et Sociale du Bénin CGES, 2019), il s'avère indispensable de prendre en considération les espèces aphrodisiaques telles que *Vitellaria paradoxa*, *Annona senegalensis*, *Anogeissus leiocarpa*, *Piliostigma thonningii*, *Sarcocephalus latifolius*, *Rourea coccinea*, *Pseudocedrela kotschyi*, *Cissus populnea*, *Gardenia erubescens*, *Prosopis africana*, *Parkia biglobosa*, *Desmodium gangeticum*, *Diospyros mespiliformis*, *Paullinia pinnata*, *Acacia polyacantha* et *Cassia sieberiana* caractéristiques des

différents groupements végétaux de ce domaine forestier dans son plan d'aménagement.

En considérant le spectre biologique, on note en général une prédominance des Phanérophytes avec les microphanérophytes et mésophanérophytes respectivement plus représentés au niveau des jardins de case et la forêt classée. Les Thérophytes sont plus représentés au niveau des jardins de case. Ces résultats ne sont pas surprenants car les plantes aphrodisiaques sont majoritairement des ligneux (arbres, arbustes, sous-arbustes) et les herbacées (Batcho et al., 2020 ; Batcho et al., 2022). Notons que la prédominance des phanérophytes au niveau de la forêt classée montre que les formations végétales présentent des conditions édaphiques favorables aux formations forestières ou boisées (Kombaté et al., 2020). L'administration forestière pourra donc suivre et planifier l'exploitation du bois d'œuvre dans ces formations végétales.

Disponibilité des plantes aphrodisiaques

Suivant l'indice de rareté des espèces, 33 espèces (soit 38,82% du total recensé) sont préférentielles donc abondantes dans la zone d'étude. Dans les jardins de case, ces espèces préférentielles sont celles utilisées plus à des fins alimentaires comme *Carica papaya*, *Moringa oleifera*, *Elaeis guineensis*, *Ocimum gratissimum*, *Citrus aurantifolia*, *Vernonia amygdalina*, *Musa sapientum*, *Cocos nucifera*, *Borassus aethiopum* et *Citrus sinensis*. Certaines d'entre elles comme *Carica papaya*, *Moringa oleifera*, *Elaeis guineensis* et *Ocimum gratissimum* sont également de principales plantes à usages vétérinaire au Bénin (Sidi et al., 2017).

S'agissant de la forêt classée, les espèces abondantes sont plus caractérisées par de jeunes individus. Toutefois, il existe des individus adultes de certaines espèces telles que *Vitellaria paradoxa*, *Anogeissus leiocarpa* et *Parkia biglobosa*. Les espèces telles que *Piliostigma thonningii*, *Vitellaria paradoxa*, *Anogeissus leiocarpa*, *Annona senegalensis* et *Pseudocedrela kotschyi* déclarées fréquentes et abondantes ici le sont également dans les zones non protégées et forêts villageoises des savanes du Nord de la Côte d'Ivoire (Dro et al., 2013). Signalons également que les espèces *Vitellaria paradoxa*, *Azadirachta indica* et *Piliostigma thonningii* ont été évaluées non vulnérables par Dassou et al. (2014) au cours de ses études sur les plantes médicinales à usages vétérinaires au Nord-Bénin.

Par ailleurs, 49 espèces sont déclarées rares dans les jardins de case et 26 dans la forêt classée. Elles sont donc supposées plus menacées dans la zone d'étude. Plusieurs d'entre elles notamment *Caesalpinia bonduc*, *Adansonia digitata*, *Khaya senegalensis*, *Ananas comosus*, *Zingiber officinale*, *Kigelia africana*, *Paullinia pinnata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Pteleopsis suberosa*, *Hymenocardia acida*, *Zanthoxylum zanthoxyloides*, *Pericopsis laxiflora* et

Securidaca longepedunculata ont été évaluées vulnérables par plusieurs travaux antérieurs (Dassou et al., 2014 ; Lawin et al., 2016 ; Ayena et al., 2016 ; Yaoitcha et al., 2019). Mais du fait que les plantes cultivées de même que les herbacées sont périodiquement renouvelées leur raréfaction dans les jardins de case déclarée par la présente étude est négligeable. Parmi les plantes aphrodisiaques rares, 5 figurent sur la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) pour le Bénin. Il s'agit de *Caesalpinia bonduc* (éteint à l'état sauvage), *Khaya senegalensis* (en danger), *Kigelia africana* (vulnérable), *Pterocarpus erinaceus* (en danger) et *Zanthoxylum zanthoxyloides* (en danger) (Adomou et al., 2011). La mise en place d'une politique de conservation de ces espèces, soumises déjà à une forte pression anthropique serait une alternative pour leur gestion durable dans notre pays.

En considérant les travaux de Batcho et al. (2022), parmi les 33 espèces de plantes aphrodisiaques prioritaires (fréquemment utilisées), 11 espèces (soit 33,33%) n'ont pas été rencontrées nulle part au cours de l'étude. Il s'agit de *Garcinia kola* Heckel, *Aframomum melegueta* (Roscoe) K. Schum, *Cyperus esculentus* L., *Xylopi aethiopica* (Dunal) A. Rich., *Acridocarpus smeathmannii* (DC.) Guill. & Perr., *Cola acuminata* (P. Beauv.) Schott & Endl., *Carpolobia lutea* G. Don, *Monodora myristica* (Gaertn.) Dunal, *Pachycarpus lineolatus* (Decne.) Bullock, *Cola nitida* (Vent.) Schott. & Endl., *Carissa spinarum* L. et *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L. M. Perry. L'évaluation de la disponibilité de ces espèces dans leur zone d'occurrence est urgente notamment celles déjà déclarées menacées au Bénin.

Conclusion

Cette étude a contribué à une meilleure compréhension de l'état actuel de la disponibilité des plantes aphrodisiaques au centre-Bénin. L'inventaire floristique a permis de recenser 85 espèces dont 67 au niveau des jardins de case et 40 dans la forêt classée de l'Ouémé-Boukou. La famille des Fabaceae est la plus représentée. La diversité floristique est faible dans toute la zone d'étude et dominée par les Phanérophytes. Les quatre groupements végétaux individualisés au niveau des jardins de case ont relativement la même composition floristique tandis que la densité varie significativement entre les jachères, galeries forestières et savanes arborées-arbustives.

S'agissant de la disponibilité des espèces, seulement 38,82% des plantes aphrodisiaques inventoriées sont fréquentes et abondantes dans la zone d'étude. Parmi les plantes aphrodisiaques déclarées rares, 5 espèces à savoir *Caesalpinia bonduc*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Pterocarpus erinaceus* et *Zanthoxylum zanthoxyloides* figurent sur la liste rouge de l'UICN pour le Bénin. Il faut cependant multiplier les stratégies et politiques de conservation de ces espèces à travers leur domestication effective dans les

jardins de case et leur intégration dans les programmes nationaux de reforestation.

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un appui financier du gouvernement du Bénin à travers le Programme « Appui aux doctorants » du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS) dont I.A. Batcho est bénéficiaire. Les auteurs expriment leur profonde gratitude au MESRS.

Conflits d'intérêt: Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

References:

1. Adomou, A.C., Agbani, O.P., & Sinsin, B. (2011). Plantes [Plants]. In: Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest [Nature conservation in West Africa]. Une Liste Rouge pour le Benin [Red list for Benin (in French and English)], M. Neuenschwander, B. Sinsin, and G. Goergen, eds., Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture; p. 21-60.
2. 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.
3. Ahmad, F., Anwar, F., & Hira, S. (2016). Review on medicinal importance of Fabaceae family. *Pharmacologyonline*, (3), 151-157.
4. Ahouandjinou, S.T., Yédomonhan, H., Tossou, M. G., Adomou, A. C., & Akoègninou, A. (2017). Diversité floristique et caractérisation structurale de la réserve forestière de Ouoghi en zone soudano-guinéenne (Centre-Bénin). *European Scientific Journal*, 13(12), 400-423. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p400>
5. Ahouansinkpo, E., Atanasso, J., Dansi, A., Adjatin, A., Azize, O., & Sanni, A. (2016). Ethnobotany, phytochemical screening and toxicity risk of *Cleome gynandra* and *Cleome viscosa*, two traditional leafy vegetables consumed in Benin. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(2), 813-829.
6. Akoègninou, A., van der Burg, W.J., & van der Maesen, L.J.G. (2006). *Flore Analytique du Bénin*. Leiden, Netherlands: Backhuys Publishers; 1063p. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/281595>.
7. Arouna, H., Montcho, D., Orobíyí, A., & Djossa, B. (2022). Diversity and major wild plant species domesticated in home gardens at Kétou

- district (Benin Republic). Premières Journées Scientifiques de l'ENSBBDA Dassa-Zoumé. Actes des journées. 169p.
8. Arouna, O., Etene, C. G., & Issiako, D. (2016). Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, (108), 10543-10552. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v108i1.7>
 9. Assogbadjo, A.E., Kakaï, R. G., Adjallala, F.H., Azihou, A.F., Vodouhê, G.F., Kyndt, T.& Codji, J.T.C. (2011). Ethnic differences in use value and use patterns of the threatened multipurpose scrambling shrub (*Caesalpinia bonduc* L.) in Benin. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(9), 1549-1557.
 10. Assogbadjo, B.E.J., Hounkpevi, A., Barima, Y. S. S., Akabassi, G. C., Padonou, E. A., Sangne, Y. C., Assogbadjo, A.E., & Kakaï, R. G. (2021). Diversité et état de conservation des espèces ligneuses alimentaires à la périphérie de la Forêt Classée de la Lama (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), 2456-2474.
 11. Avakoudjo, J., Mama, A., Toko, I., Kindomihou, V., & Sinsin, B. (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(6), 2608-2625.
 12. Ayéna, A. C., Assogbadjo, A. E., Adoukonou-Sagbadja, H., Mensah, G. A., Agbangla, C., & Ahanhanzo, C. (2016). Usages Et Vulnerabilite De *Pterocarpus Santalinoides* L'her. Ex De (Papillionoidae), Une Plante Utilisee Dans Le Traitement Des Gastro-Enterites Dans Le Sud Du Benin. *European Scientific Journal*, 12(6), 218-231. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p218>
 13. Batcho, A.I, Ewédjè E-E. B K ., Somanin, R.M., Ogan, P.E., Yedomonhan, H., & Adomou, A.C. (2022). Ethnobotanical study of medicinal plants traditionally used in the treatment of sexual dysfunctions in Benin. *International Journal of Biosciences* 21 (5) : 100-136. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/21.5.100-136>
 14. Batcho, I. A., Ewédjè, E. E. B. K., Yédomonhan, H., & Adomou, A. C. (2020). Diversity and endogenous knowledge of aphrodisiac plants in south and Central Benin. *Research square preprint*, 1-29. DOI: 10.21203/rs.3.rs-46838/v1
 15. Biauou, S., Houeto, F., Gouwakinnou, G., Biauou, S. S. H., Awessou, B., Tovihessi, S., & Tete, R. (2019). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin. In *Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*. OSFACO, 13-15

16. Braun-Blanquet, J. (1932). Plant sociology: The study of plant communities. McGraw Hill, New York and London, 439 p. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19331600801>
17. CGES. (2019). Projet Forêts Classées Benin. Rapport final. 165p.
18. Cherry, P. S., Honora, T. B. F., Djezou, K., Alain, B. B. G., Adama, B. (2015). Inventaire et disponibilité des plantes médicinales dans la forêt classée de Yapo-Abé, en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal* 11(24), 161-181.
19. COP 15. 2021. Sixième rapport national du Bénin sur la diversité biologique. 116p. <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/bj-nr-06-fr.pdf>
20. Dajoz, R. (1985). Précis d'écologie. Bordas, Paris, France.
21. Dassou, H. G., Ogni, C. A., Yédomonhan, H., Adomou, A. C., Tossou, M., Dougnon, J. T., & Akoègninou, A. (2014). Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 189-210.
22. Dibong, S.D., Mpondo, M.E., Ngoye, A., Kwin, M.F., & Betti, J.L. (2011). Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, (37), 2496-2507.
23. Dossa, L. O. S. N., Dassou, G. H., Adomou, A. C., Ahononga, F. C., & Biau, S. (2021). Dynamique spatio-temporelle et vulnérabilité des unités d'occupation du sol de la Forêt Classée de Pénésoulou de 1995 à 2015 (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 9(2), 55-63.
24. Dougnon, T. V., Attakpa, E., Bankolé, H., Hounmanou, Y. M. G., Dèhou, R., Agbankpè, J., de Souza, M., Fabiyi, K., Gbaguidi, F., & Baba-Moussa, L. (2017). Etude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées contre une maladie cutanée contagieuse: La gale humaine au Sud-Bénin. *Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, (18), 16-22.
25. Dougnon, V., Legba, B., Yadouléton, A., Agbankpe, J., Koudokpon, H., Hounmanou, G., Amadou, A., Fabiyi, K., Assogba, P., Hounsa, E., Aniambossou, A., Déguenon, E., de Souza M., Bankolé, H.S., Dougnon, J. & Baba-Moussa, L. (2018). Utilisation des plantes du Sud-Bénin dans le traitement de la fièvre typhoïde: rôle des herboristes. *Ethnopharmacologia*, (60), 64-73.
26. Dresse, A. & De Baeremaeker, D. (2013). AMAWATO le marché de la santé au pays du vaudou. 44p.
27. Dro, B., Soro, D., Koné, M. W., Bakayoko, A., & Kamanzi, K. (2013). Evaluation de l'abondance de plantes médicinales utilisées en

- médecine traditionnelle dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 17(3), 2631-2646.
28. Fah L, Klotoé JR, Dougnon V, Koudokpon H, Fanou VBA, Dandjesso C, Loko F. (2013). Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète chez les femmes enceintes à Cotonou et Abomey-Calavi (Bénin). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 18(1), 2647-2658.
 29. Farnsworth, N. R., Akerele, O., Bingel, A. S., Soejarto, D. D., & Guo, Z. (1986). Place des plantes médicinales dans la thérapeutique. *Bulletin of the World Health Organization*, 64(2), 159-175.
 30. Folahan, S. O., Dissou, E. F., Akouehou, G. S., Tente, B. A., & Boko, M. (2018). Ecologie et structure des groupements végétaux des écosystèmes de la Lama au Sud-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 322-340.
 31. Frontier, S. & Pichod-Viale, D. 1995. *Théorie des écosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*, 2e édition. Paris, Masson. Collection d'écologie 21: 287-311.
 32. Géhu, J.M. & Géhu, J., (1980). Essai d'objection de l'évaluation biologique des milieux naturels. Exemples littoraux. In Géhu J. M. (ed). *Séminaire de Phytosociologie Appliquée*. Amicale Francophone de Phytociologie, Metz, 75-94
 33. Gnanglè, C.P., Glèlè, R.K., Assogbadjo, A.E., Vodounnon, S., Yabi, J.A., & Sokpon, N. (2011). Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*, (8), 27-41. <https://doi.org/10.4267/climatologie.259>
 34. Guinnin, F. D. F., Sacramento T. I., Sezan, A. & Ategbó J-M. (2015). Etude Ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel des hépatites virales B et C dans quelques départements du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(3): 1354-1366. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.20>
 35. Haidara, M., Diarra, M. L., Doumbia, S., Denou, A., Dembele, D., Diarra, B., & Sanogo, R. (2020). Plantes médicinales de l'Afrique de l'Ouest pour la prise en charge des affections respiratoires pouvant se manifester au cours de la Covid-19. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(8), 2941-2950.
 36. Hendsen, P. A. & Seaby, R. M. (2002). *Community Analysis Package Version 2.15. Pisces Conservation Ltd.* <http://www.irchouse.demon.co.uk/>
 37. Houmènou, V., Adjatin, A., Assogba, F., Gbénou, J., & Akoègninou, A. (2018). Etude phytochimique et de cytotoxicité de quelques plantes utilisées dans le traitement de la stérilité féminine au Sud-Benin. *Eur*

- Sci J, 14(6), 1857-7881.
<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p156>
38. Houndagba, C. J., Tente, B., & Guedou, R. (2007). Dynamique des forêts classées dans le cours moyen de l'Ouémé au Bénin: Kétou, Dogo et Ouémé-Boukou. Fournier A. Sinsin B. Mensah Ga (éd.), *Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest*, 369-380.
 39. Idohou, R., Fandohan, B., Salako, V. K., Kassa, B., Gbèdomon, R. C., Yédomonhan, H., ... & Assogbadjo, A. E. (2014). Biodiversity conservation in home gardens: traditional knowledge, use patterns and implications for management. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(2), 89-100. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.910554>.
 40. IGN. (2018). Le géoportail de l'IGN du Bénin. <https://www.geobenin.bj/cartto/www/>. (Visité le 12 Mai 2022).
 41. INSAE. 2016. Cahier des villages et quartiers de ville du département des Collines (RGPH-4, 2013). 28p.
 42. INSAE. 2016. Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin, RGPH-4. Cotonou, Benin. 83p.
 43. INSAE. 2017. Synthèse des analyses sur les caractéristiques socioculturelles et économiques de la population au Bénin. 20p.
 44. Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull Soc Vaudoise Sci Nat* 44:223–270.
 45. Jiofack, T., Fokunang, C., Guedje, N., Kemeuze, V., Fongnzossie, E., Nkongmeneck, B.A., Mapongmetsem, P.M., & Tsabang, N. (2010). Ethnobotanical uses of medicinal plants of two ethnoecological regions of Cameroon. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2(3), 60-79.
 46. JNA. (2022). Valorisation des espèces autochtones pour une économie verte et durable. 38^e édition. <https://lanation.bj/jounee-nationale-de-larbre-ce-qui-est-prevu-pour-ledition-2022/>
 47. Khenifer, F., & Lattachi, Z. (2018). Inventaire floristique des plantes médicinales de la région de Ghardaia (cas d'el Guerarra). Mémoire de Master. Université de Ghardaïa, Algérie. 62p.
 48. Kombate, B., Dourma, M., Folega, F., Woegan, A. Y., Kpérkouma, W. A. L. A., & Akpagana, K. (2020). Diversité floristique et caractérisation structurale des formations boisées du domaine Soudano-Guinéen au Centre du Togo. *Afrique SCIENCE*, 17(6), 29-43
 49. Kouadio, Y. J-C., Kpangui, K. B., Yao, N. O., Tiébré, M-S., Ouattara, D., & Kouakou N'guessan, E. (2020). Disponibilité des plantes utilitaires dans la zone de conservation de biodiversité du barrage

- hydroélectrique de Soubré, Sud-Ouest, Côte d'Ivoire. Afrique SCIENCE 16(6), 65 – 74.
50. Kouchadé, A. S., Adomou, A. C., Tossou, G. M., Yédomonhan, H., Dassou, G. H., & Akoègninou, A. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies infantiles et vendues sur les marchés au sud du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(2), 4418-4438.
 51. Kpodji, P., Lozes, E., Dougnon, V., Assogba, P., Koudokpon, H., & Baba-Moussa, L. (2019). Utilisation des plantes du Sud-Bénin dans le traitement des maladies inflammatoires: Enquête Ethnopharmacologique Auprès Des Herboristes. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, (34), 127-143.
 52. Lagnika, L., Djehoue, R., Yedomonhan, H., & Sanni, A. (2016). Ethnobotanical survey of medicinal plants used in malaria management in South Benin. *Journal of Medicinal Plants Research*, 10(41), 748-756.
<https://doi.org/10.5897/JMPR2016.6219>.
 53. Lawin, I. F., Lalèyè, F. O. A., Agbani, O. P., & Assogbadjo, A. E. (2015). Ethnobotanical assessment of the plant species used in the treatment of diabetes in the Sudano-Guinean zone of Benin. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(1), 4108-23.
 54. Lawin, I. F., Laleye, O. A. F., & Agbani, O. P. (2016). Vulnérabilité et stratégies endogènes de conservation des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans les communes de Glazoué et Savè au Centre-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1069-1085.
 55. Lazli, A., Beldi, M., Ghouri, L., & Nouri, N. E. H. (2019). Étude ethnobotanique et inventaire des plantes médicinales dans la région de Bougous (Parc National d'El Kala, -Nord-est algérien). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, (88), 22-43.
 56. Legendre, L. & Legendre, P. (1984). *Ecologie numérique β – La structure des données écologiques*. Masson collection d'écologie 13, 335 p.
 57. Mama, A., Oumorou, M., Sinsin, B., De Cannière, C., & Bogaert, J. (2020). Anthropisation des paysages naturels des aires protégées au Bénin: cas de la forêt classée de l'Alibori supérieur (FC-AS). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 11(2): 117-125.
 58. MS. (2022). *Annuaire des statistiques sanitaires 2021*. 297p.
 59. N'gobi, B.O., Gibigaye, M., Seidou, A. A., Boni, A. S.Y., & N'gobi, A. O. (2020). Dynamique de l'occupation du sol dans la forêt classée

- des trois rivières au Nord Bénin dans un contexte de variabilité climatique. *Afrique Science* 17 (3), 1-15.
60. OMS. (2013). *Stratégie de l’OMS pour la médecine traditionnelle pour 2014-2023*. 72p.
 61. OOAS. (2020). *Pharmacopée de l’Afrique de l’Ouest*. OOAS, 308p.
 62. Quiroz, D., Towns, A., Legba, S. I., Swier, J., Brière, S., Sosef, M., & van Andel, T. (2014). Quantifying the domestic market in herbal medicine in Benin, West Africa. *Journal of Ethnopharmacology*, (151), 1100–1108. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.12.019>
 63. R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
 64. Raunkiaer, C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, London, 632 p.
 65. Salako, V. K., Fandohan, B., Kassa, B., Assogbadjo, A. E., Idohou, A. F. R., Gbedomon, R. C., Kakai, R.L.G., & Glele Kakai, R. (2014). Home gardens: an assessment of their biodiversity and potential contribution to conservation of threatened species and crop wild relatives in Benin. *Genetic resources and crop evolution*, 61(2), 313-330.
 66. Sidi, I. Y. M. S., Olounlade, P. A., Yaoitcha, A., Dedehou, V. F. G. N., AloXwanou, G. G., Azando, E. V. B., & Hounzangbe-Adote, M. S. (2017). Principales espèces médicinales utilisées en médecine vétérinaire au Bénin: disponibilité et caractéristiques dendrométriques. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr*, 65, 209-220.
 67. Sinsin, B., & Owolabi, L. (2001). *Rapport sur la monographie de la Diversité Biologique du Bénin*. Cotonou, Bénin: Ministère de l’Environnement de l’Habitat et de l’Urbanisme (MEHU).
 68. Somanin, R.M., Ewédjè, E-E .B.K., & Batcho A.I. (2021). Diversité es espèces d’arbres utilisées dans les métiers du bois Cas de la fabrication des mortiers et pilons au Centre-Bénin. *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux Connaissance, gestion durable et valorisation*. Chap 19 ; 303-314p.
 69. UNESCO. (2010). *Avant-projet de rapport sur la médecine traditionnelle et ses implications éthiques*. 17p. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000189592>
 70. Yaoitcha, A. S., Vodouhe, F. G., Azihou, A. F., Hounzangbé-Adoté, S., & Houinato, M. R. (2019). Vulnerability assessment of medicinal tree species in Benin (West Africa): *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam.) and *Morinda lucida* Benth. *Agroforestry Systems*, 93(6), 2267-2279. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00349-9>



Physical Agents and Therapeutic Modalities: Main Concepts Implicated in Physiotherapy Treatment Prescription and Into Advanced Physical Therapy Practice

Gustavo Argenis, M.I.M.

Sandra Juárez, P.S.S. Ft.

Universidad Autónoma de Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p176](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p176)

Submitted: 27 January 2022
Accepted: 27 February 2023
Published: 28 February 2023

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

Cite As:

Argenis G. & Juárez S. (2023). *Physical Agents and Therapeutic Modalities: Main Concepts Implicated in Physiotherapy Treatment Prescription and Into Advanced Physical Therapy Practice*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 176.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p176>

Abstract

Background: physical agents and therapeutic modalities; two concepts that there is no agreement on their definitions. This leads to a complex phenomena of cognitive construction about what the Physiotherapist are qualified, and required to do. **Purpose:** to know about the context, conceptualization and updating of both terms. **Methods:** an electronic search was carried out in the most pertinent databases (PEDro, PubMed, ClinicalKey and OTSeeker). The search strategy was performed in three languages (English, Spanish, and Portuguese), based on preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses methodology (PRISMA). The keywords used for the search were “Physical Agents” AND “Physiotherapy”; “Therapeutic Modalities” AND “Physiotherapy”. Subsequently, an advanced filtering was carried out through the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles (SANRA). **Results:** on PubMed there was a result of 8665 studies displayed but only 3 were accepted; in PEDro only 53 results were obtained, 1 of them was accepted and 1 was eliminated because it was repeated. In ClinicalKey there were a total of 1012 results but none were accepted, and in OTSeeker no search results were founded. On the other hand, there were 15 bibliographies that was aviability and were accessed, which only 5 of them met the inclusion criteria. **Conclusions:** findings shows a serious issue in terms of conceptualizing what a physiotherapist must do on its

professional practice. It could be assumed that they may be two concepts that do not put forward a certain importance from the academic, scientific and/or clinical practice perspective.

Keywords: Physical agents, therapeutic modalities, physiotherapy treatment prescription, advanced physical therapy practice

Introduction

Description of physiotherapy

Physiotherapy is defined as a service provided by physiotherapists to develop, maintain and restore the maximum movement and functional capacity of the person throughout his life. Such service is provided in circumstances where movement and function are affected by aging, injury, pain, disease, disorder, condition, and/or environmental factors, with the understanding that functional movement is essential to what means to be healthy (World Physiotherapy, 2019b).

It is considered as a health profession whose main purpose is the optimal promotion of the same and of the function, including the generation and application of scientific principles in the process of examination, evaluation, diagnosis and functional prognosis and physiotherapeutic intervention (Colegio Nacional de Fisioterapia y Terapia Física A.C., n.d.).

Therefore, it is established that as a professional profile, physiotherapists must to know and apply multiple and vast requirements in terms of knowledge, clinical-professional competencies, training, skills, aptitudes, skills and attitudes; which lead to clinical judgment and clinical decision-making to design and apply a treatment (Cebrià i Iranzo et al., 2010).

Advanced physical therapy practice (APP) includes a higher level of practice, functions, responsibilities, activities and capabilities; may be associated with a particular occupational title. It requires a combination of advanced and distinctly increased clinical and analytical skills, knowledge, clinical reasoning, attitudes and experience. APP applies advanced level skills and knowledge to influence service improvement and achieve improved patient outcomes and experience, as well as the provision of clinical leadership, which results in the responsibility for the delivery of care to patients/clients commonly with complex needs or problems safely and competently and to manage risk (World Physiotherapy, 2019a).

Physical Therapy intervention/treatment

Physical therapy intervention/treatment is characterized by developing a specific intervention plan, using problem-solving skills and clinical reasoning in relation to the available resources, thus formulating the

intervention objectives with and to the user (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, 2004).

Intervention/treatment is implemented and modified in order to reach agreed goals and may include several techniques like therapeutic exercise, manual therapy, airway clearance techniques, integumentary repair and protection techniques, electrotherapeutic modalities and physical agents and mechanical modalities (World Physiotherapy, 2019b).

About the protocols or procedures previously mentioned, the therapeutic modalities is defined as the use of the wide variety of tools, techniques, devices, technologies, methodologies and within many others, complementary to physical agents (Capote et al., 2009).

Physical agent and therapeutic modalities

Then, the definition of physical agents (PhAg) is taken to be those that represent the use and application of thermal, mechanical, electromagnetic and light energies for a specific therapeutic effect (Michlovitz et al., 2022). In addition, they can be classified from a thermodynamics perspective applied to the human body, mechanical forces and electromagnetic energies (Cameron, 2018). Otherwise, therapeutic modalities (ThMo) are defined as the use of a device, equipment or application that provides a physical agent to the organism for therapeutic purposes (Draper et al., 2022).

Research methodology in Physical Therapy

Review articles comprehensively cover a specific biomedical topic and justify future research directions which are crucial to the success of master's, doctoral, and postdoctoral courses. Not least, for senior academic staff, pursuing new career goals and mentoring younger colleagues. Communicating messages through reviews is a matter of intellectual enrichment and improvement of research standards (Gasparyan et al., 2011).

High-quality literature reviews involve assembling and integrating a body of studies to: a) draw strong conclusions about big questions, principles, and problems; and b) explain how and why existing studies fit together and what that means for future theory and research. Therefore, the nature and scope of a literature are not always apparent in the absence of a review; conducting a literature review can serve as an extremely useful exploratory exercise; which means that a literature review may be theory driven or new ideas and conceptualizations may emerge from the process of reviewing and integrating existing literature (Tamboosi et al., 2021).

In the field of Physiotherapy, the main prestigious scientific journals recommend that the main manuscripts to be accepted are those that have the methodology of systematic reviews, narratives reviews, and meta-analysis

studies (American Physical Therapy Association -, 2022; Australian Physiotherapy Association, 2022; Chartered Society of Physiotherapy, 2022).

Even the World Physiotherapy (WP), in its calls for submission of manuscripts and to participate in the call for the presentation of its biannual congresses, highly recommend in first place these three types of previously mentioned research methodologies (World Physiotherapy, 2022).

Methods

Type of study

A qualitative and a hybrid descriptive study was made through narrative biomedical review (Aguilera, 2014). An electronic search was carried out in the most pertinent databases according to subject research (PEDro, PubMed, ClinicalKey and OTSeeker).

The hybrid methodology part was the search strategy, based on the three phases of identification, screening, and included studies of the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses methodology (PRISMA) (Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses, n.d.). The search was performed in three languages (English, Spanish, and Portuguese).

The keywords used for the search were “Physical Agents” AND “Physiotherapy”; “Therapeutic Modalities” AND “Physiotherapy”, and also in the respective languages (“agentes físicos”, “modalidades terapéuticas”, “fisioterapia” AND “modalidades terapêuticas”).

Subsequently, an advanced filtering was carried out to select the studies and/or sources that match up to the inclusion, exclusion and elimination criteria; those was achieved through the use of the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles (SANRA) (Baethge et al., 2019).

Criteria selection

The Inclusion criteria were articles and/or sources that contain as a concept or definition the terms "physical agents" AND "therapeutic modalities"; studies and/or sources published in the range from August 2012 to August 2022; and studies that contemplate the design of randomized clinical trials (RCT), systematic reviews (Rs) and meta-analyses (Ma).

The exclusion criteria were those studies with a low level of evidence and a recommendation grade equal to or less than "C". An finally, the elimination criteria was applied to those studies that were repeated in more than one database (Arieta-Miranda et al., 2022).

Research ethics

In the research were not contemplated interaction with humans or animals as study subjects. However, is an investigation in which there is an

exchange of ideas based on a bibliographic review where some disagreements in the information could persist.

It is stated that there are all the considerations and recommendations for the conduct, reporting, editing and publication of school work in medical journals in accordance with the established in the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) (International Committee of Medical Journals Editors, 2022).

Results

As shown in Figure 1, in PubMed there was a result of 8665 studies displayed but only 3 were accepted; in PEDro only 53 results were obtained, 1 of them was accepted and 1 was eliminated because it was repeated. In ClinicalKey there were a total of 1012 results but none were accepted, and in OTSeeker no search results were founded. On the other hand, there were 15 bibliographies that was availability and were accessed, which only 5 of them met the inclusion criteria.

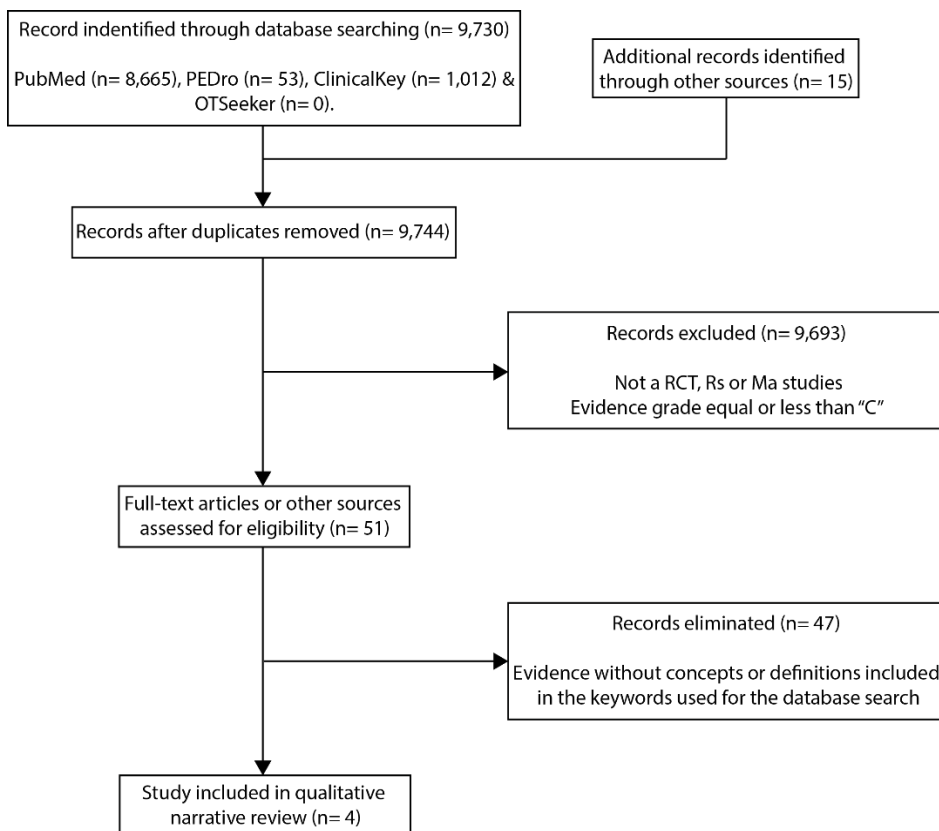


Figure 1. The different phases of the search of the previous eligible four databases, and the selection of the studies included in the study

Discussion

Akyuz & Kenis (2014) refers in their report to a physical therapy modalities as “include pain modulators such as hot and cold packs, ultrasound, short-wave diathermy, low-frequency currents (transcutaneous electrical nerve stimulation [TENS], diadynamic currents, and interferential currents), high-voltage galvanic stimulation, laser, and neurostimulation techniques such as deep brain stimulation and transcranial magnetic stimulation” (p. 254); what is not properly a definition or concept of; it is read more like a list of modalities, techniques, tools, etcetera.

Later in their same report, they talk about rehabilitation techniques and establish that “although one of the major parts of rehabilitation methods is therapeutic exercise, there is no sufficient evidence supporting this idea in the treatment of neuralgia. Many kinds of therapeutic exercises have already been used in the rehabilitation program such as conditioning, strengthening, and stretching exercises” (p. 256).

The foregoing critically reflects that there is no clear conceptualization of each of the terms, including the lack of coincidence and characterization as a health descriptors; worse still, how they classify different modalities in both terms they mention, even separating therapeutic exercise from the rest of the modalities.

Ferrara et al. (2020) conceptualize physical modalities as “natural or instrumental physical therapies that use physical energies (thermal, mechanical, electrical, and electromagnetical) for healing purposes, in inflammatory and degenerative musculoskeletal conditions” (p. 5).

The above is even a combination of both terms (PhAg & ThMo) of the previously cited authors (Cameron, 2018; Draper et al., 2022; Michlovitz et al., 2022), as same as Honda et al. (2018) where they define the physical-agent modalities as “passive treatments such as thermotherapy, cryotherapy, massage, electrotherapy, laser treatment, and others are nonpharmacological interventions” (p. 2).

Finally, in the fourth paper included it was found that Landesa-Piñeiro & Leirós-Rodríguez (2022) handle the term as “Physical Therapy Modalities” but is not even defined o conceptualization of it.

Conclusion

It is important to highlight the lack of information about the present research subject; although it is known that the scientific evidence works more around RCT, case-control studies (CCS), as well as cohort studies (CohS), among others, this does not exempt it relating to importance of explicitly making it very clear what a physical agent is, or consequently, to make a correct statement of what type of therapeutic modality or modalities are used

for such scientific interventions, whenever that a physical agent is not the same as a therapeutic modality and vice versa.

It is worth mentioning that it is certainly noisy that concepts of such magnitude are discussed more in textbooks than in the scientific literature that concerns journals. This phenomenon reflects the fact that it can be assumed or taken for granted that those concepts have already been interpreted correctly, so this situation casts the disturbing suspicion that this may represent serious biases in the core considerations of the methodology used on such trials.

In the present research is believed that the main contribution of this paper can be summarized in the following: 1) physical agents and therapeutic modalities are not the same as concepts, therefore, a conceptual combination between both terms cannot subsist either; 2) both conceptions do not oppose each other, but rather complement between them perfectly well in terms of a clear, accurate and correct prescription in physiotherapy according to the following proposals as an update of both definitions: 3) physical agents are the energy and/or energies that are deposited or applied to the human body for therapeutic purposes, through therapeutic modalities, 4) therapeutic modalities are the technologies, equipment, devices, tools, therapeutic techniques, instruments, methods, or even educational strategies prescribed (including therapeutic exercise) to the patient/client that supply, deposit, or apply physical agents to the human body to induce a physiological reaction which determines an therapeutic effect expected.

Acknowledgments: To all person involved and encouraged us in this project.

Author contributions

Acordin to the standards of the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE):

G. A. study protocol proposal, design of the study, literature review, data collection, process monitoring, data analysis and interpretation, writing the manuscript, and final approval.

S. J. student research assistant, literature review, scientific presentation, data collection, writing research reports.

References:

1. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. (2004). *Libro Blanco - Título de Grado de Fisioterapia*. <https://medicinaycienciasdelasalud.uah.es/facultad/documentos/libroblanco-fisioterapia.pdf>
2. Aguilera Eguía, R. (2014). ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis? *Revista de La Sociedad Española Del Dolor*, 21(6), 359–360. <https://doi.org/10.4321/S1134-80462014000600010>

3. Akyuz, G., & Kenis, O. (2014). Physical therapy modalities and rehabilitation techniques in the management of neuropathic pain. In *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* (Vol. 93, Issue 3, pp. 253–259). <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000037>
4. American Physical Therapy Association -. (2022). *Author Guidelines*. Physical Therapy and Rehabilitation Journal. https://academic.oup.com/ptj/pages/Author_Guidelines#Article%20Types%20and%20Manuscript%20Preparation
5. Arieta-Miranda, J. M., Ruiz-Yasuda, C. C., Pérez Vargas, L. F., Torres Ricse, D. A., Díaz, S. P., Arieta, Y. C., Victorio, D. J. B., & Ramos, G. T. (2022). New Pyramid Proposal for the Levels of Scientific Evidence According to SIGN. In *Plastic and Reconstructive Surgery* (Vol. 149, Issue 4, pp. 841E-843E). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000008946>
6. Australian Physiotherapy Association. (2022). *Journal of Physiotherapy-Types of Articles*. <http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>
7. Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA - a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>
8. Cameron, M. (2018). *Agentes Físicos en Rehabilitación* (Fifth Edition). Elsevier.
9. Capote, A., López, Y., & Bravo, T. (2009). *Agentes físicos* (D. Bello, Ed.). Editorial Ciencias Médicas.
10. Cebrià i Iranzo, M. A., Díaz Díaz, B., & Igual Camacho, C. (2010). Título de grado en Fisioterapia: valoración de las competencias por parte del estudiante. *Fisioterapia*, 32(2), 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2009.12.003>
11. Chartered Society of Physiotherapy. (2022). *Physiotherapy journal and services*. <https://www.csp.org.uk/professional-clinical/clinical-evidence/physiotherapy-journal>
12. Colegio Nacional de Fisioterapia y Terapia Física A.C. (n.d.). *¿Qué es la Fisioterapia?* Retrieved August 16, 2022, from <http://www.amefi.com.mx/fisioterapia.html>
13. Draper, D., Jutte, L., & Knight, K. (2022). *Therapeutic Modalities: The Art and Science* (Third edition). Wolters Kluwer.
14. Ferrara, P. E., Codazza, S., Cerulli, S., Maccauro, G., Ferriero, G., & Ronconi, G. (2020). Physical modalities for the conservative treatment of wrist and hand's tenosynovitis: A systematic review. *Seminars in*

- Arthritis and Rheumatism*, 50(6), 1280–1290.
<https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2020.08.006>
15. Gasparyan, A. Y., Ayvazyan, L., Blackmore, H., & Kitas, G. D. (2011). Writing a narrative biomedical review: Considerations for authors, peer reviewers, and editors. In *Rheumatology International* (Vol. 31, Issue 11, pp. 1409–1417). <https://doi.org/10.1007/s00296-011-1999-3>
 16. Honda, Y., Sakamoto, J., Hamaue, Y., Kataoka, H., Kondo, Y., Sasabe, R., Goto, K., Fukushima, T., Oga, S., Sasaki, R., Tanaka, N., Nakano, J., & Okita, M. (2018). Effects of Physical-Agent Pain Relief Modalities for Fibromyalgia Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Pain Research and Management*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2930632>
 17. International Committee of Medical Journals Editors. (2022). *Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals*. <https://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>
 18. Landesa-Piñeiro, L., & Leirós-Rodríguez, R. (2022). Physiotherapy treatment of lateral epicondylitis: A systematic review. In *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* (Vol. 35, Issue 3, pp. 463–477). IOS Press BV. <https://doi.org/10.3233/BMR-210053>
 19. Michlovitz, S., Bellew, J., & Nolan, T. (2022). *Modalities for Therapeutic Intervention* (7th ed.).
 20. Tamboosi, M. E., Al-Khathami, S. S., & El-Shamy, S. M. (2021). The effectiveness of tele-rehabilitation on improvement of daily living activities in children with cerebral palsy: narrative review. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s43161-021-00055-7>
 21. World Physiotherapy. (2019a). *Advanced physical therapy practice Policy statement*. www.world.physio
 22. World Physiotherapy. (2019b). *Description of physical therapy - Policy statement*. www.world.physio
 23. World Physiotherapy. (2022). *Call for abstracts*. https://wp2023.world.physio/?_ga=2.259917449.2042046449.1662750578-1001627598.1662510623#/programme/abstracts



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Comportement Biophysique et Écophysiologique de Cinq Espèces Ligneuses en Plantation dans la Commune Rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali)

Ousmane Kassambara

Oumar Sénou

Moussa Sylla

Délégation du Programme Ressources Forestières,
Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba, Mali
Institut d'Economie Rurale (IER)

Moussa Karembé

Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET), Faculté des Sciences et Techniques
(FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de
Bamako (USTTB), Mali

Ibrahim Sambaké

Délégation du Programme Ressources Forestières, CRRA de Sotuba, Mali

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p185](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p185)

Submitted: 23 September 2022

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kassambara O., Sénou O., Sylla M., Karembé M. & Sambaké I. (2023). *Comportement Biophysique et Écophysiologique de Cinq Espèces Ligneuses en Plantation dans la Commune Rurale de Massala (Cercle de Ségou, Mali)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 185. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p185>

Résumé

Au Mali, très peu d'études écophysiologiques ont été menées sur les espèces ligneuses notamment à leur stade juvénile. L'objectif de cette étude était d'évaluer le comportement biophysique et écophysiologique de cinq espèces ligneuses en plantation. Pour ce faire, les plants de trois espèces autochtones (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et deux espèces exotiques (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*) ont été produits en pépinière et plantés à l'âge de 4 mois dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher avec 4 répétitions. Par la suite, les paramètres biophysiques (taux de survie, diamètre au collet et hauteur totale des plants) ont été évalués 29 mois après plantation alors que les paramètres écophysiologiques ou traits fonctionnels (teneur relative en eau (RWC),

surface foliaire spécifique (SLA) et teneur en matière sèche foliaire (LDMC)) ont été évalués entre 12 et 24 mois après plantation pendant 4 périodes distinctes de l'année. Comme résultats obtenus, le taux de survie des plants a varié en fonction des espèces étudiées. De même, pour la croissance en hauteur et en diamètre, il a été obtenu une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les cinq espèces. Concernant les traits fonctionnels, la teneur relative en eau a varié significativement en fonction d'une part de la période de l'année et d'autre part de l'espèce alors que l'interaction des deux facteurs a eu un effet significatif sur la surface foliaire spécifique et la teneur en matière sèche foliaire des plants. En outre, tous les traits fonctionnels étudiés étaient significativement corrélés entre eux. En somme, une meilleure connaissance des paramètres biophysiques et écophysiological peut orienter le choix d'espèces appropriées pour la plantation dans les différentes zones climatiques.

Mots-clés: Espèces autochtones, espèces exotiques, plantation, croissance, traits fonctionnels

Biophysical and Ecophysiological Behavior of Five Woody Species in Plantation in the Rural Municipality of Massala (Prefecture of Segou, Mali)

Ousmane Kassambara

Oumar Sénou

Moussa Sylla

Délégation du Programme Ressources Forestières,
Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba, Mali
Institut d'Economie Rurale (IER)

Moussa Karembé

Laboratoire d'Ecologie Tropicale (LET), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Mali

Ibrahim Sambaké

Délégation du Programme Ressources Forestières, CRRA de Sotuba, Mali

Abstract

In Mali, very few ecophysiological studies have been conducted on woody species, particularly at their juvenile stage. The objective of this study was to evaluate the biophysical and ecophysiological behavior of five woody species in plantations. To do this, the plants of three native species (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* and *Piliostigma*

reticulatum) and two exotic species (*Acacia auriculiformis* and *Cassia siamea*) were produced in the nursery and planted at the age of 4 months into an experimental device in Fisher blocks with 4 repetitions. Subsequently, the biophysical parameters (survival rate, collar diameter and total height of the plants) were evaluated 29 months after planting, while the ecophysiological parameters or functional traits (relative water content (RWC), specific leaf area (SLA) and leaf dry matter content (LDMC)) were evaluated between 12 and 24 months after planting during 4 distinct periods of the year. As results obtained, the survival rate of the plants varied according to the species studied. Likewise, for the growth in height and in diameter, a highly significant difference ($P < 0.001$) was obtained between the five species. Regarding the functional traits, the relative water content varied significantly according to the time of year on the one hand and to the species on the other, while the interaction of the two factors had a significant effect on the specific leaf area and the leaf dry matter content of plants. Furthermore, all the functional traits studied were significantly correlated with each other. In short, a better knowledge of biophysical and ecophysiological parameters can guide the choice of appropriate species for planting in different climatic zones.

Keywords: Native species, exotic species, plantation, growth, functional traits

Introduction

En Afrique sub-saharienne, la tendance globale des forêts, est régressive (Ariori & Ozer, 2005 ; Soulama et al., 2015). La dégradation des écosystèmes forestiers de cette zone résulte des effets conjugués des facteurs climatiques et anthropiques (Diallo et al., 2011 ; Soulama et al., 2015).

En effet, au Mali, le domaine forestier national se décline en domaines protégé et classé (incluant les plantations d'état) (Loi N°10-028 du 12 juillet 2010, déterminant les principes de gestion des ressources du domaine forestier national). Cependant, la couverture des formations ligneuses estimée à 32 millions d'hectares en 1985 n'occupe plus que 17,4 millions d'hectares du territoire national (Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD), 2011). Les plantations forestières sont minoritaires et occupent seulement une superficie de 60000 ha (Thomas & Samassékou, 2003). Exceptées ces plantations constituées essentiellement d'essences exotiques, les formations naturelles sont prédominées par les espèces autochtones à très grande valeur économique, sociale et culturelle (Loi N°10-28, 2010).

Dans la zone soudanienne nord du Mali, notamment dans le cercle de Ségou, plusieurs études ont signalé la disparition ou la raréfaction de certaines espèces qui jadis étaient fréquemment rencontrées dans les terroirs villageois du cercle (Nouvellet et al., 2003 ; Clinquart, 2010).

Face à l'augmentation de la population, à la demande en bois de plus en plus importante et à la non satisfaction des besoins de la population par la production des formations naturelles, il est donc nécessaire d'envisager une production artificielle, pour contribuer à la satisfaction des besoins de la population. Cependant, le plus souvent, très peu d'informations existent sur la biologie et les mécanismes de la régénération naturelle qui devraient orienter la sylviculture des espèces autochtones (Sanogo et al., 2013). En effet, selon Bationo et al. (2010) « en plus des contraintes biophysiques, l'insuffisance des connaissances scientifiques sur l'écologie de la régénération naturelle séminale de nombreuses espèces ligneuses des pays sahéliens ne favorisent pas la mise au point de techniques sylvicoles adaptées aux stades juvéniles de la régénération ». De ce fait, dans le contexte où le renouvellement du capital ligneux repose essentiellement sur le processus de régénération naturelle, il est nécessaire d'améliorer les connaissances sur le mode de fonctionnement de ces espèces ligneuses notamment au stade juvénile en plantation. En plus des aspects biophysiques, cette amélioration des connaissances passe également par la prise en compte du comportement écophysologique. Etant donné que, l'écophysologie ou la physiologie écologique, est un domaine de recherche où les paramètres physiologiques sont utilisés pour quantifier l'interaction entre l'environnement externe (c'est-à-dire l'écologie) et l'environnement interne de l'organisme (Ferry-Graham & Gibb, 2008).

En 2018, une enquête menée auprès de la population des communes rurales de Massala et Konodimini, a permis d'identifier les principales espèces utilisées pour la production de bois chauffe (Kassambara et al., 2022). Ainsi, de commun accord avec les paysans collaborateurs, les trois espèces autochtones les plus utilisées actuellement par la population pour la production de bois chauffe (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et deux espèces introduites (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*) ont été mises en plantation en août 2019 dans le village de Massala. Le choix de ces cinq espèces a été également motivé par l'existence de différents ouvrages et études qui soutiennent que les bois de ces espèces ont un bon pouvoir calorifique (Arbonnier, 2000 ; Gnahoua & Louppe, 2003 ; Madjimbe et al., 2018).

La présente étude a donc été conduite en vue d'évaluer le comportement biophysique et écophysologique de ces espèces au stade juvénile en plantation dans la commune rurale de Massala (cercle de Ségou). Il s'agira de chercher à savoir laquelle de ces espèces s'adapte le plus dans la zone à travers entre autres l'évaluation du taux de survie, des paramètres de croissance (le diamètre au collet et la hauteur des plants) et de quelques traits fonctionnels des plants en plantation (teneur relative en eau, surface spécifique des feuilles et teneur en matière sèche des feuilles).

Matériel et Méthodes

Zone d'étude

L'étude a été menée dans la commune rurale de Massala ($6^{\circ}30'6.84''$ de longitude W et $13^{\circ}16'54.84''$ de latitude N). Elle relève administrativement du cercle de Ségo, le chef-lieu de la 4^{ème} région du Mali. Elle a une superficie de $89,4 \text{ km}^2$ et est située au centre-Ouest du cercle de Ségo. Elle est limitée au Nord par la commune rurale de N'gara, au Sud-Ouest et à l'Est par celle de Konodimini (figure 1). Le climat de la commune rurale de Massala est de type soudano-sahélien caractérisé par une alternance entre une saison pluvieuse (de juin à octobre) et une saison sèche (de novembre à mai). Dans l'année, la commune reçoit en moyenne 600 à 800 mm de précipitation (Mairie de la commune de Massala, 2018). La température oscille entre 15°C en août, décembre, janvier, février et 45°C au mois de mai. La végétation présente des structures allant d'herbacée, arbustive à arborescente (Mairie de la commune de Massala, 2018).

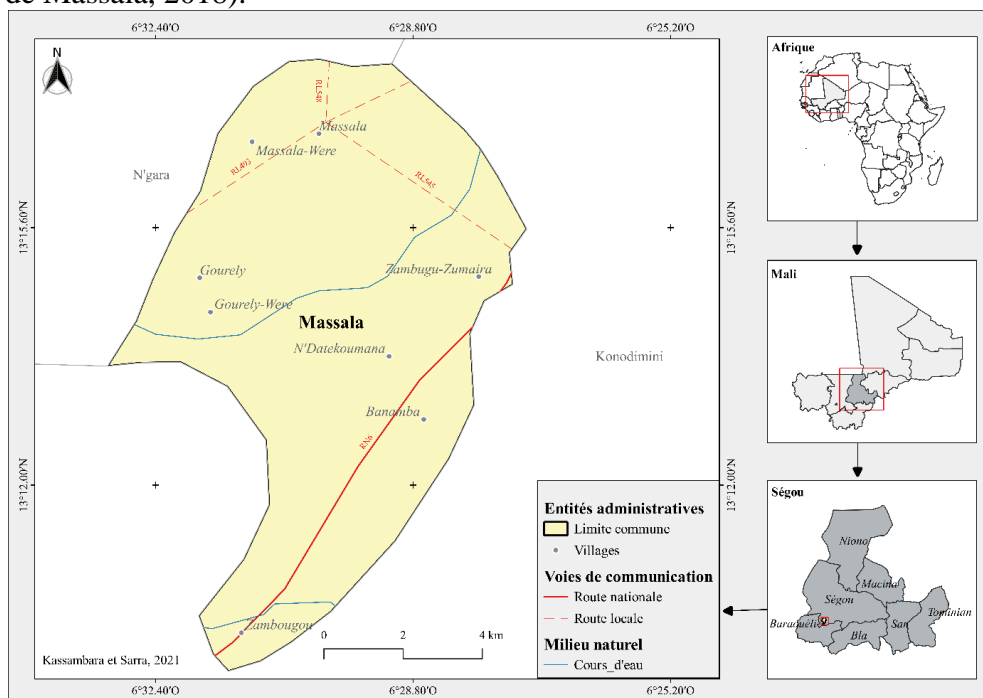


Figure 1. Localisation de la commune rurale de Massala dans le cercle de Ségo

Matériel végétal

Le matériel végétal ayant servi à notre étude est constitué de plants de cinq espèces ligneuses (figure 2). Il s'agit de trois espèces autochtones (*Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) et de deux espèces exotiques (*Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*).

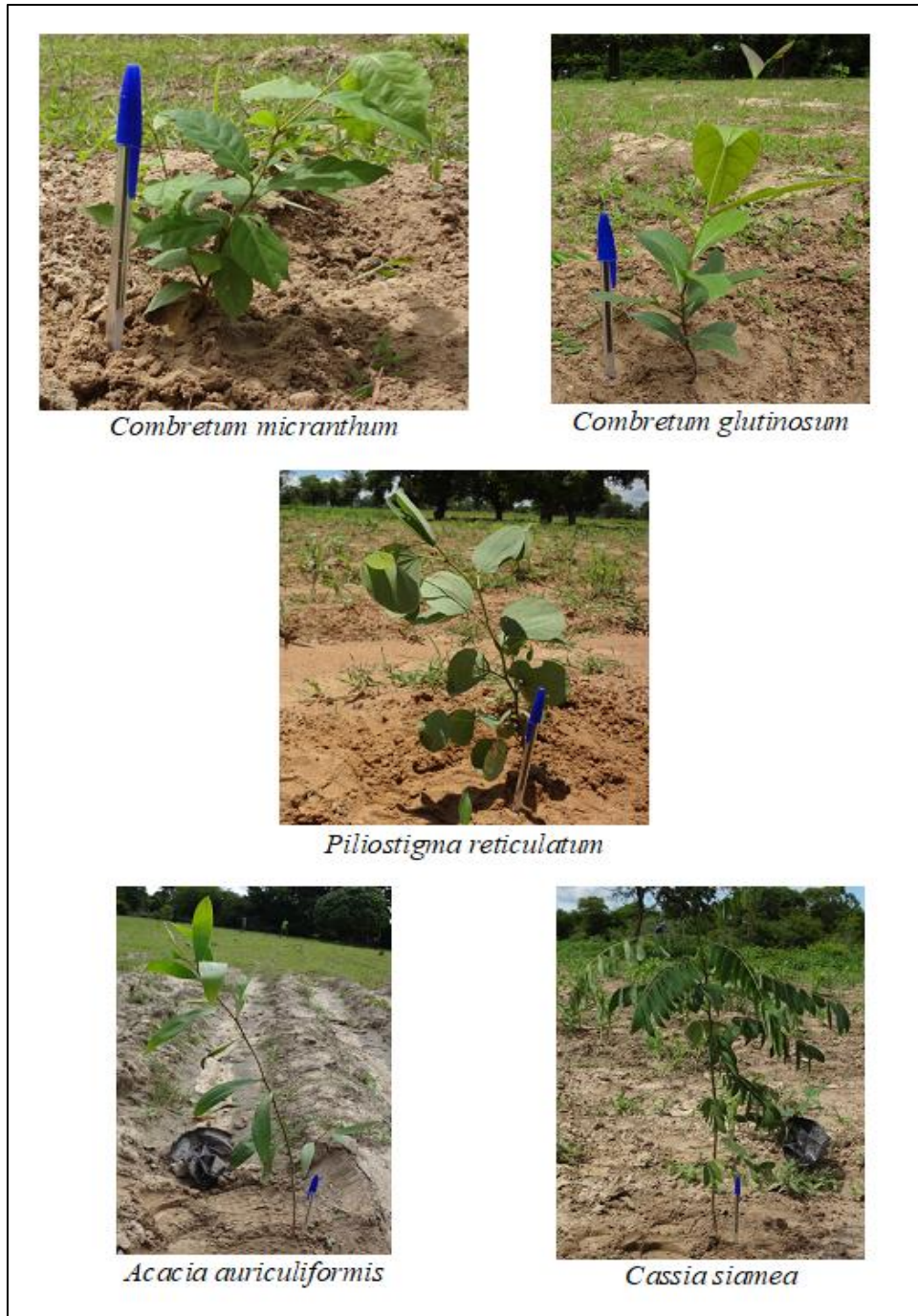


Figure 2. Illustration des jeunes plants des cinq espèces transplantés à l'âge de 4 mois dans le village de Massala (Source: Kassambara O., Août 2019)

Dispositif expérimental

Il a été adopté un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets (Blocs de Fisher) avec 5 traitements (les plants de 5 espèces ligneuses), en 4 répétitions représentées chacune par l'exploitation d'un paysan collaborateur. L'essai comporte 20 parcelles expérimentales (figure 3) comportant chacune 12 plants plantés en ligne, ce qui fait au total 240 plants pour l'essai. Les plants élevés en pépinière pendant 4 mois dans les pots en plastiques de dimension 13cm x 25cm ont été plantés en août 2019, selon un écartement 8m x 2m (8m entre les lignes et 2m entre les plants d'une même ligne) dans des trous de 30cm x 30cm x 30cm.

Bloc I	Aa	Cm	Cg	Pr	Cs
Bloc II	Aa	Pr	Cg	Cm	Cs
Bloc III	Cs	Cg	Pr	Cm	Aa
Bloc IV	Cs	Pr	Cg	Cm	Aa

Légende : Aa : *Acacia auriculiformis* ; Cm= *Combretum micranthum* ; Cg = *Combretum glutinosum* ; Pr = *Piliostigma reticulatum* ; Cs = *Cassia siamea*

Figure 3. Dispositif expérimental en blocs de Fisher

Dans le souci de minimiser les effets de bordure sur l'essai, il a été ajouté de part et d'autre de chaque bloc du dispositif expérimental une ligne supplémentaire constituée de 12 plants de l'espèce qui se situe à l'extrémité du dispositif. Enfin, chaque bloc (répétition) d'une superficie de 1250m² (25m x 50m) a été sécurisé avec des barres de cornières et du fil barbelé renforcé avec une haie morte.

Evaluation de quelques paramètres biophysiques

L'évaluation du comportement biophysique a été effectuée 29 mois après plantation en décembre 2021. Les paramètres biophysiques concernés par l'étude ont été le taux de survie, le diamètre au collet et la hauteur totale des plants. En effet, sur chaque parcelle expérimentale (ligne de 12 plants), le comptage du nombre de plants vivants et les mesures des paramètres de croissances (diamètre au collet et hauteur) ont été effectuées sur les 10 plants intérieurs. Pour la mesure de la hauteur des plants une règle (perche) graduée de 8 m et un mètre ruban tailleur ont été utilisés. Pour la mesure du diamètre au collet un pied à coulisse digital a été utilisé.

Evaluation de quelques paramètres écophysologiques (traits fonctionnels)

L'évaluation du comportement écophysologique des cinq espèces a été effectuée entre les 12^{ème} et 24^{ème} mois après plantation, pendant quatre périodes, notamment :

- en août 2020 (pleine saison des pluies), 13 mois après plantation,
- en novembre 2020 (fin de saison des pluies), 16 mois après plantation,
- en janvier 2021 (saison sèche fraîche), 18 mois après plantation,
- et en avril 2021 (saison sèche chaude), 21 mois après plantation.

Les traits fonctionnels concernés par l'étude ont été la teneur relative en eau (RWC en %), la surface spécifique des feuilles (SLA en m²/kg) et la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC en %).

En effet, sur chaque parcelle expérimentale (ligne de 12 plants) les mesures des traits fonctionnels ont été effectuées sur deux plants choisis au hasard parmi les 10 plants intérieurs.

Ainsi, sur chaque individu (plant) sélectionné par espèce, il a été prélevé une portion de branche. Ce prélèvement a été effectué entre 2h et 5 h du matin lorsque le plant est au repos. Après prélèvement, la partie sectionnée de chaque branche a été bouchée avec du coton imbibé d'eau pour limiter les échanges avec l'extérieur et tous les échantillons ont été maintenus à l'obscurité. A cet effet, les échantillons ont d'abord été mis dans des sachets noirs puis placés dans un sceau noir avec couvercle noir. Tôt la matinée, les mesures et opérations concourant au calcul des traits fonctionnels retenus en occurrence RWC, SLA et LDMC ont alors été effectuées. Les mesures et opérations ont été effectuées conformément aux protocoles standardisés (Paco, 2010 ; Perez-Harguindeguy et al., 2013). Pour chaque plant échantillonné, le trait fonctionnel RWC a été déterminé à partir des mesures effectuées sur une portion de rameau alors que les traits fonctionnels SLA et LDMC ont été déterminés à partir des mesures effectuées sur une feuille complète saine sans aucun défaut apparent.

La teneur relative en eau a été déterminée de la façon suivante :

$$\text{RWC (\%)} = \left[\frac{(\text{Poids frais du rameau} - \text{Poids sec du rameau})}{(\text{Poids turgescent du rameau} - \text{Poids sec du rameau})} \right] 100$$

Après la mesure du poids de la portion de rameau à l'état frais, le poids turgescent a été obtenu en faisant séjourner la portion de rameau pendant 36 à 48 heures dans un tube PVC contenant de l'eau distillée et hermétiquement fermé avec de la paraffine puis placé dans l'obscurité à la température ambiante. Enfin le poids sec a été obtenu après un passage de la portion de rameau à l'étuve à 70°C pendant 48 heures.

La surface foliaire spécifique a été déterminée de la manière suivante :

Il a d'abord été déterminé la surface de la feuille prélevée après scannage à l'aide du logiciel Midebmp01. Ensuite, le poids sec de ladite feuille

a été déterminé après passage à l'étuve à la température de 70°C pendant 48 heures. Ainsi la surface foliaire spécifique a été obtenue en faisant le rapport de la surface de la feuille échantillonnée et scannée sur le poids sec des feuilles.

$$SLA (m^2 \cdot kg^{-1}) = \frac{\text{Surface de la feuille}}{\text{Poids sec de la feuille}}$$

La teneur en matière sèche de la feuille a été obtenue en divisant la masse de la feuille séchée à l'étuve (à 70°C pendant 48 heures) par son poids à l'état frais. Selon certains auteurs, elle s'exprime en milligramme de matière sèche par gramme de feuille fraîche (mg/g) (Perez-Harguindeguy et al., 2013) mais dans le cadre de cette étude elle a été ramenée au pourcentage de matière sèche comme présentée par Roche et al. (2004).

$$LDMC (\%) = \left[\frac{\text{Poids sec de la feuille}}{\text{Poids frais de la feuille}} \right] 100$$

Pour la mesure du poids des différents organes végétaux (feuilles et portions de rameau) une balance électronique de précision 0,001g et de portée 450g (Marque ADAM Equipement, PGW 453) a été utilisée.

Analyse des données

Le taux de survie, a été qualifié selon une échelle adaptée des travaux de la Station de Recherche sur la Biologie des Essences Autochtones (SRBEA) au Mali (Yossi et al., 1988). Ainsi, le taux de survie (TS) a été considéré comme **très élevé** (si $TS > 80\%$), **élevé** (si $60\% < TS \leq 80\%$), **moyen** (si $40\% < TS \leq 60\%$), **faible** (si $20\% < TS \leq 40\%$), ou **très faible** (si $TS < 20\%$).

Pour l'analyse des données des paramètres de croissance (hauteur et diamètre à la base) et des traits fonctionnels, il a été utilisé une analyse de variance au seuil de 5% en utilisant le logiciel SPSS 21. En présence d'une différence significative ($P \leq 0,05$) le test de comparaison des moyennes de Newman et Keuls a été utilisé pour classer les moyennes. Ainsi, les hauteurs moyennes et les diamètres au collet moyens des plants ont été comparés en fonction des espèces. Quant aux valeurs moyennes des traits fonctionnels (RWC, SLA et LDMC), elles ont été analysées en fonction de l'espèce et de la période de l'année. En présence d'une interaction Espèce x Période significative, le classement des moyennes n'a pas été opéré sur les effets simples de l'espèce ou de la période de l'année mais plus tôt sur leurs effets combinés (interaction). En outre, une analyse de corrélation (test de Pearson) a été effectuée pour déterminer le type d'association pouvant exister entre les traits fonctionnels des plants en plantation.

Résultats

Taux de survie des plants en plantation

L'évolution du taux de survie en fonction des différentes espèces en plantation est représentée sur la figure 4. Toutes espèces confondues, *Acacia auriculiformis* a obtenu le plus faible taux de survie (62,5%) alors que le taux de survie le plus élevé (100%) a été obtenu par *Cassia siamea*. Le taux moyen de survie obtenu dans l'essai après 29 mois de plantation a été de 89,5%.

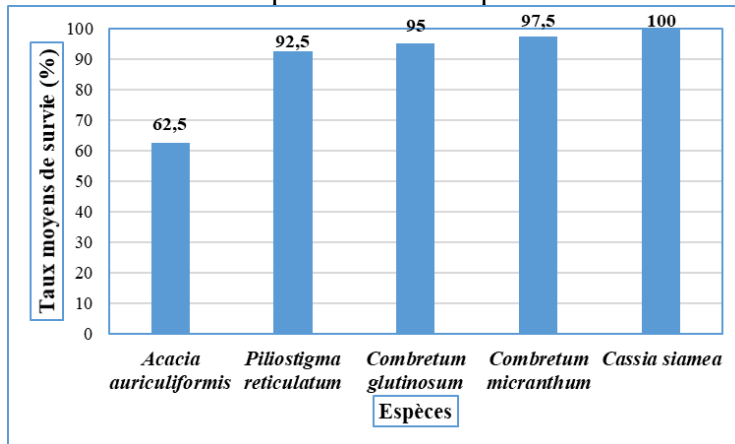


Figure 4. Evolution du taux de survie des plants en fonction des différentes espèces

Le taux moyen de survie a été qualifié comme étant « très élevé » ($TS > 80\%$) pour toutes les espèces exceptée *Acacia auriculiformis* pour laquelle il a été considéré comme « élevé » ($60\% < TS \leq 80\%$).

Croissance en diamètre et en hauteur des plants en plantation

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance (diamètre au collet et hauteur totale) des espèces après 29 mois de plantation sont consignés dans le tableau 1. Toutes espèces confondues, il a été obtenu dans l'essai une croissance en hauteur moyenne de 1,63 m pour un diamètre moyen de 28,68 mm.

Tableau 1. Diamètre au collet moyen et Hauteur moyenne des plants de cinq espèces ligneuses après 29 mois de plantation dans la commune rurale de Massala

Espèces ligneuses	Diamètre au collet (mm)	Hauteur des plants (m)
<i>C. glutinosum</i>	12,03c	0,62b
<i>C. micranthum</i>	14,49c	0,80b
<i>P. reticulatum</i>	17,31c	0,75b
<i>A. auriculiformis</i>	44,2b	2,84a
<i>C. siamea</i>	55,36a	3,16a
Moyenne Générale	28,68	1,63
Probabilité	<0,001	<0,001
Signification	HS	HS
CV en %	68,87	76,73

Les moyennes d'une même colonne accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; HS= différence hautement significative ; CV= Coefficient de variation.

L'analyse de variance a mis en évidence une différence hautement significative ($P < 0,001$) entre les espèces pour la croissance en diamètre au collet et en hauteur des plants après 29 mois de plantation. Le test de comparaison multiple des moyennes de Newman et Keuls a permis de distinguer trois groupes de moyennes (a, b et c) pour la croissance en diamètre au collet et deux groupes de moyennes (a et b) pour la croissance en hauteur. Les meilleurs paramètres de croissance ont été obtenus avec les plants de *Cassia siamea* alors que les plus faibles paramètres de croissances ont été obtenus avec les plants de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum* et de *Piliostigma reticulatum*.

Teneur relative en eau (RWC,%) des plants en plantation

Dans le tableau 2 est présenté la teneur relative en eau des plants en fonction des différentes espèces et des périodes de l'année. En moyenne dans la plantation, la teneur relative en eau des plants a été de 82,81%.

Tableau 2. Valeurs moyennes de la teneur relative en eau des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	94,65	94,14	86,84	68,60	86,06a
<i>C. glutinosum</i>	94,59	91,08	76,01	54,03	78,93b
<i>C. micranthum</i>	97,00	83,81	76,43	64,11	80,34b
<i>C. siamea</i>	97,27	96,23	86,57	65,88	86,49a
<i>P. reticulatum</i>	95,70	92,81	84,13	56,40	82,26ab
Moyenne par période	95,84a	91,61b	82,00c	61,80d	
Moyenne générale			82,81		
Facteur Espèce (F1)	Probabilité=0,003		Signification : HS		
Facteur Période (F2)	Probabilité<0,001		Signification : HS		
Interaction F1xF2	Probabilité=0,117		Signification : NS		
CV (%)			19,73		

Les moyennes marginales en gras dans une même colonne (moyenne par espèce) ou sur une même ligne (moyenne par période), accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; HS= différence hautement significative ; NS= différence non significative ; CV=Coefficient de variation.

L'analyse de variance n'a pas révélé l'existence d'une influence de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année sur la teneur relative en eau des plants en plantation ($P=0,117$). Cependant, l'analyse a mis en évidence une variation hautement significative ($P<0,01$) de la teneur relative en eau (RWC) des plants en fonction d'une part de l'espèces et d'autre part de la période de l'année.

En effet, toutes périodes de l'année confondues, deux groupes de moyenne (a et b) de teneur relative en eau ont été retrouvés en fonction des espèces. Les plants de *Cassia siamea*, *Acacia auriculiformis* et *Piliostigma reticulatum* ont obtenu les teneurs les plus élevées (groupe a) alors que ceux de *Combretum glutinosum* ont enregistré la plus faible teneur relative en eau (groupe b).

Toutes espèces confondues, quatre groupes de moyenne (a, b, c et d) de teneur relative en eau ont été retrouvés en fonction des périodes de l'année. La teneur relative en eau la plus élevée (95,84%) a été enregistrée en août en pleine saison de pluies et la plus faible (61,80%) a été enregistrée en avril en pleine saison sèche chaude.

Surface foliaire spécifique (SLA, m²/kg) des plants en plantation

Les valeurs moyennes de la surface spécifique des feuilles des plants en plantation en fonction des espèces et des périodes de l'année sont présentées dans le tableau 3. En moyenne dans la plantation, la surface foliaire spécifique a été estimée à 1,83 m²/kg.

Tableau 3. Valeurs moyennes de la surface spécifique des feuilles des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	2,2abc	1,1bc	1,4bc	3a	1,9
<i>C. glutinosum</i>	1,5bc	1,4bc	1,4bc	1,8abc	1,5
<i>C. micranthum</i>	2,1abc	2,1abc	-	-	2,1
<i>C. siamea</i>	2,6ab	2,5ab	2,2abc	0,8c	2
<i>P. reticulatum</i>	2,6ab	1,5bc	1,5bc	1,2bc	1,7
Moyenne par période	2,2	1,7	1,6	1,7	
Moyenne générale					1,83
Facteur Espèce (F1)	Probabilité=0,177		Signification : NS		
Facteur Période (F2)	Probabilité=0,053		Signification : NS		
Interaction F1xF2	Probabilité<0,001		Signification : HS		
CV (%)					53,63

Les valeurs moyennes matricielles en gras (interaction Espèce x Période) accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; NS = différence non significative ; HS = différence hautement significative ; (-) = paramètre non évalué en cette période de l'année chez l'espèce à cause de la senescence ou la chute totale des feuilles ; CV=Coefficient de variation.

La surface spécifique des feuilles des plants n'a pas connu une variation significative ($P>0,05$) en fonction de l'espèce ou de la période de

l'année. Par contre, elle a varié significativement en fonction de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année ($P < 0,001$). Le test de comparaison multiple a permis de distinguer trois groupes (a, b, et c) de surfaces foliaires spécifiques des plants en plantation. Ainsi, en avril, les plants de *Acacia auriculiformis* ont réalisé la SLA la plus élevée (groupe a) alors que ceux de *Cassia siamea* ont enregistré la plus faible SLA (groupe c) pendant la même période (avril).

Teneur en matière sèche des feuilles (LDMC, %) des plants en plantation

Les valeurs moyennes de la teneur en matière sèche des feuilles des plants en plantation en fonction des espèces et des périodes de l'année sont présentées dans le tableau 4. En moyenne dans la plantation, la teneur en matière sèche foliaire obtenue a été de 42,31%.

Tableau 4. Valeurs moyennes de la teneur en matière sèche des feuilles des plants en plantation

Espèces	Périodes de l'année				Moyenne par espèce
	Août	Novembre	Janvier	Avril	
<i>A. auriculiformis</i>	34,3ef	36,6def	40,5cde	52,6b	41,00
<i>C. glutinosum</i>	40,7cde	41,6cde	47,6bcd	57,8ab	46,93
<i>C. micranthum</i>	40cde	49,9bc	-	-	44,95
<i>C. siamea</i>	31,4ef	35def	37,7def	65,5a	42,40
<i>P. reticulatum</i>	25,4f	34,9def	35,4def	54,7b	37,60
Moyenne par période	34,36	39,60	40,30	57,65	
Moyenne générale			42,31		
Facteur Espèce (F1)	Probabilité <0,001		Signification : HS		
Facteur Période (F2)	Probabilité <0,001		Signification : HS		
Interaction F1xF2	Probabilité=0,022		Signification : S		
CV (%)			29,54		

Les valeurs moyennes matricielles en gras (interaction Espèce x Période) accompagnées de mêmes lettres sont statistiquement identiques au seuil de 5% ; (-) = paramètre non évalué en cette période de l'année chez l'espèce à cause de la senescence ou la chute totale des feuilles ; S = différence significative ; HS = différence hautement significative ; CV=Coefficient de variation.

La teneur en matière sèche foliaire a connu une variation hautement significative en fonction d'une part de l'espèce et d'autre part de la période de l'année. Elle a également varié significativement en fonction de l'interaction Espèce x Période. De ce fait, il a été distingué six groupes de moyenne de LDMC (a, b, c, d, e, f) en fonction de l'interaction de l'espèce avec la période de l'année. La plus grande teneur en matière sèche foliaire (groupe a) a été enregistrée chez les plants de *Cassia siamea* en avril et la plus petite teneur (groupe f) a été obtenue avec les plants de *Piliostigma reticulatum* en août.

Relation entre traits fonctionnels

Globalement tous les traits fonctionnels étudiés sont associés entre eux (tableau 5).

Tableau 5. Matrice de corrélation entre traits fonctionnels

	RWC	SLA	LDMC
RWC	1		
SLA	0,215**	1	
LDMC	-0,746**	-0,369**	1

** = Corrélation significative au seuil 1%.

En effet, il a été retrouvé une corrélation linéaire positive ($R > 0$) et significative entre la teneur relative en eau (RWC) et la surface spécifique des feuilles (SLA). Dans cette forme d'association (corrélation linéaire positive) toute augmentation de l'un des traits tend proportionnellement à augmenter l'autre et vice versa.

Par ailleurs, il a également été retrouvé une corrélation linéaire négative ($R < 0$) et significative d'une part entre la teneur relative en eau (RWC) et la teneur en matière sèche des feuilles (LDMC) et d'autre part entre la teneur en matières sèches des feuilles (LDMC) et la surface spécifique des feuilles (SLA). Dans cette forme d'association (corrélation linéaire négative) toute augmentation de l'un des traits cités (exemple : la teneur relative en eau) tend proportionnellement à diminuer l'autre (exemple : la teneur en matière sèche des feuilles) et vice versa.

Discussion

Taux de survie des plants

En plantation, le taux de survie des plants est susceptible de varier en fonction du milieu et des espèces. Dans cet essai, quelle que soit l'espèce autochtone (*C. glutinosum*, *C. micranthum* ou *P. reticulatum*) utilisée le taux de survie reste supérieur à 92%. Cependant, la plus grande variabilité a été observé chez les espèces exotiques, *A. auriculiformis* a enregistré le plus faible taux de survie 62,5% alors que *Cassia siamea* a obtenu le taux de survie le plus élevé (100%). Dans une étude de sélection d'espèces en plantation, menée à Madagascar (station de Antsanitia), Rakoniaina (1993) a obtenu après trois mois de plantation un taux de reprise de 47% chez *A. auriculiformis* et 61% chez *C. siamea*. Pour ces deux espèces, ces taux de reprise laissent supposer à âge égale de plantation à Madagascar, des taux de survie bien inférieurs aux résultats de la présente étude. Par ailleurs, au Mali, Kelly & Cuny (2000) ont obtenu des taux de survie d'espèces forestières locales sur sol hydromorphe après 7 années de plantation variant en moyenne entre 32,6% (*Faidherbia albida*) et 95,1% (*Anogeissus leiocarpus*). En outre au Burkina Faso, il a été signalé par Thiombiano et al. (2003) que certaines espèces de Combretaceae (*Combretum aculeatum* et *Combretum micranthum*) présentent de bons taux

de survie après 3 années d'essais de plantation. Elles ont des taux de survie de l'ordre de 70 à 90 % dans les parcelles protégées. Toutefois, au Niger après 31 mois de plantation, Amani et al. (2021) ont observé des taux de survie encore plus faibles chez quatre espèces de Combretaceae (*Guiera senegalensis* (66,5 %), *Combretum glutinosum* (60,5 %), *Combretum micranthum* (52,5%) et *Combretum nigricans* (31,5%)).

Croissance en diamètre et en hauteur des plants

Après 29 mois de plantation, les espèces exotiques (*Cassia siamea* et *Acacia auriculiformis*) ont globalement obtenu les meilleurs paramètres de croissance (hauteur et diamètre au collet) comparativement aux espèces autochtones (*C. glutinosum*, *C. micranthum* et *P. reticulatum*). En effet, à Madagascar, après une année de plantation, Rakoniaina (1993) a obtenu une hauteur moyenne de 60 cm et 82,6 cm chez *Acacia auriculiformis* et *Cassia siamea*. Ces résultats obtenus à Madagascar à seulement une année de plantation démontrent les potentialités de croissance de ces deux espèces exotiques. En ce qui concerne les espèces autochtones, en comparaison avec d'autres études dans la zone soudano-sahélienne, il est à noter qu'au Niger, après 31 mois de plantation, Amani et al. (2021) ont obtenu chez *C. glutinosum* et *C. micranthum* des diamètres moyens (15,02 mm et 12,28 mm) statistiquement identiques aux valeurs obtenues par cette étude. Cependant, ils ont trouvé respectivement chez les deux espèces des hauteurs moyennes (40,58 cm et 41,33 cm) bien inférieures à celles de la présente étude. Ailleurs, au Burkina Faso, après 36 mois de plantation dans une parcelle témoin protégée, Thiombiano et al. (2003) ont trouvé respectivement chez *C. glutinosum* et *C. micranthum* une hauteur moyenne de 21,3 cm et 53,2 cm. Ces hauteurs sont également inférieures à celles obtenues dans cette étude pour les 2 espèces après 29 mois de plantation. Cette différence pourrait s'expliquer en partie par les différences de conditions écologiques des sites d'expérimentation. En outre, selon Thiombiano et al. (2003) : « la faible croissance enregistrée chez *C. glutinosum* s'expliquerait par une croissance racinaire dans les premières années de la plantule au détriment de la croissance aérienne ». Ce type de croissance des plantules a également été observé chez *Balanites aegyptiaca* par Abdou Habou et al. (2019) au Niger. Il convient de signaler également que certains auteurs ont remarqué l'abscission précoce des parties aériennes des jeunes plantules de certaines espèces autochtones à l'image de *Detarium microcarpum* où l'on remarque que pendant les premières années de plantation, la partie souterraine reste en vie, tandis qu'il y a un renouvellement continu de la partie aérienne pendant la saison des pluies (Bationo et al., 2001 ; Kouyaté, 2005). En somme, le comportement des espèces autochtones en plantation est fort variable, au Mali, Kelly & Cuny (2000) ont obtenu un accroissement en hauteur après 3 années de plantation

de 65 cm pour *Faidherbia albida*, 84 cm pour *Tamarindus indica*, 76 cm pour *Khaya senegalensis*, 107 cm pour *Prosopis africana*, 94 cm pour *Parkia biglobosa* et de 128 cm pour *Anogeissus leiocarpa*.

Traits fonctionnels des plants

Les résultats sur les paramètres écophysiological nous orientent de prime à bord vers les notions de stratégies végétales ou écologiques abordées entre autres par (Lavorel et al., 1997 ; Westoby, 1998 ; Westoby et al., 2002 ; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Il apparaît qu'en plantation dans un même milieu, les espèces ligneuses ont réagi différemment face au changement des conditions du milieu. En fonction de certains attributs ou prédispositions génétiques certaines espèces arrivent à adopter des postures leur permettant de résorber les effets d'un changement des conditions du milieu. Pour Larcher (2003), les plantes présentent différents types d'adaptation, pouvant être regroupés en adaptation modulatrice (flexibilité fonctionnelle), adaptation modificatrice (plasticité phénotypique) et adaptation évolutive (plasticité génétique). Il s'agit donc des réponses à court et à long terme, de l'acclimatation et de l'évolution des génotypes.

Dans la présente étude, la teneur relative en eau (RWC) a certes varié significativement en fonction de l'espèce mais le contraste le plus significatif a été sa variation en fonction de la période de l'année, entre les mois d'août (pleine saison des pluies) et d'avril (saison sèche chaude). La teneur relative en eau a connu une diminution de l'ordre de 34% entre les deux périodes. Il a été admis que la RWC est un paramètre clé permettant de nous renseigner sur le statut hydrique de la plante (Lowlor & Cornic, 2002 ; Sanders & Arndt, 2012 ; Querejeta et al., 2022). Outre cela, différentes études ont montré qu'elle est susceptible de varier entre autres en fonction de la disponibilité en eau du sol (Albouchi et al., 2003 ; Farooq et al., 2012), de l'état sanitaire des plantes (Aref et al., 2013), de la salinité du sol et des saisons (Ly, 2015). Or, il a été souligné par Cornic (2008) que toute diminution de la RWC chez une plante correspond à une augmentation du déficit hydrique de même ordre chez la plante. Ainsi, dans la présente étude, lors de la diminution de la RWC, les observations sur le comportement (la physiologie) des plants ont révélé entre autres la chute partielle des feuilles chez *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* entre les mois de janvier et d'avril, la senescence précoce (à partir de novembre) et la chute totale des feuilles (dès janvier) chez *Combretum micranthum*, une induction de l'inclinaison vers le bas de la disposition des feuilles chez *Cassia siamea* dans le but de minimiser la surface absorbante. En effet, dans la commune de Massala, la senescence des feuilles a été observée chez les individus adultes de *C. micranthum* à partir de janvier-février et la chute des feuilles a été observée à partir de mars pour finir en avril-mai (Sidibé, 2021). La phénologie de la feuillaison de ces espèces au

stade juvénile montre bien que ces espèces ont manifesté des stratégies d'évitement. Selon Son (2010) et Huc (2011), en présence de déficit hydrique la première stratégie d'adaptation des plantes consiste à « éviter » tout stress hydrique (stratégie d'esquive) et la deuxième est la capacité à le « tolérer ». Par ailleurs, la concordance de la chute des feuilles avec la diminution de la RWC dans cette étude, confirme les conclusions de Ly (2014) sur la corrélation entre les deux événements chez certaines espèces.

Par rapport à la surface foliaire spécifique (SLA) qui indique la quantité de surface de feuille réalisée par gramme de matière sèche (Gross, 2007), elle a varié en fonction de l'interaction espèce x période. Sa plus grande valeur a été enregistré chez *A. auriculiformis* en pleine saison sèche chaude (avril), une période où la disponibilité en eau du sol ainsi que la teneur relative en eau des plantes ont considérablement chuté. Cette situation n'est pas sans conséquence car une forte SLA est également synonyme d'une plus grande activité photosynthétique (Gross, 2007 ; Bernard-Verdier, 2008 ; Querejeta et al., 2022). Dans de telles conditions, l'espèce *A. auriculiformis* se retrouve en face d'une contrainte supplémentaire. D'ailleurs, une partie de l'explication du taux de mortalité plus élevé chez l'espèce que chez les autres, pourrait résider dans cet état de fait. En effet, exceptée une seule espèce (*C. micranthum*) les autres ont porté les feuilles pendant les quatre périodes d'études. Elles peuvent donc être classées parmi les espèces sempervirentes. Différents travaux confirment bien cette hypothèse. Sidibé (2021) a observé l'état de la feuillaison en toutes les périodes de l'année chez les individus adultes spontanés de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* dans le cercle de Ségou. De même, Gnahoua & Louppe (2003) ont souligné que *A. auriculiformis* est une espèce sempervirente, ayant une période de chute de feuilles située entre août et décembre. Enfin, Arbonnier (2000) a évoqué le caractère persistant du feuillage de *C. siamea*. A l'opposé des trois autres espèces à feuillages persistants, *A. auriculiformis* a été la seule chez laquelle la valeur de la SLA a significativement augmenté en saison sèche chaude. En somme, étant donné que la SLA est une mesure de la quantité de surface foliaire absorbant la lumière par unité de matière sèche investie (Liu et al., 2009 ; Larcher, 2003), une très grande SLA pourrait donc être synonyme de la présence de jeunes feuilles en pleine expansion. Il a effectivement été observé dans cette étude chez la plupart des espèces la présence de nouvelles feuilles lors des pics de SLA.

En ce qui concerne la teneur en matière sèche foliaire (LDMC), elle indique la quantité de matériau structural de la feuille. Elle constitue un indice de conservatismisme dans le cycle biologique (Pierce et al., 2013). En effet, la teneur moyenne en matière sèche peut également être corrélée à la production de biomasse ou à la qualité du fourrage (Garnier & Navas, 2012 ; Michaud et al., 2014). Elle constitue également un trait clé qui pourrait être utilisé lorsque

des espèces provenant d'habitats ombragés sont impliquées dans les comparaisons (Wilson et al., 1999 ; Garnier & Navas, 2012). Dans cette étude, l'interaction Espèce x Période de l'année a eu un effet significatif sur sa valeur moyenne qui a varié entre 25,4% en août chez *Piliostigma reticulatum* et 65,5% en avril chez *Cassia siamea*. Quel que soit l'espèce, la plus forte LDMC a été obtenue pendant la période moins humide où la RWC a diminué. Ceci dénote également la sensibilité de ce paramètre mesuré sur des jeunes plants en plantation à la disponibilité en eau du sol.

Relations entre les traits fonctionnels étudiés

L'ensemble des traits fonctionnels étudiés (RWC, SLA et LDMC) sont significativement corrélés entre eux. Ainsi il est possible de prédire les uns en fonction des autres. Des résultats similaires ont été obtenus ailleurs par Wilson et al. (1999), Garnier et al. (2001), Roche et al. (2004), Li et al. (2005), Liu et al. (2008). Tout comme dans la présente étude, toutes espèces confondues, ces auteurs ont trouvé une corrélation significative et négative entre la teneur en matière sèche foliaire (LDMC) et la surface foliaire spécifique (SLA).

Conclusion

A l'exception de *Acacia auriculiformis* toutes les autres espèces ont eu un taux de survie très élevé (>92%). Le diamètre au collet et la hauteur totale des plants ont varié significativement en fonction des espèces. La teneur relative en eau des plants a varié significativement en fonction de l'espèce et de la période de l'année. Quant à la surface foliaire spécifique et à la teneur en matière sèche foliaire, elles ont varié significativement en fonction l'effet combiné de l'espèce avec la période de l'année (interaction Espèce x Période). L'état hydrique du sol a été prépondérante à la survie et à la croissance des plants au stade juvénile. Entre la saison des pluies (août) et la saison sèche chaude (avril), le changement du statut hydrique du sol s'est matérialisé par la diminution de l'ordre de 34% en moyenne de la teneur relative en eau des plants chez l'ensemble des espèces. Celles qui avaient des prédispositions ou des attributs particuliers sont arrivées à ajuster certains de leurs paramètres écophysologiques à l'image de la surface foliaire spécifique ou à adopter des stratégies d'évitement telles que la défoliation totale (chez *Combretum micranthum*), la défoliation partielle (chez *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*) ou l'inclinaison des feuilles (chez *Cassia siamea*) pour amenuiser leurs activités foliaires. En somme, les résultats des études sur les traits fonctionnels (ou écophysologiques) des espèces au stade juvénile peuvent constituer des baromètres orientant le choix des espèces à des fins de plantation.

Conflits d'intérêts

Il n'y a aucun conflit d'intérêt lié à la publication de cet article.

References:

1. AEDD. (2011). *Politique Nationale sur les Changements Climatiques (PNCC). Rapport final* (Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD)).
2. Abdou Habou, M. K., Rabiou H., Abdou L., Abdourahamane Illiassou, S., Sanoussi Issoufou, A. A. E., Soumana, A., & Mahamane A. (2019). Germination et croissance des plantules d'une espèce fruitière indigène au Niger : *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2) : 693-703. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.10>
3. Albouchi, A., Béjaoui, Z., & El Aouni, M. H. (2003). Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la Croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. *Sécheresse*, 14(3), 137-142.
4. Amani, A., Ichaou, A., Karim, S., & Mahamane, A. (2021). Impacts d'une technique de restauration de terre dégradée sur la survie et la croissance des plants de quatre espèces de combretaceae en zone sahélienne du Niger. *European Scientific Journal*, 17(43), 134-157. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134>
5. Arbonier, M. (2000). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD/MNHN/UICN.
6. Aref, I., El Atta, H., El Obeid, M., Ahmed, A., Khan, P., & Iqbal, M. (2013). Effect of water stress on relative water and chlorophyll contents of *Juniperus procera* Hochst. Ex Endlicher in Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 10(4), 681-685.
7. Ariori, S. L., & Ozer, P. (2005). Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29, 61-68.
8. Bationo, B. A., Ouedraogo, J. S., Alexandre, D.-Y., & Guinko, S. (2001). Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(2), 87-94.
9. Bationo, B. A., Some, N. A., Ouedraogo, S. J., & Kalinganire, A. (2010). Croissance comparée des plantules de cinq espèces ligneuses soudaniennes élevées en rhizotron. *Sécheresse*, 21(3), 196-202.
10. Bernard-Verdier, M. (2008). *Histoire évolutive de deux traits fonctionnels de plantes* [Rapport de stage, M2 Ecologie, Biodiversité et Evolution]. Université Paris Sud 11. ENS AgroParisTech.
11. Clinquart, P. (2010). *Représentations et usages des espèces ligneuses : Une approche par les traits fonctionnels pour une ingénierie des*

- systèmes agroforestiers en zones arides et semi-arides. Cas des parcs agroforestiers de la zone de Tiby au Mali* [Mémoire de fin de fin d'études pour obtenir le diplôme d'Ingénieur en Agriculture]. Ecole d'ingénieurs de Purpan.
12. Cornic, G. (2008). *Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire : De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc* [Cours d'écophysiologie]. Université Paris Sud 11.
 13. Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., Vranken, I., Maiga, M., & Bogaert, J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(2), 97-107.
 14. Farooq, M., Hussain, M., Abdul Wahid, & Siddique, K. H. M. (2012). Drought Stress in Plants : An Overview. In *Plant responses to drought stress* (Aroca R., p. 1-33). Springer-Verlag.
 15. Ferry-Graham, L. A., & Gibb, A. C. (2008). Ecophysiology. *Encyclopedia of Ecology*, 2(3), 346-349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00531-X>
 16. Garnier, E., Laurent, G., Bellmann, A., Debain, S., Berthelie, P., Ducout, B., Roumet, C., & Navas, M.-L. (2001). Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New phytologist*, 152(1), 69-83.
 17. Garnier, E., & Navas, M.-L. (2012). A trait-based approach to comparative functional plant ecology : Concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 365-399. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0036-y>
 18. Gnahoua, G.-M., & Louppe, D. (2003). *Acacia auriculiformis : Fiche technique* (p. 2). CIRAD-Forêt.
 19. Gross, N. (2007). *Mécanismes de structuration des prairies subalpines : Apport des traits fonctionnels* [Thèse de doctorat]. Université J. FOURIER.
 20. Huc, R. (2011). Les réponses des arbres aux contraintes climatiques : Aspects écophysiologiques. *Forêt méditerranéenne*, 32(2), 167-172.
 21. Kassambara, O., Sylla, M., Sénou, O., Karembé, M., Sidibé, S., & Sarra, M. (2022). Identification des espèces de plantes autochtones utilisées pour la production de bois de chauffe dans la zone soudanienne nord du Mali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(5): 1992-2008. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.14>

22. Kelly, B. A., & Cuny, P. (2000). Plantation d'espèces forestières locales sur sol hydromorphe. Bilan d'une expérimentation sylvicole au sud du Mali. *Revue forestière française*, 52(5), 453-466.
23. Kouyaté, A. M. (2005). *Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de Detarium microcarpum Guill. Et Perr. Au Mali*. Thèse de doctorat, Université de Ghent.
24. Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology : Ecophysiology and stress physiology of functional groups* (4th éd.). Springer Science & Business Media.
25. Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J., & Forbes, T. D. A. (1997). Plant functional classifications: From general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(12), 474-478. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(97\)01219-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(97)01219-6)
26. Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275-294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
27. Li, Y., Johnson, D. A., Su, Y., Cui, J., & Zhang, T. (2005). Specific leaf area and leaf dry matter content of plants growing in sand dunes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 127-134. <https://doi.org/10.7016/BBAS.200504.0127>
28. Liu, J., Zeng, D., Lee, D. K., Fan, Z., & Zhong, L. (2008). Leaf traits and their interrelationship of 23 plant species in southeast of Keerqin Sandy Lands, China. *Frontiers of Biology in China*, 3(3), 332-337. <https://doi.org/10.1007/s11515-008-0050-x>
29. Liu, T., Zhang, C., Yang, G., Wu, J., Xie, G., Zeng, H., Yin, C., & Liu, T. (2009). Central composite design-based analysis of specific leaf area and related agronomic factors in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, 111(1-2), 92-96. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.11.001>
30. Loi N°10-028. (2010). *Loi déterminant les principes de gestion des ressources du domaine forestier national* (p. 34). Assemblée Nationale du Mali.
31. Ly, M. O. (2014). *Physiologie de la germination des graines et traits fonctionnels de plants de Jatropha curcas L. introduits en milieux salés* [Thèse de Doctorat]. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
32. Madjimbe, G., Goalbaye, T., Belem, M. O., & Ngarikla, B. (2018). Evaluation des ressources ligneuses et leur exploitation comme bois de chauffe et de service dans le Département de Barh-kôh au sud du

- Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6), 2856-2870. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.30>
33. Mairie de la commune de Massala. (2018). *Monographie sommaire de la commune rurale de Massala* (p. 6). Mairie de la commune de Massala.
 34. Michaud, A., Plantureux, S., Pottier, E., & Baumont, R. (2015). Links between functional composition, biomass production and forage quality in permanent grasslands over a broad gradient of conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 153(5), 891-906. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000653>
 35. Nouvellet, Y., Sylla, M. L., & Kassambara, A. (2003). La production de bois d'énergie dans les jachères au Mali. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 276(2), 5-15.
 36. Paco, F. P. (2010). *Protocole de mesure des caractéristiques liées à la tolérance à la sécheresse, version française, Document de travail du Projet FunciTree* (p. 14). Institut d'Economie Rurale (IER).
 37. Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 61, 167-234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>
 38. Pierce, S., Brusa, G., Vagge, I., & Cerabolini, B. E. (2013). Allocating CSR plant functional types : The use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants. *Functional Ecology*, 27(4), 1002-1010. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12095>
 39. Querejeta, J. I., Prieto, I., Armas, C., Casanoves, F., Diémé, J. S., Diouf, M., Yossi, H., Kaya, B., Pugnaire, F. I., & Rusch, G. M. (2022). Higher leaf nitrogen content is linked to tighter stomatal regulation of transpiration and more efficient water use across dryland trees. *New Phytologist*, 235, 1351-1364. <https://doi.org/10.1111/nph.18254>
 40. Rakotoniaina, P. (1993). *Rapport de campagne 1992-1993 sur la convention FOFIFA-Projet DEF/GPF, volet « Recherche à Mahajanga »*. CENRADERU-FOFIFA (p. 15). CENRADERU-FOFIFA.
 41. Roche, P., Díaz-Burlinson, N., & Gachet, S. (2004). Congruency analysis of species ranking based on leaf traits : Which traits are the more reliable? *Plant Ecology*, 174(1), 37-48.
 42. Sanders, G. J., & Arndt, S. K. (2012). Osmotic Adjustment Under Drought Conditions. In *Plant Responses to Drought Stress* (Aroca R., p. 199-229). Springer-Verlag.

43. Sanogo, S., Sacandé, M., Van Damme, P., & NDiaye, I. (2013). Caractérisation, germination et conservation des graines de *Carapa procera* DC.(Meliaceae), une espèce utile en santé humaine et animale. *BASE*, 17(2), 321-331.
44. Sidibé, L. (2021). *Etude de quelques traits fonctionnels d'espèces ligneuses autochtones productrices de bois de chauffe dans la commune rurale de Massala (Cercle de Ségou) : Cas de Combretum micranthum G. Don, Combretum glutinosum Perr. Ex DC et Piliostigma reticulatum (D.C.) Hochst* [Mémoire de Master]. Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB).
45. Son, D. (2010). *Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (Sesamum indicum L.)* [Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA)]. Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).
46. Soulama, S., Kadeba, A., Nacoulma, B. M. I., Traoré, S., Bachmann, Y., & Thiombiano, A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87, 8047-8064. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.6>
47. Thiombiano, A., Wittig, R., & Guinko, S. (2003). Conditions de la multiplication sexuée chez des Combretaceae du Burkina Faso. *Revue d'écologie (Terre Vie)*, 58, 361-379.
48. Thomas, I., & Samassekou, S. (2003). *Rôle des plantations forestières et des arbres hors forêt dans l'aménagement forestier durable en République du Mali. Rapport par pays*. FAO.
49. Westoby, M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and soil*, 199(2), 213-227.
50. Westoby, M., Falster, D. S., Moles, A. T., Vesk, P. A., & Wright, I. J. (2002). Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual review of ecology and systematics*, 33, 125-159.
51. Wilson, P. J., Thompson, K. E. N., & Hodgson, J. G. (1999). Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 143(1), 155-162.
52. Yossi, H., Niamaly, N., Dembélé, B., & Sanogo, M. (1988). *Projet arbres Autochtones* (p. 120) [Rapport technique final]. INRZH/DRFH/SRBEA.



Haematic Potentials of *Rhychospora corymbosa* and *Olox subscorpioïdea* Extracti in Phenylhydrazine-induced Anaemic Rats

M'béfèhê Soro, PhD student

Agro-valuation Laboratory and Agroforestry, UFR Agroforestrie, Jean Lorougnon Guédé University (UJLoG), Ivory Coast

Joël Akakpo-Akue, Doctor

Laboratory of Pharmacodynamic and Biochemistry, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Abidjan, Côte d'Ivoire

Jacques Auguste Alfred Bognan Ackah, Professor

Jean-François Sibri, PhD student

Yayé Guillaume Yapi, Professor

Agro-valuation Laboratory and Agroforestry, UFR Agroforestrie, Jean Lorougnon Guédé University (UJLoG), Ivory Coast

Tatiana Kangah Mireille Kple, Doctor

Laboratory of Pharmacodynamic and Biochemistry, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Abidjan, Côte d'Ivoire

Sihî Ephrem Léangeovers Getheme Sanko, Master student

Laboratory of biology, Agropastoral Management Institute, Péléforo Gbon Coulibaly University, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p208](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p208)

Submitted: 13 December 2022

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Soro M., Akakpo-Aku J., Ackah J.A.A.B., Sibri J., Yapi Y.G., Kple T.K.M. & Sanko S.E.L.G. (2023). *Haematic Potentials of Rhychospora corymbosa and Olox subscorpioïdea Extracti in Phenylhydrazine-induced Anaemic Rats*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 208. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p208>

Abstract

The decoction of the whole plant of *Rhychospora corymbosa* and *Olox subscorpioïdea* leaves are used by the Local traditional healers in the department of Korhogo (Northern Côte d'Ivoire) to treat patients with sickle cell disease. This study was designed to assess, the antianemic potential of these plants extract. Anemia was induced with phenylhydrazine hydrochloride in rats. Animals were divided in normal (N), control (C), test (T), and reference

(R) groups. T group included ill-induced Animals treated with *R. corymbosa* and *O. subscorpioidea* extracts, and R group ill-induced animals treated with vitamin B9 for anemic animals. Dosing was made as 1-day single dose repeated dose. In anemic animals, the production rate of RBC was significantly ($p < 0.001$) higher in T group as compared to C group. *R. corymbosa* whole plant and *O. subscorpioidea* leaves extracts have a haematic potential. The anti-anaemic effect may partly explain their use in patients with sickle cell disease who are affected by a deficiency of erythrocytes and its components

Keywords: Antianemic activity, *R. corymbosa*, *O. subscorpioidea*, sickle cell, decoction

Introduction

Anemia is defined as a decrease in the concentration of circulating hemoglobin compared to the limit values set by the WHO (Levy *and al.*, 2016). There are three major types of anemia. According to the size of the red blood cells, there is microcytic anemia in which the red blood cells are smaller than normal. This type of anemia would be due to a low-level of iron or an inherited disorder of hemoglobin. The normocytic anemia is a kind of anemia following a chronic disease. Finally, there is macrocytic anemia related to alcoholism (Vert, 2019). Anemia affects physical growth, cognitive development, reproduction and physical work capacity, resulting in decreased human performance (FAO, 2013). The most vulnerable groups are children, adolescents and pregnant women. Anemia is also a factor in fetal growth retardation, a cause of postpartum hemorrhage thereby increasing maternal morbidity and mortality (Beucher *and al.*, 2011). About 50% of anemia cases are due to iron deficiency (Vert, 2019). Anemia is a public health problem that affects populations in both rich and poor countries (De Benoist *and al.*, 2008). The global prevalence of anemia is 24.8%. In developed countries the prevalence is 8% compared to 38% in developing countries (Dupont, 2017). In Côte d'Ivoire, 78% of a sample of 128 children aged from 6 months to 2 years are anemic. Seven (7%) of these 78% suffer from severe anemia (Righetti *and al.*, 2012). Forty-five percent (45%) of women are affected by the less severe form, 20% by the moderate form and 2% suffer from the severe form. The proportion of anemic children and women depends on the place of residence, 21% in rural areas against 9% in urban areas for children and 73% in rural areas against 60% in urban areas for women (MSHP, 2016).

Most often, blood transfusion remains an effective and rapid means in the management of anemia (Dupouy-Manescau, 2020). However, there are risks of infection during blood transfusion and taking the drugs could create

drug-induced immuno-allergic haemolysis which is linked to drug sensitivity (Bachir, 2020). In addition, the use of drugs would be expensive for low-income population (Inkoto *and al.*, 2018).

Facing this situation, the use of medicinal plants could culturally serve as an alternative treatment against anemia for remote populations. Indeed, medicinal plants contain a multitude of secondary metabolites with several biological activity and easy access (Coulibaly *and al.*, 2020).

Many studies have been conducted to scientifically assess the safety, efficacy and quality of certain plant species from traditional medicine. This is how *Rhynchospora corymbosa* and *Olox subscorpioidea* caught our attention after an ethnobotanical survey in the department of Korhogo. The bibliographic review revealed that *Rhynchospora corymbosa* could promote the reversion of sickle cells (Soro *and al.*, 2021). As for *Olox subscorpioidea*, indigenous healers would use it in the treatment of jaundice (Kerharo & Bouquet, 1950) and could promote the reversion of sickle cells (Soro *and al.*, 2020). These plants have displayed, an antioxidant and an anticytotoxic activities (Cantrell *and al.*, 2003; Okoro *and al.*, 2021). They have also demonstrated analgesic (Odoma *and al.*, 2016), anti-inflammatory (Popoola *and al.*, 2016), antimicrobial (Dzoyem *and al.*, 2014), anti-infectious diseases (Garandi *and al.*, 2018) activities.

The aim of the present study was to investigate the antianemic activity of these plants in wistar rats of the species *Rattus norvegicus*. As anemia is an aspect of the pathophysiology of sickle cell syndrome.

Material and methods

Plant material

The plant material consisted of the whole plant of *Rhynchospora corymbosa* and the aerial part of *Olox subscorpioidea*. These plants were collected in the departments of Korhogo (northern Côte d'Ivoire). They were harvested, washed, cut and then dried away from the sun rays at room temperature 25 to 30°C for three weeks, in a well-ventilated room. They were then reduced to powder using an electric grinder (Retsch sk 100). A decoction was made according to the method (Konkon *and al.*, 2006). One hundred grams (100g) of powder from each species of plant were separately put in one liter of distilled water and boiled (100°C) for 10 minutes. The obtained mixture was wrung out in a square of white cotton fabric, then filtered three times on absorbent cotton and once on Whatman paper (3mm). The filtrate was evaporated at 50°C using an oven. The powders obtained after evaporation were called DRC corresponding to *Rhynchospora corymbosa* and DOSA for *Olox subscorpioidea*. Distilled water was used for the decoction and physiological water (NaCl 0.9% buffer solution at pH 7. was used for the dilutions of the extracts during the experiment.

Animal material

The animal material consisted of male and female rats of *Rattus norvegicus* (Muridae) of the Wistar strain. These animals came from the vivarium of the École Normale Supérieure (ENS) in Abidjan. They were fed daily with Ivorian Compound Food Manufacturing Company (FACI) pellets and water. There were 45 rats with a body weight between 150-230 g and aged 4 to 5 months. These rats were used to the antianemic test and to determinate some zootechnical parameters.

Antianemic test

Anemia was induced by intraperitoneal administration of 40 mg/kg/bw of phenyl hydrazine (PHZ) for two days (D0 and D1). Animals with hemoglobin concentration <12 g/dL were considered anemic (Berger, 2007). Nine (9) groups of 5 rats were formed. the rats of the N or normal group (1) were given physiological water (NaCl 0.9%). The C or control group (2) received phenyl hydrazine and physiological water (NaCl 0.9%). The rats of R group or 3 received phenyl hydrazine and vitamin B9 syrup. The rats of groups 4, 5 and 6 received 200, 400 and 800 mg/Kg/bw of DRC respectively and the rats of groups 7, 8 and 9 received 200, 400 and 800 mg/Kg body weight of DOSA respectively.

The blood samples were collected on D0, D2, D7, D14 and D21 from the rats by incision of the tail before and after, the anemia was induced by intraperitoneal administration of 40 mg/kg/d of phenyl hydrazine for two days (D0 and D1). The method of (Leonard, 1986) was used. Physiological water, vitamin B9, DRC and DOSA were administered by gavage from D2 to D21. The collected blood of 1 mL was used for haematological tests: Red Blood Count (RBC), Hemoglobin (Hb) and packed cell volume or hematocrit (PCV). The hematological parameters were assayed on days D0, D2, D7, D14 and D21 in the nine groups of rats using an automatic blood cell counter (Sysmex KX 21) in the laboratory of the Pasteur Institute of Cocody. The rats of the nine groups were weighed before any sampling.

Zootechnical parameters values such as average weight (AW) and average daily gain (ADG) were determinate during this experiment (21 days). The effect of DRC and DOSA on these zootechnical parameters were studied.

Average Weight (AW)

The Average Weight was determined by calculating the ratio of the sum of the weights of the individuals of the same batch by their number according to the following formula:

$$AW = \frac{\text{Sum of the weights of the individuals of the same group}}{\text{Total number of the group}}$$

Average Daily Gain (ADG)

Using weights, we calculated the Average Daily Gain by calculating the ratio of the average gain during a period over the duration in days. The formula is as follows:

$$ADG = \frac{\text{Weight gain during a given period (g)}}{\text{Duration of period (Days)}}$$

Statistical analysis

Statistical analyzes were performed using GraphPad Prism software, version 9.3.1.471 (2021) (San Diego CA USA). Two-ways analysis of variance (ANOVA) was performed with this software. The hematological values were expressed as mean \pm standard error of the mean (M \pm SEM). The Analysis of variance and the Dunnet's test applicable to multiple comparisons of data were used for statistical analyses. The change in hematological parameters were considered significant at the threshold of $P < 0.05$.

For the significant difference the following notation is used:

- No significant () : $p > 0,05$;
- Low significant (*) : $p < 0,05$;
- Significant (**) : $p < 0,01$;
- Very significant (***) : $p < 0,001$;
- highly significant (****) : $p < 0,0001$.

Results and discussion

Effect of DRC on some zootechnical parameters:

Table I. Effect of DRC and DOSA on average weights of the rats (g)

Lots	J0	J2	J7	J14	J21
G1 (Normal group)	162,67 \pm 6,74	170,07 \pm 4,19	177,77 \pm 4,74	177,77 \pm 7,65	179,33 \pm 7,62
G2 (Control group)	149,73 \pm 8,14	143,67 \pm 13,86	152,20 \pm 6,12	162,87 \pm 11,77	165,67 \pm 11,26
G3 (Refence group)	159,07 \pm 10,91	154,53 \pm 11,69	193,47 \pm 4,65*	206,93 \pm 4,19**	211,33 \pm 2,96**
G4 (DRC 200)	154,67 \pm 3,18	150,40 \pm 5,18	160,50 \pm 9,12	163,33 \pm 8,66	169,67 \pm 5,61
G5 (DRC 400)	156,67 \pm 13,67	149,10 \pm 15,21	160,13 \pm 11,94	181,9 \pm 4,22	185,67 \pm 4,81
G6 (DRC 800)	153,00 \pm 15,70	151,76 \pm 14,68	164,60 \pm 15,50	179,60 \pm 8,33	189,67 \pm 6,74
G7 (DOSA 200)	151,33 \pm 7,80	145,46 \pm 6,63	156,00 \pm 3,05	161,00 \pm 3,00	168,00 \pm 7,00
G8 (DOSA 400)	150,25 \pm 2,25	148,13 \pm 1,88	162 \pm 0,25	170,5 \pm 5,75	182,5 \pm 15,75
G9 (DOSA 800)	151,00 \pm 3,00	141 \pm 2,00	162 \pm 2,00	175 \pm 4,00	194,5 \pm 0,50

Table II.Effect of DRC and DOSA on average daily gain (g)

Lots	J0	J2	J7	J14	J21
G1 (Normal group)	0,00±5,86	4,55±5,04	9,28±5,38	13,38±4,98	18,44±4,96
G2 (Control group)	0,00±7,69	-4,05±10,63	1,65±6,87	8,77±9,84	10,64±6,63
G3 (Reference group)	0,00±9,70	-2,85±9,92	21,63±8,84	30,09±9,30	32,86±9,30
G4 (DRC 200)	0,00±2,91	-2,76±3,90	3,77±6,27	5,60±6,01	9,70±4,27
G5 (DRC 400)	0,00±12,34	-1,74±11,87	2,21±11,73	16,11±10,48	18,51±10,78
G6 (DRC 800)	0,00±14,51	-2,55±14,10	7,58±14,98	17,39±13,21	23,97±13,46
G7 (DOSA 200)	0,00±7,29	-3,88±6,62	3,08±5,68	6,39±5,83	11,01±7,36
G8 (DOSA 400)	0,00±2,12	-1,41±1,83	7,82±1,62	13,48±4,19	21,46±10,64
G9 (DOSA 800)	0,00±2,81	-6,62±2,28	7,28±2,51	15,89±3,51	28,81±2,58

Effect of DRC and DOSA on hematological parameters:

Table III. Effect of the DRC and DOSA on the red blood cell count ($10^6/uL$)

Lots	J0	J2	J7	J14	J21
G1 (Normal group)	7.25±0.25	7.35±0.09	7.27±0.26	7.31±0.14	7.30±0.28
G2 (Control group)	7,75±0.20	3.12±0.7	4.70±0.09	5.20±0.39	5.95±0.27
G3 (Reference)	7,25±0.25	3.37±0.2	5.70±0.40	6.83±0.24	7.19±0.40
G4 (DRC 200)	7,75±0.25	3.4±0.46	4.85±0.69	6.71±0.46	7.15±0.02
G5 (DRC 400)	7,05±.015	3.11±0.06	4.30±0.32	6.02±0.20	7.03±0.18
G6 (DRC 800)	7.30±0.80	3.57 ± 0.32	5.04 ±0.45	6.61±0.12	7.12±0.06
G7 (DOSA 200)	7,85±0,35	3,44±0,22	4,42±0,55	6,23±0,50	7,20±0,10
G8 (DOSA 400)	7,17±0,17	3,21±1,32	3,97±0,29	6,110,82	7,25±0,25
G9 (DOSA 800)	7.00±0,50	3,46±1,05	4,22±0,20	6,08±0,11	7,23±0,48

Table IV.Effect of the DRC and DOSA on the hemoglobin rate (g/dL)

Lots	J0	J2	J7	J14	J21
G1 (Normal group)	12.65±0.15	12.46±0.77	12.83±0.22	12.29±0.26	12.93±0.5
G2 (Control group)	13.10±0.90	6.73±0.62	9.6±0.06	10.4±0.33	11.96±0.31
G3 (Reference group)	12.90±0.10	6.9±0.13	10.50±0.46	14.06±0.28	14.96±0.57
G4 (DRC 200)	12.70±0.30	6.43±0.48	10.40±0.86	12.93±0.64	12.86±0.51
G5 (DRC 400)	12.70±0.30	6.03±0.31	10.23±0.44	13.13±0.45	13.41±0.24
G6 (DRC 800)	12.98±0.05	6.66±0.51	10.20±0.46	13.16±0.35	14.66±0.16
G7 (DOSA 200)	12,67±0,44	6,70±1,21	10,00±0,10	12,50±0,10	12,25±0,05
G8 (DOSA 400)	12,33±0,67	7,83±1,39	11,47±0,68	11,25±0,05	13,95±0,15
G9 (DOSA 800)	12,75±0,25	6,90±0,70	10,43±0,94	12,65±0,15	14,10±0,40

Table V. Effect of the DRC and DOSA on the hematocrit rate (%)

Lots	J0	J2	J7	J14	J21
G1 (Normal group)	43.00±0.00	42.93±1.08	43.66±1.02	43.03±1.31	43.96±1.35
G2 (Control group)	43.00±20.00	22.03±1.64	32.36±1.44	37.53±1.55	38.76±1.57
G3 (Reference group)	43.00±2.08	22.10±1.40	36.60±1.73	46.23±0.95	46.46±0.95
G4 (DRC 200)	41.00±40.00	22.23±1.28	36.10±1.60	42.63±0.95	43.73±1.15
G5 (DRC 400)	41,50±3.50	21.96±0.35	33.26±1.02	42.63±0.95	43.3±0.66
G6 (DRC 800)	41,50±6.50	22.03±0.95	34.86±0.95	42.76±1.08	43.23±0.84
G7 DOSA 200	44,50±0,50	21,75±2,54	40,07±2,40	48,71±1,15	46,96±3,70
G8 DOSA 400	40,50±0,50	32,66±4,75	33,04±8,01	42,17±0,12	49,87±5,93
G9 DOSA 800	44.00±1,00	26,25±8,62	33,97±13,45	50,35±0,24	45,54±12,44

The aim of this study was the assessment of the antianemic activity of two medicinal plants used in traditional medicine in northern Côte d'Ivoire. *Rhynchospora corymbosa* known under the vernacular names of "Lôwonne or Tchang and Kômourouni" in Sénoufo and Malinké respectively and *Olox subscorpioidea* known as "Nimbôchi or Korogbé" in Malinké. The decoction was chosen as the extraction mode because of its strong use in the preparation of herbal medicines. (Bla *and al.*, 2015) indicated that the decoction is the most requested mode of preparation (65.38%). Moreover, the results (Gnagne *and al.*, 2017) showed that the decoction is used at 88.2%. The phytochemical screening revealed the presence of alkaloids, catechin tannins, polyterpenoid, sterols and saponins in DRC. Also, (Soro *and al.*, 2021) highlighted the presence of polyphenols, flavonoids, leuco-anthocyanins, alkaloids, saponins and steroids in DOSA. These chemical groups have been proved to exhibit biological activities. Indeed, phenolic compounds such as catechin tannins are known for their antioxidant properties (Ebrahimzadeh *and al.*, 2010). These antioxidant compounds could, activate the immune defense and protect erythrocytes against the oxidation of membrane proteins and lipid peroxidation (Mpondo *and al.*, 2012). According to (Létapin, 2016), the consumption of tannin-rich plants in small ruminants seems to represent an alternative in order, to anthelmintics to control gastrointestinal nematodes and make the skin resistant to internal parasites. Parasites such as ticks cause up to 37% anemia in cattle (Azokou *and al.*, 2016). As for saponins, they would have antifungal, antibacterial and antiviral properties. They would also present protective activities of veins and capillaries (Macheix *and al.*, 2005). In addition to these compounds, alkaloids have antibiotic, antiparasitic and analgesic activities (Koua *and al.*, 2018) and would also have an effect on the central nervous system (Bruneton *and al.*, 2009). Finally, terpenoids and steroids derived from terpenoids constitute the largest known set of secondary

plant metabolites (Yamunadevi *and al.*, 2011). Steroids are secondary metabolites known for their analgesic and cardiotoxic properties, regulate protein and carbohydrate metabolism, increase muscle and bone synthesis (Bruneton *and al.*, 2009). Note that polyphenols, flavonoids, leucoanthocyanins and quinones are absent in DRC. Quinones are also absent in DOSA. With regard to the effect of DRC and DOSA on the zootechnical parameters (average weight and average daily gain) of the rats, the results revealed that all the T-group showed a gradual increase in the weight of the rats throughout the experiment. The results in Table I shows the evolution of the average weight of the rats. The body weight of all animals, at the initial time, ranged from 149.73 ± 8.14 to 162.67 ± 6.74 grams. There is low significant difference ($p < 0.05$) between the average weights of N-group compared to the other groups at D0 and D2. At week three (Day 21) the groups R and T recorded an increased average weight of $32.86 \pm 9.30\%$ for R-group, $9.70 \pm 4.27\%$ for DRC 200 ; $18.51 \pm 10.78\%$ for DRC 400 ; $23.97 \pm 13.46\%$ for DRC 800 ; $11.01 \pm 7.36\%$ for DOSA 200 ; $21.46 \pm 10.64\%$ for DOSA 400 ; $28.81 \pm 2.58\%$ for the DOSA 800 compared to the C-group which was $10.64 \pm 9.63\%$. The increased average weight in T-groups was concentration dependant. This observation could attest that DRC and DOSA have a positive effect on the average weight growth of rats. This same trend was observed with the values of the average daily gain. The table II shows the evolution of the Average Daily Gain (ADG) of the weight of the rats in the T-groups compared to the C-groups during the 21th days of the experiment. On the first day (J0), the average daily gain were 0.00 ± 7.69 , 0.00 ± 9.70 , 0.00 ± 2.91 , 0.00 ± 12.34 , 0.00 ± 14.51 , 0.00 ± 7.29 , 0.00 ± 2.12 and $0.00 \pm 2.81\%$ respectively for C-group ; R-group, DRC 200, DRC 400, DRC 800, DOSA 200 ; DOSA 400 and DOSA 800 compare to that of N-group which was $0.00 \pm 5.86\%$. These values were almost zero in all groups. On day (J21), the average daily gain recorded were 1.56 ± 0.44 ; 0.46 ± 0.20 ; 0.88 ± 0.51 ; 1.14 ± 0.64 ; 0.52 ± 0.35 ; 1.02 ± 0.51 ; $1.37 \pm 0.12\%$ for R-group, DRC 200, DRC 400, DRC800, DOSA 200, DOSA 400 and DOSA 800 compared to the C-group which was $0.51 \pm 0.32\%$ (table II). DRC and DOSA acted in a dose-response manner because the more the dose increases the more average weight increases, the better growth was observed with the rats of R-group. DRC and DOSA are beneficial on the weight evolution. This could, also, confirm the safety of DRC and DOSA which could be a food supplement for rats. The chemical composition of *Rhynchospora corymbosa* plants could indicated these observed beneficial effects. Indeed, for Létapin (2016), plants rich in tannins have beneficial effects in terms of weight gain and contribute to better milk and wool production in animals.

The haematic potential effect of DRC and DOSA in comparison to control and reference groups is shown in Tables II, IV and V. Values are mean

for $n=5$. The baseline values in control animals were 7.75 ± 0.20 T/L; 13.10 ± 0.90 g/dL; $43.00 \pm 2.00\%$ for RBC, Hb and hematocrit percentage respectively. The administration of PHZ caused a decrease in red blood cells count, hemoglobin and hematocrit percentages. Indeed, on Day 2 we had 3.12 ± 0.70 T/L (59.74 % reduction), 6.73 ± 0.62 g/dL (48.62 % reduction) and 22.10 ± 1.49 (48.60 % reduction) for the red blood cells count, hemoglobin and hematocrit percentages respectively. Our results are in line with those of (Gbenou *and al.*, 2006). These authors observed a decrease in the number of red blood cells, hemoglobin and hematocrit percentages after the administration of PHZ. According to (Sheth *and al.*, 2021), PHZ causes hemolytic anemia in rats. Indeed, phenylhydrazine caused oxidative stress by production of free radicals. So lipid peroxidation is generated, which induces red blood cells lysis (Zangeneh *and al.*, 2019). However, it should be noted that the anemia induced by PHZ is reversible. Indeed, after treatment with DRC and DOSA at concentrations of 200, 400 and 800 mg/kg/BW, a restoration of the hemoglobin level, the red blood cells count and the hematocrit percentage to normal was observed compared to rats that did not receive phenyl hydrazine. In other words, PHZ does not destroy the stem cell producing blood cells (Berger, 1986).

Rats of T groups were given 200,400 and 800mg/kg bw of DRC and DOSA respectively after induction of anemia by phenylhydrazine. The administration of both extracts and vitamin B9 allowed a significant increase of the RBC count, hemoglobin (Hb) level and the hematocrit percentage from the 7th day of treatment up to D21 compare to the N and C groups. Indeed, from D2 to D21 the tables III, IV and V showed the following results : 3.4 ± 0.46 to 7.15 ± 0.02 T/L, 6.43 ± 0.48 to 12.86 ± 0.51 g/dL , 22.23 ± 1.28 to $43.73 \pm 1.15\%$ for RBC count, hemoglobin (Hb) level and the hematocrit percentage respectively for DRC T-200. 3.44 ± 0.22 to 7.20 ± 0.10 T/L, 6.70 ± 1.21 to 12.25 ± 0.05 g/dL , 21.75 ± 2.54 to $46.96 \pm 3.70\%$ for RBC count, hemoglobin (Hb) level and the hematocrit percentage respectively for DOSA T-200. The concentrations of 200, 400 and 800 mg/mL of both extracts have restored the anemia in rat by increasing RBC count, hemoglobin (Hb) level and the hematocrit percentage. (Soro *and al.*, 2021) about chemical analysis on DRC and DOSA revealed the presence of alkaloids and phenolic compounds which are known for their anti-anemic activity. II Indeed, alkaloids, flavonoids have antioxidant activity which prevent and repair the free radicals ations on the erythrocytes by enhancing the resistance of RBC to hemolysis (Itodo *and al.*, 2011); (Gui *and al.*, 2019). So according to Turaskar *and al.*, (2013) those compounds reverse anemic conditions. For example, alkaloids inhibit cyclic adenosine monophosphate (cAMP). However, the results of this treatment by DRC and DOSA was inversely proportional to the extracts concentrations. The more the concentrations increased, the more the RBC count and the

hematocrit percentage decreased and the more hemoglobin level decreased. Also, the phytochemical screening performed by Soro *and al.*, (2021) on DRC and DOSA revealed the presence of saponins. This compound is known to denature the membrane structure of erythrocytes, thus increasing the hemolysis of the RBC. The more DRC and DOSA concentrations increase, the higher saponins content and the slower the regeneration of RBC occurs and the hematocrit percentage increases. On D21, the RBC count were 7.15 ± 0.02 , 7.12 ± 0.06 , 7.20 ± 0.02 and 7.23 ± 0.48 for DRC-200, DRC-800, DOSA-200 and DOSA-800 respectively (Gui *and al.*, 2019) (table III).

Despite the presence of saponins, others phytochemicals such as polyphenols and alkaloids presents in DRC and DOSA may have contributed to PHZ-induced hemolysis inhibition. (R-Tiendrebeogo *and al.*, 2019) showed in their study that the anti-hemolytic and anti-lipid peroxidation activity of *Ficus sycomorus* were due to the antioxidant activity of phenolic compounds. Also, Yenon *and al.*, (2015) showed that the anti-anemic activity of *E.angolense* bark was linked to the presence of these compounds.

The Literature alleged that one of the clinical signs of sickle cell disease is anemia and one of the therapeutic means sought is transfusion therapy (Lemonne *and al.*, 2013); (Stuart *and al.*, 2019). DRC and DOSA by increasing hemoglobin, hematocrit and red blood cell count could help sickle cell patients prevent anemia associated with sickle cell disease.

Conclusion

The whole plant of *Rhynchospora corymbosa* and the aerial part of *Olax subscorpioidea* significantly increased the the RBC count, hemoglobin level and hematocrit percentage in phenyl hydrazine anemic-induced rats. This anti-anemic activity could be related to the antioxidant properties characterized by the presence of phenolic compounds. The use of *Rhynchospora corymbosa* and *Olax subscorpioidea* in traditional area to fight anemia related to sickle cell disease could be justified.

References:

1. Azokou A., Achi Y. et Koné W. (2016). Impact des tiques sur les bovins métissés dans le nord de la Côte d'Ivoire. *Bulletin of animal heath production in africa*, , 60(2) : 109-118
2. Bachir N. (2020). Contribution à l'étude des propriétés des huiles essentielles extraites à partir des plantes médicinales utilisées contre l'anémie. Mémoire de Master, Université de Biskra (Algérie), p 138.
3. Berger J. (2007). Hématotoxicité de la phénylhydrazine *J. Appliqué. Biomed* , 5(2): 125-130.
4. Beucher G, Grossetti E, Simonet T, Leporrier M, Dreyfus M. (2011). Anémie par carence martiale et grossesse. Prévention et traitement. J

- Gynecol Obstet & Biol Reprod. 40(3):185-200.
5. Bla Kouakou et al.. (2015). J. Appl. Biosci. Étude ethnopharmacologique des plantes antipaludiques utilisées chez les Baoulé- N'Gban de Toumodi dans le Centre de la Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 85:7775– 7783 ;
 6. Bruneton J. (2009). Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales, 4e éd., revue et augmentée, Paris, *Tec & DocÉditions médicales internationales*, 1288 p: ISBN 978-27430-1188-8.
 7. Cantrell CL, Berhow MA, Phillips BS, Duval SM, Weisleder D. (2003). Vaughn SF Bioactive crude plant seed extracts from the NCAUR oilseed repository. *Phytomedicine*, 10(4):325–333. <https://doi.org/10.1078/094471103322004820>
 8. Coulibaly A., Boua G., N'guessan O. et Nahounou B. (2020). Evaluation of *Moringa Oleifera* Lam Leaves (*Moringaceae*) Diets against Induced Anemia in Wistar Rats, *EAS journal of nutrition and food science*, 2 (3): 101- 106
 9. De Benoist B, McLean E, Egli I, Gogswell M. (2008). Worldwide prevalence of anemia 1993- 2005. WHO Global Database on Anaemia. WHO.
 10. Dupont C. (2017). Prévalence carence en fer. *Elsevier*, 24 : 45-48
 11. Dupouy-Manescau N. (2020). La transfusion sanguine chez les carnivores domestiques : étude rétrospective sur 162 chiens et 125 chats présents au CHUVAC ENVN entre 2013 et 2020. Thèse de Docteur, l'Université Paul-Sabatier de Toulouse (France), 122 p.
 12. Dzoyem JP, Tchuenguem RT, Kuate JR, Teke GN, Kechia FA, Kuete V. (2014). In Vitro and In Vivo antifungal activities of selected Cameroonian dietary spices. *BMC Complement Altern Med*, , 14(1):58. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-58>
 13. Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.M., Nabavi, S.F., Bahramian, F. & Bekhradnia, A.R. Antioxidant and free radical scavenging activity of *H. Officinalis* L. Var *Angustifolius*, *V. Odorata*, *B. hyrcana* et *C. (2010)*. *Speciosum. Pak. J. Pharm. Sci.*, 23 (1): 29-34.
 14. Garandi B, Fankam AG, Nayim P, Wamba BEN, Mbaveng AT, Kuete V. (2018). Anti-staphylococcal activity and antibiotic-modulating effect of *Olox subscorpioidea*, *Piper guineense*, *Scorodophloeus zenkeri*, *Fagara leprieurii*, and *Monodora myristica* against resistant phenotypes. *Investig Med Chem Pharmacol*, 1(2):1–10. <https://doi.org/10.31183/imcp.2018.00017>
 15. Gbenou D., Richard T., Pierre D., Michael F. et Mansourou M. (2006). Etude des propriétés antianémiques de *justicia secunda* vahl (*acanthaceae*) chez des rats de souche wistar. *Pharm Méd Trad Afr*, (14) : 45-54.

16. Gnagne et al., (2017). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire) *Journal of Applied Biosciences* , 113: 11257-11266
17. Gui, P. A., Bahi, C., Kamou, K. R., Tiekpa, W. J., Gnaléi, R. M., Djyh, N., & Coulibaly A. (2019). Study of antianemic properties of *Parquetina nigrescens* (Apocynaceae) in wistar rats. *The Journal of Phytopharmacology*, 8(5), 216-219.
18. Inkoto L, Bongo N, Kapepula M, Masengo A, Gbolo Z, Tshiana C, Ngombe K, Iteku B, Mbemba F, Mpiana P. et Ngbolua K. (2018). Microscopic features and chromatographic fingerprints of selected congolese medicinal plants: *Aframomum alboviolaceum* (Ridley) K. Schum, *Annona senegalensis* Pers. and *Mondia whitei* (Hook. f.) Skeels, *Emergent Life Sciences Research*, 4: 1-10.
19. Itodo AU, Gafar MK, Hassan LG Dangoggo SM. (2011). Amino acid estimation and phytochemical screening of *Indigofera astragolina* leaves. *J. Chem. Pharm. Res.*, 2011, 2(5):277-285. I
20. Kerharo J. & Bouquet.A., (1950). plantes médicinales et toxiques.de la Côte d'Ivoire-Haut-Volta. *Vigot – Frères, Paris (France)*,; p. 138
21. Konkon N., Simaga D., Adjoungova A., N'guessan.,Zirihi G. et Kone B. (2006). Etude phytochimique de *mitragyna inermis* (willd.) o. ktze (rubiaceae), plante à feuille antidiabetique, *Pharm Méd Trad Afr*, 14 : 73-80 p.
22. Koua K., Irié N., Effe K., Kouakou S., Ayoman T., Tetchi A. et Yapi H. (2018). Evaluation of Anti-inflammatory Activity of *Crinum scillifolium* Extracts in Wistar Rats. *International Journal of Biochemistry and Biophysics* , , 6(4): 77-82.
23. Lemonne, N., Lamarre, Y., Romana, M., Mukisi-Mukaza, M., Hardy-Dessources, M.-D., Tarer, V., et al. (2013). Does increased red blood cell deformability raise the risk for osteonecrosis in sickle cell anemia? *Blood* 121, 3054–6.
24. Leonard E. (1986). Is ethanol a neurotoxin ? The effects of ethanol on neuronal structure and function. *Alcoholism*; 21 : 325-38.
25. Létapin C. (2016). Méthodologie de quantification des tannins condensés dans les ressources tropicales. Rapport de stage, Université des Antilles (Antilles), 27 p.
26. Levy T., De la cruz gongora V. et Villalpando S. (2016). Anemia: Causes and Prevalence, *Encyclopedia of Food and Health*, 156-163 p.
27. Macheix, J.J., Fleuriet, A. & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économic. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR) : Lausanne, Suisse*.

28. Mpondo, M. E., Dibong, S.D., Ladoh, Y.C.F., Priso, R.J. & Ngoye, A. (2012). Les plantes à phénols utilisées par les populations de la ville de Douala. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 15: 2083-2098.
29. MSHP (2016), Enquête de prévalence parasitaire du paludisme et de l'anémie, (EPPD- CI) p51
30. Odoma S, Zezi AU, Danjuma NM, Ahmed A, Magaji MG. (2016). Elucidation of the possible mechanism of analgesic actions of butanol leaf fraction of *Olax subscorpioidea* Oliv. *J Ethnopharmacol*, 199:323–327. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.052>
31. Okoro OC, Alope C, Ibiam UA, Obasi NA, Orji OU, Ogonnia EC. And al., (2021) Studies on Ethanol Extracts of *Olax subscorpioidea* Against Carbon Tetrachloride-Induced Hepatotoxicity in Rats., *Pakistan Journal of Biological Sciences: Volume 24 (6): 724-732*,
32. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2013). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture en 2013 : mettre les systèmes alimentaires au service d'une meilleure nutrition. Rome (Italie) :FAO. 114 p. [Visité le 14/1/2018]. En ligne : <http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e.pdf>
33. Popoola TD, Awodele O, Omisanya A, Obi N, Umezina C, Fatokun AA. (2016). Three indigenous plants used in anticancer remedies, *Garcinia kola* Heckel (stem bark), *Uvaria chamae* P. Beauv. (root) and *Olax subscorpioidea* Oliv. (root) show analgesic and anti-inflammatory activities in animal models. *J Ethnopharmacol*, 194:440–449. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.046>
34. Righetti A., Koua A. et Adiossan L. (2012). Etiology of anemia among infants, school-aged children, and young non-pregnant women in different settings of South-Central Cote d'Ivoire, *Trop Med Hyg*, 87: 425–34
35. R-Tiendrebeogo et al., . (2019). Plantes sahéliennes adaptées dans la récupération des terres dégradées et leurs usages pour la santé : cas de la province du Soum au Nord du Burkina Faso . *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024)*, Vol.41 (1): 6767-6783. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v41-1.4>
36. Sheth A., Pawar A., Mote C. et More C. . (2021). Antianemic activity of polyherbal, *Raktavardhak kadha*, against phenylhydrazine- induced anemia in rats. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 12: 340-345 p.
37. Soro M, Akakpo-Akue J, Ackah JAAB, Sibiri JF, Yapi YG, Kple TKM. . (2021). Effect of *Rhynchospora corymbosa* and *Olax subscorpioidea* two plants used in the management of Korhogo sickle cell disease. *J Phytomedicine* 10(1):1-6

38. Stuart, M.J., and Nagel, R.L. (2004). Sickle-cell disease. *Lancet* 364: 1343–1360. Sugihara, K., Sugihara, T., Mohandas, N., and Hebbel, R.P. Thrombospondin mediates adherence of CD36+ sickle reticulocytes to endothelial cells. *Blood*, 80: 2634–42.
39. Turaskar A., More S., Sheikh R., Gadhpayle J., Bhongade S. L and Shende V. (2013). Inhibitory potential of picrorhiza kurroa royle ex. Benth extracts on phenylhydrazine induced reticulocytosis in rats., *Academic Sciences, Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2013, Vol 6, Suppl 2,
40. Vert C. (2019). prise en charge de l’anemie par carence martiale chez des patients beneficant d’une chirurgie colorectale carcinologique, De la faculté des sciences pharmaceutiques de l’université paul sabatier. Université talouse
41. Yamunadevi, M., Wesely, E.G. & Johnson, M. (2011). Phytochemical studies on the terpenoids of medicinally important plant *Aerva lanata* L. using HPTLC. *A.Pacific J. of Trop.Biomedicine*. S220-S225.
42. Yenon A., Yapi H., Gnahoue G., Yapo A., Nguessan J. et Djaman A. (2015). Anti- anaemic activity of aqueous and ethanolic extracts of *Entandrophragma angolense* bark on phenylhydrazine- induced anaemic rats. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research*, 5(3): 12-21.
43. Zangeneh, M.M., Zangeneh, A., Salmani, S. *et al.*, (2019). Protection of phenylhydrazine-induced hematotoxicity by aqueous extract of *Ocimum basilicum* in Wistar male rats. *Comp Clin Pathol* 28, 331–338 <https://doi.org/10.1007/s00580-018-2845-8>

Cartographie et Modélisation de l'Érosion Hydrique dans le Bassin-Versant de Ogo (Nord-est du Sénégal) par Approche Statistique Bivariée de la Valeur Informatrice et Ratio de Fréquence

Amadou Tidiane Dia

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement",
Université Gaston Berger (UGB), Saint-Louis, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p222](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p222)

Submitted: 15 January 2023
Accepted: 20 February 2023
Published: 28 February 2023

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

Cite As:

Dia A.T. (2023). *Cartographie et Modélisation de l'Érosion Hydrique dans le Bassin-Versant de Ogo (Nord-est du Sénégal) par Approche Statistique Bivariée de la Valeur Informatrice et Ratio de Fréquence*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 222.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p222>

Résumé

Le bassin versant de Ogo connaît des contraintes climatiques, écologiques fortes et changeantes. La dynamique de dégradation actuelle est de plus en plus marquée par une intensification de l'érosion hydrique. C'est dans cette perspective que le présent travail a été réalisé pour mesurer la vulnérabilité du bassin versant de Ogo face à cette morphodynamique. Pour ce faire nous avons adopté parmi de nombreuses méthodologies disponibles dans les revues scientifiques comme la théorie de l'évidence, la logistique régression, le processus de l'analyse hiérarchique (AHP), la méthode bivariée dont le ratio de fréquence et la valeur informative qui fait d'office de méthode de référence dans la présente étude. Dans l'application de cette méthode, nous avons procédé par le recensement des différents paramètres d'entrées dont les différents facteurs causatifs à l'érosion hydrique et la cartographie d'inventaire des différentes formes d'érosion recensé dans le bassin versant de Ogo. Ces données ont été traitées, stockées et analysées dans un logiciel du système d'information géographique afin de rendre l'application assez souple. La susceptibilité à l'érosion hydrique dans le bassin-versant de Ogo ayant été appréhendé par la méthode de la valeur informative a montré que : le bassin versant de Ogo est très vulnérable à l'érosion hydrique, ce que l'approche

descriptive des différentes formes d'érosions par la cartographie d'inventaire confirme. Les classes de susceptibilité sont réparties ainsi qu'il suit : très faible, faible, moyenne, forte et très fortes. La classe forte occupe 30,45 % de surface de susceptibilité tandis que la classe très forte occupe 20,28 % par rapport à l'ensemble de la zone étudiée et la classe moyenne occupe 27,89 %. Les résultats obtenus par la cartographie de la susceptibilité dudit bassin face à l'érosion hydrique ont été soumis à la validation par l'analyse de la courbe de ROC. Suite au croisement des données de l'inventaire sur la carte de susceptibilité, les surfaces des pixels pondérées obtenues sont déterminées par le calcul des Area under curver qui communique une information sur le taux de réussite ou d'échec de la méthode. Un taux inférieur ou égale à 60 % signifie l'échec de la méthodologie par la non précision des résultats obtenue ; par contre, un taux supérieur ou égale à 70 % signifie un niveau de précision de la méthode réussit. Le taux obtenu est de 78 %, révélant ainsi un bon résultat.

Mots-clés: Erosion hydrique, ratio de fréquence, valeur informative, bassin versant, Ogo

Mapping and Modelling of Water Erosion in the Ogo Watershed (North-East Senegal) Using a Bivariate Statistical Approach of the Information Value and Frequency Ratio

Amadou Tidiane Dia

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement",
Université Gaston Berger (UGB), Saint-Louis, Sénégal

Abstract

The Ogo watershed is subject to strong and changing climatic and ecological constraints. The current degradation dynamics are increasingly marked by an intensification of water erosion. It is in this perspective that the present work was carried out with the aim of measuring the vulnerability of the Ogo watershed to this morphodynamic. In order to do so, we adopted among many methodologies available in scientific journals such as the evidence theory, logistic regression, the hierarchical analysis process (AHP), the bivariate method whose frequency ratio and informative value act as reference method in the present study. In the application of this method, we proceeded by listing the different input parameters including the different causative factors of water erosion and the inventory mapping of the different forms of erosion identified in the Ogo catchment. These data were processed,

stored and analysed in a Geographic Information System software to make the application flexible enough. The susceptibility to water erosion in the Ogo catchment area having been apprehended by the information value method showed that : the Ogo catchment area is very vulnerable to water erosion, a fact confirmed by the descriptive approach of the different forms of erosion by inventory mapping. The susceptibility classes are divided into very low, low, medium, high and very high. The strong class occupies 30.45% of the susceptibility area, while the very strong class occupies 20.28% of the entire study area and the medium class occupies 27.89%. The results obtained by mapping the susceptibility of the said basin to water erosion were subjected to validation by ROC curve analysis. Following the cross-referencing of the inventory data with the susceptibility map, the weighted pixel areas obtained are determined by calculating the Area under curve, which provides information on the success or failure rate of the method. A rate of less than or equal to 60% means the failure of the methodology due to the non-precision of the results obtained, whereas a rate of more than or equal to 70% means a successful precision rate of the method. The rate obtained is 78%, thus revealing a good result.

Keywords: Water erosion, frequency ratio, information value, catchment area, Ogo

1. Introduction

Le monde est confronté aux défis majeurs liés à la gestion des aléas climatiques : les sécheresses, les inondations, les glissements de terrains, la dégradation mécanique des sols : érosion hydrique. L'érosion hydrique est un problème environnemental mondial, entravant gravement le développement durable (Gao et Wang, 2018). Ce phénomène résulte d'un ensemble de processus complexes et interdépendants, liés à l'intensité de la pluie, au ruissellement, à la topographie, à la texture du sol, à la couverture végétale, aux techniques culturales et aux éventuels aménagements. Tous ces facteurs réunis contribuent directement ou indirectement au détachement et au transport des particules du sol (Wischmeier et Smith, 1965) non protégées par les pratiques antiérosives contre ce phénomène de perte des sols qui entraîne en premier lieu, la dégradation de la croûte de battance et en passant par l'érosion diffuse ou en nappe, la rigole, la ravine, le ravinement, le ravin et dans certain cas les torrents.

Ce fléau d'érosion hydrique provoque non seulement la dégradation du paysage agricole, la perte des sols mais aussi l'envasement des infrastructures hydro-agricoles. La modélisation de ce phénomène peut être un outil d'aide à la décision et à la gestion efficiente et durable des ressources en eau et en sol si les modèles sont adaptés aux conditions locales (Khaoula

Khemiri et al. 2021). Les mesures faites *in situ* révèlent que le bassin-versant de Ogo enregistre des épisodes très importants d'érosion hydrique dont plusieurs séquences descriptives ayant été cartographiée se localisent en amont et aux alentours des gros villages du dit bassin.

Les scientifiques et les chercheurs du monde entier ont développé plusieurs approches d'estimation des pertes des sols et du rendement sédimentaire à l'aide des modèles bien établis USLE, RUSLE et SWAT (Cohen et al. 2005 ; Dabral et al. 2008 ; Zhu 2014...). Parallèlement à ces approches, les chercheurs ont également mis l'accent sur les différentes techniques et algorithmes de fouille de données à savoir la théorie de l'évidence (WOE), le ratio de fréquence (FR), la logistique régression (LR), la valeur informative (IV), l'analyse processus hiérarchie (AHP) pour évaluer la susceptibilité de l'érosion hydrique d'une région donnée.

Le présent travail a pour but de quantifier par la méthode statistique bivariée de la valeur informative la susceptibilité du bassin-versant de Ogo face à l'érosion hydrique. Cette méthode se base sur la comparaison entre la distribution spatiale des phénomènes ou en d'autres termes, les différents facteurs causaux l'érosion hydrique par leurs pondérations suite à l'inventaire expérimental ou descriptif des différentes formes d'érosions cartographiée sur le site.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

Le bassin versant de Ogo est localisé entre 13.29° latitude et 15.25° longitude. Il se trouve dans le grand ensemble éco-géographique (Sahel sénégalais) et particulièrement dans la Moyenne vallée du fleuve Sénégal (Nord du Sénégal). Cette région dispose de potentialités réelles de développement économique, mais qui est secoué par un problème de régression de ses ressources naturelles : sol, eau, végétation, etc. la pauvreté et l'insécurité alimentaire persistent encore, freinant ainsi son développement. Le bassin versant de Ogo se localise dans la Commune de Ogo dans la région de Matam. C'est un bassin versant qui a une superficie de 514 km² et un périmètre de 165 km. Il est limité, au nord par les Communes de Ourossogui, au nord-est par la Commune de Matam et la République Islamique de Mauritanie, au sud-est et à l'est par la Commune de Ouro Sidy, à l'ouest par la partie du Ferlo, la Commune de Ogo (Figure 1).

Le réseau hydrographique jalonne plusieurs localités, ainsi que plusieurs autres hameaux. Il constitue un laboratoire privilégié pour le suivi de la morpho-dynamique hydrique par ravinement du fait de sa forte densité de drainage des eaux de ruissellement de part et d'autre de ses versants. Son entaillement linéaire se prolonge d'amont en aval, avant de se jeter sur le fleuve Sénégal au droit des sites de Belly Thiowi et de Garly. Trois ponts sont

érigés sur cet axe hydraulique : un à hauteur de Danthiady sur la Nationale 3, un autre près de Ogo, sur la Nationale 2 et un troisième dans le Sud-est de la localité Navel, sur une bretelle conduisant au *Daande Maayo*.

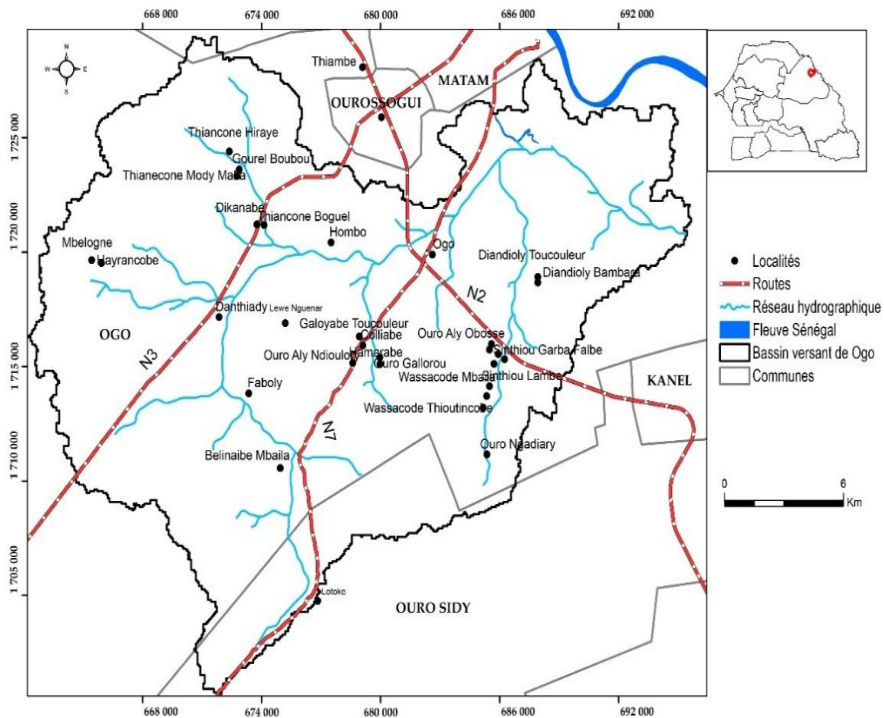


Figure 1. Localisation du bassin versant de Ogo

2.2. Données utilisées

Le SIG est outil d'aide à la décision très efficace qui permet d'étudier plusieurs thématiques et de mener plusieurs projets à bon terme. Pour étudier cette problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Ogo par l'approche statistique bivariée de la valeur informative, nous avons premièrement constitué une base de données analysable via le SIG, convoquant différentes données :

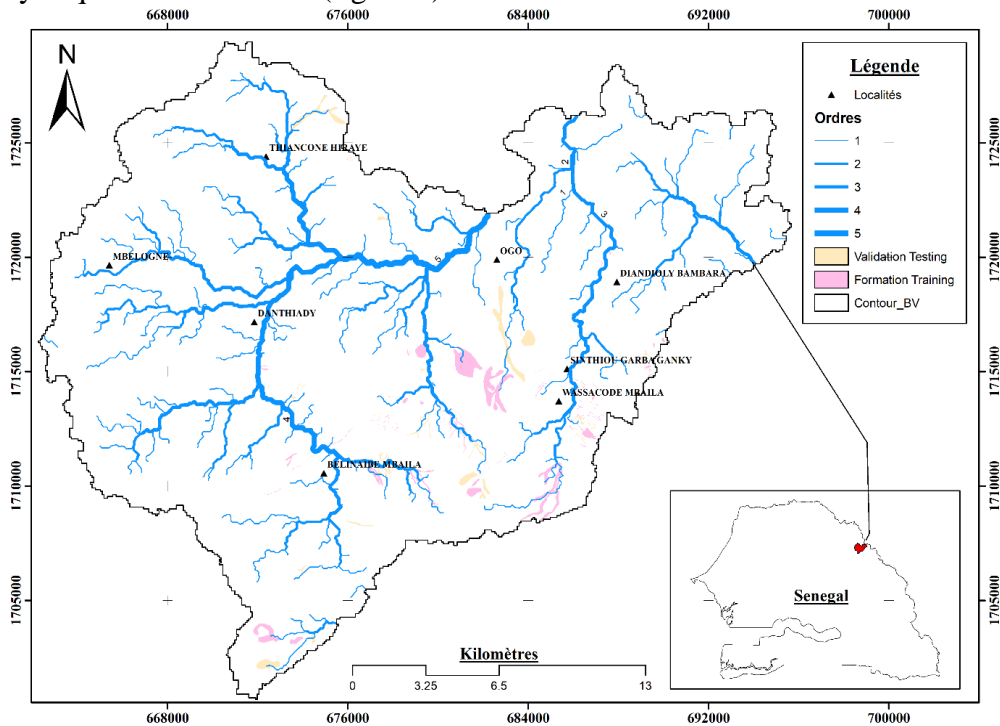
- un MNT SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la zone est téléchargée directement via le logiciel global mapper à résolution de 29 m x 29 m. Il est également possible de télécharger ce fichier via le site USGS EarthExplorer ([usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)) ;

- une scène Landsat 8 de collection 2 dont l'acquisition temporelle s'est faite en 2021-11-10. Cette donnée a été téléchargée via USGS et la date a été choisi pour éviter tout problème de perturbation atmosphérique ;

- les précipitations mesurées *in situ* à l'aide des pluviomètres installés dans les parcelles d'expérimentations sont observées pendant 6 ans, ce qui a

permis de faire ressortir les résultats spatiaux du facteur R (érosivité des pluies) ;

- une cartographie de reconnaissance des différentes formes d'érosions hydriques a été élaborée (figure 2).



Testing et Training sont les différents pourcentages d'exécutions de la méthode et sa validation.

La carte géologique du Sénégal au 1/200 000 (feuilles de Matam et Semmé édition 2009 confectionnée par le BRGM) a été exploitée. Toutes ces données ont été analysées et traitées pour éliminer certaines anomalies et ambiguïtés.

2.3. Facteurs conditionnant l'érosion des sols

Pour étudier l'érosion hydrique par la méthode bivariée de la valeur informative, un certain nombre de paramètres ou facteurs sont nécessaires dans le but d'appréhender la description des différents facteurs conditionnant le processus du déclenchement de l'érosion hydrique (figure 3). La nature du sol, la topographie et le climat constituent dans un premier temps les facteurs clé de prédisposition d'une région donnée à l'érosion hydrique. C'est dans ce cadre qu'un certain nombre de facteurs jugés pertinents, par rapport à leurs degrés de susceptibilité à l'érosion hydrique, sont convoqués pour passer à l'analyse par approche bivariée de la valeur informative ; ce qui a permis de

mieux apprécier la susceptibilité du bassin-versant de Ogo face à l'érosion hydrique.

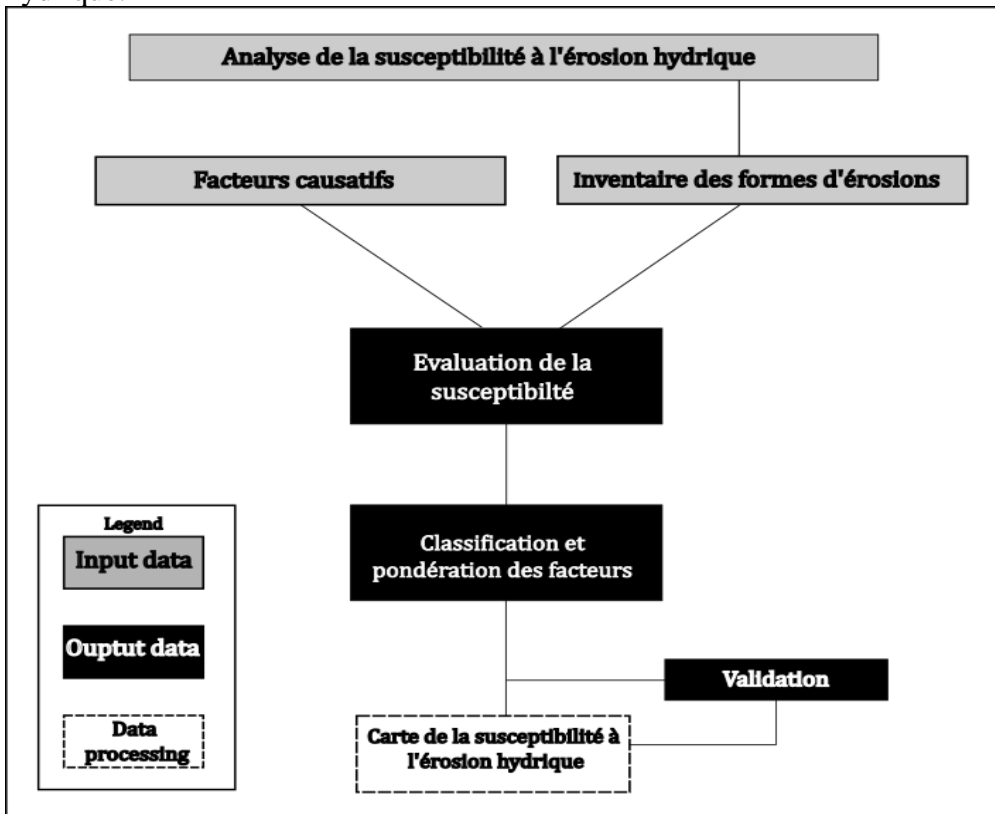


Figure 3. Organigramme de la méthodologie utilisée dans la cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique

2.3.1. Cartographie d'inventaire des différentes formes d'érosions hydriques dans le bassin versant de Ogo

L'inventaire des formes d'érosions hydriques représente une étape fondamentale dans l'étude de la susceptibilité d'une zone donnée à l'érosion hydrique. Cet inventaire consiste à collecter l'information sur le type, la dimension et la localisation de l'érosion hydrique. Pour faire cet inventaire plusieurs méthodes techniques peuvent être utilisées pour cartographier les différentes formes d'érosions et établir ainsi les cartes d'inventaires. Par ailleurs, cette étape nécessite cependant les compétences, connaissance et expériences de la géomorphologie : l'analyse des formes d'érosion et leurs modèles.

Il existe par ailleurs plusieurs méthodes d'inventaires : l'inventaire par événement, inventaire géomorphologique, inventaire multi-date. Tous ces inventaires requièrent une forte présence des données dont nous ne disposons

pas, et la plupart de ces inventaires sont utilisés dans la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrains.

Dans le cadre de cette contribution, nos connaissances en géomorphologie et notre expérience dans le cadre de telle étude sont mises en œuvre pour l'utilisation de la méthode conventionnelle dites de cartographie de susceptibilité aux aléas naturels et climatiques dont : l'interprétation de la photographie aérienne à résolution près de 1 m ainsi que l'interprétation des imageries satellitaire à résolution de 2,5 m de Spot 5 libre d'utilisation.

L'inventaire statistique des différentes formes d'érosions dans le bassin versant de Ogo a livré quelque 220 formes d'érosions repartis en érosion diffuse ou en nappe, en rigole, en ravine, en ravinement, en érosion dite latérale ou affouillement des berges et ravin. Etant donné que la méthodologie de la valeur informative nécessite cette cartographie, nous avons repartis ces 220 formes d'érosions pour l'approche bivariée en 65 % de formation dite training, ce qui équivaut à 143 formes d'érosions ayant servis à la construction des modèles statistiques et les 77 formes restantes dite testing ont servi pour la validation de la courbe AUC. La carte de susceptibilité finale (figure 4) a été obtenue par pondération des modèles statistique bivariée et croisement des facteurs.

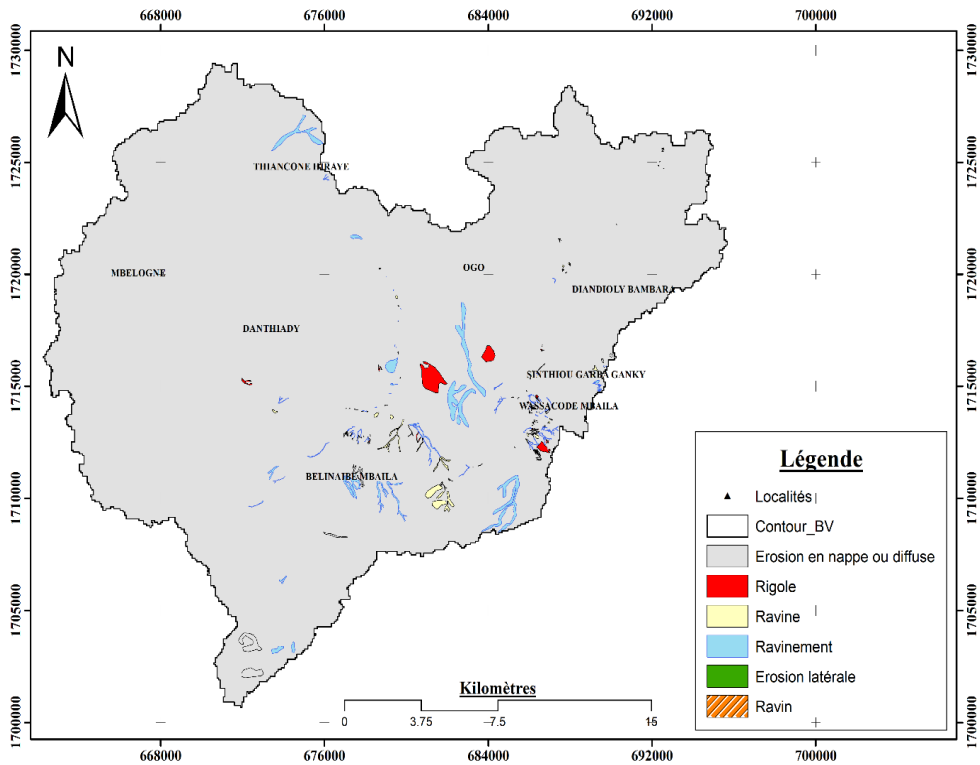


Figure 4. Inventaire de la cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Ogo

2.3.2. Facteurs causatifs : description de l'approche bivariée

Les méthodes bivariées sont : le ratio de fréquence, la valeur informative.

Le Ratio de fréquence. La méthode statistique connue par ratio de fréquence est une méthode simple et facile à appliquer. Cette méthode statistique repose sur le calcul du ratio entre le pourcentage du phénomène dans une classe donnée et le pourcentage de la même classe dans la zone d'étude (Lee and Min 2001). La valeur moyenne du RF est égale à 1, dans le cas où la valeur est supérieure à 1, indique que la corrélation entre le phénomène et le facteur de prédisposition est forte, dans le cas contraire, cette corrélation est faible. Cette méthode est également appliquée dans l'étude de l'analyse de la susceptibilité d'une zone donnée face aux glissements de terrains. Elle peut être également être appliquée à l'étude de l'érosion hydrique et la cartographie des inondations. Elle est obtenue par l'équation (1) donnée par la formule :

$$ISG \text{ ou } ISEH = RF1 + RF2 + RF3 + \dots + RFn$$

Avec ISG = Indice de susceptibilité au glissement de terrain et ISEH = Indice de susceptibilité à l'érosion hydrique et RF = Ratio de fréquence pour chaque classe causative.

Valeur informative. La valeur informative est une approche introduite à l'origine par (Yin 1988), modifiée par Van Westen (1993), cette méthode se base sur la comparaison entre la distribution spatiale des phénomènes à la faveur des différents facteurs. Elle s'appuie sur l'analyse statistique basée en premier lieu sur l'évaluation du ratio donné par la méthode de ratio de fréquence. L'équation (2) de cette méthode est la suivante :

$$W(i) = \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)}$$

Où W(i) est le poids de chaque classe (par exemple le poids de la classe 10° de la pente), N_{pix} (S_i) est le nombre de pixels de glissement/érosion/inondation dans la classe i, N_{pix}(N_i) est le nombre de pixels de la classe i. Dans une seconde étape la probabilité d'occurrence des glissements des terrains/érosions hydrique/inondations dans chaque classe qui est déterminée par l'algorithme du ratio donné par l'équation (3)

$$Pr(i) = \ln \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)}$$

Enfin l'indice de susceptibilité aux glissements de terrains (ISG)/érosion hydrique (ISEH) déterminé par la synthèse additive de l'ensemble des facteurs (équation 4) après l'intégration de la probabilité d'occurrence des glissements ou érosion pour chaque classe envisagée.

$$ISG \text{ ou } ISEH = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_{pix}(S_i)/N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(s_i)/\sum N_{pix}(N_i)}$$

Nota bene : Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de la valeur informative par son efficacité et sa fluidité dans l'application, car cette méthode donne les résultats bien affinés et fiables.

Les facteurs causatifs à l'érosion hydrique sont respectivement : la topographie, la pente, l'exposition des versants, l'indice de courbure plan et profil, les précipitations mensuelles, la densité de drainage, le facteurs LS, l'indice de puissance des sédiments aux transports, l'indice d'humidité topographique, le couvert végétal, les faciès géologiques et l'occupation du sol (figure 5 et 6). Le choix de chaque facteur fait référence à l'étude géomorphologique et les processus de modelés d'érosions ainsi qu'à la bibliographie.

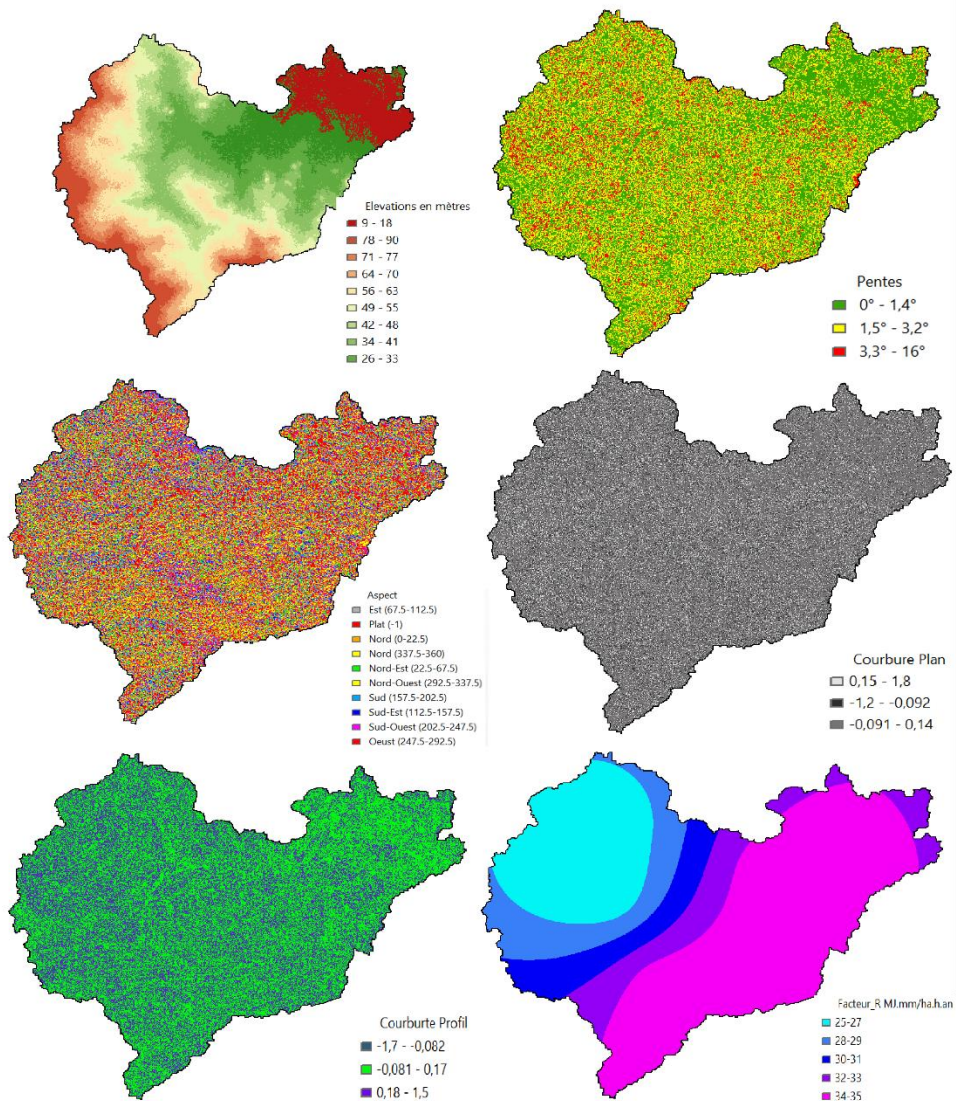
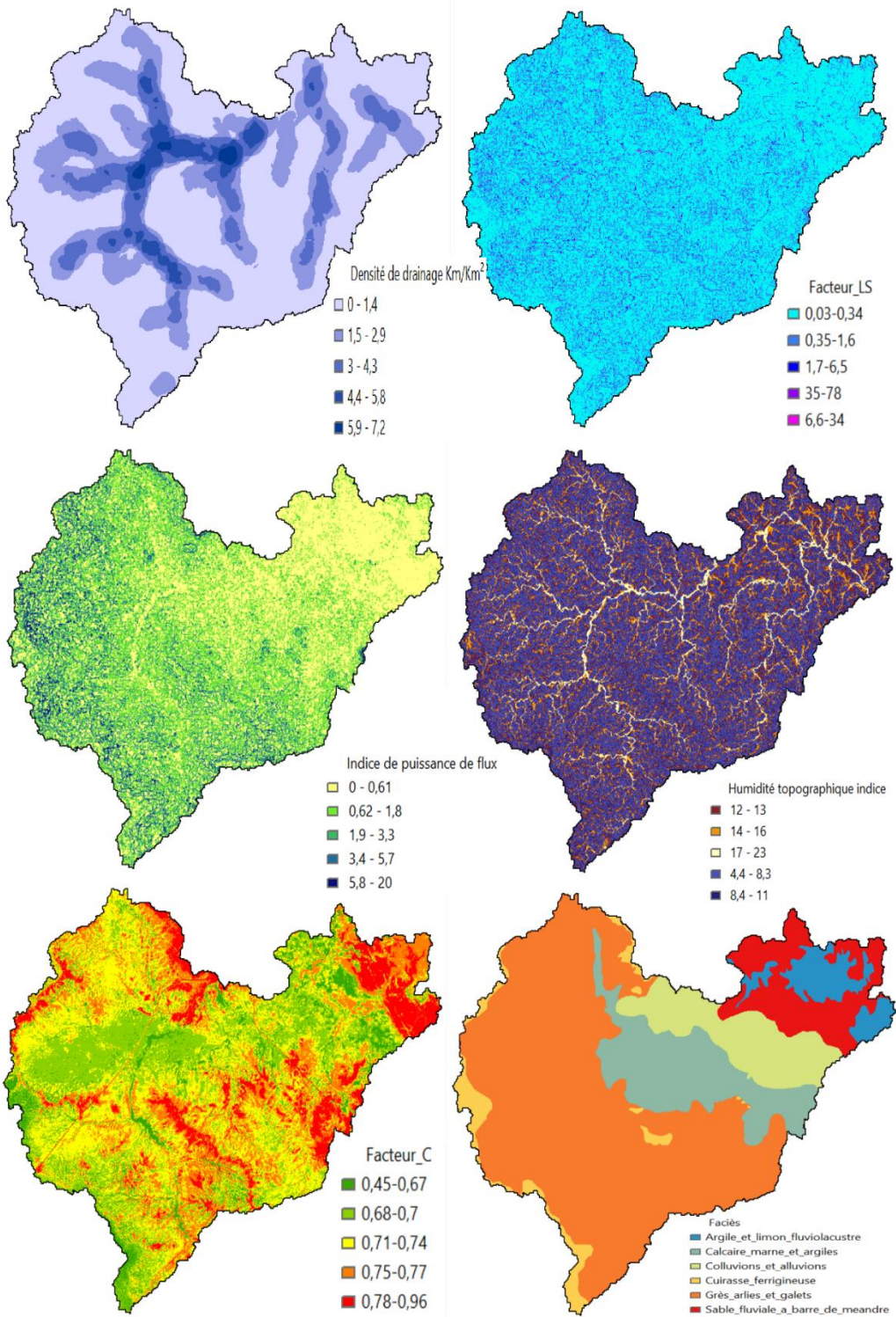


Figure 5. Différents facteurs causatifs à l'érosion hydrique



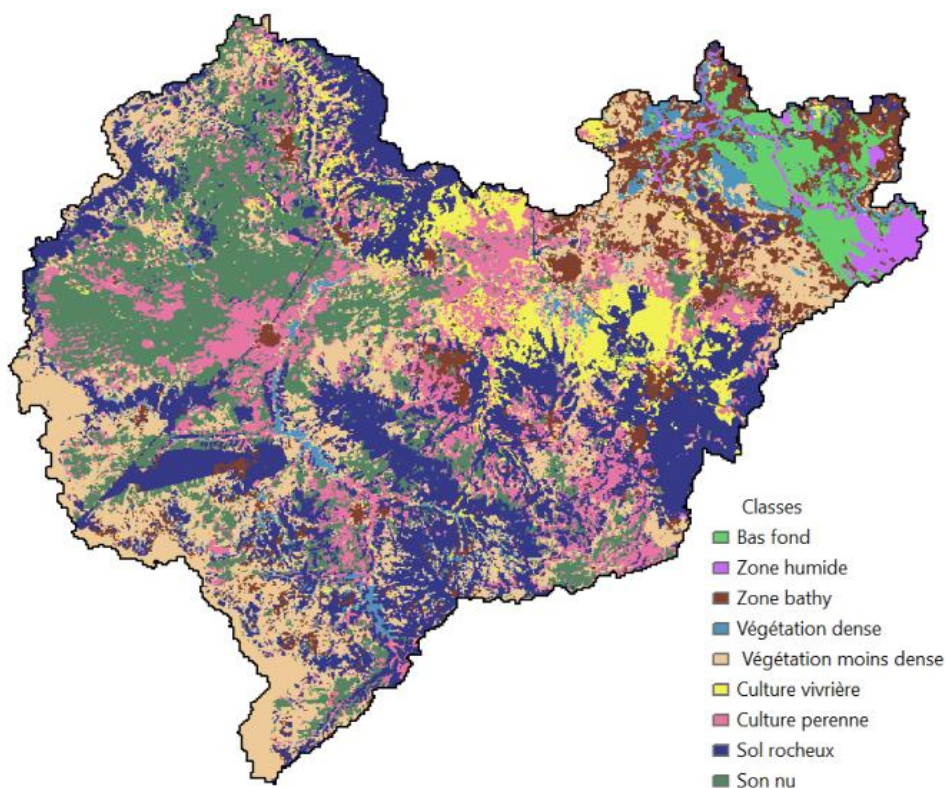


Figure 6. Facteurs causatifs de l'érosion hydrique suite

3. Résultat et discussion

La modélisation des différents paramètres de l'étude a été prise en compte par le logiciel ArcGis et ces différents paramètres ont été croisés avec la carte d'inventaire. Par cette démarche, les valeurs informatives ont été calculées par l'équation 4 qui a permis de calculer la probabilité d'occurrence de chaque facteur à l'érosion hydrique dont les résultats sont représentés dans le tableau 1. Dans la ligne intitulée IV (valeur informative), il apparaît que les résultats négatifs et positifs signifient que les plus fortes valeurs indiquent un grand potentiel de susceptibilité à l'érosion hydrique.

De ce fait, l'application de ladite équation a permis de cartographier dans le bassin versant de Ogo les indices de susceptibilité à l'érosion hydrique pour chaque classe. La valeur minimale obtenue par rapport à l'ensemble des classes est de $-0,03$ et la valeur maximale de $2,43$.

La carte finale de la susceptibilité à l'érosion hydrique a été recalculée en 5 classes selon l'algorithme des plus proche voisin (figure 7), et la susceptibilité varie de très faible à très forte réparties de la façon suivante: la classe une (1) a montré une susceptibilité très faible par rapport à l'ensemble du bassin versant d'Ogo, elle occupe $6,11\%$, la classe deux (2) révèle une

susceptibilité faible et occupe 15,28 % par rapport à l'ensemble du bassin versant, la classe trois (3) souligne une susceptibilité moyenne par rapport à l'ensemble du bassin versant et occupe 27,86 %, la classe 4 fait apparaître une susceptibilité forte et occupe 30,45 % par rapport à l'ensemble du bassin versant et la classe cinq (5) montre une susceptibilité très forte par rapport à l'ensemble du bassin versant et occupe 20,28 %.

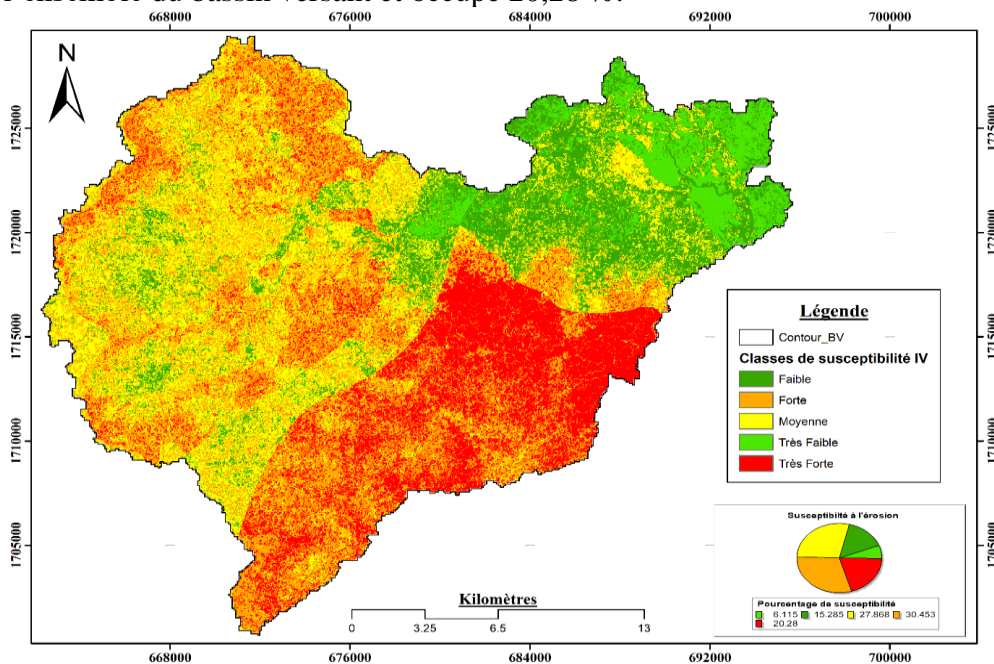


Figure 7. Carte de la susceptibilité à l'érosion hydrique

La carte 7 de la susceptibilité à l'érosion hydrique du bassin versant de Ogo obtenue par la méthode de la valeur informative.

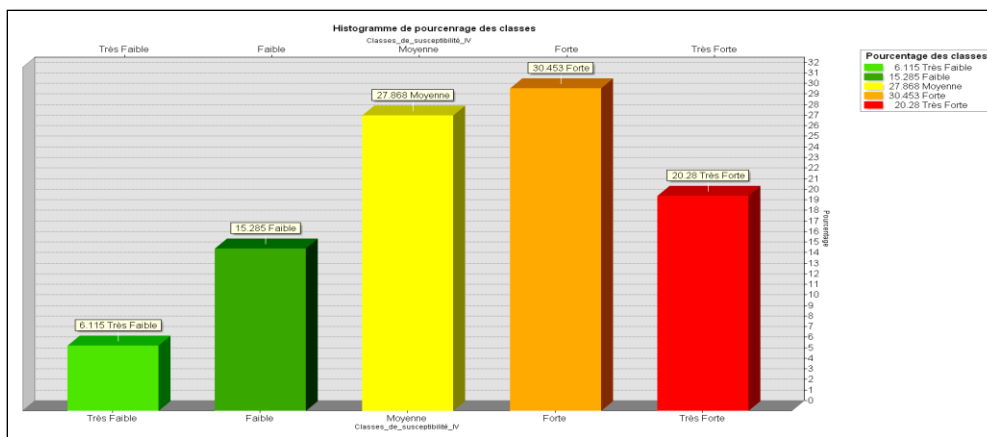


Figure 8. Répartition des différentes classes de susceptibilité à l'érosion hydrique pour l'approche IV

Facteurs causaux	Classes	Pixels dans la classe	Percentage de la classe	Forme d'érosion dans la classe	Percentage de forme d'érosion dans la classe	FR	RF	IV
ELEVATION	09_18	68839	11.718	8.000	0.213	0.018	0.002	-4.007
Mètres	19 – 25	59818	10.183	189.000	5.033	0.494	0.049	-0.705
	26 – 33	70227	11.955	799.000	21.278	1.780	0.177	0.577
	34 – 41	70176	11.946	738.000	19.654	1.645	0.163	0.498
	42 – 48	64828	11.035	409.000	10.892	0.987	0.098	-0.013
	49 – 55	65240	11.106	608.000	16.192	1.458	0.145	0.377
	56 - 63	70972	12.081	298.000	7.936	0.657	0.065	-0.420
	64 - 70	43095	7.336	306.000	8.149	1.111	0.110	0.105
	71 - 77	31542	5.369	353.000	9.401	1.751	0.174	0.560
	78 - 90	42715	7.271	47.000	1.252	0.172	0.017	-1.759
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	10.073	1.000	0.000
Pentes	0 - 1,4	290743	49.946	1939.000	51.652	1.034	0.363	-1.355
Pentes	1,5 - 3,2	223080	38.322	1462.000	38.945	1.016	0.356	0.107
	3,3 - 16	68290	11.731	353.000	9.403	0.802	0.281	-0.221
Somme		582113	100.000	3754.000	100.000	2.852	1.000	0.000
ASPECT	Flat (-1)	101773	17.483	596.000	15.876	0.908	0.090	-0.096
Aspect	North (0-22.5)	64144	11.019	422.000	11.241	1.020	0.101	0.020
	Northeast (22.5-67.5)	64265	11.040	378.000	10.069	0.912	0.091	-0.092
	East (67.5-112.5)	60614	10.413	351.000	9.350	0.898	0.089	-0.108
	Southeast (112.5-157.5)	38584	6.628	233.000	6.207	0.936	0.093	-0.066
	South (157.5-202.5)	49059	8.428	252.000	6.713	0.797	0.079	-0.228
	Southwest (202.5-247.5)	45847	7.876	261.000	6.953	0.883	0.088	-0.125
	West (247.5-292.5)	56226	9.659	414.000	11.028	1.142	0.113	0.133
	Northwest (292.5-337.5)	57548	9.886	488.000	12.999	1.315	0.131	0.274
	North (337.5-360)	44053	7.568	359.000	9.563	1.264	0.125	0.234
Somme		582113	100.000	3754.000	100.000	10.074	1.000	0.000
COURBURE PLAN	-1,2 - -0,092	93327	15.887	603.000	16.059	1.011	0.341	0.011
	-0,091 - 0,14	383476	65.278	2491.000	66.338	1.016	0.343	0.016
	0,15 - 1,8	110649	18.835	661.000	17.603	0.935	0.316	-0.068

Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	2.962	1.000	0.000
COURBURE PROFIL	-1,7 - -0,082	156708	26.676	973.000	25.912	0.971	0.332	-0.029
	-0,081 - 0,17	321768	54.773	2146.000	57.150	1.043	0.356	0.042
	0,18 - 1,5	108976	18.551	636.000	16.937	0.913	0.312	-0.091
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	2.928	1.000	0.000
FACTEUR R	320 - 350	124470	21.779	156.000	4.154	0.191	0.057	-1.657
	360 - 370	65701	11.496	432.000	11.505	1.001	0.301	0.001
	380 - 390	50114	8.769	109.000	2.903	0.331	0.100	-1.106
	400 - 410	67824	11.868	21.000	0.559	0.047	0.014	-3.055
	420 - 440	263399	46.088	3037.000	80.879	1.755	0.528	0.562
Somme		571508	100.000	3755.000	100.000	3.325	1.000	0.000
DENSITE DE DRAINAGE	0 - 1,4	358082	60.955	2770.000	73.768	1.210	0.368	0.191
	1,5 - 2,9	137225	23.359	706.000	18.802	0.805	0.245	-0.217
	3 - 4,3	67629	11.512	266.000	7.084	0.615	0.187	-0.486
	4,4 - 5,8	21432	3.648	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5,9 - 7,2	3084	0.525	13.000	0.346	0.659	0.200	-0.416
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	3.290	1.000	0.000
FACTEUR LS	0,03-0,34	166530	28.348	2692.000	71.691	2.529	0.484	0.928
	0,35-1,6	379550	64.610	1016.000	27.057	0.419	0.080	-0.870
	1,7-6,5	40998	6.979	42.000	1.119	0.160	0.031	-1.831
	6,6-34	370	0.063	5.000	0.133	2.114	0.405	0.749
	35-78	4	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	5.222	1.000	0.000
INDICE DE PUISSANCE DE FLUX	0 - 0,61	258829	44.060	1570.000	41.811	0.949	0.206	-0.052
	0,62 - 1,8	177622	30.236	1280.000	34.088	1.127	0.245	0.120
	1,9 - 3,3	100562	17.118	634.000	16.884	0.986	0.214	-0.014
	3,4 - 5,7	41659	7.091	234.000	6.232	0.879	0.191	-0.129
	5,8 - 20	8780	1.495	37.000	0.985	0.659	0.143	-0.417
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	4.601	1.000	0.000
INDICE D'HUMIDITÉ TOPOGRAPHIQUE	4,4 - 8,3	257712	43.869	1516.000	40.373	0.920	0.169	-0.083

	8,4 - 11	130124	22.151	843.000	22.450	1.014	0.186	0.013
	12_13	108731	18.509	641.000	17.071	0.922	0.170	-0.081
	14 - 16	68202	11.610	571.000	15.206	1.310	0.241	0.270
	17 - 23	22683	3.861	184.000	4.900	1.269	0.233	0.238
Somme		587452	100.000	3755.000	100.000	5.435	1.000	0.000
FACTEUR C	0,45-0,67	38047	6.657	481.108	12.804	1.923	0.321	0.654
	0,68-0,7	148826	26.041	928.291	24.706	0.949	0.158	-0.053
	0,71-0,74	195983	34.292	1050.624	27.962	0.815	0.136	-0.204
	0,75-0,77	129085	22.587	737.082	19.617	0.869	0.145	-0.141
	0,78-0,96	59567	10.423	560.264	14.911	1.431	0.239	0.358
Somme		571508	100.000	3757.368	100.000	5.987	1.000	0.000
LITHOLOGIE	Argile_et_limon_fluviolacustre	28594	4.867	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sable_fluviale_a_barre_de_meandre	56197	9.565	11.000	0.293	0.031	0.008	-3.486
	Cuirasse_ferrigineuse	24209	4.120	39.000	1.039	0.252	0.065	-1.378
	Colluvions_et_alluvions	58348	9.931	72.000	1.917	0.193	0.050	-1.645
	Calcaire_marne_et_argiles	80427	13.689	1146.000	30.519	2.230	0.579	0.802
	Grès_arlies_et_galets	339770	57.829	2487.000	66.232	1.145	0.297	0.136
Somme		587545	100.000	3755.000	100.000	3.851	1.000	0.000
OCCUPATION DU SOL	Bas fond	17596	2.997	1.000	0.027	0.009	0.001	-4.723
	Zone humide	8276.000	1.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Zone bathy	49116.000	8.367	39.000	1.039	0.124	0.013	-2.086
	Végétation dense	17322.000	2.951	185.000	4.927	1.670	0.180	0.513
	Végétation moins den	127073.000	21.646	752.000	20.027	0.925	0.100	-0.078
	Culture vivrière	37603.000	6.405	1024.000	27.270	4.257	0.459	1.449
	Culture perenne	78640.000	13.396	367.000	9.774	0.730	0.079	-0.315
	Sol rocheux	146707.000	24.991	1203.000	32.037	1.282	0.138	0.248
	Son nu	104717.000	17.838	184.000	4.900	0.275	0.030	-1.292
Somme		587050	100.000	3755.000	100.000	9.272	1.000	0.000

Tableau 1. Tableau récapitulatif des résultats de l'étude de l'érosion hydrique du bassin versant de Ogo

Le tableau 1 montre les différents facteurs et fait l'inventaire pour la cartographie de la susceptibilité à l'érosion hydrique par la méthode bivariée de la valeur informative et ratio de fréquence.

L'utilisation des méthodes statistiques nécessite une validation des résultats obtenu dans le but de vérifier si la méthodologie effectuée à réussit ou non. Cette validation passe par l'analyse de la courbe de ROC (dite la courbe de réussite). La méthode de validation est basée sur la comparaison entre la carte d'inventaire et la carte de susceptible obtenue. La validation repose alors sur le croisement des pixels des inventaires et celle de la carte de susceptibilité a l'érosion hydrique recalculer en 100 classes. Pour les pixels d'inventaire des formes, la validation sera répartie en 65% des training (formations des formes d'érosions) et 35% des testing pour la courbe AUC. Les résultats de croisement effectué seront alors exportés vers la feuille Excel pour compléter de calcul et générer ainsi les courbes de AUC ou courbe de ROC.

La courbe suivante montre les performances de l'étude ayant été réalisée dans le bassin versant de Ogo par la méthode bivariée de la valeur informative avec une précision présumant un taux de 79% pour l'approche de validation par training et 78.02 par testing (Figure 9).

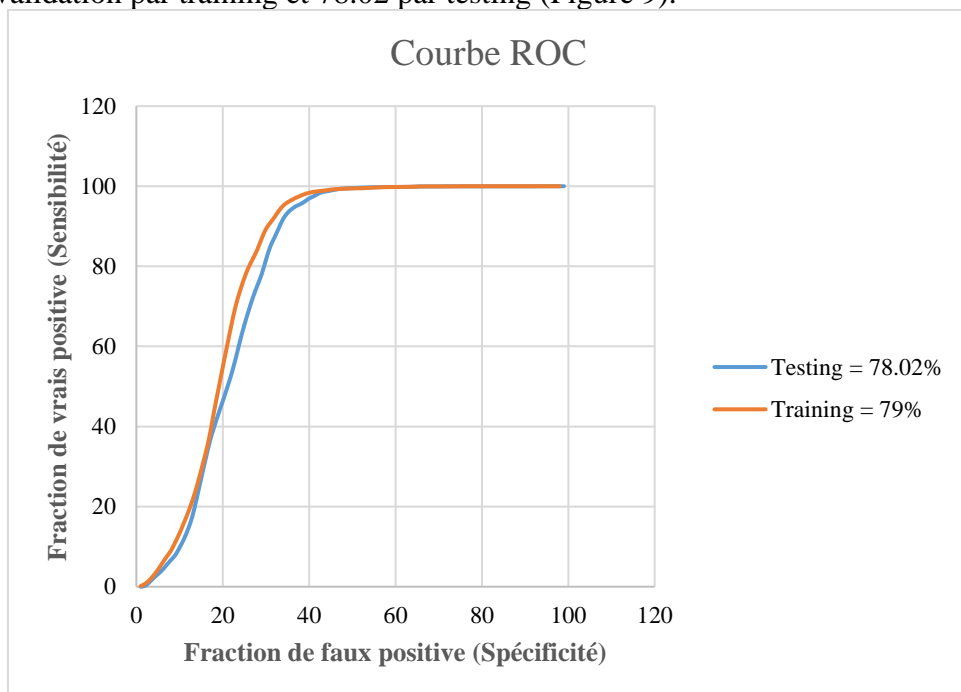


Figure 9. Taux de réussite du modèle construit par IV

Dans la courbe ROC, la sensibilité et la spécificité de toutes les valeurs de coupure possibles sont tracées (Akgün et Türk 2011) ; Roy et Saha 2021 ; Gayen et al. 2019). La sensibilité était constituée de toutes les cellules détectées et formes d'érosions dans tout le bassin versant. L'ensemble des données de validation a été comparée avec la carte de susceptibilité à l'érosion

et analysé à l'aide de plusieurs mesures, notamment l'aire sous la courbe ROC (AUCRO, Lee et Park 2013; Pradhan et al. 2014 ; Bui et al. 2018 ; Akgün et Türk 2011 ; Roy et Saha 2021 ; Gayen et al. 2019). Même s'il n'existe pas de critère cohérent pour choisir une valeur de coupure pour l'estimation des catastrophes naturelles, les chercheurs ont suggéré la probabilité (P) si l'approche est supérieure à 50; par ailleurs, si la valeur de l'AUC est inférieure à 50 %, le modèle n'est pas adapté et représente une prédiction aléatoire et faible. Par contre, si la valeur est proche de 100 %, le modèle est très approprié (Walter, 2002).

Tableau 2. Statistique du résultat de la méthode IV

MAP TESTING 65 %					
OBJECTID	VALUE	AREA CROISSEMENT	PERCENTAGE	CUMULATIVE AREA	AUC
				0	
1	1	900	0	0	0
2	2	8100	0	0	0.1338091
3	3	13500	0.2676182	0.267618198	0.72256913
4	4	45900	0.90990187	1.177520071	1.61462979
5	5	44100	0.87421945	2.051739518	2.82783229
6	6	78300	1.55218555	3.603925067	4.24620874
7	7	64800	1.28456735	4.888492417	5.87867975
8	8	99900	1.98037467	6.868867083	7.46654773
9	9	60300	1.19536128	8.064228368	8.98305085
10	10	92700	1.83764496	9.901873327	11.0972346
11	11	120600	2.39072257	12.2925959	13.3363069
12	12	105300	2.08742194	14.38001784	15.9322034
13	13	156600	3.1043711	17.48438894	18.5727029
14	14	109800	2.17662801	19.66101695	21.5967886
15	15	195300	3.87154326	23.53256021	25.0490633
16	16	153000	3.03300624	26.56556646	29.0900981
17	17	254700	5.04906334	31.61462979	33.2024978
18	18	160200	3.17573595	34.79036574	37.9214987
19	19	315900	6.26226583	41.05263158	43.8358608
20	20	280800	5.56645852	46.6190901	49.3131133
21	21	271800	5.38804639	52.00713649	54.7992864
22	22	281700	5.58429973	57.59143622	60.0981267
23	23	252900	5.01338091	62.60481713	65.3345227
24	24	275400	5.45941124	68.06422837	70.1338091
25	25	208800	4.13916146	72.20338983	73.8447814
26	26	165600	3.28278323	75.48617306	77.074041
27	27	160200	3.17573595	78.66190901	79.8037467
28	28	115200	2.28367529	80.9455843	81.9357716
29	29	99900	1.98037467	82.92595897	84.1748439
30	30	126000	2.49776985	85.42372881	86.9134701
31	31	150300	2.9794826	88.40321142	89.3131133
32	32	91800	1.81980375	90.22301517	90.8563782

33	33	63900	1.26672614	91.4897413	92.3104371
34	34	82800	1.64139161	93.13113292	93.8626227
35	35	73800	1.46297948	94.5941124	95.14719
36	36	55800	1.10615522	95.70026762	95.9768064
37	37	27900	0.55307761	96.25334523	96.5834077
38	38	33300	0.66012489	96.91347012	97.1364853
39	39	22500	0.44603033	97.35950045	97.6092774
40	40	25200	0.49955397	97.85905442	98.0463872
41	41	18900	0.37466548	98.23371989	98.3586084
42	42	12600	0.24977698	98.48349688	98.5816236
43	43	9900	0.19625335	98.67975022	98.7332739
44	44	5400	0.10704728	98.7867975	98.8492417
45	45	6300	0.12488849	98.91168599	99.0008921
46	46	9000	0.17841213	99.09009813	99.1525424
47	47	6300	0.12488849	99.21498662	99.2595897
48	48	4500	0.08920607	99.30419269	99.3309545
49	49	2700	0.05352364	99.35771632	99.3755575
50	50	1800	0.03568243	99.39339875	99.41124
51	51	1800	0.03568243	99.42908118	99.455843
52	52	2700	0.05352364	99.48260482	99.4826048
53	53	0	0	99.48260482	99.4915254
54	54	900	0.01784121	99.50044603	99.5361285
55	55	3600	0.07136485	99.57181088	99.6074933
56	56	3600	0.07136485	99.64317574	99.6699376
57	57	2700	0.05352364	99.69669938	99.7145406
58	58	1800	0.03568243	99.7323818	99.750223
59	59	1800	0.03568243	99.76806423	99.7769848
60	60	900	0.01784121	99.78590544	99.794826
61	61	900	0.01784121	99.80374665	99.8126673
62	62	900	0.01784121	99.82158787	99.8215879
63	63	0	0	99.82158787	99.8305085
64	64	900	0.01784121	99.83942908	99.8394291
65	65	0	0	99.83942908	99.8661909
66	66	2700	0.05352364	99.89295272	99.9107939
67	67	1800	0.03568243	99.92863515	99.9375558
68	68	900	0.01784121	99.94647636	99.9464764
69	69	0	0	99.94647636	99.955397
70	70	900	0.01784121	99.96431757	99.9643176
71	71	0	0	99.96431757	99.9643176
72	72	0	0	99.96431757	99.9643176
73	73	0	0	99.96431757	99.9643176
74	74	0	0	99.96431757	99.9643176
75	75	0	0	99.96431757	99.9732382
76	76	900	0.01784121	99.98215879	99.9910794
77	77	900	0.01784121	100	100
78	78	0	0	100	100
79	79	0	0	100	100
80	80	0	0	100	100

81	81	0	0	100	100
82	82	0	0	100	100
83	83	0	0	100	100
84	84	0	0	100	100
85	85	0	0	100	100
86	86	0	0	100	100
87	87	0	0	100	100
88	88	0	0	100	100
89	89	0	0	100	100
90	90	0	0	100	100
91	91	0	0	100	100
92	92	0	0	100	100
93	93	0	0	100	100
94	94	0	0	100	100
95	95	0	0	100	100
96	96	0	0	100	100
97	97	0	0	100	100
98	98	0	0	100	100
99	99	0	0	100	100
100	100	0	0	100	
Somme		5044500		Area under cover =	7896.81534
					78.9681534

Tableau 3. MAP TESTING 35 % VALIDATION

MAP TESTING 35 % VALIDATION					
OBJECTID	VALUE	AREA CROISSEMENT	PERCENTAGE	CUMULATIVE AREA	AUC
				0	
1	1	3600	0	0	0
2	2	9000	0	0	0.21978022
3	3	14400	0.43956044	0.43956044	1.08516484
4	4	42300	1.29120879	1.730769231	2.15659341
5	5	27900	0.85164835	2.582417582	3.13186813
6	6	36000	1.0989011	3.681318681	4.14835165
7	7	30600	0.93406593	4.615384615	5.41208791
8	8	52200	1.59340659	6.208791209	6.66208791
9	9	29700	0.90659341	7.115384615	7.87087912
10	10	49500	1.51098901	8.626373626	9.75274725
11	11	73800	2.25274725	10.87912088	11.8543956
12	12	63900	1.95054945	12.82967033	14.4505495
13	13	106200	3.24175824	16.07142857	17.6923077
14	14	106200	3.24175824	19.31318681	22.1840659
15	15	188100	5.74175824	25.05494505	26.978022

16	16	126000	3.84615385	28.9010989	31.6895604
17	17	182700	5.57692308	34.47802198	36.2362637
18	18	115200	3.51648352	37.99450549	39.8214286
19	19	119700	3.65384615	41.64835165	43.1730769
20	20	99900	3.04945055	44.6978022	46.3186813
21	21	106200	3.24175824	47.93956044	49.6016484
22	22	108900	3.32417582	51.26373626	53.0494505
23	23	117000	3.57142857	54.83516484	57.0054945
24	24	142200	4.34065934	59.17582418	61.3598901
25	25	143100	4.36813187	63.54395604	65.3571429
26	26	118800	3.62637363	67.17032967	68.9285714
27	27	115200	3.51648352	70.68681319	72.2802198
28	28	104400	3.18681319	73.87362637	75.1648352
29	29	84600	2.58241758	76.45604396	77.9945055
30	30	100800	3.07692308	79.53296703	81.5934066
31	31	135000	4.12087912	83.65384615	84.9175824
32	32	82800	2.52747253	86.18131868	87.2252747
33	33	68400	2.08791209	88.26923077	89.5879121
34	34	86400	2.63736264	90.90659341	91.8543956
35	35	62100	1.8956044	92.8021978	93.3379121
36	36	35100	1.07142857	93.87362637	94.2994505
37	37	27900	0.85164835	94.72527473	95.0412088
38	38	20700	0.63186813	95.35714286	95.5357143
39	39	11700	0.35714286	95.71428571	96.1950549
40	40	31500	0.96153846	96.67582418	96.9505495
41	41	18000	0.54945055	97.22527473	97.4587912
42	42	15300	0.46703297	97.69230769	98.0631868
43	43	24300	0.74175824	98.43406593	98.5164835
44	44	5400	0.16483516	98.5989011	98.7087912
45	45	7200	0.21978022	98.81868132	98.9148352
46	46	6300	0.19230769	99.01098901	99.1208791
47	47	7200	0.21978022	99.23076923	99.3131868
48	48	5400	0.16483516	99.3956044	99.4230769
49	49	1800	0.05494505	99.45054945	99.478022
50	50	1800	0.05494505	99.50549451	99.5192308
51	51	900	0.02747253	99.53296703	99.5741758
52	52	2700	0.08241758	99.61538462	99.6291209

53	53	900	0.02747253	99.64285714	99.6703297
54	54	1800	0.05494505	99.6978022	99.7115385
55	55	900	0.02747253	99.72527473	99.739011
56	56	900	0.02747253	99.75274725	99.7664835
57	57	900	0.02747253	99.78021978	99.793956
58	58	900	0.02747253	99.80769231	99.8076923
59	59	0	0	99.80769231	99.8076923
60	60	0	0	99.80769231	99.8076923
61	61	0	0	99.80769231	99.8214286
62	62	900	0.02747253	99.83516484	99.8351648
63	63	0	0	99.83516484	99.8489011
64	64	900	0.02747253	99.86263736	99.8763736
65	65	900	0.02747253	99.89010989	99.9175824
66	66	1800	0.05494505	99.94505495	99.9450549
67	67	0	0	99.94505495	99.9450549
68	68	0	0	99.94505495	99.9450549
69	69	0	0	99.94505495	99.9450549
70	70	0	0	99.94505495	99.9450549
71	71	0	0	99.94505495	99.9587912
72	72	900	0.02747253	99.97252747	99.9725275
73	73	0	0	99.97252747	99.9725275
74	74	0	0	99.97252747	99.9725275
75	75	0	0	99.97252747	99.9725275
76	76	0	0	99.97252747	99.9725275
77	77	0	0	99.97252747	99.9725275
78	78	0	0	99.97252747	99.9725275
79	79	0	0	99.97252747	99.9725275
80	80	0	0	99.97252747	99.9725275
81	81	0	0	99.97252747	99.9725275
82	82	0	0	99.97252747	99.9725275
83	83	0	0	99.97252747	99.9725275
84	84	0	0	99.97252747	99.9725275
85	85	0	0	99.97252747	99.9725275
86	86	0	0	99.97252747	99.9725275
87	87	0	0	99.97252747	99.9725275
88	88	0	0	99.97252747	99.9725275
89	89	0	0	99.97252747	99.9725275

90	90	0	0	99.97252747	99.9725275
91	91	0	0	99.97252747	99.9725275
92	92	0	0	99.97252747	99.9725275
93	93	0	0	99.97252747	99.9862637
94	94	900	0.02747253	100	100
95	95	0	0	100	100
96	96	0	0	100	100
97	97	0	0	100	100
98	98	0	0	100	100
99	99	0	0	100	100
100	100	0	0	100	
Somme		3276000			7802.33516
				Area under cover =	78.0233516

Les tableaux 2 et 3 résultent du croisement de la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique obtenue par l'étude thématique des différents facteurs causaux et celle des pourcentages de training et testing issus des données d'inventaires de formes. Le tableau intitulé map training 65 % résume les objectifs de la méthode de valeur informative. Dans ce tableau, les areas croisements représentent les pixels de surface de chaque forme d'érosion croisée avec la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique. La somme des surfaces de ces areas croisements a permis de calculer la surface totale, dont cette dernière a permis de déterminer les pourcentages de chaque pixel de valeurs croisé. Cela a permis d'obtenir ainsi le pourcentage cumulatif du degré de sensibilité à l'érosion hydrique par l'approche bivariée de la valeur informative tout en déterminant la courbe de ROC par le calcul des Area under cover. Si la valeur obtenue est comprise en 30 et 60 % comme pourcentage de validation de la courbe de ROC, l'approche est dite non convaincante et non réussit ; cependant, si cette valeur est supérieure ou égale à 70 %, l'approche est dite convaincante et réussit et la sensibilité à l'érosion hydrique est omniprésente.

La méthode bivariée de la valeur informative a montré de meilleurs résultats avec un taux de précision de l'application à 79 % pour les training ou formation des formes d'érosion et 78 % pour la validation des testing. Ces résultats, enseignent que le bassin versant de Ogo est vulnérable face à la morphodynamique hydrique du fait de l'absence des pratiques antiérosifs, du taux de couvert végétal faible (forces de frottement) et d'un faciès à 25 % friable.

Conclusion

Le présent travail avait pour but d'étudier l'érosion hydrique dans le bassin versant de Ogo par le biais des méthodes statistiques bivariées dont la valeur informative. L'application de cette méthode pour la cartographie du risque des pertes de sol dans le bassin versant de Ogo a montré une forte susceptibilité de l'érosion hydrique dans ce dernier, ce qui se confirme avec les enquêtes effectuées *in situ* qui ont montré que le bassin versant de Ogo est très vulnérable du point de vue perte des sols. La validation de la méthode bivariée de la valeur informative tout en passant par la vérification de la courbe de ROC a confirmé par un pourcentage de près de 79% comme pourcentage de vulnérabilité dudit bassin face à l'érosion hydrique. Nous avons aussi constaté lors de la cartographie des formes d'érosions que la majorité des formes dominantes dans la zone sont les réseaux de ravinements, suivi des ravines et rigoles. Suite à cette étude, le bassin-versant de Ogo est très sensible à l'érosion ; ayant un faible degré de couvert forestier, une géologie friable de près de 25 % par rapport à l'ensemble de la zone et une érosive omniprésence est ce qui rend ce bassin vulnérable à l'érosion hydrique avec une absence des pratiques antiérosifs les pertes des sols seront très accentuée au cours des prochaines décennies.

References:

1. Anna M., (2021) : Landslide susceptibility mapping of Gdynia using geographic information system-based statistical models p. 37
2. Abderrazzak Es-S., Brahim E. M., Abdelouahed El O. T., Mustapha N. & Riyaz A. M., (2022) : Landslide susceptibility mapping using GIS-based bivariate models in the Rif chain (northernmost Morocco) p.32
3. Abderrazzak Es-S., Brahim E. M., Riyaz A. M., Abdelouahed E. O. T., Mustapha N., (2022) : Spatial prediction of landslide susceptibility using Frequency Ratio (FR) and Shannon Entropy (SE) models: a case study from northern Rif, Morocco. P. 30
4. Abhishek G., (2021) : Soil erosion susceptibility assessment using logistic regression, decision tree and random forest: study on the Mayurakshi river basin of Eastern India p. 16
5. Arabameri A., Pradhan B., Rezaei K. (2019b) Gully erosion zonation mapping using integrated geographically weighted regression with certainty factor and random forest models in GIS. J Environ Manage 232:928–932. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.110>
6. Arora A., Pandey M., Siddiqui M., Hong H., Mishra V. (2019) : Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of frequency ratio and Shannon's entropy models. Geocarto Int. Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of

- frequency ratio and Shannon's entropy models: *Geocarto International*: Vol 36, No 18 (tandfonline.com) Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of frequency ratio and Shannon's entropy models: *Geocarto International*: Vol 36, No 18 (tandfonline.com)
7. Modeste M., Abdellatif K., Joseph A., (2021) : Spatial modeling of food susceptibility using machine learning algorithms p. 18
 8. Sunil S., Raju S., Gautam T., Jagabandhu R., (2021) : Modeling gully erosion susceptibility in Phuentsholing, Bhutan using deep learning and basic machine learning algorithms p. 21
 9. Suhua Z., Syed M. A., Xin T., (2021) : A comparative study of the bivariate, multivariate and machine-learningbased statistical models for landslide susceptibility mapping in a seismicprone region in China p. 20
 10. Fatna M., Abederrahmane B., Riheb H., Debi P. K., and Farid Z., (2018) : GIS-based landslide susceptibility assessment using statistical models: a case study from Souk Ahras province, N-E Algeria p. 21
 11. Modeste M., Abdellatif K., and Nadia M., (2018) : A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling using bivariate statistics methods in the Ourika watershed, Morocco p. 14
 12. Allam H., et B., (2020) : Cartographie de l'aléa et risque glissement de terrain par plusieurs méthodes Cas d'étude : La commune de Mila : mémoire de fin d'études de master, Université Frères Mentouri, Constantine 1. p. 134
 13. Roukh Z. E. A., (2020) : Cartographie algébrique d'aléa multirisque du Littoral Oranais, NO de l'Algérie Risques: (Sismique, glissement de terrain, inondation) ; thèse de doctorat à l'Université d'Oran 2 Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers p. 289
 14. Cao C., Xu P., Wang Y., Chen J., Zheng L., Niu C., (2016) : Flash Flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability* 8:948 Carrara A, Guzzetti F, Cardinali M (1999) Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Nat Hazards* 20:117–135
 15. Confort M., Aucelli PPC., Robustelli G., Scarciglia F., (2011) : Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria Italy). *Nat Hazards* 56:881–898. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy) | SpringerLink
 16. Khosravi K., Melesse A., Shahabi H., Shirzadi A., Chapi K., Hong H., (2019) : Flood susceptibility mapping at Ningdu catchment, China

- using bivariate and data mining techniques. *Extrem Hydrol Clim Variabil* 419–434
17. Pradhan B., (2009): Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *J Spat Hydrol* 9:1–18
 18. Gayen A., Pourghasemi HR., Saha S., Keesstra S., Bai S., (2019) : Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard prone areas in India using diferent machine learning algorithms. *Sci Total Environ* 668:124–138. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.436>
 19. Zhu M., (2014) Soil erosion assessment using USLE in the GIS environment: a case study in the Danjiangkou Reservoir Region, China. *Environ Earth Sci*. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3947->



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Caractérisation Hydro-Chimique et Évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines de l'Environnement Minier du Canton Afema (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

Kouadio Assemien François Yao

Université de Man,

UFR des Sciences Géologiques et Minières, Côte d'Ivoire

Kouassi Ernest Ahoussi

Yao Blaise Koffi

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR STRM, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG) Côte d'Ivoire

Lou Moin Sandrine Tivoli

Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

David Salze

ATDx Sarl, Aménagement-Territoire-Développement, France

Miguel Lopez-Ferber

Hydrosciences Montpellier, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, IRD, CNRS, Ales, France

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p248](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p248)

Submitted: 14 November 2022

Accepted: 21 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Yao K.A.F., Ahoussi K.E., Tivoli L.M.S., Salze D. & Lopez – Ferber M. (2023). *Caractérisation Hydro-Chimique et Évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines de l'Environnement Minier du Canton Afema (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 248. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p248>

Résumé

Le Canton Afema situé dans le département d'Aboisso a connu une exploitation minière de 1992 à 1998. A la fin de l'exploitation les sites n'ont pas subi de réels travaux de réhabilitation. Afin de déterminer l'impact de ces activités minières sur les caractéristiques physico-chimiques et la qualité des eaux souterraines, cette étude a été entreprise. Les résultats des analyses d'eaux collectées dans la zone minière ont été traités à l'aide du diagramme triangulaire de Piper et de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). L'approche méthodologique a consisté d'abord à déterminer les hydro-faciès

des eaux étudiées puis à les répartir en différents groupes sur la base de leur ressemblance hydro-chimique et à identifier les facteurs susceptibles d'expliquer à la fois l'origine des paramètres étudiés et leur corrélation. Enfin, la qualité globale de ces eaux a été estimée à partir du calcul de l'indice de qualité. Les résultats ont montré que les eaux étudiées étaient réparties en deux grandes familles : les eaux chlorurées calciques et magnésiennes et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes. Elles étaient dans l'ensemble faiblement minéralisées, avec une conductivité électrique moyenne de 195,76 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette minéralisation était contrôlée par deux phénomènes essentiels, le temps de séjour de l'eau dans les aquifères et l'infiltration superficielle et le lessivage des terrains non saturés. La qualité physico-chimique des eaux souterraines étudiées était conforme aux normes de potabilité recommandées par l'OMS. Cependant, les résultats ont aussi montré de fortes teneurs en cadmium ($0,052 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) et en plomb ($0,058 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) ; ce qui était responsable de la mauvaise qualité globale de ces eaux selon l'indice de qualité. Ainsi, la consommation des eaux étudiées par les populations locales constitue un danger pour leur santé.

Mots-clés: Exploitation minière, pollution métallique, ressources en eaux, indice de qualité, Afema

Hydrochemical Characterization and Assessment of Groundwater Quality in the Mining Environment of Afema Township (South-East of Côte d'Ivoire)

Kouadio Assemien François Yao

Université de Man,
UFR des Sciences Géologiques et Minières, Côte d'Ivoire

Kouassi Ernest Ahoussi

Yao Blaise Koffi

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR STRM, Laboratoire des Sciences
du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG) Côte d'Ivoire

Lou Moin Sandrine Tivoli

Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro,
Côte d'Ivoire

David Salze

ATDx Sarl, Aménagement-Territoire-Développement, France

Miguel Lopez-Ferber

Hydrosciences Montpellier, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, IRD,
CNRS, Ales, France

Abstract

Afema Township, located in the department of Aboisso, was mined from 1992 to 1998. At the end of the exploitation, the sites did not undergo any real rehabilitation work. In order to determine the impact of these mining activities on the physicochemical characteristics and quality of groundwater, this study was undertaken. The results of the water analyses collected in the mining area were processed using Piper's triangular diagram and Principal Component Analysis (PCA). The methodological approach consisted, first of all, in determining the hydro-facies of the waters studied, then in dividing them into different groups on the basis of their hydro-chemical similarity and in identifying the factors likely to explain both the origin of the parameters studied and their correlation. Finally, the overall quality of these waters was estimated from the calculation of the quality index. The results showed that the waters studied were divided into two main families: chloride-calcium-magnesium waters and bicarbonate-calcium-magnesium waters. They were on the whole weakly mineralized, with an average electrical conductivity of 195.76 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. This mineralization was controlled by two essential phenomena, the residence time of water in the aquifers and surface infiltration and leaching from unsaturated ground. The physico-chemical quality of the groundwater studied complied with the standards of potability recommended

by the WHO. However, the results also showed high levels of cadmium (0.052 mg.L-1) and lead (0.058 mg.L-1); this explained the overall poor quality of these waters according to the water quality index. Thus, the studied waters presented a real risk for human consumption. The consumption of these waters by local communities exposes them to health risks.

Keywords: Mining, metal pollution, water resources, water quality index, Afema

Introduction

Le développement des sociétés modernes est fondé sur la nécessité de répondre à une demande des biens et services. L'industrie doit donc évoluer et s'adapter pour être en mesure de fournir et de mettre sur le marché ces produits (Kogel et al., 2006). La première étape de ce processus est la mise à disposition de matières premières pour la transformation et le traitement ultérieur. L'industrie minière joue un rôle important dans la chaîne d'approvisionnement en matières premières (Castilla-Gómez & Herrera-Herbert, 2015). Cependant, est-il possible d'extraire des minéraux de la croûte terrestre sans nuire à l'environnement ? Plusieurs auteurs ont montré que les activités minières sont souvent considérées comme une source majeure de propagation de métaux contaminants dans l'environnement (Monteiro et al., 2012 ; Omanović et al., 2015 ; Othmani et al. 2015). Cela est dû non seulement à l'utilisation de produits chimiques tels que le cyanure et le mercure mais aussi au fait que beaucoup de déchets miniers sont fréquemment abandonnés avec peu ou pas de travaux de restauration. La mauvaise gestion des résidus miniers peut générer la migration de métaux dans le milieu environnant, contribuant ainsi à la contamination des substrats du sol, à la destruction du paysage écologique et à la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines (Othmani et al., 2015). La contamination des eaux par les métaux lourds, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique, est l'un des problèmes environnementaux en raison de son impact sur la santé publique (Makhoukh et al., 2011; Lakhili et al., 2015).

Les problèmes de pollution de l'eau, en particulier par les métaux lourds, suscitent désormais des inquiétudes dans le monde entier. Ces questions sont encore plus préoccupantes dans les pays en voie de développement en raison de la souplesse, supposée ou avérée, des législations. En Côte d'Ivoire, plusieurs auteurs, se sont intéressés à la contamination métallique des écosystèmes en général (Coulbaly et al., 2011 ; Kouassi et al., 2012 ; Keumean et al., 2013) et des environnements miniers en particulier (Yapi et al., 2014 ; Yao et al., 2017; Yao & Ahoussi, 2020; Ouattara et al., 2022). Ces études ont, dans leur majorité, détecté des pollutions métalliques dans certains milieux aquatiques. Dès lors, cette préoccupation touche de

nombreuses régions soucieuses de maintenir leurs ressources hydriques à un haut niveau de qualité. C'est le cas du canton Afema, situé dans le sud-est de la Côte d'Ivoire où, la Société des Mines de l'Afema (SOMIAF) a exploité une mine d'or de 1992 jusqu'à 1998, date de sa fermeture. Cette fermeture a été réalisée sans de réels travaux de réhabilitation préalable. Parmi les sites d'exploitation abandonnés, certains ont été convertis en terrains agricoles, alors que les anciennes fosses sont aujourd'hui remplies d'eau s'écoulant vers les cours d'eau voisins. Les travaux de Yao et al., 2017 ont montré une contamination métallique de ces cours d'eau. L'objectif de ce présent travail était de déterminer l'impact potentiel de ces activités minières sur les caractéristiques physico-chimiques et la qualité globale des eaux souterraines de cette région.

Présentation de la zone d'étude

Le canton Afema est situé dans le royaume Sanwi, au Sud-est de la Côte d'Ivoire, à la frontière du Ghana. Il appartient à la région du Sud-Comoé, dans le département d'Aboisso. Située à environ 130 km de la capitale économique, Abidjan, la zone d'étude s'étendait sur plus de 850 km², correspondant à la superficie des 2 bassins versants d'Ehania et de Noé. Cette délimitation tenait compte de la zone d'influence des activités minières sur le milieu naturel (Figure 1). Le climat de la zone d'étude est de type équatorial de transition toujours humide appelé localement « climat *attiéen* ». Le climat est caractérisé par l'abondance des précipitations avec plus de 1600 mm/an. La géologie de la zone d'étude est constituée d'un socle et d'une petite couverture sédimentaire. Les formations rocheuses se regroupent en deux grands ensembles principaux : les métavolcanites et les métasédiments (Assié, 2008). Ces deux ensembles sont séparés par la zone de contact orientée NE-SW, représentant la zone minéralisée (Figure 2).

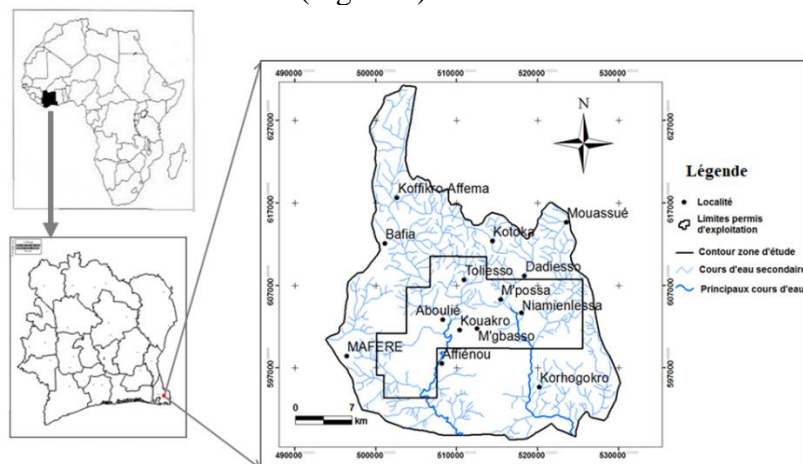


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

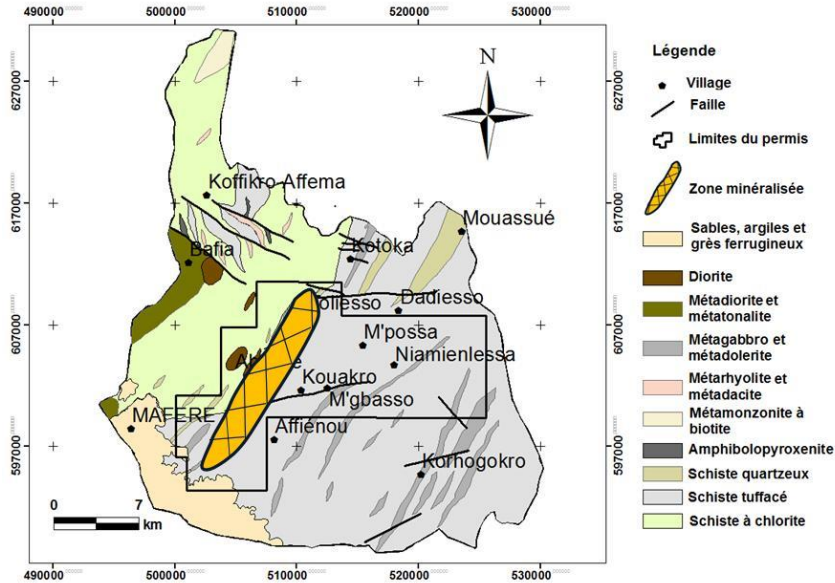


Figure 2. Carte géologique de la zone d'étude

Matériel et méthodes

Méthode d'échantillonnage et d'analyse

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée en Février 2016 et a concerné 14 points d'eaux souterraines. Les échantillons d'eaux souterraines étaient composés de 8 points d'eau de forages (Af F1, To F1, To F2, Da F1, Da F2, N1, Kt F1 et Kt F2) et de 6 points d'eau de puits (Km, Cp-M, K1, K2 et Mg) qui correspondaient à la totalité des ouvrages présents et en état de fonctionnement sur le territoire de la zone d'étude (Figure 3). Les échantillons d'eau prélevés ont été conservés dans des flacons en polyéthylène (1 L). Ces flacons ont été remplis d'eau à ras-bord puis fermés hermétiquement en évitant qu'ils contiennent des bulles d'air.

Le protocole de prélèvement était celui préconisé par Thierrin et al. (2001). Il a consisté tout d'abord à rincer le matériel de prélèvement et de mesures (électrodes du multi-paramètre) avec de l'eau distillée puis trois fois de suite avec l'eau à échantillonner. Ensuite, un autre prélèvement a servi aux mesures *in situ*. Le même principe a été respecté pour le prélèvement des échantillons destinés aux mesures en laboratoire. Dans les échantillons prévus pour le dosage des métaux, trois gouttes d'acide nitrique (HNO_3) ont été ajoutées afin de les stabiliser. Tous les échantillons ont été enfin conservés à l'abri de la lumière et à moins de 4°C dans des glacières puis convoyés au laboratoire.

Les paramètres analysés au Centre Ivoirien Anti-pollution (CIAPOL) étaient les ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), le pH, la Conductivité Électrique (CE), la température, le potentiel d'oxydoréduction

(Eh), les matières en suspension (MES) et les métaux comme l’Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Mercure (Hg), le Chrome (Cr), le Plomb (Pb) et les Cyanures (CN). Les ions majeurs ont été dosées à l’aide d’un spectrophotomètre de type Hach DR6000. Les métaux ont été dosés sur un spectromètre d’absorption atomique (SAA). La limite de détection de ces appareils était de 0,001 mg.L⁻¹.

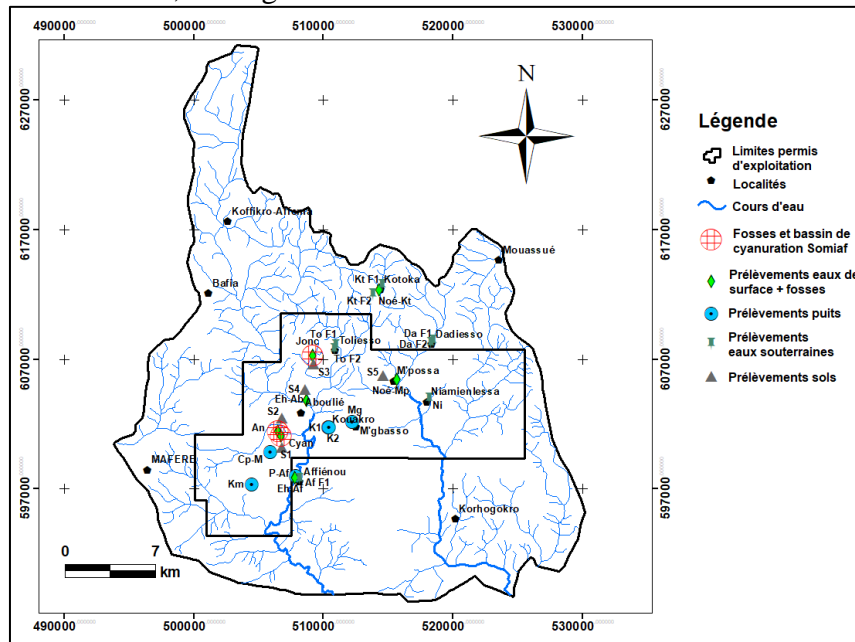


Figure 3. Répartition des points de prélèvement (Af F1 : Affiénoù Forage 1 ; To F1 : Toliesso Forage 1 ; To F2 : Toliesso Forage 2 ; Da F1 : Dadiesso Forage 1 ; Da F2 : Dadiesso Forage 2 ; Ni : Niamienlessa (Forage); Kt F1 : Kotoka Forage 1 ; Kt F2 : Kotoka Forage 2 ; Km : Kouamékro (Puits) ; Cp-M : Campement-Mine ; K1 : Kouakro Puits 1 ; K2 : Kouakro Puits 2 et M’gbasso (Puits)).

Méthode d’échantillonnage et d’analyse

Le traitement des données a été réalisé à l’aide des logiciels STATISTICA 7.1, pour le traitement statistique des variables et également pour l’Analyse en Composantes Principales et DIAGRAMME 6.1, pour la détermination des hydro-faciès à partir du diagramme de PIPER.

Analyse des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines

Détermination des hydro-faciès des eaux souterraines

La caractérisation hydro-chimique des eaux a été réalisée à l’aide du diagramme de Piper. Ce diagramme, couramment utilisé avec de bons résultats (Kouzana et al., 2007 ; Oga et al., 2009), a permis de rendre compte de la répartition des points d’eau dans les faciès hydro-chimiques.

Analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines

Cette étude était destinée à réduire le nombre de paramètres statistiques et à trouver les coefficients de corrélation entre les paramètres étudiés. Pour cela, l'Analyse en Composantes Principales a été utilisée afin de mettre en évidence les ressemblances hydro-chimiques entre les différentes eaux pour en extraire des variables représentatives (Guillén et al., 2012). Aussi, elle a été utilisée pour identifier les facteurs susceptibles d'expliquer à la fois l'origine des paramètres étudiés et leur corrélation (Sielaff et Einax, 2007 ; Ahoussi, 2008 ; Idris, 2008 ; Dahariya et al., 2016). Les statistiques exprimées étaient les valeurs extrêmes (minimum, maximum), la moyenne (valeur centrale) et l'écart-type (paramètre de dispersion).

Évaluation de l'indice de qualité des eaux (Water Quality Index)

L'indice de qualité de l'eau est une des techniques les plus efficaces permettant d'évaluer la qualité des eaux. Il est défini comme étant une estimation de la qualité de l'eau sur la base de l'influence de plusieurs paramètres (Ramakrishnaiah et al., 2009). Le calcul est effectué en particulier sur l'aptitude d'une eau à la consommation humaine. Pour ce faire, plusieurs étapes sont nécessaires :

– le choix et la pondération des paramètres physico-chimiques retenus pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Un poids (w_i) est affecté à un paramètre en tenant compte de son importance relative dans l'évaluation de la qualité totale d'une eau destinée à la consommation humaine. Dans l'exemple du Tableau 1, le poids maximal de 5 a été assigné aux nitrates en raison de leur importance majeure dans l'évaluation de la qualité de l'eau (Ramakrishnaiah et al., 2009). De même, le poids 5 a été attribué aux métaux lourds comme le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), l'arsenic (As), etc. En effet, du fait de leur caractère non-biodégradable, et de leur toxicité, les métaux lourds représentent un danger pour la santé humaine (Shrestha et al., 2016). Cependant, le magnésium a été affecté du poids 1 car il ne présente pas de réels effets nuisibles à la santé humaine ;

– le calcul du poids relatif (W_i) de chaque paramètre (Tableau 1) est effectué en suivant l'équation (1) :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Avec,

w_i : le poids affecté à chaque paramètre et ;

n : le nombre de paramètres retenus.

Tableau 1. Pondération des paramètres de qualité

Paramètres chimiques	Poids (w_i)	Poids relatif (W_i)	Normes OMS
PH	4	0,083	6,5 – 9
Conductivité électrique ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	4	0,083	200 – 1100
Turbidité (UTN)	2	0,041	1
Nitrates (mg.L^{-1})	5	0,104	50
Chlorures (mg.L^{-1})	3	0,062	250
Sulfates (mg.L^{-1})	4	0,083	250
Calcium (mg.L^{-1})	2	0,041	75
Magnésium (mg.L^{-1})	2	0,041	30
Sodium (mg.L^{-1})	2	0,041	200
Mercure (mg.L^{-1})	5	0,104	0,001
Plomb (mg.L^{-1})	5	0,104	0,01
Cyanure (mg.L^{-1})	5	0,104	0,05
Cadmium (mg.L^{-1})	5	0,104	0,005
Total	48	1	

– la détermination d'une échelle d'estimation de la qualité (q_i) pour chaque paramètre en divisant sa concentration dans chaque échantillon d'eau par une valeur guide puis en multipliant le résultat par 100. L'équation (2) illustre le calcul de q_i :

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Où q_i désigne la qualité de l'eau estimée par rapport au paramètre i ;

C_i , la concentration en mg.L^{-1} de chaque paramètre mesurée dans chaque échantillon d'eau ;

S_i , la valeur guide proposée pour les eaux de boisson.

– la détermination de l'indice de qualité de l'eau (IQE) a été effectuée à partir des équations (3) et (4) :

$$SI_i = W_i * q_i \quad (3)$$

$$IQE = \sum SI_i \quad (4)$$

Où SI_i , l'indice partiel (ou sous-indice), désigne l'indice de qualité pour un paramètre i donné. Il est calculé pour chaque paramètre et la somme de tous les SI_i permet d'obtenir l'indice de qualité de l'eau du site concerné (IQE). Le regroupement des valeurs de IQE comme indiqué dans le Tableau 2 permet de classer les eaux étudiées. Les classes sont au nombre de 5 et vont de « eaux excellentes » à « eaux impropres à la consommation humaine » au regard des paramètres retenus.

Tableau 2 .Classification des eaux basée sur les valeurs de l'Indice de Qualité des Eaux (IQE)

Valeurs IQE	Qualité des eaux
< 50	Excellente qualité
50 – 100	Bonne qualité
100 – 200	Qualité médiocre
200 – 300	Qualité mauvaise
> 300	Eau impropre à la boisson

Résultats

Classification hydrochimique des eaux d'Afema

Les eaux souterraines de la zone d'Afema se répartissent en deux hydro-faciès (Figure 4):

- les eaux chlorurées calciques et magnésiennes : ce faciès était le plus dominant et correspondait à 12 (sur 14) échantillons d'eaux souterraines de la zone d'étude. Il est caractérisé par une prédominance des chlorures sur les bicarbonates pour les anions et des alcalino-terreux sur les alcalins pour les cations.

- les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes : elles correspondaient à seulement 2 échantillons (Figure 4). Les points d'eau concernés étaient ceux de Kotoka et Dadiesso. Ce faciès caractérise donc les eaux des aquifères fissurés puisqu'aucun puits n'est concerné. Les bicarbonates, le calcium et le magnésium ($\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$) étaient les ions dominants observés dans les eaux de la zone d'étude. La plus forte minéralisation des eaux ($\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$) s'explique par des circulations naturelles très faibles dans le socle, donc des eaux très peu renouvelées, avec un temps d'interaction eau-roche long.

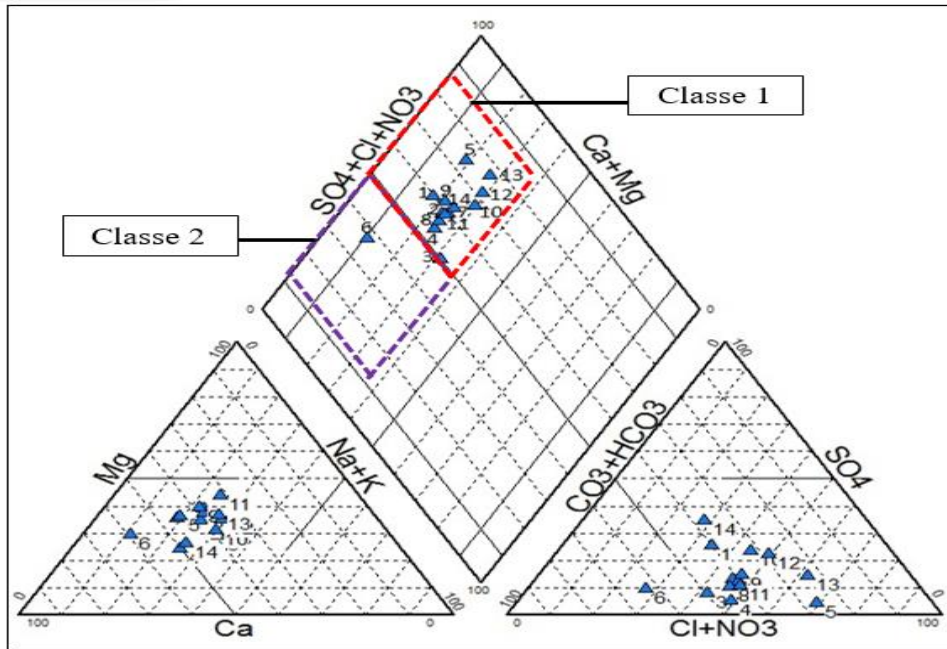


Figure 4. Classification hydrochimique des eaux souterraines dans le diagramme de Piper : (1) Eaux chlorurées calciques et magnésiennes ; (2) Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes.

Caractérisation physico-chimique des eaux d’Afema

Outre les 18 paramètres consignés dans le Tableau 3 synthétisant les résultats d’analyse, le mercure, le chrome et l’arsenic ont été dosés. Cependant, ces éléments n’ont pas été détectés. Ainsi, dans la suite de cette étude, il sera considéré que le mercure, le chrome et l’arsenic n’étaient pas présents dans les eaux souterraines de la zone d’étude.

Paramètres physiques

La température des eaux souterraines est comprise entre 24,9 (Puits 1 à Kouakro) et 26,9°C (Campement mine) avec une moyenne de 25,95°C qui est sensiblement égale à la température atmosphérique. Le pH variait de 5,17 à 8,50 ; ce qui a permis de classer les eaux de le domaine des eaux à alcalinité bicarbonatée ($4,5 < \text{pH} < 9,5$). Les eaux d’Afema étaient faiblement minéralisées. La conductivité électrique de ces eaux variait de 31,7 à 547 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ avec une moyenne de 135,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tableau 3).

Les valeurs de turbidité variaient de 1,00 à 60,00 NTU, avec une valeur moyenne de 18,04 NTU. Ces valeurs montrent que les eaux de la région étaient par endroit chargées en éléments en suspension comme l’ont témoigné les valeurs de MES. En effet, les de MES oscillaient entre 0,72 et 80 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour ce qui concerne le potentiel d’oxydo-réduction, outre le Forage 1 de Dadiesso qui a une valeur négative (-85,30 mV), les eaux souterraines de la zone d’étude

avaient des valeurs positives. Ces valeurs variaient de 25,7 à 111,1 mV avec une moyenne de 54,34 mV (Tableau 3). Ces eaux étaient dans l'ensemble moyennement oxygénées.

Tableau 3. Variables statistiques et valeurs extrêmes

Paramètres	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
PH	-	5,17	8,50	6,30	0,75
Température	°C	24,90	26,90	25,95	0,58
Potentiel redox	mV	-85,30	111,10	44,36	44,22
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	31,70	547,00	195,76	135,50
MES	-	0,720	80,00	22,66	24,23
Turbidité	UTN	1,00	60,00	18,04	19,40
Nitrate	mg.L^{-1}	4,27	7,80	6,18	1,10
Potassium	mg.L^{-1}	0,50	6,74	2,23	1,72
Sodium	mg.L^{-1}	1,69	8,20	4,91	2,32
Magnésium	mg.L^{-1}	1,48	6,80	4,52	1,58
Calcium	mg.L^{-1}	2,40	18,50	9,99	5,14
Chlorure	mg.L^{-1}	2,60	31,00	13,75	8,08
Sulfate	mg.L^{-1}	2,00	30,00	8,71	8,31
Bicarbonate	mg.L^{-1}	4,20	50,00	27,12	13,08
MT	mg.L^{-1}	10,92	131,4	70,42	35,12
Cyanure	mg.L^{-1}	0,00	0,014	0,00	0,00
Cadmium	mg.L^{-1}	0,014	0,052	0,02	0,01
Plomb	mg.L^{-1}	0,00	0,058	0,00	0,01

Paramètres chimiques

Les teneurs en nitrates des eaux étaient relativement faibles dans les eaux échantillonnées. Ces valeurs qui oscillaient entre 4,27 mg.L^{-1} et 7,8 mg.L^{-1} étaient bien en dessous de la valeur seuil admissible (50 mg.L^{-1}) proposée par l'OMS (2011) pour les eaux de boisson. Ainsi, les eaux de la région ne présentaient pas de contamination par les nitrates. Les bicarbonates étaient les ions les plus abondants dans les eaux étudiées. Leur concentration représentait 35% de la minéralisation totale, avec une valeur minimale de 4,2 mg.L^{-1} et une valeur maximale de 50 mg.L^{-1} . Les sulfates avaient des teneurs variant de 2 à 30 mg.L^{-1} , avec une moyenne de 8,71 mg.L^{-1} et un écart-type de 8,31 mg.L^{-1} (Tableau 3).

Concernant les cations majeurs, le calcium était le plus abondant, avec près de 13% de la minéralisation totale. La plus grande valeur (18,5 mg.L^{-1}) a été détectée dans le Puits 1 à Affiénou alors que la plus basse teneur (2,4 mg.L^{-1}) a été obtenue à M'Gbasso. Les teneurs en alcalins (Na^+ et K^+) étaient très faibles dans les eaux de la zone d' Afema ; ils représentaient seulement 9,23% de la MT. Les concentrations en sodium variaient de 1,69 à 8,20 mg.L^{-1} alors que les teneurs en potassium oscillaient de 0,5 à 6,74 mg.L^{-1} (Tableau 3). Tout comme le sodium et le potassium, le magnésium était aussi faiblement présent dans les eaux échantillonnées avec une valeur maximale de seulement 6,8

mg.L⁻¹.

Alors que pour les ions majeurs, les eaux étudiées ne présentaient aucun danger par rapport aux normes OMS (2011), la teneur en cadmium était particulièrement inquiétante pour l'ensemble de ces eaux. En effet, les teneurs relevées dépassaient la valeur guide de l'OMS qui est de 0,005 mg.L⁻¹. Les valeurs obtenues oscillaient entre 0,014 et 0,052 mg.L⁻¹. Par ailleurs, pour ce qui est du mercure les concentrations étaient très faibles. Elles étaient inférieures à 1 µg.L⁻¹ et ne présentaient aucune inquiétude vis-à-vis de la consommation des eaux. Par contre, pour le plomb, la valeur guide proposée par l'OMS (0,01 mg.L⁻¹) était dépassée dans l'eau du puits de Kouamékro. Dans le puits 2 à Kouakro, les analyses ont révélé que cette valeur guide était presque atteinte puisque la teneur en plomb dans ce puits s'élevait à 0,008 mg.L⁻¹.

Analyse en composantes principales

Matrice de corrélation des variables

Les relations qui existaient entre toutes les variables prises deux à deux ainsi que les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont donnés par la matrice de corrélation (Tableau 4). Il existe une forte corrélation entre deux variables lorsque le coefficient de corrélation existe et est supérieure ou égale à 0,50. L'analyse de ce Tableau a montré que certains paramètres étaient fortement corrélés. C'était par exemple le cas des alcalino-terreux Ca²⁺ et Mg²⁺ (r=0,81), Mg²⁺ et Cl⁻ (r=0,76) ou de Ca²⁺ et HCO₃⁻ (r=0,92). De même ces résultats ont montré que la conductivité électrique était bien corrélée avec tous les cations majeurs (0,81) avec K⁺ ; (r=0,72) avec Na⁺ ; (r=0,76) avec Mg²⁺ et (r=0,83) avec Ca²⁺. Cette corrélation était aussi bonne avec SO₄²⁻ (r=0,90) confirmant ainsi que tous ces éléments participent à la minéralisation. Ces corrélations montrent que les paramètres ci-dessus cités avaient une origine commune ou ils avaient en commun un phénomène naturel.

Valeurs propres et variances exprimées par les facteurs

Le pourcentage de variances exprimées était de 40,43% pour le facteur 1 ; 22,31% pour le facteur 2 et 13,39% pour le facteur 3 (Tableau 5). Ces trois premiers facteurs cumulaient 76,12% soit un peu plus de 75% des variances exprimées.

Tableau 4. Matrice de corrélations entre les variables

	pH	Eh	CE	Turb.	NO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Hg	CN	Cd	Pb
pH	1,0															
Eh	-0,99	1,0														
CE	0,27	-0,27	1,00													
Turb.	-0,36	0,36	-0,12	1,00												
NO₃⁻	0,24	-0,23	-0,11	-0,53	1,00											
K⁺	-0,17	0,17	0,81	-0,01	-0,25	1,00										
Na⁺	0,03	-0,03	0,72	0,06	-0,50	0,56	1,00									
Mg²⁺	0,22	-0,22	0,76	0,03	-0,12	0,47	0,74	1,00								
Ca²⁺	0,54	-0,54	0,83	-0,24	0,06	0,40	0,70	0,81	1,00							
Cl⁻	-0,01	0,00	0,46	0,24	-0,50	0,24	0,80	0,76	0,60	1,00						
SO₄²⁻	0,02	-0,02	0,90	-0,08	-0,03	0,85	0,56	0,68	0,62	0,25	1,00					
HCO₃⁻	0,7	-0,7	0,69	-0,39	0,18	0,26	0,60	0,66	0,92	0,38	0,47	1,00				
Hg	-0,13	0,13	0,63	0,09	-0,37	0,76	0,41	0,37	0,33	0,20	0,71	0,15	1,00			
CN	-0,14	0,14	0,41	0,37	-0,21	0,48	0,35	0,22	0,13	0,20	0,38	0,04	0,04	1,00		
Cd	-0,05	0,05	0,66	-0,09	-0,04	0,74	0,25	0,13	0,30	-0,05	0,63	0,19	0,60	0,23	1,00	
Pb	-0,11	0,11	0,36	0,31	-0,27	0,41	0,40	0,27	0,11	0,28	0,31	0,06	0,02	0,96	0,05	1,00

Il existe une forte corrélation entre deux variables lorsque le coefficient de corrélation existe et est supérieure ou égale à **0,50**.

pH : potentiel d'hydrogène ; **Eh** : potentiel d'oxydo-réduction ; **CE** : conductivité électrique ; **Turb.** : turbidité ; **NO₃⁻** : nitrates ; **K⁺** : potassium ; **Na⁺** : sodium ; **Mg²⁺** : magnésium ; **Ca²⁺** : calcium ; **Cl⁻** : chlorures ; **SO₄²⁻** : sulfates ; **HCO₃⁻** : bicarbonates ; **CN** : cyanure ; **Cd** : cadmium ; **Pb** : plomb.

Ce pourcentage était suffisant pour fournir les renseignements nécessaires à l'identification des phénomènes naturels responsables de la minéralisation des eaux souterraines. La Figure 5 illustre le plan défini par les facteurs F1 et F2. Dans cet espace factoriel, HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CE, SO_4^{2-} , Na^+ se regroupaient à l'extrémité négative de l'axe 1. Ce regroupement indique que les variables concernées évoluaient de la même façon et étaient tributaires d'un même ou de phénomènes semblables. Les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- ont la particularité d'apparaître dans l'eau après un contact prolongé de celle-ci avec les roches encaissantes. Quant au facteur 2, il était déterminé par NO_3^- et pH regroupés à l'extrémité positive et la turbidité et le potentiel d'oxydo-réduction positionnés à l'extrémité négative de cet axe factoriel. La présence des NO_3^- sur l'axe F2 témoigne d'un apport superficiel. En effet, la présence des NO_3^- dans les eaux souterraines est indicatrice d'une origine superficielle due aux activités anthropiques telles que l'usage des intrants agricoles ou à la déforestation. Les NO_3^- parviennent aux eaux souterraines à partir des eaux de pluies qui s'infiltrent dans le sol. Ainsi, le facteur 2 a exprimé l'infiltration des eaux superficielles.

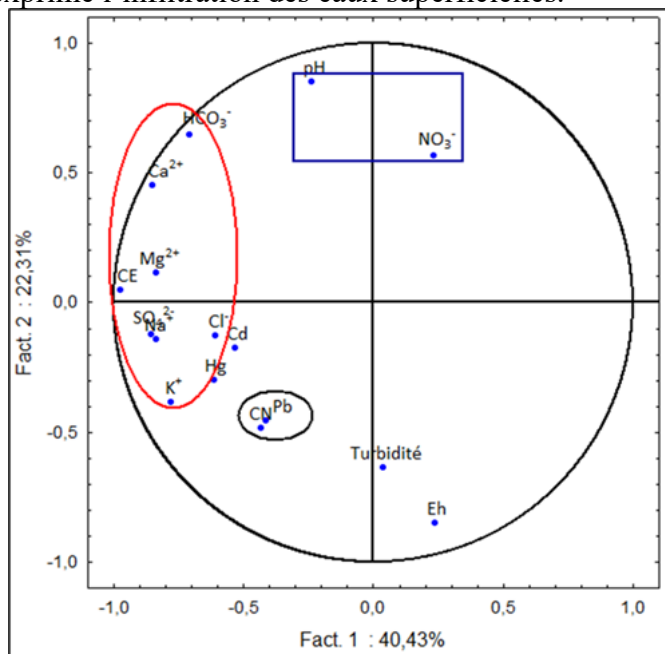


Figure 5. Espace des variables du plan factoriel F1 – F2

La distribution des unités statistiques dans le plan factoriel F1-F2 (Figure 6), a indiqué la présence de fortes teneurs en nitrates dans l'échantillon 6 (forage 1 de Dadiesso) alors que les échantillons 10 (puits de Kouamékro), 12 (puits 2 à Kouakro), et 14 (puits à Affiéno) étaient caractérisés par une abondance en éléments majeurs tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- et

SO_4^{2-} . Les eaux de ces puits dont la profondeur était inférieure à 10 m ont été chargées en ces éléments depuis la surface par le mécanisme de l'infiltration des eaux de pluies où par l'hydrolyse des minéraux contenus dans les altérites.

Dans l'espace des variables du plan factoriel F1-F3 (Figure 7), le facteur F1 était toujours déterminé par HCO_3^- , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , CE et Cl⁻. La proximité de ces variables dans le cercle de communauté a montré qu'elles commandaient le phénomène de mise en solution des ions. Ainsi, les éléments qui définissaient F1, provenaient d'un processus de mise en solution relativement rapide par conséquent un temps de séjour plus court. Le facteur 1 a donc exprimé le phénomène de minéralisation lié au temps de séjour. En outre, le facteur 3 était déterminé par le cadmium, le mercure et NO_3^- . La présence des nitrates dans les eaux étant d'origine anthropique, il a été déduit que le facteur 3 déterminait la minéralisation d'origine superficielle. L'inertie du plan F1-F3 des unités statistiques est illustrée à la Figure 8. Sur cette figure, les échantillons 1, 10, 12 et 14 étaient regroupés à l'extrémité négative de l'axe F1. Il s'agit des eaux fortement minéralisées de la zone d'étude qui s'opposent sur l'axe F1, aux eaux faiblement minéralisées caractérisées par les échantillons 2, 7, 8, 9, 11 et 13. Le troisième regroupement concernait les eaux à faibles teneurs en nitrates (échantillons 3, 4, 5 et 6). C'étaient les forages captant les eaux des réservoirs fracturés.

En définitive, l'ACP réalisée, a montré que deux phénomènes essentiels expliquaient la mise en solution des ions. Il s'agit du processus de minéralisation par hydrolyse lié au temps de séjour de l'eau dans les aquifères et la minéralisation par infiltration superficielle et lessivage des terrains non saturés.

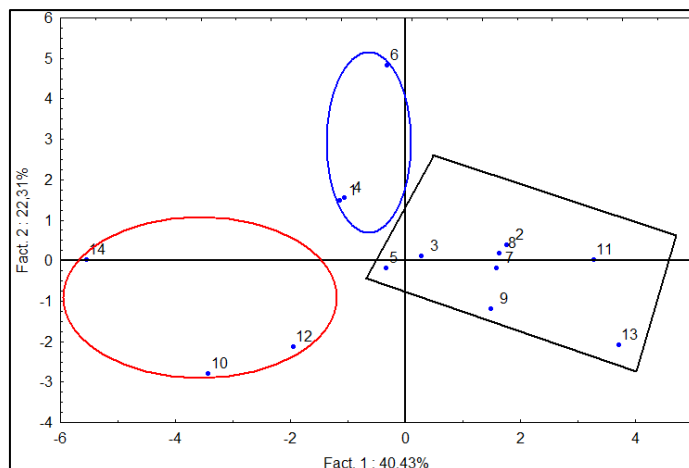


Figure 6. Espace des unités statistiques du plan factoriel F1 – F2

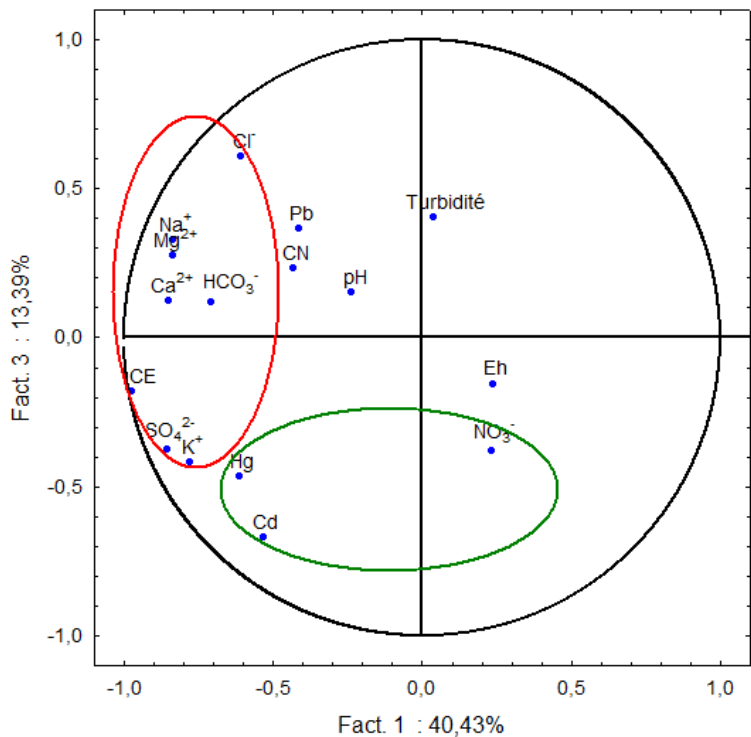


Figure 7. Espace des variables du plan factoriel F1 – F3

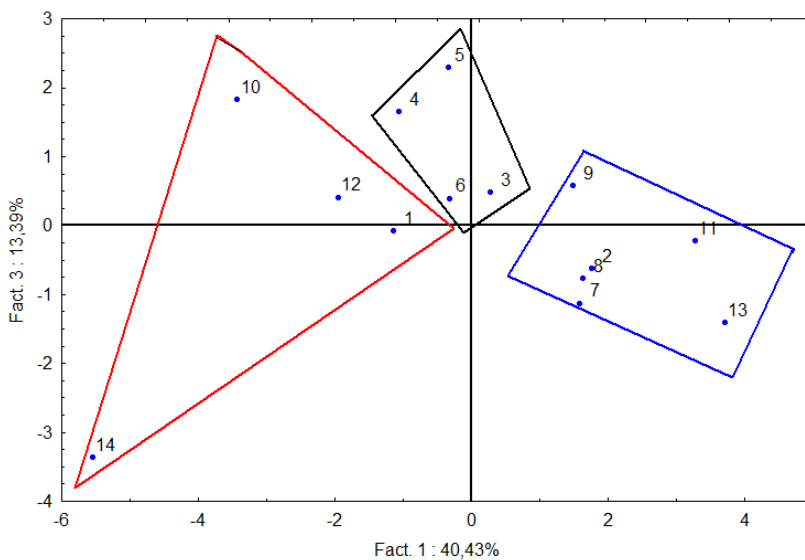


Figure 8. Espace des unités statistiques du plan factoriel F1 – F3

Indice de Qualité des Eaux (IQE)

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude a été définie sur la base de 13 paramètres physico-chimiques : pH, CE, turbidité, NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , le mercure, le plomb, le cyanure et le cadmium. Les eaux de qualités médiocre et mauvaise représentaient respectivement 7 et 14 % des eaux étudiées. Ainsi, plus de la moitié (soit 57 %) des eaux étudiées avaient un IQE supérieur à 100 qui représente la limite supérieure des eaux de bonne qualité (Figure 9). Les paramètres qui avaient le plus influencé la qualité de l'eau étaient la turbidité, le cadmium, le cyanure et le mercure. Ces paramètres étaient essentiellement des métaux, éléments toxiques et donc dangereux pour la santé humaine.

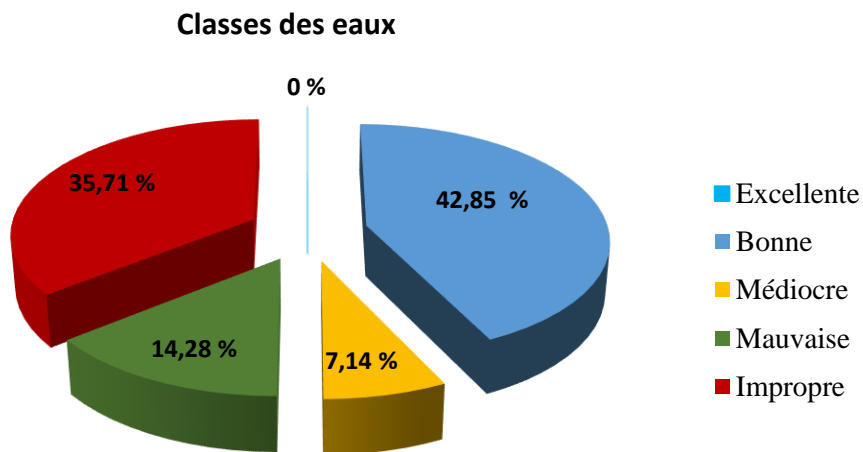


Figure 9. Illustration des différentes classes d'eaux

Discussion

Les eaux souterraines de la région d'étude sont dans l'ensemble faiblement minéralisées. La minéralisation totale était inférieure à 500 mg.L^{-1} . Cette minéralisation est caractéristique des eaux du socle de la Côte d'Ivoire ($\text{MT} \leq 1000 \text{ mg.L}^{-1}$) comme l'ont montré plusieurs auteurs (Lasm et al., 2008 ; Adiaffi et al., 2009 ; De Lasme, 2013). D'un point de vue physico-chimique, les eaux souterraines étudiées respectaient toutes les normes de potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine. La température moyenne des eaux estimée à 26°C est caractéristique des eaux de l'Afrique de l'Ouest sous climat tropical humide à forte précipitation comme c'est le cas de la zone d'étude. Le pH variant de 5,17 à 8,5 présentait à 21% (de l'effectif) des eaux acides ($\text{pH} < 6$). Ces eaux étaient en grande majorité des eaux de puits captant les altérites. Cette acidité est principalement liée à la production de

CO₂ dans les couches superficielles du sol sous l'action des activités biologiques. Des résultats analogues ont été obtenus dans d'autres régions de socle de la Côte d'Ivoire (Lasm et al., 2008 ; Lasm et al., 2011 ; Kouassi et al., 2012). En ce qui concerne les ions majeurs, la forte domination des bicarbonates (HCO₃⁻) sur les chlorures et sulfates s'explique par la présence du CO₂ dans l'eau du sol. Ce CO₂ dans l'eau, facilite la production des ions HCO₃⁻. L'hydrolyse des minéraux silicatés (épidotes, chlorites et feldspaths) présents dans les roches (Assié, 2008) était le principal mécanisme de production des ions majeurs comme l'ont attesté les résultats de l'analyse en composantes principales. De tels résultats ont été mis en évidence par plusieurs auteurs (Goné et al., 2008 ; Ahoussi et al., 2011) dans d'autres régions de la Côte d'Ivoire. L'ACP a aussi montré que l'infiltration superficielle et le lessivage des terrains non saturés participaient à la mise en solution des ions. C'est le phénomène d'infiltration de surface qui constitue la principale source de production des ions chlorures dans les eaux souterraines. Cependant, pour les eaux de puits, une origine anthropique est fort possible du fait du positionnement parfois trop rapproché de ces ouvrages des fosses septiques villageoises. En effet, selon Ahoussi et al. (2011), on peut également considérer une teneur élevée en Cl⁻ comme un indice de contamination humaine. L'urine humaine contient en moyenne 11 g.L⁻¹.

S'agissant des éléments toxiques, les résultats d'analyse ont montré que l'Arsenic (As) et le Chrome (Cr) étaient inexistantes dans les eaux étudiées. De prime abord, ces résultats pouvaient paraître en contradiction avec le contexte géologique de la zone échantillonnée. En effet, l'étude minéralogique réalisée par Assié (2008) a montré la présence de sulfures tels que l'Arsénopyrite (FeAsS) et la pyrite (FeS₂). Ainsi, on pourrait soupçonner la présence de de l'arsenic dans les eaux souterraines de la région. Cependant la dissolution des minéraux dans les roches est un processus lent, dépendant du temps de contact de l'eau avec les minéraux, la vitesse de circulation de l'eau. En outre, l'ACP réalisée a montré que les eaux étudiées étaient caractérisées par une minéralisation relativement rapide. Le temps de séjour des eaux dans les aquifères étant courts, le processus d'altération et d'hydrolyse des minéraux est alors limité. Cela n'a probablement pas permis la libération de l'arsenic dans l'eau. Tout comme l'arsenic et le chrome, le mercure (Hg) et le Cyanure (CN) n'ont pas été détectés dans les eaux des forages. Ces résultats d'analyse témoignent ainsi d'une origine superficielle pour les quelques valeurs observées dans les eaux de puits. En effet, les analyses ont révélé la présence du cyanure dans les eaux de puits, mais à l'état de traces. Ces teneurs relativement faibles dans ces aquifères d'altérites semblent normales selon Lions et al., (2009) pour qui, la présence de métaux lourds dans les sables est connue. Il en est de même pour le plomb. Cependant pour ce dernier, une valeur de 0,057 mg.L⁻¹ dépassant la limite autorisée par l'OMS (0,01 mg.L⁻¹)

a été retrouvée dans le puits de Kouamékro. L'origine naturelle du plomb peut être liée au fait que ce métal se substitue principalement au potassium, au strontium et au baryum. Ainsi on peut le trouver en trace dans des minéraux potassiques tels que les feldspaths ou les micas (Lions et al., 2009). Cependant, pour ces auteurs des fortes concentrations en plomb d'origine naturelle sont très rares même dans des contextes géologiques favorables car il s'agit d'un élément peu soluble, facilement adsorbables sur les argiles, les hydro (oxydes) et la matière organique et qui peut précipiter facilement sous forme de carbonates ou de phosphates. Cela est d'autant plus vrai que le puits de Kouamékro était très récent. Cette forte concentration en plomb serait alors d'origine anthropique notamment le lessivage des déchets domestiques. Les résultats les plus alarmants concernaient le cadmium, un métal très toxique qui pourtant, a été observé aussi bien dans les eaux de puits que dans les eaux de forage avec des teneurs au-delà de la limite admise pour les eaux de consommation humaine ($0,005 \text{ mg.L}^{-1}$). Ces fortes teneurs proviendraient de l'activité anthropique. En effet, Lions et al. (2009) ont montré qu'il est rare voire impossible de trouver naturellement du cadmium dans les eaux souterraines. Ainsi, une origine anthropique, notamment agricole, du cadmium semble évidente d'autant plus que la région constitue une importante zone agricole (Aké et al., 2009). Les fortes teneurs en cadmium, constituent la principale cause de la mauvaise qualité de la plupart des eaux étudiées, d'après les résultats de l'indice de qualité des eaux. Des résultats similaires ont été obtenues par Yapi et al. 2014 dans la zone minière de Hiré. Des études plus détaillées sur les eaux et les types d'engrais utilisés dans la région devront être réalisées afin de confirmer ou non l'origine agricole du cadmium.

Conclusion

L'étude des caractéristiques hydrogéochimiques des ressources en eaux souterraines du site minier d' Afema a été réalisée à partir de la combinaison des méthodes hydro-chimiques et de l'analyse statistique multivariée. Cette étude a montré que les teneurs moyennes des ions des eaux souterraines restaient, dans l'ensemble, conformes aux normes de potabilité recommandées par l'OMS pour les eaux destinées à la consommation humaine. Les eaux souterraines étudiées étaient caractérisées par une prédominance des ions HCO_3^- sur les Cl^- et SO_4^{2-} . Les ions Ca^{2+} représentaient les cations les plus importants, puis venaient ensuite les ions Na^+ , Mg^{2+} et K^+ . L'ACP réalisée a indiqué que la minéralisation des eaux de la zone minière était contrôlée par deux grands phénomènes : la minéralisation liée au temps de séjour et la minéralisation par infiltration superficielle et lessivage des terrains non saturés. Aussi, cette étude a montré que les eaux souterraines de la zone d' Afema présentaient toutes des teneurs élevées en cadmium et certaines en plomb. Cependant, bien que l'activité minière se soit développée dans la

région (1992-1998), les eaux souterraines n'ont pas été contaminées par le cyanure.

Remerciements

Les auteurs traduisent leurs sincères remerciements à la société Taurus Gold pour l'accès accordé pour la campagne d'échantillonnage, les notables des village Aboulé et Kouakro pour leur disponibilité ainsi que les membres du Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement de l'UFR-STRM de l'Université de Cocody, Abidjan ainsi que ceux du Laboratoire du Génie de L'Environnement Industriel de l'IMT Mines Alès.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

References:

1. Adiaffi B., Marlin C., Oga Y.M.S., Massault M., Nauret A., Biemi J. (2009). Palaeoclimatic and deforestation effect on the coastal fresh groundwater resources of SE Ivory Coast from isotopic and chemical evidence. *J. Hydrol.*, 369: 130-141.
2. Ahoussi K.E. (2008). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat Unique, Univeristé de Cocody, Abidjan, 270p.
3. Ahoussi K.E., Oga Y.M.S., Yao B.F., Kouassi A.M., Soro N., Biémi J. (2011). Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(5): 2114-2132.
4. Aké G.E., Dongo K., Kouadio B.H., Dibi, Saley M.B., Biémi J. (2009) : Contribution des méthodes de vulnérabilité intrinsèque DRASTIC et GOD à l'étude de la pollution par les nitrates dans la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, vol. 31 (1) : 157-171.
5. Assié K.E. (2008). Lode gold mineralization in the Paleoproterozoic (Birimian) volcano-sedimentary sequence of Afema gold district, southeastern Côte d'Ivoire, PhD thesis, Technical University of Clausthal, Clausthal, 198p.
6. Castilla-Gómez J. & Herrera-Herbert J. (2015). Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact Assessment. *Minerals Engineering* 76 : 87–96.

7. Coulibaly A.S., Mondé S., N'guessan A.Y., Aka K. (2011). Spéciation chimique des éléments traces métalliques dans un environnement lagunaire confiné : la baie de Bietry. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(6): 2543-2556.
8. Dahariya NS, Ramteke S, Sahu BL, Patel KS. Urban Groundwater Quality in India. *Journal of Environmental Protection*, 7 : 961-971.
9. De Lasme O.Z. (2013). Contribution á une meilleure connaissance des aquifères fissurés du socle précambrien : cas de la région de San-pédro (sud-ouest de la côte d'ivoire). Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 209p.
10. Goné D.L., Adja J.T., Kamagaté B., Kouamé F., Koffi K., Savané I. (2008). Élimination du fer et du manganèse par aération–filtration des eaux de forage en zone rurale dans les pays en développement : cas de la région de Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 19(3): 558-567.
11. Guillén M.T., Delgado J., Albanese S., Nieto J.M., Lima A., De Vivo B. (2012). Heavy metals fractionation and multivariate statistical techniques to evaluate the environmental risk in soils of Huelva Township (SW Iberian Peninsula). *Journal of Geochemical Exploration*, 119-120 : 32–43.
12. Idris, A.M. (2008). Combining multivariate analysis and geochemical approaches for assessing heavy metal. *Microchemical Journal*, 90 : 159–163.
13. Keumean K.N., Bamba S.B., Soro G., Soro N., Métongo B.S., Biémi J. (2013). Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé. *Journal of Applied Biosciences*, 61: 4530-4539.
14. Kogel JE, Trivedi NC, Barker JM, Krukowski ST. 2006. *Industrial Minerals Rocks: Commodities, Markets, and Uses*, (7th edn). SME-Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
15. Kouassi A.M., Ahoussi K.E., Yao K.B., Aké A.Y., Biémi J. (2012). Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(1): 504-518.
16. Kouzana L., Ben Mammou A., Gaaloul N. (2007). Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie). *Geo-Eco-Trop.*, 31: 57-70.
17. Lakhili F., Benabdelhadi M., Bouderkha N., Lahrach H., Lahrach A. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal*, vol.11, No.11, pp. 1857- 7431.
18. Lasm T., Yao K.T., Oga M.S., Kouamé K.F., Jourda P., Kouadio K.E., Baka D. (2008). Analysis of the Physico-Chemical Characteristics of

- Groundwater in Proterozoic Land Region of the Tiassale Area (Southern Cote D'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 20 (3) : 526-543.
19. Lasm T., De Lasme O., Oga M.S., Youanta M., Baka D., Kouamé K.F., Yao K.T. (2011). Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de San-Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(2): 642-662.
 20. Lions J., Pinson S., Parizot M. (2009). Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines de la Guyane. Rapport BRGM RP-57860- FR, Grenoble, 119p.
 21. Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Vanclooster M., (2011). Contribution à l'étude de l'impact d'un site minier abandonné dans la haute Moulouya sur la qualité de l'Oued Moulouya, Maroc. *Afrique Sciences*, 7(3): 34-48.
 22. Monteiro F.F., Cordeiro R.C., Santelli R.E., Machado W., Evangelista H., Villar L.S., Viana L.C.A., Bidone E.D. (2012). Sedimentary geochemical record of historical anthropogenic activities affecting Guanabara Bay (Brazil) environmental quality. *Environ. Earth Sci.*, 65 : 1661-1669.
 23. Outtara Z., N'cho O.C., Gouedji G.F.E., Ouattara G. & Coulibaly Y. (2022). Evaluations Géologique et Environnementale des Activités Minières Artisanales Liées à l'or de Doumbiadougou, Duekoue, Ouest de la Côte d'Ivoire. *ESI Preprints*.
 24. Oga M.S., Lasm T., Yao K.T., Soro N., Saley M.B., Kouassi D., Gnamba F. (2009). Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture: cas de la région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 31 (1): 72-87.
 25. Omanović D., Pizeta I., Vukosav P., Kovács E., Frančsković-Bilinski S., Tamás J. (2015). Assessing element distribution and speciation in a stream at abandoned Pb-Zn mining site by combining classical, in-situ DGT and modelling approaches, *Sci. Total Environ.*, 511 : 423-434.
 26. Othmani M.A., Souissi F., Silva E.F., Coynel A. (2015). Geochemistry and potential environmental impact of the mine tailings at Rosh Pinah, southern Namibia, *Journal of African Earth Sciences*, 111 : 231-243.
 27. Ramakrishnaiah C.R., Sadashivaiah C., Ranganna G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnatak State, India. *E-Journ of Chemis*, 6(2): 523-530.
 28. Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vuataz F., Loaser. (2003). Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Édité par l'Office de l'Environnement des Forêts et du Paysage et la Société Hydrogéologique de Suisse, 91p.

29. Shrestha S.M., Rijal K., Pokhrel R.M. (2016). Assessment of Heavy Metals in Deep Groundwater Resources of the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Environmental Protection*, 7 : 516-53.
30. Sielaff K., Einax J.W. (2007). The application of multivariate statistical methods for the evaluation of soil profiles. *Journal of Soils and Sediments*, 7 : 45–52.
31. Yao K.A.F., Salze D., Lopez-Ferber M., Lasm T., Belcourt O. (2017). Impact of an Abandoned Mine on Surrounding Soils, Surface Water and Stream Sediment: Case of SOMIAF Gold Mine, Côte d’Ivoire. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8 (9) : 642 – 646.
32. Yao K.S.A. & Ahoussi K.E. (2020). Caractérisation physico-chimique des eaux de surface dans un environnement minier du centre-ouest de la Côte d’Ivoire : Cas du Département de Divo. *European Scientific Journal*, vol.16, No.12, pp. 293 – 315.
33. Yapi Y.H.A., Dongui B.K., Trokourey A., Barima Y.S.S., Essis Y., Atheba P. (2014). Evaluation de la pollution métallique des eaux souterraines et de surface dans un environnement minier aurifère à Hiré (Côte d’Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(3): 1281-1289.

Contribution à l'Étude des Macrophytes de la Mare d'Albarkaïzé dans le Département de Gaya au Niger Occidental (Afrique de l'Ouest)

Hassane Souley Adamou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure, Niamey, Niger

Saharatou Bourahima Kimba

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

Bassirou Alhou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure, Niamey, Niger

Tahirou Djima Idriasou

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

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p272](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p272)

Submitted: 13 September 2022

Accepted: 03 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Soulet Adamou H., Bourahima Kimba S., Alhou B. & Djima Idrissou T. (2023). *Contribution à l'Étude des Macrophytes de la Mare d'Albarkaïzé dans le Département de Gaya au Niger Occidental (Afrique de l'Ouest)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 272.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p272>

Résumé

Les macrophytes ont un rôle fonctionnel dans les hydrosystèmes et sont utilisés comme bioindicateurs de la qualité des milieux aquatiques. Cependant, quantifier ce lien des plantes à leur environnement nécessite des connaissances précises de leur écologie, et celle-ci reste encore peu connue dans un contexte régional en Afrique de l'Ouest et particulièrement au Niger. Pour combler ce vide, cette étude a été réalisée sur la mare d'Albarkaïzé située dans le département de Gaya, au Niger occidental entre 03°13' de longitude Est et 12°04' de latitude Nord. Elle a pour objectifs (i) d'inventorier les macrophytes présents dans cette zone, (ii) de caractériser leur milieu de vie et (iii) d'établir leur distribution en fonction des caractéristiques du milieu. Pour ce faire, l'inventaire a été effectué le long de 5 transects perpendiculaires, dont

le transect 1 avec 15 relevés, transects 2, 3, 4 et 5 avec 8 relevés chacun ce qui donne un total 47 relevés sur la mare. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau ont été déterminées pour certains in situ et pour d'autres au laboratoire. Ainsi, l'étude a permis d'inventorier soixante (70) taxons repartis dans cinquante (50) genres et vingt-huit (28) familles botaniques. Les familles les mieux représentées chez les macrophytes de la mare d'Albarkaïzé sont les Poaceae avec 13 espèces (18,57 %) puis les Fabaceae avec 9 espèces (12,86 %) et enfin les Convolvulaceae avec 5 espèces (7,14 %). Une classification ascendante hiérarchique a permis d'identifier trois (3) groupes de végétaux vis-à-vis de leurs habitats physiques. Ainsi, trois groupements de relevés ont été discriminés à partir de la classification hiérarchique sur la base de la matrice de 47 X 28 espèces. Cette étude a aussi permis de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et les espèces de macrophytes qui caractérisent la mare d'Albarkaïzé pouvant ainsi servir à la longue pour l'élaboration d'un indicateur de suivi écologique de la mare.

Mots-clés: Relevés floristiques ; macrophytes ; zone humide ; phytoécologie ; mare Albarkaïzé ; Afrique de l'Ouest

Contribution to the Survey of Macrophytes in Albarkaïzé Pond in the Department of Gaya in Niger Occidental

Hassane Souley Adamou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure, Niamey, Niger

Saharatou Bourahima Kimba

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

Bassirou Alhou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure, Niamey, Niger

Tahirou Djima Idriasou

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

Abstract

Macrophytes play a functional role in hydrosystems and are used as bioindicators of the quality of aquatic environments. However, quantifying the link between plants and their environment requires precise knowledge of their ecology, which is still poorly documented in the West African context and

Niger in particular. To fill this gap, the current study was conducted on the Albarkaïzé pond located in the department of Gaya in western Niger, between 03°13' East longitude and 12°04' North latitude. The objectives were (i) to inventory the macrophytes, (ii) to characterize their living environment, and (iii) to establish their distribution according to the characteristics of the environment. The inventory was carried out along 5 perpendicular transects (transect 1 with 15 surveys, transect 2 with 7 surveys, transects 3,4 and 5 with 8 surveys each), which yield a total of 47 surveys. Water physico-chemical characteristics were determined in situ for some parameters and in the laboratory for others. The inventory allowed to identify seventy (70) taxa. These taxa were distributed in 50 genera and 28 botanical families. The best represented families among macrophytes of the Albarkaïzé pond are Poaceae with 13 species (18.57%), Fabaceae with 9 species (12.86%) and Convolvulaceae with 5 species (7.14%). A hierarchical ascending classification was used to discriminate three (3) groups of macrophytes according to their physical habitats on the basis of the 47 X 28 species. This study made it possible to establish the physico-chemical characteristics and the species of macrophytes that characterize the Albarkaïzé pond, which could be used in the long run to develop an indicator for monitoring the ecological status of the pond.

Keywords: Floristic survey; macrophytes; wetland; phytocology ; Albarkaïzé pond ; West Africa

1. Introduction

La zone humide d'Albarkaïzé, comme toutes les zones humides du Niger, sont des écosystèmes de grande importance. Ces dernières renferment une diversité biologique unique (Saadou, 2004) dans un pays majoritairement désertique et sahélien. Ils sont utilisés comme voies de communication, et servent aussi de lieu d'approvisionnement en eaux domestiques et agricoles pour les populations riveraines. C'est une zone identifiée comme site du Fonds pour l'Environnement Mondial du fait des systèmes agro-écologiques de productions complexes qu'elle regorge et de sa vulnérabilité sur le plan environnemental (Mahamane et al., 2007). Elle renferme d'importantes ressources naturelles qui sont exploitées par la population. Leur mise en valeur ainsi que leur conservation ne peuvent se faire que dans le cadre d'une gestion intégrée des ressources (Mahamane, 2005). C'est ainsi que ce complexe écosystémique est également classé site de la convention RAMSAR en 2001 compte tenu de son importance en ressources naturelles au plan mondial (Mahamane et al., 2007).

Les pressions anthropiques actuelles, consécutives à la croissance démographique, constituent les principales menaces à la survie de ces milieux. Ce qui explique la diminution de certaines espèces végétales entraînant des changements majeurs dans le fonctionnement de l'écosystème. C'est pourquoi, la biodiversité de ces milieux mérite d'être préservée (Ceillier, 2015 ; Sossou, 2021).

Ainsi, selon Mahamane et al. (2007), la structure des écosystèmes des zones humides a fait l'objet de divers travaux aussi bien dans la sous-région ouest africaine qu'au Niger. Les contributions les plus importantes sont celles de Grouzis (1985) qui décrit la structure de la biodiversité de la mare de Oursi au Burkina Faso. Au Mali central, Aberlin (1986) a décrit la structure et la diversité des communautés végétales des milieux humides. Au Niger, Boudouresque (1995) a travaillé sur les communautés végétales des mares du Liptako la bande Ouest. Aussi, dans la même zone géographique, Garba (1984) a fait cas des groupements végétaux le long des mares de la vallée du fleuve Niger. De même, Roussel (1987) a décrit les communautés végétales de la vallée du Dallol Maouri. Abdou (2004) a, quant à lui, élaboré une fiche descriptive des zones humides au Niger et plus récemment Dan Djima (2013, 2010) a décrit les algues du fleuve Niger et des milieux humides connexes de l'Ouest du Niger.

La zone humide d'Albarkaïzé joue un rôle important dans le cycle hydrologique du fleuve Niger (Abba, 2000). Elle est le lieu de développement par excellence de macrophytes et des algues. Toutes ces espèces végétales comme partout ailleurs (Mangambu et al., 2015) jouent un rôle important dans la vie des communautés locales (alimentation, construction d'habitat, préparation de médicaments).

Les objectifs de cette étude visent à (i) mesurer les paramètres physico-chimiques de la mare d'Albarkaïzé ; (ii) établir les relevés floristiques et (iii) dégager les différents groupements végétaux.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La mare d'Albarkaïzé est située dans le département de Gaya entre 3°13' de longitude Est et 12°04' de latitude Nord (PDC, 2015). Elle fait partie du village d'Albarkaïzé situé aux abords de la plaine d'inondation (figure 1). Elle est localisée sur la rive gauche du fleuve Niger, et s'étend sur environ 100 km de Kouassi à Dolé dans la commune de Tanda qui est limitée à l'Est et au Sud par la commune urbaine de Gaya et la commune rurale de Bana, à l'Ouest par la république du Bénin, au Nord par les communes rurales de Sambéra (Dosso) et Yélou (Gaya) (PDC, 2015 ; DDE, 2010).

Le climat est de type sahélo-soudanien tropical sec caractérisé par une pluviométrie annuelle moyenne supérieur à 600 mm avec une saison des pluies

assez étendue de juin à octobre et une saison sèche de novembre à mai. Aussi deux influences climatiques déterminent le climat de la zone d'étude, à savoir : la mousson et l'harmattan. Les températures moyennes annuelles minimales atteignent 22°C en février alors que celles moyennes élevées frôlent les 35°C en avril (Saadou, 2005).

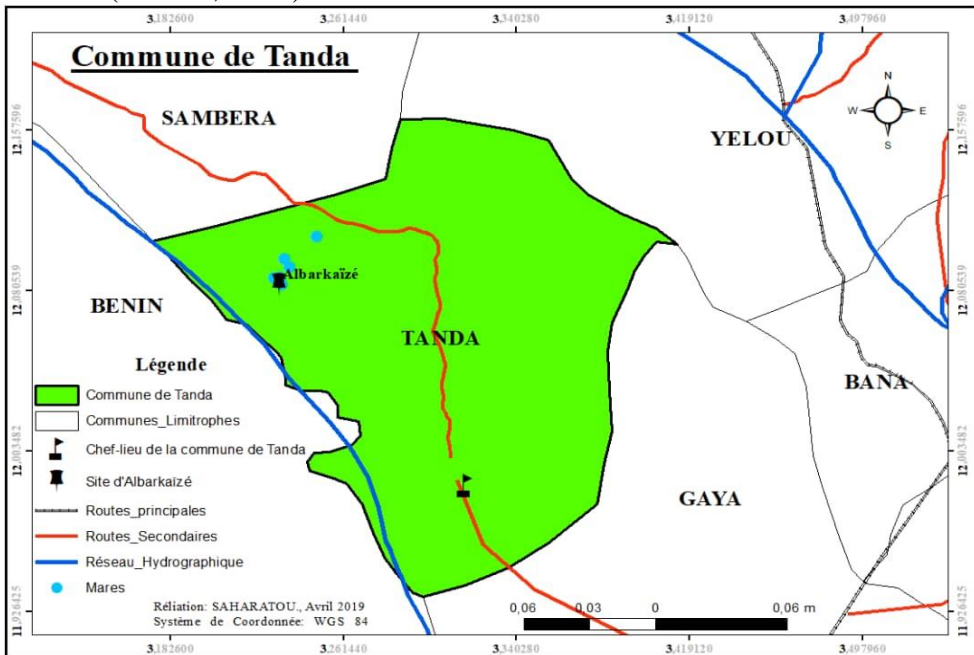


Figure 1. Carte de la commune rurale de Tanda (Gaya) (Saharatuou, 2019)

2.2. Stations d'échantillonnage

Cinq stations d'échantillonnage ont été identifiées de façon à couvrir l'ensemble de la mare (tableau 1). Elles sont disposées de l'amont à l'aval sur toute son étendue prenant ainsi en compte la diversité morphologique et hydrologique du site.

Tableau 1. Coordonnées de différentes stations de prélèvements

Stations	Position		Altitude (m)
ALB1	12°04.947' N	003°13.535' E	137
ALB2	12°05.138' N	003°13.770' E	138
ALB3	12°04.950' N	003°13.760' E	135
ALB4	12°04.963' N	003°13.717' E	136
ALB5	12°04.997' N	003°13.675' E	135

2.3. Prélèvement de l'eau et détermination des paramètres physico-chimiques

Pour les analyses physico-chimiques, des échantillons d'eau ont été prélevés manuellement en septembre 2018 et avril 2019 dans des bouteilles en plastiques de 1 L. Les échantillons sont conservés à 4°C dans des thermos puis transférés au laboratoire pour analyse. Les mesures de la température, l'oxygène dissous, du pH et la conductivité ont été effectuées *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamètres de marque HANNA. Les analyses et déterminations des nutriments ont été effectuées par spectrophotométrie au laboratoire Garba Mounkaila du département de Biologie de la faculté des sciences et technique (Université Abdou Moumouni, Niger).

2.4. Échantillonnage des Hydrophytes

L'échantillonnage a été fait par la méthode des transects et de façon aléatoire (Roussel, 1987 ; Mahamane & Saadou, 2008). Ainsi, des placeaux ont été effectués sur l'eau et ceci en 5 transects perpendiculaires, dont le transect 1 avec 15 relevés, les transects 2, 3, 4 et 5 avec 8 relevés chacun ; ce qui fait au total 47 relevés sur la mare. Le carré de 1 m² est posé au hasard sur les herbes jusqu'au niveau de l'eau puis toutes les espèces présentes dans le carré ont été systématiquement recensées. A l'intérieur du carré les relevés ont été réalisés selon la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet (1932) et cela dans des espaces jugés suffisamment homogènes. Cette méthode a été largement utilisée au Niger pour déterminer les groupements végétaux (Saadou, 1990 ; Ali, 2005 ; Inoussa, 2008 ; Morou, 2010 ; Soumana, 2011). Un échantillon de toutes les espèces est pris dans un sachet étiqueté portant soit son nom scientifique, soit son nom vernaculaire ou une correspondance qui permettra son identification une fois au laboratoire. Les espèces pionnières et celles qui délimitent le bord de la mare ont été également notées ainsi que la profondeur des relevés et les coordonnées géographiques des transects. Au sens de Mahamane (2005), les superficies des relevés sont comprises entre 1 à 10 m² dans les prairies aquatiques. Ainsi, dans le cas de la présente étude la superficie des relevés réalisés a été de 1 m² sur le milieu aquatique (figure 1). Les coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1964) attribués aux espèces sont :

- 5 : espèce couvrant 75 à 100% de la surface du relevé ;
- 4 : espèce couvrant 50 à 75% de la surface du relevé ;
- 3 : espèce couvrant 25 à 50% de la surface du relevé ;
- 2 : espèce couvrant 5 à 25% de la surface du relevé ;
- 1 : espèce couvrant 1 à 5% de la surface du relevé.
- + : espèce couvrant moins de 1% de la superficie du relevé.

L'abondance-dominance exprime le nombre d'individus d'une même espèce et leur coefficient de recouvrement. Ces différents coefficients de recouvrements ont permis plus tard de calculer les recouvrements moyens des espèces dans des lots de relevés ainsi que les fréquences des espèces. En fonction du pourcentage, le coefficient de présence est ainsi déterminé selon une classification proposée par Braun-Blanquet (1964) : De 1 à 20%, classe I, de 21 à 40 %, classe II, de 41 à 60 %, classe III, de 61 à 80 %, classe IV et de 81 à 100 %, classe V.

2.5. Traitement et analyse statistique des données

2.5.1 Etablissement des groupements d'espèces aquatiques

Le traitement des 47 relevés a été réalisé avec le logiciel R. i 386 3.0.3 sous forme de dendrogramme (Patricia et al., 2022). Pour comparer les différents groupements végétaux, l'indice de Sørensen a été utilisé. Il est exprimé par la formule suivante :

$$I_{\text{Sørensen}} = 2a / (2a + b + c)$$

où a est le nombre d'espèces communes aux deux groupements comparés ; b et c sont les nombres d'espèces absentes dans l'un des groupements mais présentes dans l'autre.

2.5.2 Indice de diversité de Shannon Weaver

L'indice de Shannon-Weaver (H) indique la diversité ou la richesse spécifique du milieu, il est donc déterminé par la relation suivante :

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i ;$$

D'une manière générale sa valeur varie de 0 à 4,5 bits (Frontier et al., 2008). La valeur 0 correspond à une diversité faible et les valeurs élevées indiquent un nombre élevé d'espèces qui participent au recouvrement.

p_i (compris entre 0 et 1) est la proportion relative du recouvrement moyen de l'espèce i dans le groupement ; $p_i = n_i / \sum n_i$; avec n_i comme recouvrement moyen de l'espèce i et $\sum n_i$ comme recouvrement total de toutes les espèces.

2.5.3 Indice de l'Équitabilité de Piélou

L'équitabilité est une mesure du degré de diversité atteint par le peuplement, et correspond au rapport entre la diversité effective (H) et la diversité maximale théorique (Hmax). La diversité maximale est alors égale au log à base 2 du nombre de taxons, soit $\log_2 S$.

L'équitabilité varie entre 0 et 1 ; elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus ou le même recouvrement.

$$Eq = H/H_{\text{max}} = H / \log_2 S ; \text{ avec}$$

$H_{\max} = \text{Log}_2 S$: indice de diversité maximale théorique de Shannon dans le peuplement.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physico-chimiques de la mare d'Albarkaïzé

La figure 2 représente les caractéristiques physico-chimiques de la mare. Ainsi, les valeurs moyennes de conductivité, de température et de pH sont respectivement de $110 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, de $32,98^\circ\text{C}$ et 6,88. Quant à la turbidité, elle est en moyenne de 35,04 NTU. La concentration moyenne en oxygène dissous qui est de 8,48 ml/L indique une eau bien oxygénée, favorable au développement des macrophytes et autres espèces fauniques. Seuls les nitrates, les nitrites, l'oxygène dissous et la turbidité présentent de différences significatives entre les stations de prélèvement.

La station ABL 1 présente la plus forte turbidité, ABL 1 et ABL 2 ont les plus fortes concentrations en nitrites ; tandis que les concentrations en nitrates sont plus élevées en ABL 3. Quant aux concentrations en oxygène dissous, elles sont plus faibles en ABL 1 et ABL 4.

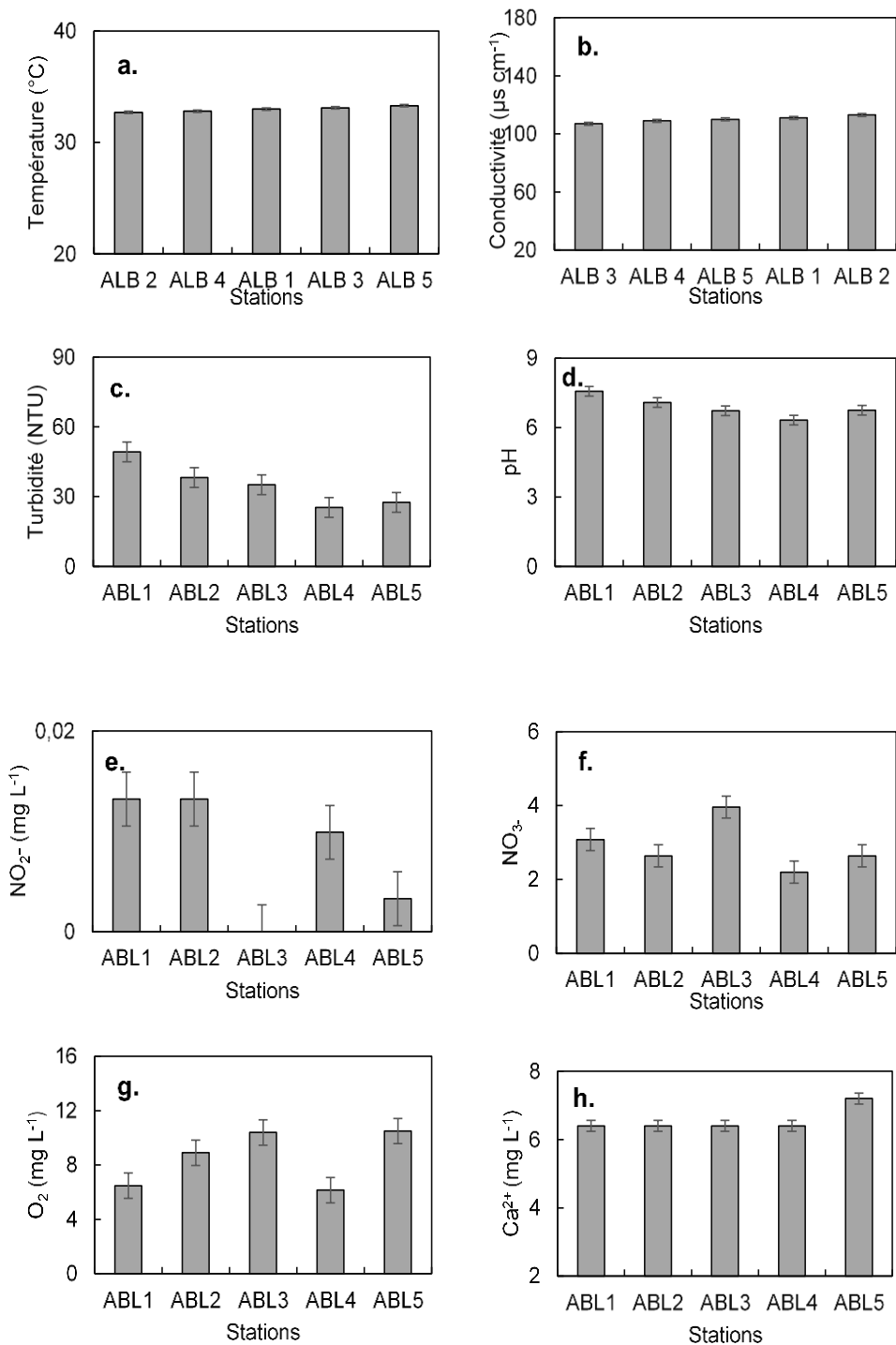


Figure 2. Paramètres physico-chimiques de la mare d'Albarkaizé (a. Température, b. Conductivité, c. turbidité, d. pH, e. Nitrites, f. Nitrates, g. Oxygène dissous, h. ions Calcium)

3.2. Analyse de la flore totale

Au total, 70 macrophytes ont été inventoriées, dont 17 sont aquatiques (Hydrophytes strictes fixées émergées, Hydrophytes strictes fixées immergées, Hydrophytes strictes non fixées flottants), 9 semi-aquatiques (Hydrophytes facultatives) et 44 terrestres (tableau 2). De ces 70 espèces (tableau 2), on dénombre 68 Angiospermes (dont 61 herbacées, 7 ligneuses) et 2 Ptéridophytes.

Les Angiospermes, quant à elles, comptent 46 espèces de dicotylédones (65,71%) et 22 espèces de monocotylédones (31,43 %) réparties dans 26 familles et 52 genres.

Les familles botaniques les mieux représentées sont les Poaceae avec 13 espèces (18,57%); les Fabaceae avec 9 espèces (12,86%); les Convolvulaceae avec 5 espèces (7,14%) ; les Mimosaceae et les Cyperaceae avec 4 espèces (5,71% chacune) (tableau 3). Les genres les mieux représentés appartiennent aux familles des Poaceae (10 genres ; 18,52%) et des Fabaceae (8 genres ; 14,81%). Quant aux familles des Mimosaceae, des Amaranthaceae et des Rubiaceae, elles comptent chacune 3 genres (5,56%). Les genres les plus représentés dans cette flore sont *Ipomoea* avec 5 espèces ; *Cyperus* avec 4 espèces et *Echinochloa* avec 3 espèces.

Les Ptéridophytes, quant à eux, comptent seulement 2 espèces réparties en 2 genres, 2 familles et une seule classe (les Filicineae).

Tableau 2. Répartition taxonomique des macrophytes recensés

Phylum	Classe	Familles		Genres		Espèces	
		Nombre	(%)	Nombre	(%)	Nombre	(%)
Angiospermes	Dicotylédone	20	71,43	36	66,67	46	65,71
	Monocotylédone	6	21,43	16	29,63	22	31,43
Ptéridophyte	Filicinée	2	7,14	2	3,70	2	2,86
Total		28	100	54	100	70	100

Tableau 3. Nombre d'espèces et de genres par familles des macrophytes

Phylum	Classes	Familles	Nombre d'espèces	%	Nombre de genres	%
Angiospermes	Monocotylédones	Poaceae	13	18,57	10	18,52
		Pontederiaceae	1	1,43	1	1,85
		Cyperaceae	4	5,71	1	1,85
		Commelinaceae	2	2,86	1	1,85
		Vitaceae	1	1,43	1	1,85
		Arecaceae	1	1,43	1	1,85
	Dicotylédones	Nymphaeaceae	2	2,86	1	1,85
		Polygonaceae	2	2,86	1	1,85
		Onagraceae	2	2,86	1	1,85
		Mimosaceae	4	5,71	3	5,56
		Amaranthaceae	3	4,29	3	5,56
		Fabaceae	9	12,86	8	14,81
		Convolvulaceae	5	7,14	1	1,85
		Lentibulariaceae	1	1,43	1	1,85
		Sterculiaceae	1	1,43	1	1,85
		Myrtaceae	1	1,43	1	1,85
		Malvaceae	1	1,43	1	1,85
		Tiliaceae	2	2,86	2	3,7
		Rubiaceae	3	4,29	3	5,56
		Asteraceae	2	2,86	2	3,7
		Caesalpiniaceae	1	1,43	1	1,85
		Euphorbiaceae	2	2,86	2	3,7
		Lamiaceae	2	2,86	2	3,7
		Acanthaceae	1	1,43	1	1,85
		Miliaceae	1	1,43	1	1,85
	Bombacaceae	1	1,43	1	1,85	
Ptéridophytes	Filicinées	Azollaceae	1	1,43	1	1,85
		Adiantaceae	1	1,43	1	1,85
Total			70	100	54	100

3.3 Détermination des groupements d'espèces aquatiques

La classification hiérarchique sur la base de la matrice de 47 X 28 espèces a permis de discriminer trois groupements de relevés que l'on peut considérer comme communauté végétale du site d'Albarkaïzé (figure 3).

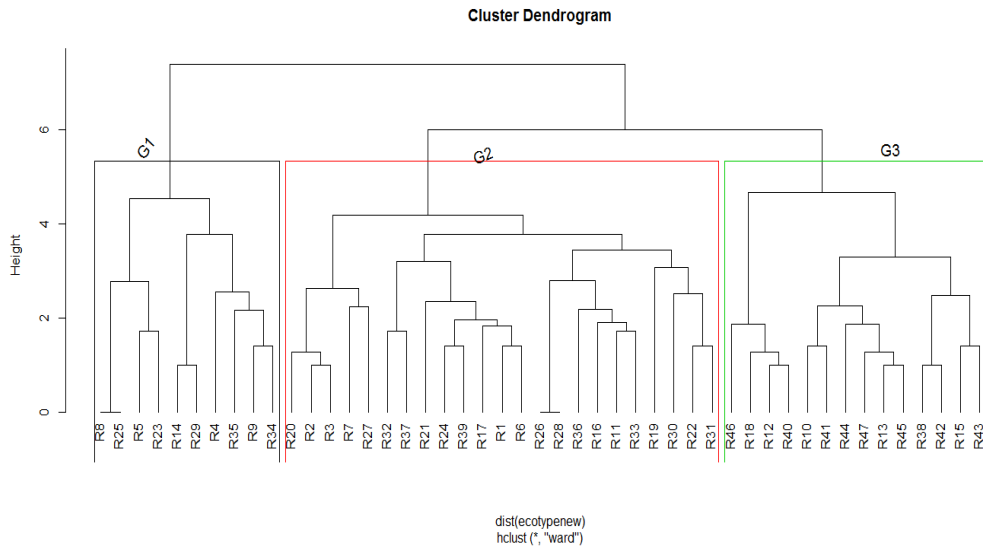


Figure 3. Dendrogramme de similarité des relevés sur le milieu aquatique de la mare d'Albarkaïzé

3.4. Caractérisation des groupements

Les caractéristiques des trois groupements (G1, G2 et G3) mis en œuvre dans ce travail sont données dans le tableau 4. Le groupement 1 comporte 10 relevés, la richesse spécifique est de 17 espèces. L'indice de Shannon $H= 3,60$ bits et l'Équitabilité de Pielou, $E=0,86$. Le groupement 2 comporte 22 relevés avec une richesse spécifique de 21 espèces, un indice de diversité spécifique, $H=3,75$ bits et une équitabilité de Pielou, $E=0,85$. Le groupement 3 est constitué de 15 relevés contenant 14 espèces. Ce groupement a un indice de diversité spécifique de 3,35 et une équitabilité de 0,88.

Tableau 4 .Caractéristiques des groupements identifiés

Groupements	Richesse spécifique	H	E	Nombre de relevé	Isørensen
G1	17	3,60	0,86	10	G1G2= 0,38
G2	21	3,75	0,85	22	G1G3= 0,26
G3	14	3,35	0,88	15	G2G3= 0,37

Pour chaque groupement la composition floristique, les spectres de types biologiques et phytogéographiques ont été décrits avec une analyse de la diversité alpha et de la productivité de la strate herbacée aquatique.

Groupement à *Ludwigia adscendens* et *Eichhornia crassipes* (G1)

Ce groupement se développe dans l'eau avec une profondeur qui varie de 0,23 à 1,3 m et comporte 17 espèces parmi lesquelles *Ludwigia adscendens* et *Eichhornia crassipes* sont les plus dominantes. *Ludwigia adscendens* est présente dans 90 % des relevés avec un recouvrement moyen de 20 % et

Eichhornia crassipes dans 80 % des relevés avec un recouvrement de 17 % (tableau 5). Ainsi *Ludwigia adscendens* possède la plus forte fréquence soit 90 % dans ce groupement.

D'après les populations riveraines *Echinochloa stagnina* est l'espèce pionnière de la mare, *Vetiveria nigritana* est l'espèce aquatique délimitant la mare et *Eichhornia crassipes* est une espèce envahissante.

Groupement à *Echinochloa stagnina* et *Neptunia oleracea* (G2)

Ce groupement évolue dans l'eau et comporte 21 espèces parmi lesquelles *Echinochloa stagnina* et *Neptunia oleracea* sont les plus dominantes. *Echinochloa stagnina* présente une fréquence de 77,27 % avec un recouvrement moyen de 58 % et *Neptunia oleracea* une fréquence de 68,18 % avec un recouvrement moyen de 43 % (tableau 6). Pour ce groupement, les relevés ont été effectués à des profondeurs variant entre 0,53 et 2,4 m.

Groupement à *Nymphaea micrantha* et *Echinochloa stagnina* (G3)

Ce groupement évolue dans l'eau avec une profondeur qui varie de 1,05 à 2,5 m et comporte 14 espèces parmi lesquelles *Nymphaea micrantha* et *Echinochloa stagnina* sont les plus dominantes. *Nymphaea micrantha*, représente à elle seule une fréquence de 76,33 % avec un recouvrement moyen de 31 % et *Echinochloa stagnina* une fréquence de 66,67 % et un recouvrement moyen de 30 % (tableau 7).

3.5. Types biologiques

L'analyse des types biologiques (tableau 8) montre aussi que les Thérophytes occupent la première place avec 29 espèces soit 42,65 %. Les hydrophytes en deuxième place avec 25 espèces soit 36,76 % dont 17 espèces pour les hydrophytes strictes (9 pour les hydrophytes strictes fixées émergées (Hsfie) ; 4 pour les hydrophytes strictes non fixées flottants (Hsfl) et 3 pour les hydrophytes strictes fixées immergées (Hsfii)) et 9 pour les hydrophytes facultatives (Hf). Quant aux Phanérophytes, elles occupent la troisième place avec 7 espèces soit 10,29 % dont 3 pour les Mésophanérophytes (mP), 4 pour les Microphanérophytes (mp). Après viennent les Chaméphytes (3 espèces ; 4,41 %), les géophytes (2 espèces de géophytes rhizomateux (Gr) ; 2,94 %), les héli-cryptophytes et les lianes avec une seule espèce (1 liane géophyte rhizomateux (LGr) soit 1,47%).

Tableau 5. Tableau floristique du groupement à *Ludwigia adscendans* et *Eichhornia crassipes* (G1)

N° de relevé	R4	R5	R8	R9	R14	R23	R25	R29	R34	R35			
Profondeur (m)	0,85	0,85	1,2	1,2	0,23	1,2	1,3	0,34	1,3	1,3			
Surface de Relevés (m²)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Nombre d'espèces par relevé	3	5	6	4	5	6	6	4	4	5			
Espèces											FR(%)	CP	RM(%)
<i>Aeschynomene indica</i> L		1									10	I	3
<i>Azolla africana</i> Desv			3			3	2				30	II	19
<i>Ceratopteris cornuta</i> (P. Beauv.) Lepr.			+				+				20	I	4
<i>Cyperus difformis</i> Linn					+						10	I	2
<i>Echinochloa pyramidalis</i> Hitchc. & Chase										2	10	I	5
<i>Echinochloa stagnina</i> (Petz.) P. Beauv		+	+			+	+				40	II	8
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.		+	+		+	+	+	+	1	+	80	IV	17
<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.				+							10	I	2
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.										3	10	I	7
<i>Lophochloa rahlfsii</i> (<i>Rostraria cristata</i> (L.) Tzvelev)	+										10	I	2
<i>Ludwigia adscendans</i> (L) Hara.		1	+	+	1	+	+	+	+	+	90	V	20
<i>Neptunia oleracea</i> Lour.				1					1		20	I	6
<i>Polygonum lanigerum</i> R. Br.	+										10	I	2
<i>Sacciolepis africana</i> Hubb. & Snowden		+				+					20	I	4
<i>Utricularia stellaris</i> Linn. F					+			+			20	I	4
<i>Vetiveria nigritana</i> (Benth) Stapf.					1			1			20	I	6
<i>Vossia cuspidata</i> (Roxb.) Griff.	2		1	1		+	+		1	3	70	IV	25

Tableau 6. Tableau floristique du groupement à *Echinochloa stagnina* et *Neptunia oleracea* (G2)

N° de relevé	R1	R2	R3	R6	R7	R11	R16	R17	R19	R20	R21	R22	R24	R26	R27	R28	R30	R31	R32	R33	R36	R39				
Profondeur (m)	2,4	2,4	2,4	0,85	1,2	1,05	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	0,53	0,5	2,1	2,1	2,1	1,3	0,53				
Surface de Relevés (m²)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Nombre d'espèces par relevé	3	3	2	3	7	5	5	2	4	4	4	3	3	2	6	2	6	3	5	4	5	3				
Espèces																								FR(%)	CP	RM(%)
<i>Aeschynomene indica</i> L						+																		4,54	I	2
<i>Alternanthera nodiflora</i> L							+																	4,54	I	2
<i>Azolla africana</i> Desv					2				1						+									13,64	I	10
<i>Ceratopteris cornuta</i> (P.Beauv.) Lepr.					+							+					+	+						18,18	I	8
<i>Cyperus difformis</i> Linn					1																			4,54	I	3
<i>Cyperus sp</i>									1															4,54	I	3
<i>Echinochloa obtusiflora</i> Stapf.													1		+					1				13,64	I	8
<i>Echinochloa stagnina</i> (Petz.) p. Beauv	3	1		1	+	+	1	1		+			+	3	+	2	1		1	2	1	1		77,27	IV	58
<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms.		2	4		+					+					+									22,73	II	19
<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.												+					+							9,09	I	4
<i>Ludwigia adscendans</i> (L) Hara.						1	+			+		1		2		1		+	+	1				40,91	III	25
<i>Ludwigia deccurens</i> Walt. Syn.									+		+				+									13,64	I	6
<i>Neptunia oleracea</i> Lour	1	+	+		+	+	+			1	2		1		1		+	1		2	1	1		68,18	IV	43
<i>Numphaea lotus</i> Linn	1			+							1						+		1					22,73	II	13
<i>Numphaea micrantha</i> Guill. & Pers.						1																		4,545	I	3
<i>Oryza barthii</i> A. Chev									2								+			1	+			18,18	I	12
<i>Polygonum salicifolium</i> Willd.					+		+															+		13,64	I	6
<i>Sacciolepis africana</i> Hubb. & Snowden				+							+									+				13,64	I	6
<i>Sesbania leptocarpa</i> DC.									+															4,54	I	2
<i>Vetiveria nigriflora</i> (Benth) Stapf																						1		4,54	I	3
<i>Vossia cuspidata</i> (Roxb.) Griff.																					+			4,54	I	2

Tableau 7.Tableau floristique du groupement à *Nymphaea micrantha* et *Echinochloa stagnina* (G3)

N° de relevé	R10	R12	R13	R15	R18	R37	R38	R40	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47			
Profondeur (m)	1,05	1,05	1,05	1,2	2,3	2,3	2,5	2,5	2,1	2,1	2,1	2,4	2,4	2,5	2,5			
Surface de Relevés (m²)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Nombre d'espèces par relevé	4	3	2	4	1	6	5	2	4	4	4	4	1	4	3			
Espèces																FR(%)	CP	RM(%)
<i>Aeschynomene indica</i> L														+		6,67	I	2
<i>Ceratopteris cornuta</i> (P. Beauv.) Lepr.				+					1					+		20	I	7
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Perr						+										6,67	I	2
<i>Echinochloa obtusiflora</i> Stapf.		1				+										13,33	I	5
<i>Echinochloa stagnina</i> (Petz.) P. Beauv	+		2	1		+	1		2	+	+	1			1	66,67	IV	30
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.				+			+			1	+					26,67	II	9
<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.							+			+	+				+	26,67	II	8
<i>Ludwigia adscendans</i> (L) Hara.						+										6,67	I	2
<i>Melochia corchorifolia</i> L.				+		1					+	1				26,67	II	10
<i>Neptunia oleracea</i> Lour.	+						+		+							20	I	6
<i>Numphaea lotus</i> Linn		+			4	+		2						1		33,33	II	20
<i>Numphaea micrantha</i> Guill. & Pers.	2	+	1				1	+	+	2		1	+	+	+	73,33	IV	31
<i>Polygonum salicifolium</i> Willd.												+				6,67	I	2
<i>Utricularia stellaris</i> Linn. F	+															6,67	I	2

Tableau 8. Types biologiques des espèces recensées

Type biologique	Nombre d'espèces	Total	Pourcentage (%)
Hydrophytes (H) : -Hsfie	9	25	36,76
-Hsfl	4		
-Hsfii	3		
-Hf	9		
Géophytes : -Gr	2	2	2,94
Chaméphytes	3	3	4,41
Thérophytes	29	29	43,65
Lianes	1	1	1,47
Hémi-cryptophytes	1	1	1,47
Phanérophytes : -mp	4	7	10,29
-mP	3		
Total	68	68	100

(mP = Mésophanérophytes ; mp = Microphanérophytes ; Hsfie = Hydrophytes strictes fixées émergées ; Hsfl = Hydrophytes strictes non fixées flottants ; Hsfii = Hydrophytes strictes fixées immergées ; Hf = Hydrophytes facultatives ; Gr = Géophytes rhizomateux ; LGr = Liane géophyte rhizomateux).

4. Discussion

Les relevés floristiques réalisés sur la mare d'Albarkaïzé ont permis d'inventorier 70 espèces de macrophytes. Celles-ci sont réparties dans 50 genres et 28 familles représentant 4,45 % de la flore des Angiospermes du Niger estimée à 1 570 espèces (Saadou, 1998). Les familles les mieux représentées sont les Poaceae (13 espèces, 18,57 %), les Fabaceae (9 espèces, 12,86 %) et les Convolvulaceae (5 espèces, 7,14 %). Ces résultats confirment la dominance de deux grandes familles au Niger, à savoir les Poaceae et les Fabaceae, démontrées par plusieurs études, quel que soit l'endroit où les relevés ont été effectués (Saadou, 1998 ; Mahamane, 2005). La forte présence des Thérophytes témoigne de l'état de l'aridité du sol (Saadou, 1990) sur l'ensemble du territoire national. Cela est confirmé par les travaux de Mahamane (2005) dans le Parc régional du W, qui est le « hot spot » de la biodiversité nationale du Niger, de Morou (2010) sur les plateaux de Kouré à l'Ouest du Niger et de Soumana (2011) sur les parcours pastoraux de la région de Zinder à l'Est du Niger.

D'autres études (Ado et al., 2017) effectuées sur les Poaceae des communes d'Aguié et Mayahi à Maradi dénotent aussi la dominance de ces deux familles. Selon ces auteurs, les Poaceae occupent la première place suivie des Fabaceae. En ce qui concerne la troisième position, des micro-variations des milieux pourraient être la cause principale de dissemblance pour les études. Ainsi, selon Saadou (1990) ce sont les Asteraceae qui viennent après les Fabaceae alors que pour Mahamane (2005), ce sont les Cyperaceae, pour Morou (2010) ce sont les Mimosaceae et pour Soumana (2011), les Convolvulaceae. Les résultats obtenus au cours de cette étude sont conformes

à ceux de Soumana (2011) avec 16 espèces (6,35 %). Ainsi, le coefficient générique est de 76 %. Ce résultat est proche de celui obtenu par Inoussa (2008) qui est de 75 % et supérieur à celui de la flore du milieu drainé de l'Est du fleuve Niger qui est pauvre avec un pourcentage de 45,48 % (Saadou, 1990).

L'analyse des résultats floristiques des 28 espèces aquatiques dont 26 herbacées et 2 ptéridophytes à travers une classification hiérarchique ascendante fait ressortir trois (3) groupements selon le double gradient humidité-profondeur de l'eau. Le coefficient de similitude de Sorensen montre qu'il existe une faible similarité entre ces 3 groupements. Ainsi, le groupement à *Ludwigia adscendens* et *Eichhornia crassipes* (G1) et le groupement à *Echinochloa stagnina* et *Nymphaea micrantha* (G3) possèdent le plus faible coefficient de similitude (Sørensen) soit 0,26 ; ce qui montre que le groupement 1 partage un faible pourcentage de communautés floristiques avec le groupement 3. Il en est de même pour le groupement à *Echinochloa stagnina* et *Neptunia oleracea* (G2) et le groupement à *Echinochloa stagnina* et *Nymphaea micrantha* (G3) avec un coefficient de similitude inférieur à 0,37 de même que G1G2 avec un coefficient de similitude de 0,38.

Du point de vue phytogéographique, les espèces guinéo-congolaises et soudano-Zambéziennes dominent dans tous les trois groupements. Ces résultats sont similaires à ceux de Mahamane (2005) qui trouve 66,67% d'espèces guinéo-congolaise-soudano-Zambéziennes (GC-SZ) et 33,33% d'espèces soudano-Zambéziennes (SZ) pour le groupement à *Echinochloa stagnina*.

Du point de vue types biologiques, les hydrophytes strictes (Hsfie) dominant dans les groupements 2 et 3. Cette dominance est ressortie des travaux de Mahamane (2005) pour le groupement à *Azolla pinnata* et *Ceratopteris cornuta* (75% des hydrophytes strictes). En effet, même sur le plan de la productivité de la biomasse, on peut dire que ces trois groupements sont très différents car le groupement G2 possède la plus forte productivité pour les deux espèces : 0,00009 tonnes/hectare pour *Echinochloa stagnina* et 0,1648 tonnes/hectare pour *Eichhornia crassipes*. Cela signifie que la productivité de *Eichhornia crassipes* est plus importante que celle de *Echinochloa stagnina* dans un même groupement. Une comparaison des groupements aquatiques des espèces entre eux selon le double gradient (profondeur et humidité du sol) a été réalisée. Elle a permis de dresser un classement en zones moins profondes et moins humides et en zones plus profondes et plus humides. Le groupement *Ludwigia adscendens* et *Eichhornia crassipes* (G1) a une profondeur allant de 0,23 à 1,3 m, le groupement *Echinochloa stagnina* et *Neptunia oleracea* (G2) de 0,53 à 2,4 m et le groupement à *Echinochloa stagnina* et *Nymphaea micrantha* (G3) de 1,05

à 2,5 m. D'après ces résultats le groupement à *Echinochloa stagnina* et *Nymphaea micrantha* (G3) occupe l'auréole la plus profonde.

Conclusion

Cette étude a permis d'établir les caractéristiques physico-chimiques de la mare d'Albarkäzé et de recenser à partir des transects les espèces de macrophytes caractéristiques de la zone étudiée. Ces dernières ont été classées selon une classification ascendante hiérarchique en trois principaux groupes en fonction des caractéristiques physiques de leurs habitats.

Conflict d'Interets

Les auteurs de ce manuscrit déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt de quelque nature que ce soit ni entre les auteurs eux-mêmes, ni entre les auteurs et des tierces personnes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Laboratoire Garba Mounkaila ainsi que le département de Biologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour avoir fourni le cadre et le support technique. Nous remercions également les techniciens de ce laboratoire pour leur aide dans l'analyse des échantillons. Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé dans la collecte des données de terrain sans oublier nos piroguiers.

References:

1. Abba, M. (2000). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, 14 pages.
2. Abdou, M. I. (2004). - Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR) : cas de la zone humide du moyen Niger II. Direction de la Faune Pêche et Pisciculture, Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement : 10 p.
3. Aberlin, J-P. (1986). Les grandes unités phytosociologiques au Mali central. Première partie : Les milieux humides. *Feddes Repertorium*, 97 (3-4) : 185-196. DOI:10.1002/FEDR.4910970312
4. Ado, A. M., Moussa S., Ibrahima D. B. & Saadou M. (2017). Floristic Composition of Grass Species in the Parklands of the Commune of Aguié and Mayahi, Niger West Africa. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (2017) 6(4): 2595-2608.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.302>

5. Ali, M. O. (2005). Caractérisation des groupements végétaux de la mare d'Albarkaizé et de son environnement. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieurs de l'IPR/IFRA, 52 pages
6. Assougnon, D. L., Agadjihouédé H., Kokou K. & Lalèyè A. P. (2017). Caractérisation physico-chimique et diversité du peuplement phytoplanctonique des mares au sud de la réserve de faune de Togodo (sud-Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(4): 1920-1936. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.40>
7. Atanle, K., Bawa M. L., Kokou K. & Djaneye-Boundjou, G. (2012). Caractérisation physico-chimique et diversité phytoplanctonique des eaux du Lac de Zowla (Lac Boko), Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6: 543-558. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.48>
8. Boudouresque, E. (1995). La végétation aquatique du Liptako (République du Niger). Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay. N°d'ordre : 3638 E, 385 p.
9. Braun-Blanquet J. (1964). Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. In : Patricia K.A., Fursy Rodelec N.D., François M.D. & Antoine A.T. (2022). 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*, 18 (24). <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p1>
10. Ceillier, I. (2015). L'étude des impacts sur la biodiversité : intégration de la biodiversité dans l'évaluation environnementale des barrages sur les fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest. Université de Sherbrooke, 93p.
11. Djima, I. T. (2013). Les algues du fleuve Niger et des milieux humides connexes de l'ouest du Niger. Thèse de doctorat. Université Abdou Moumouni de Niamey, 189 pages.
12. Djima, I. T., M'baye, N., Mahamane, A. & Saadou, M. (2010). Les Algues des zones humides de Niamey : le genre *Micrasterias* Agardh ex Ralfs (Desmidiaceae) (a). *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, 11-A : 134-141.
13. Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D. & Luczak, C. (2008). Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution. Dunod, 4ème édition, Paris, 558p.
14. Garba, M. (1984). Contribution à l'étude de la flore et de la végétation des milieux aquatiques et des sols hydromorphes de l'ouest de la République du Niger, de la longitude de Dogondoutchi au fleuve Niger. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université de Niamey et Université de Bordeaux II, 149p.

15. Grouzis, M. (1988). Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), Etudes et Thèses, ORSTOM Ed., PARIS, 336 p.
16. IBGE (2005). Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement/Observatoire des Données de l'Environnement, Fiche 2 : 16p.
17. Ichaou, A. & Issaka, A. (2007). Dynamique spatio-temporelle de l'écosystème du site Ramsar du moyen Niger 1 : cas de la mare d'Albarkaïzé. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, Num 187-188, pp 32-43.
18. Inoussa, M. M. (2008). Etude de la végétation d'un site de suivi des feux d'aménagement dans la réserve totale de faune de Tamou. Mémoire DEA, Université de Niamey, 82 pp.
19. Mahamane, A. (2005). Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger. Thèse de Doctorat ès Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Université Libre de Bruxelles, 536 pages.
20. Mahamane, A., Diouf, A., Ambouta Karimou, J. M., Saadou, M., Saadou, E. M., Wata, I.,
21. Mangambu, M. J. D. D., Aluma, K. J.-Y., Ruurd, V. D., Rugenda-Banga, R. A. D., Mushangalusa, K. F., Chibembe, S. A., Ntahobavuka, H. H., Radar, N. B. & Robbrecht, E. (2015). Études ethnobotanique et ethnolinguistique des ressources forestières ligneuses utilisées par la population du couloir écologique du parc national de Kahuzi-Biega (R D. Congo). *European Scientific Journal*, 11(15): 1857 – 7881
22. Mahamane A., Diouf A., Ambouta K. J. M., Saadou M., Elhadji Maman S., Wata I., Ichaou A. & Abassa I. (2007). dynamique spatio-temporelle de l'écosystème du site Ramsar du moyen Niger 1 : cas de la mare de Albarkaïze. *Rev. Fr. Photogramm. Teledetect.*, n°187-188 (2007-3/4).
23. Morou, B. (2010). Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat unique, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, p.198.
24. Patricia K.A., Fursy Rodelec N.D., François M.D. & Antoine A.T. (2022). 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*, 18 (24), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p1>

25. PDC/Gaya), (2015-2019). Plan du développement communal 101 pages.
26. Ramsar (1971). Guide de la Convention sur les zones humides, 110 pages.
27. Roussel, B. (1987). Les groupements végétaux hydrophiles, hygrophiles ET ripicoles d'une région sahélienne (l'Ader Doutchi, République du Niger). Doctorat en Sciences naturelles, Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, UFR de Recherche Scientifique et Technique, 342p.
28. Saadou, M. (1990). La végétation des milieux drainés nigériens à l'est du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université Niamey, Niger, 393 p.
29. Saadou, M. (1998). Eléments constitutifs de la biodiversité végétale du Niger. CNEDD/Ministère du Plan, 129p.
30. Saadou, M. (2004). Fiche descriptive sur les zones humides (Zone humide du moyen Niger II)
31. Sossou, S. D. (2021). Les ardeidae de la zone humide d'importance internationale du sud-est du Benin (site Ramsar 1018) : peuplement, phénologie et influence de quelques paramètres physico-chimiques sur leurs distributions spatio-temporelles, Thèse de doctorat, l'Université d'Abomey-Calavi, 118 p.
32. Soumana, I. (2011). Groupements végétaux pâturés des parcours de la région de Zinder et stratégies d'exploitation développées par les éleveurs Uda'en. Thèse Dr. : Université de Niamey (Niger). 222 p

Effets Insecticide et Insectifuge des Huiles Essentielles de Cinq Plantes Aromatiques Sur la Bruche de Haricot Cultivé en République du Congo

Mpika Joseph
Mboussy Tsoungould Feldane Gladrich
Landou Mankessi Joe Emmanuelle
Ongouya Liana Dalcantara épouse Makanga
Attibayeba Attibayeba

Laboratoire de biotechnologie et production végétale, Faculté des sciences et techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p294](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p294)

Submitted: 10 October 2022
Accepted: 17 February 2023
Published: 28 February 2023

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

Cite As:

Joseph M., Gladrich M.T.F., Emmanuelle L.M.J., Makanga O.L.D. & Attibayeba (2023). *Effets Insecticide et Insectifuge des Huiles Essentielles de Cinq Plantes Aromatiques Sur la Bruche de Haricot Cultivé en République du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 294. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p294>

Résumé

La bruche (*Acanthoescides obtectus* Say) infeste le haricot au champ et en stock. Les dégâts causés par cet insecte sont présents dans toutes les zones de production-du Congo. Outre le tri des graines bruchées fait par les producteurs, les feuilles de *Lippia multiflora* L., *Cymbopogon citratus* Steud., *Chenopodium ambrosioides* L., *Ocimum gratissimum* L. et les rhizomes de *Zingiber officinale* Rosc. sont aussi utilisés comme ingrédients pour lutter contre la bruche. L'étude vise à évaluer l'efficacité des huiles essentielles extraites de cinq plantes sur les bruches. Ces huiles sont extraites par l'hydro distillation sur les feuilles ou les rhizomes à l'état frais ou sec. Leurs effets contre la bruche sont évalués *in vitro* par test de répulsion, de contact et de fumigation avec ou sans graines. Il ressort une forte répulsion de cinq huiles vis-à-vis des bruches. L'huile de *C. ambrosioides* extraite à l'état sec a un taux de répulsion de 98,13%. A 0,007 µl/cm², les taux de mortalité des bruches de 78,75% et 61,25 % sont notés avec *C. ambrosioides* extraites à l'état sec et à l'état frais. A l'état sec, ceux-ci de 78,75 % et 71,25 % sont observées avec *C. ambrosioides* et *L. multiflora*. A 0,01 µl/g de graines, les taux de mortalité de

61,25 %, 50 %, 42,50 % et 38,25 % sont observées avec *C. ambrosioides*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *Z. officinale* extrait à l'état sec. A 0,002 μ/cm^3 après 6 h d'inhalation, les taux de mortalité de 78,75 %, 71,25 %, 51,25 %, 48,75 % et 48,75 % sont enregistrés avec *C. ambrosioides* et *L. multiflora*, *O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale* extraites à l'état frais. A l'état sec, les taux de 61,25% et 50 % sont obtenus avec les huiles de *C. ambrosioides* et *C. citratus*. L'efficacité *in vitro* avérée de cinq huiles est en cours d'évaluation en plantation contre la bruche.

Mots-clés: Bio insecticide, fumigation, contact avec graines, répulsion, mortalité des bruches

Insecticidal and Repellent Effects of Essential Oils of Five Aromatic Plants on Bean Weevil Grown in the Republic of Congo

Mpika Joseph

Mboussy Tsoungould Feldane Gladrich

Landou Mankessi Joe Emmanuelle

Ongouya Liana Dalcantara épse Makanga

Attibayeba Attibayeba

Laboratoire de biotechnologie et production végétale, Faculté des sciences et techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

Abstract

The coleopteron (*Acanthoescides obtectus* Say) infests beans in the field and in storage. The damage caused by this insect is present in all production areas of Congo. In addition to the sorting of seeds by producers, leaves of *Lippia multiflora* L., *Cymbopogon citratus* Steud, *Chenopodium ambrosioides* L., *Ocimum gratissimum* L. and rhizomes of *Zingiber officinale* Rosc. are also used as ingredients to control bruchid. The study aims to evaluate the efficacy of essential oils extracted from five plants on bruchids. These oils are extracted by hydro distillation of fresh or dried leaves and rhizomes. Their effects against *Acanthoescides obtectus* are evaluated *in vitro* by repulsion, contact and fumigation tests with or without seeds. Five oils were found to be highly repellent to bruchids. The *C. ambrosioides* oil, extracted in the dry state had a repulsion rate of 98.13%. At 0.007 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ the mortality rates of 78.75% and 61.25% were noted with dried and fresh extract of *C. ambrosioides*. In the dry state, *C. ambrosioides* and *L. multiflora* recorded 78.75% and 71.25% at 0.01 $\mu\text{l}/\text{g}$ of seed. Moreover, the mortality rates of

61.25%, 50%, 42.50% and 38.25% were observed with *C. ambrosioides*, *C. citratus*, *O. gratissimum* and *Z. officinale* when extracted dry. At 0.002 μ g/cm³ and after 6h of inhalation, mortality rates of 78.75%, 71.25%, 51.25%, 48.75% and 48.75% were recorded with fresh extracts of *C. ambrosioides* and *L. multiflora*, *O. gratissimum*, *C. citratus* and *Z. officinale*. In the dry state, mortality rate of 61.25% and 50% are obtained with *C. ambrosioides* and *C. citratus* oils. The proven *in vitro* efficacy of five oils against *A. obtectus* is being evaluated in plantations.

Keywords: Bio insecticide, fumigation, seed contact, repellency, bruchid mortality

1. Introduction

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse cultivée pour ses graines comestibles. Ces graines occupent une place importante dans l'alimentation humaine et animale. Elles sont riches en protéines (teneur deux à trois fois plus élevée que la plupart des céréales), constituent une bonne source d'énergie, et fournissent de nombreux éléments minéraux essentiels comme le fer et le calcium (Stanton, 1950 ; Anonyme, 2001). Dans la plupart des pays à faibles revenus, près de 10% de la consommation journalière de protéines et près de 5% de l'apport énergétique proviennent des légumineuses (Anonyme, 2001). Outre la valeur nutritionnelle, les légumineuses sont principalement cultivées pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce aux rhizobiums, et pour rompre les successions céréalières préjudiciables aux rendements et aux productions à travers les assolements (Demol et al. 2002 ; Freytag & Debouck, 2002). Malheureusement ces légumineuses dont les cultures de haricots se caractérisent très souvent par des rendements faibles et instables (Baudoin, 2001 ; Bouwmeester et al. 2009). Cela s'explique, en particulier, par leur sensibilité aux contraintes biotiques et abiotiques (Mbukula et al. 2018 ; Bayuelo-Jiménez et al. 2003). Pour les contraintes biotiques, les cultures de haricots sont sujettes à des nombreuses attaques de divers insectes nuisibles et des maladies qui peuvent entraîner d'importants dégâts en l'absence de moyens de lutte appropriés (Mahuku et al. 2002 ; Caixeta et al. 2003 ; Beebe et al. 2013 ; Mwanauta et al. 2015). Les pertes dues aux insectes sont considérables dans les pays où les techniques modernes de stockage ne sont pas encore introduites. Les coléoptères Bruchidae, dont les larves ne consomment et ne se développent que dans les graines, sont l'une des très rares familles à avoir colonisé les légumineuses (Caswell, 1960). Parmi ceux-ci, la bruche du haricot, *Acanthoscelides obtectus* Say est un insecte cosmopolite potentiellement ubiquitaire, pouvant infester les graines de sa plante hôte *Phaseolus vulgaris* à la fois au champ et en stock. Le Congo n'est pas épargné des dégâts causés par ces bruches dans les régions

productrices de haricots. Les dégâts importants sont enregistrés sur les deux localités pilotes, Boko-Songho et Loudima, retenues dans le cadre du projet « Petits fermiers » conduit par le Programme des Nations Unies pour l'alimentation (PAM). L'importance des dégâts occasionnés par la bruche du haricot en culture et en stock contraint l'agriculteur à recourir à des mesures de protection (Ferron & Deguine, 2004). Les pratiques culturales sont utilisées pour aider à réduire l'incidence d'infestation de bruches de haricots. Ces pratiques incorporent la destruction des résidus de récolte qui peuvent contenir les bruches, la stratégie de récolte des gousses récoltées au fur et à mesure de leur maturité ou récolte groupée des gousses matures et un planting précoce. Toutefois, il est difficile de supprimer effectivement toutes les sources de bruches pour obtenir une bonne protection en condition de forte pluviosité favorable à la pullulation. Le tri des haricots est une pratique habituelle dans les zones de production au Congo. Mais les grains bruchés sont rejetés, et elles peuvent éventuellement constituer une source de ré-infestation (Delobel & Epounga-Mouinga, 1984). Au regard des insuffisances des méthodes de lutte ci-dessus mentionnées, la lutte chimique par l'utilisation des insecticides représente l'une des méthodes la plus utilisée contre ces insectes ravageurs. Mais, il existe des espèces parmi *Acanthoscelides obtectus* présentant une grande résistance aux insecticides classiques (Regnault-Roger & Hamraoui, 1995). Par ailleurs, leur toxicité et leur usage intensif et abusif engendrent des effets néfastes secondaires, scientifiquement démontrés, sur la santé humaine, la biocénose, la perturbation des niches écologiques et de l'environnement (Sun & Davidson, 1996). Les exigences environnementales et sanitaires obligent l'usage phytobiocides ou phyto-insecticides qui sont éco-compatibles, non toxiques pour l'homme et plus efficaces que les insecticides de synthèses (Hall & Menn, 1999). Les plantes aromatiques sont couramment utilisées par les producteurs congolais comme phytobiocides ou phyto-insecticides pour lutter contre les bruches du haricot. Les effets insecticides ou insectifuges avérés ou non vis-à-vis des bruches du haricot n'ont pour fondement leurs connaissances empiriques. Les huiles essentielles extraites des plantes aromatiques seraient impliquées dans leur usage comme ingrédients dans les méthodes de lutte traditionnelle contre les bruches du haricot dans des zones productrices du Congo. L'étude vise à évaluer l'efficacité des huiles essentielles extraites des cinq plantes aromatiques utilisées par les producteurs congolais sur les bruches du haricot.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE) utilisées ont été extraites des feuilles de *Lippia multiflora* L. « Bulukutu », *Cymbopogon citratus* Steud. « Citronnelle », *Chenopodium ambrosioides* L. « Makaya mukuyu » et

Ocimum gratissimum L. « Matsusu-tsusu » ainsi que des rhizomes de *Zingiber officinale* Rosc. « Tangawiss ». Les cinq plantes sont identifiées comme ingrédients dans les méthodes traditionnelles de lutte contre les bruches dans les régions productrices de haricots au Congo. Les feuilles (4kg) de ces quatre plantes ont été récoltées à AgriCongo-Mayanga dans la zone périurbaine de Brazzaville. 8 kg des rhizomes de *Zingiber officinale* ont été achetés au marché de Bacongo (arrondissement n°2) de Brazzaville. Avant l'extraction des HE, les organes ont été transportés au laboratoire, rincés deux fois à l'eau de robinet pour enlever les débris inertes (poussières) et vivants (fourmis...). Ces organes ont été divisés en deux lots. Les organes du premier lot ont été utilisés à l'état frais ; ceux du second lot ont été séchés à l'abri de la lumière pendant 10 jours. Pour ces deux lots, l'extraction est faite par hydro distillation sur un extracteur de type Clevenger (Clevenger, 1908). C'est ainsi que, 500 g d'organe frais ou séché ont été introduits dans un ballon de 6 litres contenant 2 litres d'eau du robinet. Le mélange a été porté à ébullition pendant 3 h 30 minutes (soit 1h30 pour le chauffage du ballon et 2h pour l'extraction). La vapeur émise a monté jusqu'à un condensateur formant un condensat. Le condensat a été retombé dans la petite burette. L'huile flottante sur l'eau dans la burette a été progressivement renvoyée dans le ballon chauffé par le conduit en diagonale. Après 2 h d'extraction, l'HE a ensuite été récupérée avec de l'éther diéthylique pour favoriser le flottement de l'huile sur l'eau grâce à une micropipette. Pour sécher toutes les traces d'eau contenues dans l'huile recueillie, le sulfate de magnésium anhydre $MgSO_4$ a été utilisé. L'HE extraite a été conservée dans un flacon hermétiquement fermé à 4°C au réfrigérateur avant l'évaluation de leur action insecticide ou insectifuge sur labruche du haricot.

2.2. Analyse physico-chimique des huiles essentielles extraites

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse d'HE obtenue et la masse sèche du matériel végétal à traiter (Kaid, 2004).

$$R = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \text{ où}$$

R : rendement en HE exprimé en %

m 1: masse totale des HE en gramme

m 2 : masse totale d'échantillon en gramme

Pour déterminer les composés chimiques, 10 mg d'échantillon d'HE ont été dérivatisés par addition de 250 µl de N, O-Bis (trimethylsilyl) trifluoroacetamide, Trimethylchlorosilane (BSTFA + TMCS, 99 :1) et de 250µl de pyridine. Le mélange a été homogénéisé pendant 2 mn à l'aide d'un vortex, puis porté à 70 °C à l'étuve pendant 30 min. Ainsi, 1µl de la solution obtenue a été injecté dans la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) pour séparer les molécules de ce mélange

gazeux ainsi que pour détecter et identifier des composés en fonction de leur rapport masse sur charge. L'analyse par GC-MS est réalisée sur un appareil de marque Perkin Elmer, modèle Clarus 680GC 600C MS doté d'une colonne Restek Rtx-5ms de 60 m de longueur, d'un diamètre intérieur de 0,25 mm et d'une épaisseur de film de la phase stationnaire de 0,25 μm .

2.3. Élevage de masse des bruches

Les imagos de bruche (*A. obtectus*), utilisés pour l'évaluation de l'action insecticide ou insectifuge des HE extraites, sont obtenus à partir des graines colletées sur les pieds de plantations d'essai dans les localités de Kimongo, Lissièmi et Boko songho en République du Congo. L'élevage des bruches de haricots est effectué au sein du laboratoire afin d'obtenir une population massive et homogène. Ces graines ont été triées pour éliminer les bruchées, puis lavées pour éliminer les graines endommagées et enlever toutes les traces de résidus des produits chimiques utilisés lors du stockage. Ensuite, les graines ont été placées au réfrigérateur pendant une semaine, puis à l'étuve à 50°C pendant 2 heures pour éliminer les œufs résiduels et les larves de bruches. Avant l'usage, les graines traitées ont été conditionnées dans des bocaux en verre de 1000 cm^3 . L'élevage en masse a été effectué dans ces bocaux en verre. En effet, dans un bocal de 1000 cm^3 , 60 bruches ont été mises en contact avec 100g des graines de haricot. Ces bruches sont de sexes confondus et d'âges indéterminés. Elles constituent ainsi la première génération. Les bocaux en verre ont été ~~soit~~ placés à la température de $25\pm 2^\circ\text{C}$, l'hydrométrie moyenne de $70\pm 5\%$ et en photophase de 12h (LD12 :12). Après 15 jours d'incubation, le contenu des bocaux a été tamisé afin d'éliminer les bruches vivantes et mortes. Les individus de la 2^e génération ont été utilisés pour les tests biologiques. Le cycle complet de l'élevage de masse est de 45 jours.

2.4. Effets des huiles essentielles sur les bruches de haricot

L'effet insecticide et insectifuge des HE extraites de cinq plantes aromatiques sur les bruches est évalué par trois tests *in vitro*. Le premier test, est un test de répulsion des HE vis-à-vis des bruches sur les deux moitiés du papier filtre réunies dont l'une contient l'huile et l'autre non. Le second test de contact de l'HE sur papier filtre avec ou sans graines de haricot. Le test consiste à mesurer la toxicité à *A. obtectus* selon la dose et la durée d'exposition des HE. Le troisième test de fumigation avec ou sans graines de haricot. Il consiste à évaluer la toxicité sur la bruche de haricot par inhalation en présence de l'HE.

Le test de répulsion HE vis à vis *A. obtectus* a été réalisé dans des boîtes de pétri de 9 cm. Ce test permet d'évaluer l'effet insectifuge des huiles vis-à-vis d'imagos d'*A. obtectus* en déterminant le taux de répulsion par la

méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par (McDonald et al. 1970). Des disques de papier filtre (Whatman HPL3.1) de 9 cm de diamètre ont été coupés en deux parties égales (31,80 cm² chacune). Quatre solutions ont été préparées avec des volumes respectifs de 0,5 ; 1 ; 2 et 4 µl des HE diluées respectivement dans l'acétone 0,5 ml. Chacune de solutions obtenues est répartie uniformément sur l'un de demi-disque du papier filtre. L'autre moitié du papier reçoit uniquement de 0,5 ml d'acétone servant de témoin. Après 10 minutes d'évaporation complète de l'acétone, les concentrations respectives de 0,015 ; 0,031 ; 0,062 et 0,125 µl/cm² de surface ont été obtenues par les demi-disques traités par la solution (HE + acétone). Les deux demi-disques ont été rassemblés par une bande adhésive transparente et placés dans les boîtes de pétri. Ensuite, 20 imagos *A. obtectus*, de sexe confondus, âgés deux jours ont été disposés au centre de chaque boîte de pétri. Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque volume de chacune de ces huiles. Les boîtes de pétri ont été placées sur la palliasse à une température moyenne de 25 ± 2° C avec une humidité relative moyenne de 75 ± 5 %. Au bout deux heures, le dénombrement des *A. obtectus* présents est réalisé sur les deux demi-disques. Le pourcentage de répulsion (PR) a été calculé par la formule de McDonald et al. (1970) suivante:

$$PR (\%) = \frac{Nc - Nt}{Nc + Nt} \times 100$$

Nc : nombre d'insectes présents sur la partie du disque traité uniquement à l'acétone ;

Nt : nombre d'insectes présents sur la partie du disque traité uniquement avec la solution (acétone + HE).

Le taux de répulsion pour chaque HE vis-à-vis d'*A. obtectus* a été calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives variant de 0 à 5 (McDonald et al. 1970).

Tableau 1. Classification de la répulsivité des huiles essentielles selon (McDonald et al. 1970)

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
0	PR ≤ 0,1%	N'est pas répulsive
I	00,1 < PR ≤ 20%	Très faiblement répulsive
II	20,1 < PR ≤ 40%	Faiblement répulsive
III	40,1 < PR ≤ 60%	Modérément répulsive
IV	60,1 < PR ≤ 80%	Répulsive
V	80,1 < PR ≤ 100%	Très répulsive

L'évaluation de l'action insecticide des HE sur la bruche a été réalisée par les tests par contact sur papier filtre avec ou sans graines de haricot. Sur papier filtre sans graines, les volumes des HE 0 ; 0,5 ; 1 ; 2 et 4 µl ont été dilués chacun dans 1 ml d'acétone. Les concentrations respectives de 0 ; 0,007 ; 0,015 ; 0,031 et 0,062 µl/cm² des HE obtenues sont répandues

identiquement (1 ml) sur les disques de papier filtre Whatman (HPL3.1) de 9 cm de diamètre (63,6 cm² de surface). Après 20 minutes d'évaporation complète d'acétone, 20 bruches de haricots âgées de deux jours ont été introduites et placées au centre des disques. Un lot témoin non traité (0 µl) a été réalisé. Quatre répétitions sont effectuées par concentration. L'incubation des boîtes de Pétri a été effectuée sur la paillasse à une température moyenne de 25 ± 2° C avec une humidité relative moyenne de 75 ± 5 % pendant 48 heures. Les mortalités ont été dénombrées toutes les 12 heures.

Sur papier filtre avec graines, 50 g de graines du haricot ont été introduites dans le bocal en verre de 250 cm³ de volume. Les solutions (HE + acétone) sont préparées en mélangeant les volumes de 0,5 ; 1 ; 2 et 4 µl de l'HE et 1 ml d'acétone servant de solvant. Il est prélevé 1 ml de chaque solution et répandue sur les graines contenues par bocal en verre. Après l'agitation du mélange pendant 5 minutes pour faciliter l'imprégnation des graines par l'HE, il est procédé à l'évaporation de l'acétone pendant 20 minutes. Des doses des HE de 0, 0,01 ; 0,02 ; 0,04 et 0,08 µl/g de graines ont été obtenues. Après l'évaporation de l'acétone, 20 imagos âgées de deux jours ont été introduits dans chaque bocal en verre recouvert d'un tissu poreux. Un lot témoin a été réalisé uniquement à l'acétone (1 ml) et quatre répétitions sont effectuées par dose. L'ensemble des bocaux en verre a été placé sur la paillasse à une température moyenne de 25 ± 2° C avec une humidité relative moyenne de 75 ± 5 %. Les imagos morts ont été dénombrés toutes les 12 heures pendant 2 jours.

L'évaluation de l'action insecticide des HE sur bruches est réalisée par le test par fumigation ou inhalation avec ou non des graines de haricot. Ce test a été effectué sur des bocaux en verre de 270 cm³ de volume à couvercle étanche. Pour la fumigation en absence des graines, 0,5 µl, 1 µl, 2 µl et 4 µl HE ont été dilués à 0,1 ml d'acétone. Ainsi, 10 µl de chaque solution a été répandu sur ces carrés de papier filtre (Whatman HPL3.1) de 4 cm² de surface. Ces carrés sont fixés chacun à l'aide d'un fil noir au centre de la face interne des couvercles afin qu'ils prennent la mi-hauteur du bocal en verre. Après 20 minutes d'évaporation complète d'acétone, les concentrations respectives de 0,002 ; 0,004 ; 0,007 et 0,015µl/cm³ des HE sont obtenues au sein de ces bocaux. Parallèlement, le témoin reçoit uniquement 0,1 ml d'acétone. Après l'évaporation, 20 imagos de sexes confondus et âgés de trois jours ont été déposés dans chacun un bocal. Chaque dose est répétée quatre fois. L'ensemble des bocaux en verre a été placé sur la paillasse à une température moyenne de 25 ± 2° C avec une humidité relative moyenne de 75 ± 5 % pendant 24 heures. Dans chaque bocal, le dénombrement des individus morts a été effectué après 6, 12 et 24 heures. Pour la fumigation ou inhalation avec des graines, 50 g des graines du haricot et 20 imagos de sexes confondus et âgés de trois jours ont été introduits dans chacun des bocaux en verre de 270

cm³ de volume à couvercle étanche. L'incubation et le dénombrement des bruches mortes ont été effectués dans les mêmes conditions.

Pour les tests de contact ou fumigation avec ou sans graines du haricot, après le dénombrement des bruches mortes, le taux de mortalité par bocal ou boîte de pétri a été calculé. Les taux de mortalité des bruches dans les bocaux traités sont exprimés par la formule d'Abbott (1905) citée par (Ndomo et al. 2009) en pourcentage de mortalité corrigée (MC), en tenant compte du pourcentage de mortalité naturelle enregistré dans les bocaux témoins (Mt) :

$$MC = \frac{M0 - Mt}{100 - Mt} \times 100$$

La méthode de Bliss (1938) citée (Ndomo et al. 2009) a été utilisée pour déterminer la DL50 telle que décrite ci-dessous.

Soit $y = ax + b$ (2) l'équation de la droite de régression définie par l'équation :

$$x = \frac{y - b}{a}$$

Où

x = log (concentration) ;

y = probit de mortalité ;

a = pente de la droite ;

b = insertion de la droite de régression avec l'axe des ordonnées.

Où

x = log (concentration) ;

y = probit de mortalité ;

a = pente de la droite ;

b = insertion de la droite de régression avec l'axe des ordonnées.

Pour concentration = DL50, on a :

$$\text{Log DL50} = \frac{y - b}{a} \leftrightarrow \text{DL50} = 10^{\frac{y-b}{a}}$$

4. Analyse des données

Le logiciel XLSTAT version 7.5.3-a été utilisé pour toutes les analyses statistiques. Pour l'extraction et les tests confrontation directe ou indirecte entre les HEs et les bruches, l'analyse de variance (ANOVA) ont porté sur le taux moyen d'extraction, le taux de répulsion et le taux de mortalité des bruches du haricot. Après vérification de la normalité de distribution des résidus et celle de l'homogénéité des variances des sous populations analysées, la comparaison de moyennes des variables mesurées a été réalisée par le test-Student Newman et Keuls au seuil de risque de 5%. Le modèle linéaire s'écrit $Y = \mu + T + \varepsilon$. Où, Y est la variable réponse; μ la moyenne générale; T, représente le traitement; ε , l'erreur ; ε_{ij} est supposé être normalement distribué avec une moyenne nulle et une variance σ^2 , c'est à dire, $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

5. Résultats

5.1. Caractéristiques physico chimiques des huiles essentielles extraites

Toutes les HE extraites des cinq espèces végétales sont de couleurs jaune et blanc d'œuf. Pour une espèce végétale donnée, il existe une nuance de la couleur entre l'HE extraite d'organes frais et secs. Les HE extraites d'organes secs sont jaunes ocres comparées à celles obtenues d'organes frais (Tableau 1).

Tableau 2. Couleur des huiles essentielles extraites d'organes frais ou secs

Espèces végétales	Couleurs	
	Organe frais	Organes sec
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Jaune poussin	Jaune moutarde
<i>Cymbopogon citratus</i> Steud.	Blanc d'œuf	Jaune poussin
<i>Lippia multiflora</i> L.	Jaune clair	Jaune de Naples
<i>Ocimum gratissimum</i> L.	Blanc d'œuf	Jaune poussin
<i>Zingiber officinale</i> Rosc.	Blanc	Jaune champagne

On note une amélioration du rendement d'extraction des HE extraites d'organes secs (Figure 1). Avec l'HE d'*Ocimum gratissimum*, le taux d'extraction est de 1,01% et 0,46 % sur les feuilles sèches et fraîches. Il y a aussi une différence dans le taux d'extraction selon la plante aromatique. Les taux de 0,94% et 1,01% sont enregistrés avec les HE de *Lippia multiflora* et d'*O. gratissimum* extraite des feuilles séchées à l'abri du soleil. Ces taux sont élevés à 0,36%, 0,36% et 0,32% indiquées chez *Cymbopogon citratus*, *Zingiber officinale* et *Chenopodium ambrosioides*. Les résultats de l'analyse statistique révèlent un effet « espèce de plante » et « état d'organe » significatif dans le rendement d'extraction de l'HE. Pour *O. gratissimum*, le rendement de 1,01% est plus significatif par rapport à ceux des autres plantes. Sur les organes frais ou secs, l'analyse de variance permet de distinguer cinq groupes homogènes (a, b, c, d et e) des espèces de plantes étudiées groupes distincts selon le rendement d'extraction des HE (Figure 1).

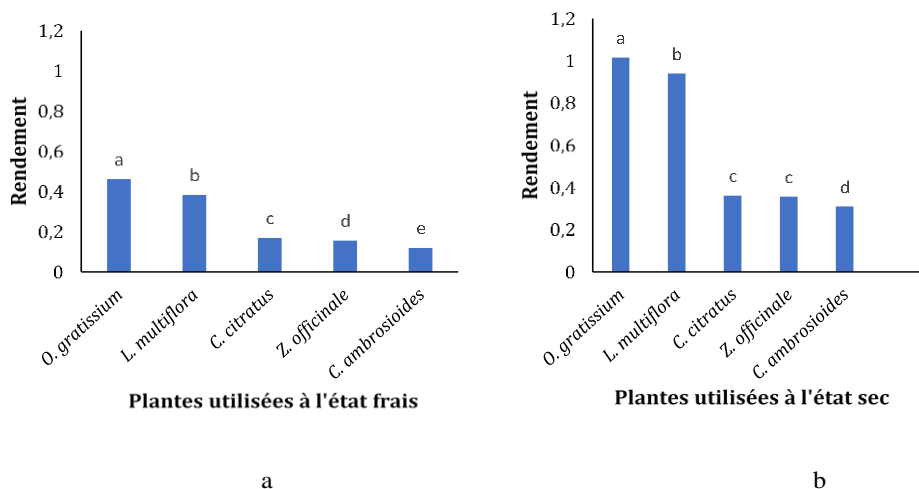


Figure 1. Taux d'extraction des huiles essentielles extraites des plantes aromatiques

Excepté *C. citratus*, l'analyse chromatographique des HE permet de mettre évidence le thymol et o-cymene dans les quatre plantes aromatiques (Tableau 3). Le thymol est représenté à plus de 90 % dans les HE d'*O. gratissimum* extraites sur les feuilles fraîches ou sèches. Les proportions de 71,1 % et 52,6% du thymol sont enregistrées dans l'HE de *Z. officinale* extraite des rhizomes secs et de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches. L'o-cymene est représenté à 17,4% dans l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches. Avec une proportion inférieure à 5%, l'o-cymene est présent dans toutes les autres HE testées. Outre *O. gratissimum*, les composés β -citral et α -citral sont identifiés dans les quatre autres HE. Mais, le β -citral est absent d'HE de *C. ambrosioides* et *C. citratus* extraites des feuilles sèches. Avec ce composé, l'occurrence 32,6% est observée dans l'HE de *C. citratus*. Cette occurrence est plus importante par rapport à 24,2 % et 26,2 % enregistré dans les HE de *C. ambrosioides* et *L. multiflora*.

Excepté l'huile de *L. multiflora* extraite des feuilles sèches, le α -citral est identifiée dans toutes les HE. Avec les feuilles fraîches, le α -citral est représenté à une forte proportion de 40,5%, 47,1% et 52,6% dans l'HE de *C. ambrosioides*, *L. multiflora* et *C. citratus*. Le (2Z)-2-(3,3-dimethylcyclohexylidene) n'est identifié qu'à 44,6% dans l'HE de *C. citratus* extraite des feuilles sèches. Il en est de même pour les composés 1-imidazol-1-yl-2,2-dimethylpropan-1-one, D-carvone et 2,4-ditert-butyl-2,4-adamantanediol identifiés dans l'HE de *L. multiflora*. Avec *Z. officinale*, sur les rhizomes secs et frais, il est identifié zingiberene, β -sesquiphellandrene et tert-butyl (2E)- 3,7-dimethyl-2,6-octadienoyl. Cependant, le constituant α -curcumene n'est identifié dans l'HE de *Z. officinale* extraite de rhizomes secs.

Toutes ces molécules ne sont pas présentes dans les HE de *C. ambrosioides*, *C. citratus*, *L. multiflora* et *O. gratissimum* (Tableau 3).

Tableau 3. Composés majeurs d'huiles essentielles de 5 plantes aromatiques extraite des organes frais et secs

Nom de composés	<i>Chenopodium ambrosioides</i>		<i>Cymbopogon citratus</i>		<i>Lippia multiflora</i>		<i>Ocimum gratissimum</i>		<i>Zingiber officinale</i>	
	Frais	Sec	Frais	Sec	Frais	Sec	Frais	Sec	Frais	Sec
β-Citral	24,2	0	32,6	0	26,2	0	0	0	2,0	0,7
α-Citral	40,5	1,9	53,7	30,0	47,1	0	0	0	3,5	1,1
Thymol	27,8	52,6	0	0,4	7,7	21,9	92,6	93,7	0,8	71,1
o-Cymene	3,2	17,4	0	4,5	0,3	4,9	3,0	2,4	0,8	2,7
2-Bornene	0	13,9	0	0	0	0	0	0	0	0
(2Z)-2-(3,3-Dimethylcyclohexylidene) ethanol	0	0	0	44,6	0	0	0	0	0	0
1-Imidazol-1-yl-2,2-dimethylpropan-1-one	0	0	0	0	0	16,9	0	0	0	0
D-Carvone	0	0	0	0	0	10,9	0	0	0	0
2,4-Ditert-butyl-2,4-adamantanediol	0	0	0	0	0	10,9	0	0	0	0
α-Curcumene	0	0	0	0	0	0	0	0	10,9	
Zingiberene	0	0	0	0	0	0	0	0	18,7	5,9
β-Sesquiphellandrene	0	0	0	0	0	0	0	0	11,8	2,8
tert-Butyl(2E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienoyl	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3	1,7
Total identified compounds (%)	92,5	83,9	86,3	74,6	81	60,6	95,6	96,1	53,7	77

5.2. Effet insectifuge des huiles essentielles sur bruches de haricot

Les HE se sont montrées répulsives vis à vis des bruches d'*A. obtectus* même à la plus faible dose de 0,015 µl/cm² (tableau 4). Cette activité augmente avec les doses de l'HE après 2 heures d'exposition. A la plus forte dose de 0,125µl/cm², la répulsion varie de 85% à 100% avec les HE de *Z. officinale* et *C. ambrosioides* extraites d'organes frais. Le taux de répulsion des HE extraites d'organes secs est plus important comparé à celui obtenu sur les organes frais. A l'état frais, les taux moyens de répulsion de 61,81% et 93,75 % sont enregistrés avec l'HE de *C. citratus* et *C. ambrosioides*. Cette dernière HE est très répulsive. A l'état sec, il en ressort que les HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides* sont très répulsives avec des taux de 93,13% et 98,13% ; celle d'*O. gratissimum* l'est à 65,62% et celles de *Z. officinale* et *C. citratus* le sont à 51,88% et 56,25% (Tableau 4).

Tableau 4. Classification de taux de répulsion (%) des bruches du haricot en fonction des doses d'huiles essentielles (HE) extraites d'organes frais ou secs

Espèces végétales	Dose (μ/cm^3)	Organes à l'état frais				Organes à l'état sec			
		Taux de répulsion (%)	TMR	Classe	Qualification	Taux de répulsion (%)	TMR	Classe	Qualification
<i>Zingiber officinale</i>	0,125	85d \pm 5,8	49,83	III	MR	85c \pm 5,77	51,88	III	MR
	0,062	65c \pm 5,8				57,5 b \pm 5			
	0,031	35b \pm 12,9				37,5a \pm 5			
	0,015	14,32a \pm 12				27,5a \pm 9,6			
<i>Cymbopogon citratus</i>	0,125	90c \pm 8,16	61,81	IV	R	100b	93,13	V	TR
	0,062	82,5c \pm 15				100b			
	0,031	50b \pm 8,16				100b			
	0,015	24,75a \pm 5				90a \pm 8,2			
<i>Ocimum gratissimum</i>	0,125	92,5d \pm 5	58,75	III	MR	90d \pm 8,2	65,62	IV	R
	0,062	67,5c \pm 5				67,5c \pm 5			
	0,031	45b \pm 5,8				57,5b \pm 5			
	0,015	30a \pm 8,17				47,5a \pm 4,3			
<i>Lippia multiflora</i>	0,125	82,5c \pm 17	54,37	III	MR	87,5c \pm 5	56,25	III	MR
	0,062	67,5bc \pm 24				67,5bc \pm 24			
	0,031	40ab \pm 14				50b \pm 8,16			
	0,015	27,5a \pm 19				20a \pm 21,6			
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	0,015	100c	93,75	V	TR	100b	98,13	V	TR
	0,007	100c				100b			
	0,004	92,5b \pm 5				100b			
	0,002	82,5a \pm 5				92,5a \pm 5			

Légende. TMR : Taux moyen de répulsion ; MR : Modérément répulsive; R : Répulsive; TR : Très répulsive. Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student Newman & Keuls

5.3. Toxicité des huiles essentielles sur la bruche de haricot par test contact avec ou sans graines

Les HE extraites d'organes frais sans contact avec les graines donnent un taux de mortalité des bruches proportionnel à la dose testée (Figure 2). A la dose de 0,0007 μ/cm^2 , les taux de mortalité de 61,25 % et 71,25% sont notés avec les HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides* en 12 heures d'exposition. Ces taux sont plus importants comparés à 47,5%, 43,75% et 38,75 % observés avec les HE d'*O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale* (Figure 2a). Pour la même dose, on note un taux de mortalité supérieure à 50 % avec toutes les HE en 48 heures d'exposition. Un taux de mortalité de 81,75 % est enregistré avec l'HE de *C. ambrosioides*. Avec cette HE, le taux de 100 % est observé après 48 heures d'exposition à 0,007 μ/cm^2 . Pour toutes les HE, les taux de mortalité augmentent avec les doses et la durée d'exposition. A la

dose de $0,015 \mu\text{l}/\text{cm}^2$, le taux de 100 % est noté après 48 heures d'exposition avec les HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. Pour la même dose, en 24 heures d'exposition, les taux de 75%, 78,75% et 88,75% sont obtenues avec les HE d'*O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides*.

Pour les HE extraites d'organes secs, à $0,0007 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ dissoute dans 1ml d'acétone, on observe des taux de mortalité des bruches de 78,75 % et 71,25 % avec *C. ambrosioides* et *L. multiflora* après 12 heures d'exposition (figure 2a). Ces taux sont plus importants que 48,75% observés avec les HE de *Z. officinale* et *C. citratus*. Pour cette faible dose, quel que soit l'HE, les taux de mortalité des bruches augmentent avec la durée d'exposition. En effet, le taux de mortalité des bruches de 100 % est noté à la 36^e et 48^e heure d'exposition à l'HE de *C. ambrosioides*. Après 48 heures d'exposition, un taux de 97,5 % est observé avec l'HE de *L. multiflora*. Aussi, les résultats révèlent une variabilité de la mortalité des bruches d'une HE selon la dose et la durée d'exposition. Pour l'HE de *C. ambrosioides*, après 12 heures d'exposition, la mortalité des bruches de 87,5%, 92,5% et 98,75% est observée à la dose de $0,015 \mu\text{l}/\text{cm}^2$, $0,031 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ et $0,062 \mu\text{l}/\text{cm}^2$. Pour toutes les HE, le taux de mortalité des bruches de 100 % est observé à $0,031 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ après 48 heures d'exposition (Figure 2a).

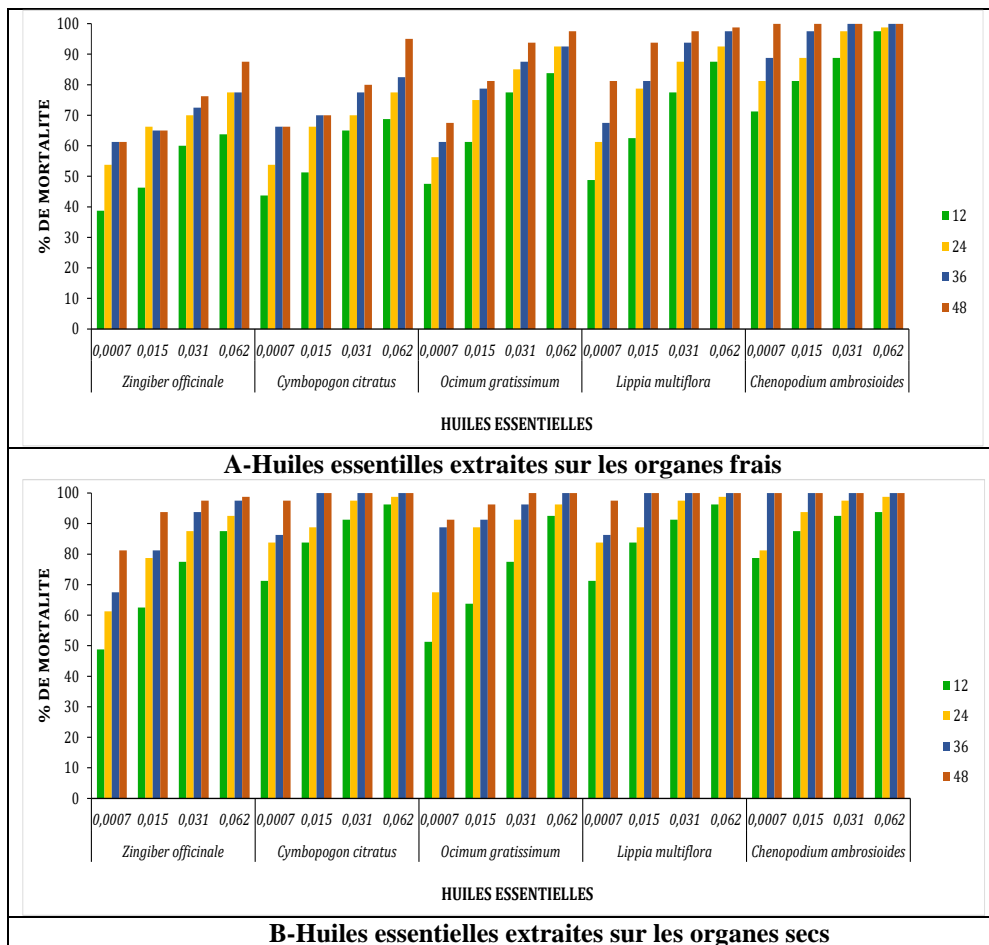


Figure 2a. Mortalité (%) des bruches par contact sans graines de haricots en fonction de la dose et de la durée d'exposition des huiles essentielles extraites d'organes frais ou secs

Après 12 heures d'exposition, à 0,01 µl/g, les taux de mortalité de 35%, 31,25%, 13,75% et 1,25 % sont enregistrés avec les HE de *C. ambrosioides*, *L. multiflora*, *C. citratus* et *Z. officinale* extraites d'organes frais (figure 2b). Il n'est noté aucune mortalité avec l'HE d'*O. gratissimum*. Pour la même dose, après 24 heures d'exposition, une mortalité de 56,25 % est obtenue avec l'HE de *C. ambrosioides*. Après 48 heures d'exposition, une mortalité de 75 % des bruches est enregistrée avec les plus faibles doses des HE de *C. ambrosioides* et *C. citratus*. Pour les 5 HE, quelle que soit la durée d'exposition, les taux de mortalité des bruches de haricot augmentent avec les doses. Le taux de mortalité de 100 % est enregistré à 0,08 µl/g d'HE testées au bout de 48 heures d'exposition (figure 2a).

Avec les HE extraites d'organes secs, il ressort une forte mortalité des bruches de haricot à 0,01 µl/g après 12 heures d'exposition. Pour cette même durée, les mortalités de 61,25 %, 50 %, 42,50% et 38,25 % sont notées en

présence de *C. ambrosioides*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *Z. officinale*. Ces taux sont plus importants que les 23,75 % obtenus avec l'HE de *L. multiflora*. A 0,01 µl/g, une mortalité de 78,75% des bruches est observée à 24 heures d'exposition avec l'HE de *C. ambrosioides*. Cette mortalité est plus élevée que 48,75 % obtenue avec l'HE de *L. multiflora*. Avec cette dose, une mortalité de 100 % des bruches est enregistrée avec l'HE de *C. ambrosioides* après 48 heures d'exposition. Les résultats révèlent une forte mortalité des bruches de haricot avec les fortes doses de 5 HE testées. Après 36 heures d'exposition, Il est observé une mortalité de 100 % à 0,08 µl/g d'HE de *C. citratus*, *O. gratissimum*, *L. multiflora* et *Z. officinale*. Ce taux de 100% avec l'HE de *C. ambrosioides* aux doses 0,02 µl/g, 0,04 µl/g et 0,08 µl/g est atteint après 48, 36 et 12 heures d'exposition (figure 2b).

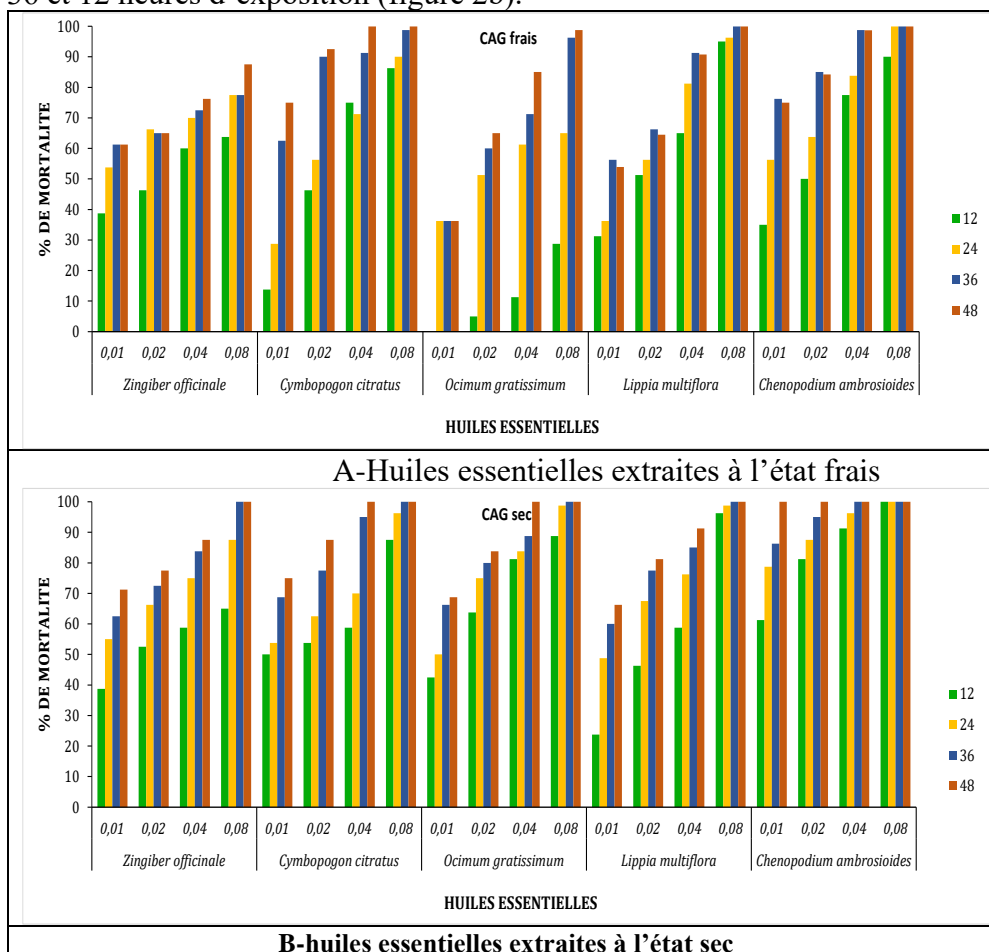


Figure 2b. Taux de mortalité (%) des bruches de haricot par contact avec graines en fonction de la dose et la durée d'exposition des huiles essentielles extraites d'organes frais ou secs

Sans les graines de haricot, les résultats de l'analyse statistique montrent une différence significative de la mortalité des bruches selon l'HE testée. Pour l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles fraîches, les taux de mortalité varient de 0 % à 98,44 % à la dose de 0,0007 et 0,062 µl/cm². La dose a permis de discriminer le taux de mortalité de bruches en 5 groupes homogènes (a, b, c, d et e). Il est noté le même groupe homogène chez les HE de *C. citratus*, *L. multiflora*, *O. gratissimum* et *Z. officinale*.

En présence des graines, le résultat révèle que la dose des HE extraites d'organes secs améliore significativement la mortalité des bruches du haricot. Pour *C. ambrosioides*, les taux de mortalité varient de 1,25 à 97,19 % avec les doses de 0 à 0,08 µl/g (Tableau 5). L'analyse de variance met en évidence l'existence de quatre groupes homogènes (a, b, c et d). La dose permet de discriminer en 4 et 5 groupes de taux de mortalité des HE de *C. citratus*, *L. multiflora*, *O. gratissimum* et *Z. officinale*.

Tableau 5. Classification de taux de mortalité (%) des bruches avec ou sans graines de haricot en fonction des doses des huiles essentielles extraites d'organes frais et secs de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Test de contact sans graines			Test de contact avec graines		
	Dose (µl/cm ³)	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Dose (µl/g)	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	0,000	00,00a	00,00a	0,00	01,25a	01,25a
	0,007	52,50b	64,69b	0,01	36,25b	56,87b
	0,015	59,37c	79,06c	0,02	48,75c	67,19c
	0,031	69,06d	89,06d	0,04	63,44d	76,25d
	0,062	76,56e	94,06e	0,08	73,44d	88,12e
<i>Cymbopogon citratus</i>	0,000	0,00a	0,00a	0,00	1,25a	01,25a
	0,007	57,50b	65,31b	0,01	27,19b	61,87b
	0,015	64,37c	80,00c	0,02	45,31c	70,31c
	0,031	73,12d	92,50d	0,04	57,19d	80,99d
	0,062	80,94e	96,87e	0,08	72,19e	95,94e
<i>Ocimum gratissimum</i>	0,000	0,00a	0,00a	0,00	1,25a	01,25a
	0,007	58,12b	58,12b	0,01	41,56b	56,87b
	0,015	74,06c	74,06c	0,02	58,44c	75,62c
	0,031	85,94d	85,94d	0,04	80,62d	88,43d
	0,062	91,87e	91,87e	0,08	97,19e	96,87e
<i>Lippia multiflora</i>	0,000	00,00a	00,00a	0,00	01,25a	01,25a
	0,007	64,69b	80,06b	0,01	45,00b	49,69b
	0,015	79,06c	84,69bc	0,02	70,94c	68,12c
	0,031	89,06d	87,69bc	0,04	84,37d	77,81d
	0,062	94,06e	94,00c	0,08	93,75e	98,75e
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	0,000	00,00a	00,00a	0,00	01,25a	01,25a
	0,007	77,81b	90,00b	0,01	60,62b	81,56b
	0,015	87,50c	95,31c	0,02	70,00c	90,34c
	0,031	94,69d	97,50c	0,04	88,12d	97,50d
	0,062	98,44e	98,12c	0,08	97,19d	99,06d

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student Newman & Keuls

Avec ou sans graines de haricot, les résultats des analyses statistiques montrent un effet hautement significatif de la durée d'exposition des HE sur la mortalité des bruches de haricot (tableau 6). La durée d'exposition améliore la mortalité d'*A. obtectus* selon l'HE testée. Sans les graines de haricot, avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles fraîches, les taux de mortalité varient de 67,75% et 75,76% après 12 et 48 heures d'exposition. Au bout de 12 h d'exposition, il est enregistré le taux de mortalité de 42,25%, 47,75%, 54% et 55,25% avec l'HE de *Z. officinale*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *L. multiflora*. Avec *C. ambrosioides*, l'analyse de variance du taux de mortalité révèle l'existence de quatre groupes homogènes (a, b et c). L'effet le plus marqué est observé à la 48^e heure d'exposition (groupe c). Avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches, le taux de mortalité des bruches est supérieur à 70 % après 12 heures d'exposition. Les taux de mortalité varient de 71,45% et 79,36% à la 12^e et 48^e heure d'exposition. Pour les autres HE, il est aussi observé une amélioration de la mortalité de bruches avec la durée d'exposition (Tableau 5). Pour la durée d'exposition, l'analyse de variance révèle l'existence de quatre groupes homogènes (a, b, c et d). Les HE extraites d'organes secs sont plus efficaces que celles d'organes frais.

Avec les graines de haricot, les taux de mortalité varient de 50,50 à 73 % à la 12^e et 48^e heure d'exposition avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles fraîches. L'analyse de variance révèle l'existence de quatre groupes homogènes (a, b, c et d). Après 48h d'exposition, il est noté une mortalité de 68%, 58%, 63% et 74,57% respectivement avec l'HE de *Z. officinale*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *L. multiflora*. A la même durée d'exposition, il est observée une mortalité de 68%, 73,5%, 71,5%, 68% et 81% avec les HE de *Z. officinale*, *C. citratus*, *O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides* extraites d'organes secs (Figure 6).

Tableau 6. Classification de taux de mortalité (%) des bruches avec ou sans graines du haricot selon le temps d'exposition aux huiles essentielles extraites d'organes frais et secs de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Temps (Heure)	Test de contact sans graines		Test de contact avec graines	
		Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	12	42,25a	55,25a	18,00a	43,00a
	24	50,50b	64,00b	34,25b	56,75b
	36	55,25c	68,00c	57,75c	63,75c
	48	58,00d	74,25d	68,50d	68,25d
<i>Cymbopogon citratus</i>	12	45,75a	58,50a	09,00a	50,00a
	24	53,50b	63,25b	42,75b	56,50b
	36	59,25c	71,00c	52,75c	68,25c
	48	62,25d	75,00d	58,00c	73,50d
<i>Ocimum gratissimum</i>	12	54,00a	54,00a	48,50a	55,25a
	24	61,75b	61,75b	54,00b	61,50b

	36	64,00b	64,00b	57,00b	67,00c
	48	68,25c	68,25c	63,75c	71,50d
<i>Lippia</i>	12	55,25a	51,90a	44,25a	45,00a
<i>multiflora</i>	24	64,00b	68,50b	49,25a	58,25b
	36	68,00c	77,25bc	68,25b	64,50c
	48	74,25d	79,50c	74,50b	68,75d
<i>Chenopodium</i>	12	67,75a	71,45a	50,50a	66,75a
<i>ambrosioides</i>	24	69,00a	74,57b	60,50b	72,25b
	36	73,25b	79,36c	69,75c	76,25c
	48	76,75c	79,36c	73,00d	81,00d

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student Newman & Keuls

Tableau 7 consigne la dose létale (%) entraînant 50 % de mortalité d'*A. obtectus* par contact avec ou sans graines de haricot en présence les HE extraites d'organes frais ou secs. Il ressort que les faibles doses sont nécessaires pour obtenir 50% de mortalité des bruches. Par contact sans graines, la plus faible dose de 1,77 % est observée avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite d'organe sec. Il est observé une dose de 2,4 % avec la même HE extraite à d'organes frais. Ainsi, les HE extraites d'organes frais, il est requis la dose de 5,25%, 5,37%, 6,92% et 6,92% pour une mortalité de 50% chez *L. multiflora*, *O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale*. Par contre, pour les HE extraites d'organes secs, cette mortalité est de 1,90%, 2,24%, 3,47% et 5,37% (tableau 6). En présence des graines de haricot, la DL50 est dépendante à l'HE testée. A 50% de mortalité des bruches, il faut 6,92%, 3,80%, 5,37%, 1,43% et 2,41% correspondant aux HE de *L. multiflora*, *C. ambrosioides*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *Z. officinale* extraites d'organes frais. A l'état sec, les HE requièrent 2,39%, 1,25%, 1,19%, 1,27% et 0,67% (Tableau 7).

Tableau 7. Dose létale (%) à 50% de mortalité des bruches par contact avec ou sans graines de haricot selon les huiles essentielles extraites d'organes frais et secs de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Test de contact sans graines		Test de contact avec graines	
	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	6,92	5,37	6,92	2,39
<i>Cymbopogon citratus</i>	6,92	3,47	3,80	1,25
<i>Ocimum gratissimum</i>	5,37	2,24	5,37	1,19
<i>Lippia multiflora</i>	5,25	1,90	1,43	1,27
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	2,4	1,77	2,4	0,67

5.4. Toxicité des huiles essentielles sur la bruche de haricot par test de fumigation avec ou sans graines

Sans graines de haricot, il est enregistré le taux de mortalité des bruches de 61,25% et 50 % avec HE de *C. ambrosioides* et *L. multiflora* extraites d'organes frais à $0,002\mu/\text{cm}^3$ après 6 heures d'inhalation (figure 3). Ces taux sont plus importants que 42,5%, 38,37% et 23,75% observé en présence d'HE d'*O. gratissimum*, *Z. officinale* et *C. citratus* après 12 heures d'exposition. Aux doses de $0,02\mu/\text{cm}^3$, $0,04\mu/\text{cm}^3$ et $0,007\mu/\text{cm}^3$, il est noté une mortalité des bruches de 100 % avec l'HE de *C. ambrosioides* après 48 heures d'exposition. Pour les autres huiles, ce taux de mortalité des buches est atteint à la forte dose de $0,015\mu/\text{cm}^3$ à 18 et 24 h d'inhalation (figure 3a).

A la dose de $0,002 \mu/\text{cm}^3$ après 6 heures d'inhalation, on note un taux de mortalité de 78,75 % et 71,25% avec *C. ambrosioides* et *L. multiflora* extraites d'organes secs. A la même dose et la même durée d'exposition, ces taux de mortalité sont plus élevés par rapport à 51,25%, 48,75% et 48,75 % observés avec l'HE d'*O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale*. Avec la faible dose de $0,002 \mu/\text{cm}^3$, le taux de mortalité est de 100% avec l'HE de *C. ambrosioides* après 18 et 24 heures d'exposition (figure 3a). Pour toutes les HE testées, les taux de mortalité des bruches augmentent avec les doses HE inhalées. A la dose de $0,004 \mu/\text{cm}^3$, le taux de mortalité de 100 % est noté avec *L. multiflora* à partir de la 18^e heure d'exposition. Ce taux de mortalité est observé à la dose $0,007\mu/\text{cm}^3$ des HE de *C. citratus* et d'*O. gratissimum* à partir de 24 heures d'exposition (figure 3a).

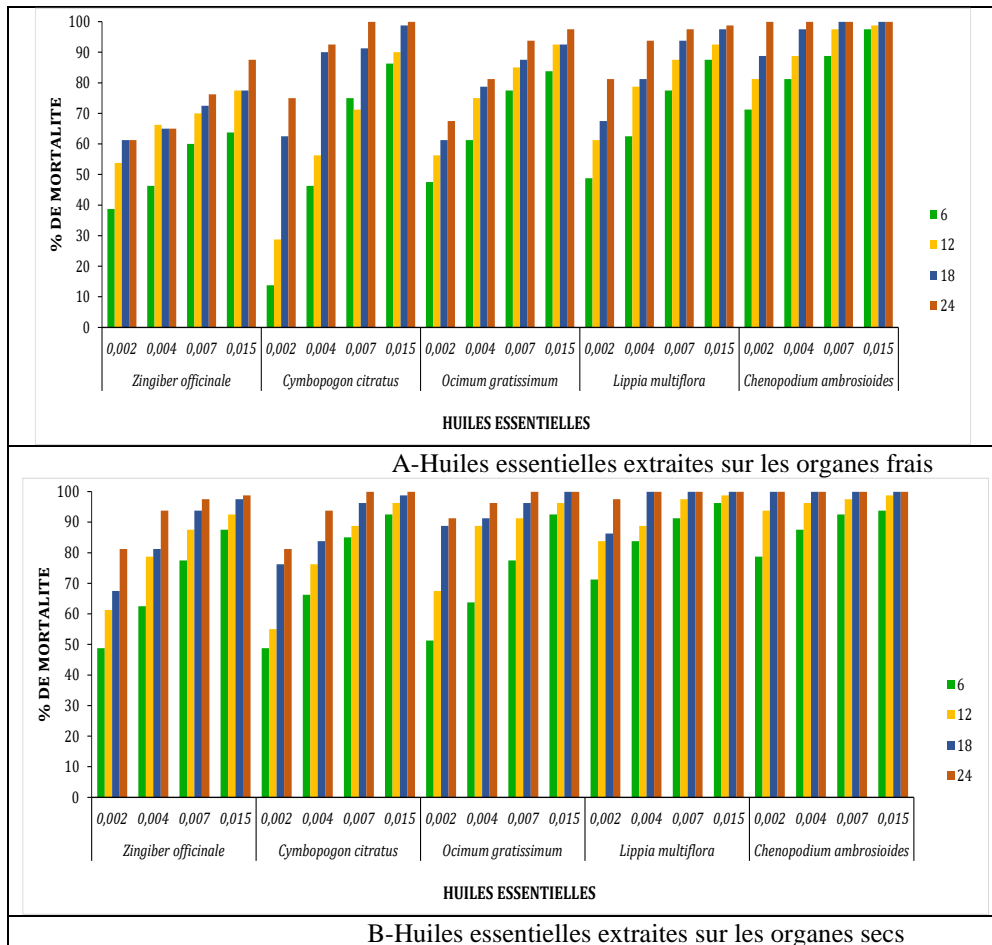


Figure 3a. Taux de mortalité (%) des bruches par fumigation sans graines de haricot selon la dose et la durée d'inhalation des huiles essentielles extraites sur les organes à l'état frais ou sec

En présence des graines de haricot, il est observé aucune mortalité d'*A. obtectus* à la dose de $0,002\mu/cm^3$ d'HE de *C. ambrosioides*, *L. multiflora* et *C. citratus* extraites d'organes frais. La forte mortalité de *A. obtectus* de 70% est observée à la dose de $0,015\mu/cm^3$ chez l'HE de *C. ambrosioides* (figure 3b). Ce taux est plus important que 57,5 % obtenue avec l'HE de *L. multiflora*. A la dose de $0,002\mu/cm^3$ d'*O. gratissimum*, il est noté une mortalité de 6,25 % après 24 heures d'inhalation. A $0,015\mu/cm^3$ d'HE d'*O. gratissimum*, le taux de mortalité de 37,5 % est noté à 24 heures d'inhalation. Cette mortalité est inférieure à celles observées chez *C. ambrosioides* et *L. multiflora* (Figure 3b). Après 24 heures d'exposition, la mortalité d'*A. obtectus* de 23,75 % est enregistrée à la dose de $0,002\mu/cm^3$ d'HE de *C. ambrosioides* extraites d'organes secs. Avec cette HE, les taux de mortalité d'*A. obtectus* par inhalation augmentent avec les doses. Il est observé une mortalité de 73,75 %

à $0,015\mu/cm^3$ après 48 heures d'inhalation. A la même dose et la même durée d'inhalation, les taux de 53,75% et 60% sont enregistrés respectivement en présence des HE de *C. citratus* et *L. multiflora*. A $0,015\mu/cm^3$ d'HE de *L. multiflora*, il est signalé une mortalité de d'*A. obtectus* de 16,24 % après 6 heures d'exposition. A ce même temps d'inhalation, il est observé une mortalité d'*A. obtectus* de 51,25 % à $0,015\mu/cm^3$ d'HE de *C. ambrosioides* (Figure 3b).

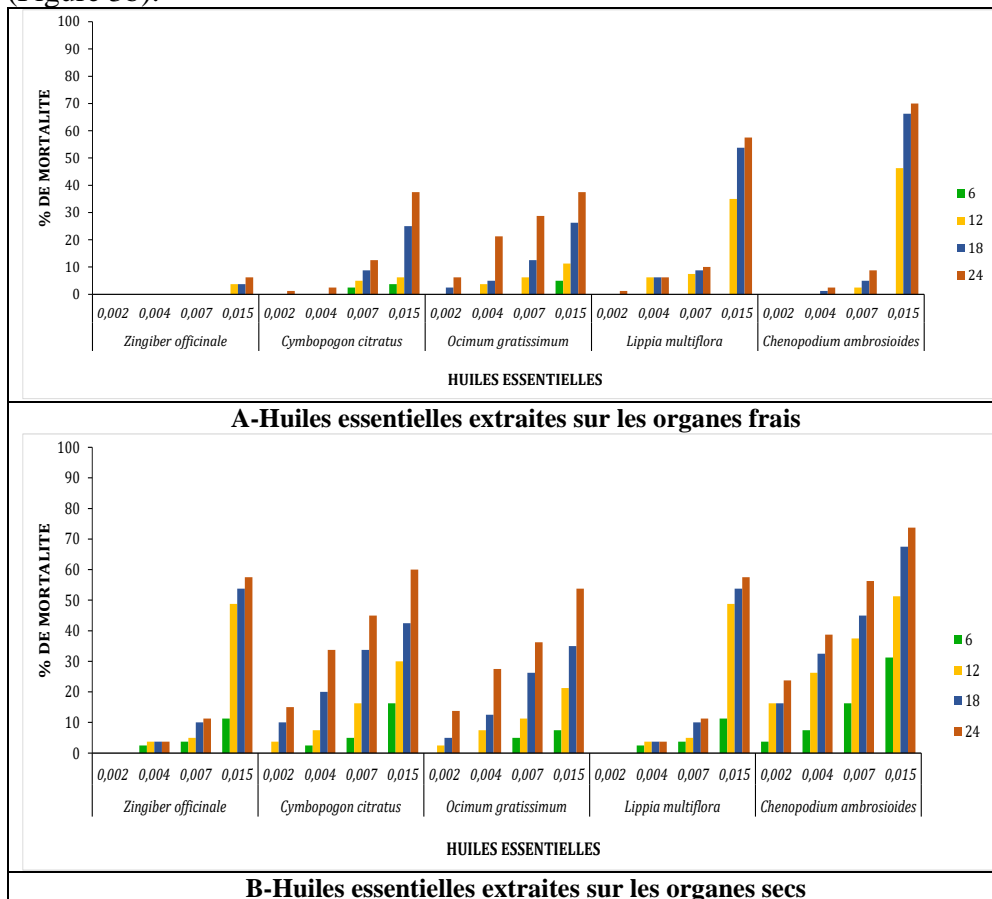


Figure 3b. Mortalité (%) des bruches par fumigation avec les graines de haricot en fonction de la dose et la durée d'exposition des huiles essentielles extraites sur les organes à l'état frais ou sec

Pour la fumigation sans graines de haricot, ce résultat révèle un effet « dose » des HE extraites d'organes frais ou secs hautement significatif sur la mortalité des bruches (tableau 8). Avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles fraîches, le taux de mortalité varie de 90 % à 98,12 % respectivement à la dose de $0,002\mu/cm^3$ et $0,015\mu/cm^3$. Chez le témoin, aucune mortalité n'est enregistrée. L'analyse de variance a permis d'établir trois homogènes (a, b et c) (tableau 8). Avec les HE de *Z. officinale*, *C. citratus* et *O. gratissimum*,

l'effet plus marqué est observé à la dose de 4 µl/ml (groupe e). Dans ce groupe, la mortalité est supérieure à 90 %. Par contre à l'état sec, le taux de mortalité varie de 81,56 % à 99,06 % respectivement à 0,002 µl/cm³ et 0,015 µl/cm³ d'HE de *C. ambrosioides*. Ces taux sont supérieurs à 1,25 % observé chez le témoin ou la mortalité naturelle. L'analyse de variance permet de distinguer les taux de mortalité en 4 groupes homogènes (a, b, c et d) selon les doses de *C. ambrosioides*. L'effet plus marqué est noté avec la forte dose (groupe d). Avec les HE de *C. citratus*, *O. gratissimum* et *L. multiflora*, les analyses de variances ont permis de discriminer les taux de mortalité des bruches en 5 groupes homogènes (a, b, c, d et e) selon la dose. A forte dose de ces HE, il est noté le taux de mortalité des bruches supérieur à 95% (Tableau 8).

Par fumigation avec graines de haricot, le taux de mortalité varie de 0 % à 45,62 % respectivement à 0,002 et 0,015 µl/cm³ d'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles fraîches (tableau 8). Pour la forte dose de 0,015 µl/cm³, les taux de mortalité de 3,44%, 18,12%, 20% et 36,56 % sont notés chez l'HE extraite de *Z. officinale*, *C. citratus*, *O. gratissimum* et *L. multiflora*. Pour *C. ambrosioides*, l'analyse de la variance a permis de discriminer les taux de mortalité en trois groupes homogènes (a, b et c). Le taux de mortalité le plus marqué est observé à la dose de 0,015 µl/cm³ (groupe c). Pour les HE extraites d'organes secs, la mortalité de 55,94 % des bruches est enregistrée à 0,015 µl/cm³ d'HE de *C. ambrosioides*. Cette mortalité est plus importante que celles observées pour d'autres HE. Les taux de mortalité des bruches de 16,87%, 29,37%, 42,81% et 37,19% sont notés chez *Z. officinale*, *C. officinale*, *O. gratissimum* et *L. multiflora*. A 0,002 µl/cm³ d'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches, une mortalité des bruches de 15% a été obtenue par inhalation avec graines (Tableau 8).

Tableau 8. Classification de la mortalité (%) des bruches en présence ou non des graines du haricot selon les doses inhalées d'huiles essentielles extraites d'organes secs ou frais de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Dose (µl/cm ³)	Test de fumigation sans graines		Test de fumigation avec graines	
		Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	00,000	00,000a	01,250a	00,000a	00,000a
	00,002	64,690b	56,870b	00,000a	01,870b
	00,004	79,060c	67,190c	00,000a	04,370c
	00,007	89,060d	76,250d	00,00a	08,750d
	00,015	94,060e	88,120e	03,440b	16,870e
<i>Cymbopogon citratus</i>	00,000	00,000a	01,250a	00,00a	00,000a
	00,002	65,310b	61,870b	00,310a	05,310b
	00,004	80,000c	70,310c	00,620a	11,870c
	00,007	92,500d	80,990d	07,190b	19,690d
	00,015	96,870e	95,940e	18,120c	29,370e
	00,000	00,000a	01,250a	00,000a	00,000a

<i>Ocimum</i>	00,002	58,120b	56,870b	02,500b	00,000a	
<i>gratissimum</i>	00,004	74,060c	75,620c	07,500c	03,440a	
	00,007	85,940d	88,430d	11,870d	07,500b	
	00,015	91,870e	96,870e	20,000e	42,810c	
	00,000	00,000a	01,250a	00,000a	00,000a	
<i>Lippia</i>	<i>multiflora</i>	00,002	80,060b	49,690b	00,310a	07,190b
		00,004	84,690bc	68,120c	04,690ab	15,940c
		00,007	87,690bc	77,810d	06,560b	25,000d
		00,015	94,000c	98,750e	36,560c	37,190e
<i>Chenopodium</i>	<i>ambrosioides</i>	00,000	00,000a	01,250a	00,000a	00,000a
		00,002	90,000b	81,560b	00,000a	15,000b
		00,004	95,310c	90,340c	00,940a	26,250c
		00,007	97,500c	97,500d	04,060b	38,750d
	00,015	98,120c	99,060d	45,620c	55,940e	

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student Newman & Keuls

Les résultats d'analyse statistique révèlent un effet de temps d'exposition hautement significatif pour toutes les HE testées par fumigation sans graines de haricot (Tableau 9). Après 6 heures d'exposition, les HE extraites d'organes frais causent une mortalité d'*A. obtectus* d'ordre de 71,75 % à 51,90% chez les HE de *C. ambrosioides* et *L. multiflora*. Au bout de 24 heures d'inhalation, ce taux est de 79,50 %. Pour les HE testées, l'analyse de variance a discriminé le taux de mortalité en 3 groupes (a, b et c) et 4 groupes homogènes (a, b, c et d). L'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches cause une mortalité d'*A. obtectus* de 66,67 % à 6 heures d'exposition. Le taux de 81% est observé après 24 heures d'exposition. Pour l'HE de *C. ambrosioides*, l'analyse de la variance a mis en évidence 4 groupes homogènes (a, b, c et d) de taux mortalité selon la durée d'exposition. Cette analyse a aussi révélé l'existence de 4 groupes homogènes de taux de mortalité d'*A. obtectus* exposition de *Z. officinale*, *C. officinale*, *O. gratissimum* et *L. multiflora* (tableau 8).

Par fumigation avec graines de haricot, il est noté aucune différence significative des taux de mortalité d'*A. obtectus* en présence de *Z. officinale* extraite de rhizomes frais (tableau 8). Par contre, une variabilité des mortalités est observée avec les HE de *C. officinale*, d'*O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. Le taux de mortalité d'*A. obtectus* de 1% à 18,75 % est enregistré respectivement après 6 h et 24 heures de fumigation avec l'HE de *O. gratissimum*. L'analyse de variance met en évidence l'existence de trois groupes (a, b et c) des taux de mortalité des bruches. Pour l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles séchées, il est observé une mortalité de 11,75 % et 38 % après 6 et 24 heures d'inhalation. Les taux de mortalité d'*A. obtectus* augmentent selon la durée d'inhalation. Pour les autres HE, une

variabilité des taux de mortalité des bruches est observée selon la durée de fumigation (Tableau 9).

Tableau 9. Classification de taux de mortalité (%) des bruches en présence ou non des graines du haricot selon la durée d'inhalation d'huiles essentielles extraites d'organes frais ou secs de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Temps (Heure)	Test de fumigation sans graines		Test de fumigation avec graines	
		Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	6	55,250a	43,000a	00,000a	00,750a
	12	64,000b	56,750b	00,750a	03,000b
	18	68,000c	63,750c	00,750a	06,750c
	24	74,250d	68,250d	01,250a	15,000d
<i>Cymbopogon citratus</i>	6	58,500a	50,000a	01,250a	02,500a
	12	63,250b	56,500b	02,250a	08,500b
	18	71,000c	68,250c	06,750b	15,750c
	24	75,000d	73,500d	10,750c	26,250d
<i>Ocimum gratissimum</i>	6	54,000a	55,250a	01,000a	03,500a
	12	61,750b	61,500b	04,500b	11,500b
	18	64,000b	67,000c	09,250c	13,500b
	24	68,250c	71,500d	18,750d	14,500b
<i>Lippia multiflora</i>	6	51,900a	45,000a	00,000a	04,750a
	12	68,500b	58,250b	09,750b	11,500b
	18	77,250bc	64,500c	13,750c	21,250c
	24	79,500c	68,750d	15,000c	30,750d
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	6	71,450a	66,750a	00,000a	11,750a
	12	74,570b	72,250b	09,750b	26,250b
	18	79,360c	76,250c	14,500c	32,250c
	24	79,360c	81,000d	16,250c	38,500d

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student Newman & Keuls

Par fumigation sans graines de haricot, il ressort des faibles doses létales à 50 % avec l'HE de *C. ambrosioides* (Tableau 10). Pour cette HE, la dose létale à 50% de 1,77 % et 0,67 % est notée des HE extraites des feuilles fraîches et sèches. Il est observée la dose létale à 50% de 1,77%, 1,90%, 2,24%, 3,47% et 5,37% d'HE de *C. ambrosioides*, *L. multiflora*, *O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale* extraite des organes frais. Ces doses sont plus élevées que 0,67% ; 1,27% ; 1,19% ; 1,25% et 2,39 % obtenues chez les HE extraites d'organes secs. Avec la fumigation avec graines de haricot, la DL50 est dépendante l'HE testée. A 50% de mortalité, il faut 2,4% ; 5,25% ; 5,37% ; 6,92% et 6,92% correspondant aux HE de *C. ambrosioides*, *L. multiflora*, *O. gratissimum*, *C. citratus* et *Z. officinale* extraites d'organes frais. Par contre, les doses de 1,77% ; 1,90% ; 2,24% ; 3,47% et 5,37% sont enregistrées avec ces HE extraites d'organes secs (figure 10).

Tableau 10. Dose létale (%) à 50% de mortalité des bruches par inhalation en présence ou non des graines du haricot selon les huiles essentielles extraites d'organes frais et secs de cinq espèces végétales

Espèces végétales	Test fumigation sans graines		Test fumigation avec graines	
	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec	Organes d'extraction à l'état frais	Organes d'extraction à l'état sec
<i>Zingiber officinale</i>	5,37	2,39	3,47	3,19
<i>Cymbopogon citratus</i>	3,47	1,25	2,31	2,08
<i>Ocimum gratissimum</i>	2,24	1,19	3,68	2,70
<i>Lippia multiflora</i>	1,90	1,27	1,59	1,37
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	1,77	0,67	1,69	0,92

6. Discussion

Les effets insecticide et insectifuge des HE extraites des plantes aromatiques ont été évalués contre *A. obtectus*, espèce des bruches de haricot. Les extractions faites sur les organes frais ou secs révèlent une variabilité du rendement en HE de *L. multiflora* L., *C. citratus* Stapf., *C. ambrosioides* L., *O. gratissimum* L. et *Z. officinale* Rosc. De plus, les teneurs en HE extraites d'organes secs sont plus importantes comparées à celles obtenues d'organes frais. Le rendement en HE de 1,01%, 0,94%, 0,36%, 0,36% et 0,32% sont enregistrés respectivement de *O. gratissimum*, *L. multiflora*, *C. citratus*, *Z. officinale* et *C. ambrosioides*. Avec *O. gratissimum*. Il est noté le rendement en HE de 1,01% et 0,46 % sur les feuilles sèches et fraîches. Il ressort une augmentation du rendement d'extraction en HE durant le séchage des feuilles et des rhizomes à l'abri du soleil. Les résultats similaires sont obtenus par Singh et al. (1977), Shiva et al. (1983), Zrira et al. (1992, 1995), Silou et al. (2002), Dutta et al. (2014) et Goudjil et al. (2015). Cette augmentation s'expliquerait par l'accélération de la biosynthèse des composés terpéniques constituant l'HE quand les feuilles et rhizomes sont en stress hydrique en période de séchage (Zrira et al., 1995 ; Bourkhiss et al. 2009). Aussi, il est démontré une continuité de la biosynthèse en HE dans les feuilles ou rhizomes après leur récolte. La comparaison des coupes de feuilles réalisées à l'état frais et à l'état sec montre que la structure des poches sécrétrices n'est pas affectée par le séchage. De plus, le rendement de 1,01% enregistré sur les feuilles séchées d'*O. gratissimum* est plus important que celui observé chez les autres plantes. Cette différence serait due à des facteurs génétiques. La synthèse et l'accumulation HE sont généralement associées à la présence de structures histologiques spécialisées (poils sécréteurs, poches sécrétrices, canaux sécréteurs, cellules à huiles essentielles). L'espèce *O. gratissimum* posséderait un grand nombre des poches sécrétrices d'HE comparé à celles de *L. multiflora*, *C. citratus*, *Z. officinale* et *C. ambrosioides*. Les résultats sont

similaires à ceux obtenus par Loumouamou et al. (2010) et Nguimale (2016). Pour ces auteurs, le rendement varie entre 0,2 - 0,3 %. Outre *O. gratissimum*, le rendement d'extraction est plus important chez *L. multiflora*. Lucchesi (2005) estime une forte teneur d'HE de *L. multiflora* comparé à celle d'autres espèces de plantes à effet insecticide ou répulsif. L'analyse chimique a identifié le thymol et o-cymène dans l'HE extraite d'organes frais ou secs de cinq plantes aromatiques testées. L'HE extraite d'organes secs est plus riche en thymol et en o-cymène. Pour ces composés, le séchage à l'abri du soleil des feuilles ou des rhizomes améliorerait leur proportion dans l'HE d'*O. gratissimum*, *L. multiflora*, *C. citratus*, *Z. officinale* et *C. ambrosioides*. L'effet du séchage sur la qualité chimique des HE est mentionné par Silou et al. (2002), Nébié et al. (2007), Bourkhliss (2009), Dabire et al. 2011 & Ouafi et al. (2017). Ainsi, il est noté l'effet bénéfique du stress hydrique sur la biosynthèse ou l'accumulation du composé o-cymène et surtout du thymol. Par contre, le séchage d'organes à l'abri du soleil a réduit voire annulé l'accumulation de β -citral et α -citral, qui sont les composés majeurs des HE de *L. multiflora*, *C. citratus* et *C. ambrosioides* extraites des feuilles fraîches. Cette diminution voire la perte peut être due à l'évaporation des composants β -citral et α -citral, les plus volatiles à température du séchage. Cet impact du processus de séchage est rapporté par certains auteurs (Blanco et al. 2002; Okoh et al. 2008; Khorshidi et al. 2009; Bagher et al. 2010 ; Fathi et al. 2012 ; Pirbalouti et al. 2013; Dutta et al. 2014; Ouafi et al. 2017).

L'influence des HE d'*O. gratissimum*, *L. multiflora*, *C. citratus*, *Z. officinale* et *C. ambrosioides* est étudiée pour leurs activités insecticide ou insectifuge contre les imagos de *A. obtectus*. Il ressort une très forte répulsion des HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides* extraites des feuilles sèches avec des taux de 93,13% et 98,13%. L'HE d'*O. gratissimum* est répulsive avec un taux de 65,62%. Les HE de *Z. officinale* et *C. citratus* sont moyennement répulsives avec des taux respectifs de 51,88% et 56,25%. L'activité répulsive certaines huiles végétales a été constatée par McDonald et al. (1970) et Ndomo et al. (2009). Ces auteurs rapportent qu'après 2h d'exposition, de 0,031 à 0,125 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ d'HE des organes de *Callistemon viminalis* ont occasionné une répulsion dont le taux varie de 36,6 à 80% vis-à-vis des adultes de *A. obtectus*. Ils montrent clairement que le taux de répulsion augmente en fonction de la dose. De même, Tapondjou et al. (2003) constatent que l'HE de *C. ambrosioides* a des propriétés répulsives relativement plus élevées (PR= 89%) que celle de *E. soligna* (PR= 71%), bien que les deux soient fortement répulsives vis-à-vis des bruches du niébé (*C. maculatus*). L'effet répulsif des HE de *C. citratus* et d'*O. gratissimum* est mentionnées dans la littérature (Tchoumbougnand et al. 2009 ; Mikolo et al. 2009; Pandey et al. 2014). Les HE extraites des plantes aromatiques agissent par répulsion en émettant des substances volatiles (terpènes) qui constituent une barrière empêchant les

insectes et les autres arthropodes de se mettre en contact avec la surface de l'hôte (Brown et Herbert, 1997). L'action répulsive des huiles testées contre les imagos d'*A. obtectus* serait due à la présence du thymol. Le thymol, appartenant au groupe des terpénoïdes, est un monoterpène cyclique possédant une fonction phénol. Le thymol est un composant le plus volatil identifié dans ces HE, présente une forte répulsion des bruches de haricot.

Les tests de confrontations directes sans graine de haricot réalisés *in vitro* ont mis en évidence une forte action insecticide des HE extraites sur les organes à l'état sec vis-à-vis d'*A. obtectus*. Après 12 heures d'exposition, à 0,007 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$, il est noté le taux de 51,25%, 71,25% et 78,75% respectivement sur les HE extraites des feuilles séchées d'*O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. Le taux de mortalité de 48,75% est enregistré pour les HE extraites sur les organes à l'état sec de *C. citratus* et *Z. officinale*. La mortalité élevée d'*A. obtectus* en présence de *O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides* pourrait s'expliquer par les fortes concentrations du thymol et o-cymène. L'action de deux mono terpènes dans l'HE de *C. ambrosioides* agirait en synergie avec α -citral et 2-bornène. Les monoterpènes ainsi que les composés poly-phénoliques provoquent une perturbation de la motricité naturelle des bruches. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Regnault-Roger et al. (2002). De plus, une exposition prolongée à ces composés même à faible dose provoque une mortalité *A. obtectus* de 97,5 % avec les HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. Aucune bruche de haricot n'a survécu au-delà de 0,031 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ avec l'HE de *O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. *C. citratus* et *Z. officinale*. Pour les deux dernières HE, la mortalité d'*A. obtectus* nécessiterait une synergie du thymol, de l'o-cymène, du zingibérène et du β -sesquiphellandréne présents chez *Z. officinale*. Outre la faible occurrence du thymol chez *C. citratus*, la présence de α -citral et (2Z)-2-(3,3-diméthylcyclohexylidène) éthanol se révélerait toxique à *A. obtectus*. Par contre, il est observé une mortalité de cette bruche, relativement faible lors des confrontations directes en présence des graines de haricot. Le taux de mortalité de 61,25 % est enregistré avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite à l'état sec à 0,01 $\mu\text{l}/\text{g}$ après 12 heures d'exposition. Ce taux est plus important comparé à 50 %, 42,50%, 38,25 % et 23,75% noté respectivement pour les HE extraites d'organes sec de *C. citratus*, *O. gratissimum*, *Z. officinale* et *L. multiflora*. L'HE de *C. ambrosioides* est plus toxique vis-à-vis d'*A. obtectus* en présence graines de haricot. Cette toxicité serait due au thymol (52,6%), l'o-cymène (17,4%) et 2-bornène (13,9%). Les constituants de cette HE formeraient un film imperméable sous forme de cuticule isolant *A. obtectus* de l'air et provoqueraient son asphyxie. De plus, les HE sont riches en groupements fonctionnels et ont des propriétés à diffuser facilement à travers les membranes cellulaires (Boyom et al. 2007). Pollack et al. (1990) ont démontré que la forte toxicité de cette HE serait essentiellement attribuée à

l'ascaridole qui en constitue généralement 45 à 75 %. Des résultats analogues sont obtenus par Delobel et Malonga (1987), Tapondjou et al. (2002), Chaisson et al. (2004), Denloye et al. (2010) et Santiago et al. (2014). L'HE extraite des feuilles de *C. ambrosioides* a révélé des propriétés insecticides très intéressantes contre une grande variété d'insectes de stock des denrées alimentaires (Regnault- Roger et al. 2002). Avec toutes les HE extraites d'organes frais, la réduction du taux de mortalité d'*A. obtectus* s'expliquerait par dissémination de cette bruche sous les graine de haricot et entraînerait l'action lente de la formation du film imperméable sur la cuticule. Par ailleurs, il est observé une mortalité relativement faible lors des tests de confrontations directes (avec ou sans graine de haricot) entre *A. obtectus* et HE extraites d'organes frais. Après 12h d'exposition à la concentration de 0,007 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$, le taux de mortalité de 61,25 % et 71,25% est noté respectivement avec les HE de *L. multiflora* et *C. ambrosioides*. Ce taux est de 35% avec l'HE de *C. ambrosioides* à la dose 0,01 $\mu\text{l}/\text{g}$. Cette réduction serait due à la modification de la composition et de la teneur des mono terpènes dans les HE extraites sur les feuilles et les rhizomes à l'état frais. Excepté *O. gratissimum*, il est noté une réduction des occurrences du thymol et de l'*o*-cymène dans les HE de *C. ambrosioides* et *L. multiflora*. Il est observé une absence de 2-bornène mais une prédominance de β -citral et α -citral dans les HE de *L. multiflora*, *C. ambrosioides* et *C. citratus*. Ces deux derniers composés n'auraient dans l'immédiat une action insecticide contre *A. obtectus*. Ainsi, les doses de 5,37%, 1,43% et 2, 24% sont nécessaires aux HE d'*O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides* pour obtenir une mortalité de 50 % de la population d'*A. obtectus*. Cette mortalité est provoquée avec les faibles doses 1,19 %, 1,25% et 0,67 % de ces HE extraites d'organes secs. Avec les confrontations directes avec ou sans graine, l'HE de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches est plus toxique vis-à-vis *A. obtectus* avec les DL50 de 1,17% et 0,67%.

Pour le test de fumigation en absence des graines, il est noté les mortalités de 78,75 % et 71,25% d'*A. obtectus* exposées à 0,002 $\mu\text{l}/\text{cm}^3$ des HE de *C. ambrosioides* et *L. multiflora* extraites à l'état sec après 6 heures d'inhalation. A la même dose et durée d'exposition, les taux de mortalité de 61,25% et 50 % sont enregistrés avec HE de *C. ambrosioides* et *C. citratus* extraites à l'état frais. Nos résultats révèlent une forte mortalité d'*A. obtectus* par inhalation quel que soit l'état d'extraction des HE testées. Cette mortalité serait due à la présence des monoterpènes volatiles contenus dans ces HE. L'activité insecticide des substances volatiles des HE a été démontrée par plusieurs auteurs (Gillij et al. 2007 ; Tia et al. 2013 ; Kanko et al. 2017). En présence des graines après 24 heures d'exposition, il est enregistré la mortalité de 70 % et 73,75% d'*A. obtectus* exposées à la plus forte dose (0,015 $\mu\text{l}/\text{cm}^3$) avec l'HE de *C. ambrosioides* extraite respectivement à l'état frais et à l'état

sec. Par contre, cette mortalité est très faible après 6 heures d'inhalation à $0,002\mu\text{l}/\text{cm}^3$ de *C. ambrosioides*. La faible mortalité s'expliquerait par la dispersion des monoterpènes volatiles contenus dans ces HE sur les graines entraînant ainsi leur faible inhalation par *A. obtectus*. De plus, cette bruche se dissimule sous les graines du haricot n'exposant pas leurs organes olfactifs aux substances volatiles des huiles testées.

Conclusion

Cette étude a révélé les effets insecticides et répulsifs des HE de *Z. officinale*, *C. citratus*, *O. gratissimum*, *L. multiflora* et *C. ambrosioides* extraites des feuilles ou rhizomes frais ou secs. Le rendement des HE varie selon l'espèce utilisée et l'état d'organes utilisés pour l'extraction. Le taux d'extraction plus élevé est enregistré chez *O. gratissimum* avec 1,01% et 0,46% sur les feuilles séchées et fraîches. Les HE *O. gratissimum* et *L. multiflora* ont exprimé les meilleurs taux d'extraction. Les HE extraites d'organes frais ou sec sont répulsives vis-à-vis d'*A. obtectus*. La plus répulsive est celle de *C. ambrosioides* extraite des feuilles séchées avec un taux de répulsion de 98,13%. Les tests par contact avec ou sans graines, l'utilisation des HE extraites d'organes sec a un effet plus marqué sur la mortalité de *A. obtectus*. La plus efficace l'HE est celle de *C. ambrosioides* extraite des feuilles sèches. Pour la toxicité par contact sans graines, cette HE enregistre le taux de mortalité de 78,75% à la dose de $0,007\mu\text{l}/\text{cm}^2$ après 12 heures d'exposition. Cette mortalité est de 61,25 % à la dose de $0,01\mu\text{l}/\text{g}$ pour le test de contact avec graines du haricot. Pour les tests de fumigation avec ou sans graines de haricot, les HE extraites d'organes secs montrent des effets inhalateurs plus importants que celles extraites à l'état frais. La plus marquée est l'HE de *C. ambrosioides* extraite à l'état sec avec un taux de mortalité de 78,75 % d'*A. obtectus* après 6 heures d'inhalation à $0,002\mu\text{l}/\text{cm}^3$ en absence des graines. Cette mortalité est de 73,75% après 24 heures d'inhalation à la plus forte dose ($0,015\mu\text{l}/\text{cm}^3$) en présence des graines. Pour tous les tests biologiques effectués, l'HE de *C. ambrosioides* extraite sur les feuilles sèches s'est avérée plus efficace contre *A. obtectus*. Cette efficacité se traduit avec un fort pouvoir insecticide et répulsif vis-à-vis d'*A. obtectus*. L'efficacité dans la lutte contre *A. obtectus* des HE de *Chenopodium ambrosioides*, *Lippia multiflora* et *Ocimum gratissimum* est en cours d'évaluation en milieu réel.

Remerciements: Les auteurs remercient l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et le FAO-Congo pour le financement et co-financement de ce projet de recherche.

Conflits d'intérêt: Il n'y a aucun conflit d'intérêt

References:

1. Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide; *Journal of Economic Entomology*, 18:265-267
2. Anonyme (2001). Laboratoire Bivea, extraction des huiles essentielles des agrumes (Citrus.Sp).http://www.bivea.fr/info_bivea/pranarom/principe_extraction_huilesessentielles.php
3. Bagher, M.H., Hassani, A., Vojodi, L., & Farsad-Akhtar N. (2010). Drying Method Affects Essential Oil Content and Composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.), *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 13 (6): 759 – 766
4. Blanco, M.C.S.G., Ming, L.C., Marques, M.O.M., & Bovi, O.A. (2002). Drying Temperature Effects in Rosmary Essential Oil Content and Composition, *Acta Horticulturae*, 569: 95 – 98
5. Baudoin, J.P. (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement* 5(4) : 221-230
6. Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, D.G., Lynch, J.P. (2003). Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. *Field Crop Resistance* 80 (3): 207-222
7. Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W., & Acosta-Gallegos, J.A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front. Physiol.* 4:35. doi: 10.3389/fphys.2013.00035
8. Bouwmeester, H., Van asten, P., & Ouma, E. (2009). Mapping key variables of banana based cropping systems in the Great Lake Region, partial outcomes of the base-line and diagnostic surveys, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 50 pp
9. Bourkhiss, M., Hnach, M., Bourkhiss, B., Ouhssine, M., Chaouch, A., & Satrani, B. (2009). Effet de séchage sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters ; *Agrosolutions* 20 (1): 44-48
10. Boyom, F., Ngouana, V., Amvam, Z.P.H., Menut, C., Bessiere, J.M., & Gut, J. (2007). Composition and anti-plasmodial activities of essential oils from some Cameroonian medicinal plants. *Phytochemistry* 64:1269-1275
11. Brown, M., & Herbert, A.A. (1997). Insect repellents: an overview. *J. Am. Acad. Dermatol.* 36: 243-249
12. Caixeta, E.T., Borém, A., Azevedo Fagundes, S., Niestche, S., Barros, E.G., Moreira, M.A. (2003). Inheritance of angular leaf spot resistance in common bean line BAT 332 and identification of RAPD marker linked to the resistance gene. *Euphytica* 134: 297-303.

13. Caswell G. H. (1960). The infestation of cowpeas in the Western region of Nigeria Trop. Sei, pp 154-158.
14. Chiasson, H., Vincent, C., & Bostanian, N.J. (2004). Insecticidal properties of a Chenopodium-based botanical. J Econ Entomol. 97(4): 1378-138
15. Clevenger, J.F. (1928). Determination of volatile oil. J. Ann. Pharm. Assoc. 17(4) :346-351
16. Dabire C., Nebie R.H., Belanger, A., Nacro M., & Sib, S.F. (2011). Effet du séchage de la matière végétale sur la composition chimique de l'huile essentielle et l'activité antioxydante d'extraits de *Ocimum basilicum* L. Int. J. Biolo. Chem. Sci, 5 (3) : 1082-1095
17. Delobel, A., & Epouna-Mouinga, S. (1984). Les structures de stockage en République Populaire du Congo. Ronéo, ORSTOM, Brazzaville, 19 pp.
18. Delobel, A., & Malonga, P. (1987). Insecticidal properties of six plant materials against *Caryedon serratus* (Ol.) (Coleoptera : Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 23 (3) :173-176.
19. Demol, J., Baudoin, J.P., Louant, B.P., Maréchal, R., Mergeai, G., & Otoul E. (2002). Amélioration des plantes : application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Gembloux : Presses Agronomiques de Gembloux, 583p
20. Denloye Abiodun A., Makanjuola, W.A., Teslim, O.K., Alafia, O.A., Kasali, A.A., & Eshilokun, A.O. (2010). Toxicity of *Chenopodium ambrosioides* L. (chenopodiaceae) products from Nigeria against three storage insects. Journal of plant protection research, 50 (3) :289-384
21. Dutta, D., Pawan Kumar, A., Nath, N., Verma, B., & Gangwar. (2014). Qualities of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil at different drying conditions. International Journal of Agriculture, Environment & Biotechnology 7(4): 903-909
22. Fathi, E., & Sefidkon, F. (2012). Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Eucalyptus sargentii*, Journal of Agricultural Science and Technology, 4 (5) : 1035 - 1042
23. Ferron, P., & Deguine, J.P. (2004). Protection des cultures et développement durable bilan et perspective in : Le courrier de l'environnement de l'INRA, 52 : 57-65
24. Freytag, G.F., & Debouk, D.G. (2002). Taxonomy, distribution, and ecology of the genus Phaseolus (Leguminosae- Papilionodeae) in North America, Mexico and Central America. Sida, Botanical Miscellany 23. Botanical Research Institute of Texas.

25. Gillij, Y.G., Gleiser, R.M., & Zygadlo, J.A. (2007). Mosquito repellent activity of essential oils of aromatic plants growing in Argentina. *Bioresour Technol.* 99 (7): 2507-2515
26. Goudjil, M.B., Segni L., Salah, E.B., & Souad, Z. (2015). Influence du séchage sur le rendement de l'extraction des huiles essentielles de *Mentha piperita*. 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMSTS'2015) Ouargla (Algérie), du 22 au 24 Novembre, 2015
27. Hall, F.R., & Menn, J.J. (1999). Biopesticides: Present status and future prospects, pp. 1-10. In *Methods in biotechnology* (5): Biopesticides Ed. by F. R. Hall and J. J. Menn. Totowa New Jersey, Human Press
28. Kaid S.L. (2004). Contribution à l'étude de la composition chimique et du pouvoir antibactérien des huiles essentielles de *Cistus ladaniferus* de la région de Tlemcen, Thèse. Ing. Biologie, option Contrôle de Qualité et Analyse, Université de Tlemcen, pp 17.
29. Kanko, C., Kouamé, O.R., Akcah, J., Boti, J.B., Badama, S.K.P., & Casanova, J. (2017). Structure des composés majoritaires et activité insecticide des huiles essentielles extraites de sept plantes aromatiques de Côte D'ivoire. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4 (10) :27-34
30. Khorshidi, J., Mohammadi R., Fakhr T.M., & Nourbakhsh, H. (2009). Influence of drying methods, extraction time, and organ type on essential oil content of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), *Nature and Science*, 7 (11) :42 - 44
31. Loumouamou, A.N., Biassala, E., Silou, T., Ntondele-Nsansi, P., Diamouangana, J., Nzikou, J. M., Chalchat, J.C., & Fiquérédo, G. (2010). Characterisation of a giant Lemon acclimatised in the Congo-Brazzaville. *Advence Journal of Food Science and technology*, 2 (6):312-371.
32. Lucchesi, E.M. (2005). Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat. Université de la Réunion, 143 p.
33. Mahuku, G.S., Jara, C.E., Cajiao, C., & Beebe, S. (2002). Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in the secondary gene pool of *Phaseolus vulgaris* and in crosses of primary and secondary gene pools. *Plant Disease* 86:1383-1387.
34. Mbukula, M., Matondo, N.K., Buruchara, R., Rubyogo, J.C., Lunze L., Nitumfuidi, S., & Matuta, S. (2018). Influence des différentes doses d'engrais minéraux et des fréquences d'arrosage sur le rendement du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* l.). *International Journal of Development Research*, 08 (7): 21677-21686

35. McDonald, L.L., Guy, R.H., & Speirs, R.D. (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials and toxicants, repellents and attractants against stored product insects. Marketing. Res. Rep. n°88. Washington: Agric. Res. Service, US. Dept of Agric, 183p
36. Mikolo, B., Massamba, D., Matos, L., Bani, G., Maloumbi, M.G., Glitho, I.A., Lenga, A., Chalchat, J.C., & Miller, T. (2009). Toxicity and repellent activity of essential oil from Waya (*Plectranthus grandifolius* Handel-Mazzetti) against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Biopestic Int* 5:52–59
37. Mwanauta, R.W., Mtei, K.M., & Ndakidemi, P.A. (2015). Potential of controlling common bean insect pests (Bean Stem Maggot (*Ophiomyia phaseoli*), Ootheca (*Ootheca bennigseni*) and Aphids (*Aphis fabae*)) using agronomic, biological and botanical practices in field. *Agricultural Sciences*, (6) :489-497.
38. Ndomo, A.F., Tapondjou, A.L., Tendonkeng F., & Mbiopo, T.F. (2009). Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicultura*, 27 (3) :137-143
39. Nguimale, K.B.T. (2016). Evaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle de citronnelle (Variété géante Lemon Grass) contre les larves de *Desmestes* sp. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, République du Congo, 36p. Nebie R.H., Belanger, A., & Sib, S.F. (2007). Effet du séchage sur la composition chimique de l'huile essentielle et l'activité antioxydante d'extraits de *Ocimum basilicum* L. *Science et technique série Sciences appliquées et technique*, 2 :12-20
40. Okoh, O.O., Sadimenko A.P., Asekun O.T., & Afolayan A.J. (2008). The effects of drying on the chemical components of essential oils of *Calendula officinalis* L., *African Journal of Biotechnology*, 7 (10): 1500 - 1502
41. Ouafi, N., Moghrani H., Benaouda, N., Yassaa, N., & Maachi, R. (2017). Evaluation qualitative et quantitative de la qualité des feuilles de Laurier noble Algérien séchées dans un séchoir solaire convectif. *Revue des Energies Renouvelables*, 20 (1) : 161 – 168
42. Pandey, A.K., Uma, T., & Palni, N.N. (2014). Tripathi Repellent activity of some essential oils against two stored product beetles *Callosobruchus chinensis* L. and *C. maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) with reference to *Chenopodium ambrosioides* L. oil for the safety of pigeon pea seeds. *J Food Sci Technol*, 51(12): 4066–4071
43. Pirbalouti, A.G., Oraie M., Pouriamehr M., & Babadi, E.S. (2013). Effects of drying methods on qualitative and quantitative of the

- essential oil of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.). Industrial Crops and Products, 46:324 – 327
44. Pollack, Y., Segal, R., & Golenser, J. (1990). The effect of ascaridole on the *in vitro* development of *Plasmodium falciparum*. Parasitology Res; 76: 570-2
 45. Regnault-Roger, C., & Hamraoui, A. (1995). Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Stored Products Research, 31: 291-299
 46. Regnault- Roger, C., Bernard, J.R., & Phylogene, C.V. (2002). Biopesticides d'origine végétale. Tec et Doc Eds, Paris, 337p
 47. Santiago, J.D.A., Graças, C.M.D., Da Silva, F.A.C., Campos de Moraes, J., Aparecida de Assis, F., Teixeira, M.L., Douglas, S.W., Sales, T.A., Camargo, K.C., Lee Nelson, D. (2014). Chemical Characterization and Application of the Essential Oils from *Chenopodium ambrosioides* and *Philodendron bipinnatifidum* in the Control of *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae). American Journal of Plant Sciences, 5 : 994-4002
 48. Silou, T., Taty-Loumbou, F., & Chalchat, J.C. (2002). Etude de l'effet du séchage solaire sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus citriodora*. Ann. Fals. Exp. Chim., n° 960: 287-301
 49. Shiva, M.P., Jain, P.P., Suri, R.K., Jagat, R., & Gulati, N.K. (1983). Effect of storage of Eucalyptus hybrid leaves on their essential oil. Indian Forester, 109 (12):926- 932
 50. Singh, A., Singh, S.R., Duve, R.N., Vithalbha, C.L., & Drysdale, P. (1977). The distillation and properties of *Eucalyptus citriodora* oil. Fiji. Agric. J. 39, 33-38
 51. Stanton (1950) - Les légumineuses à graines en Afrique, Pul. F.A.O. 197p.
 52. Sun, W.Q., & Davidson, P. (1996). Protein inactivation in amorphous sucrose and trehalose matrices: effects of phase separation and crystallization. Biochimica et Biophysica Acta 1425 : 235–244.
 53. Taponjou, L.A., Adler, C., Bouda, H., & Fontem, D.A. (2003). Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des organes de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab (Coleoptera, Bruchidae). Cahiers d'études et de recherches francophones, Agricultures, 12 (6) : 401-407.
 54. Taponjou, L.A., Adler, C., Bouda, H., & Fontem, D.A. (2002). Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as

- post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. J. Stored Prod. Res. 38: 395 – 402
55. Tchoumboungang, F., Dongmo, J.P.M., Sameza, M.L., Mbanjo, N.E.G., Fotso, G.B.T., Amvam, Z.P.H., & Menut, C. (2009). Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun, BASE 1 (13) :77-84.
 56. Tia, E.V., Lozano, P., Lozano, Y.F., Martin, T., Niamké, S., & Adima, A.A. (2013). Potentialité des huiles essentielles dans la lutte biologique contre la mouche blanche *Bemisia tabaci* Genn. Phytothérapie, 11 (1) : 31-38
 57. Zrira, S. (1991). Effects of drying on leaf oil production of Moroccan *Eucalyptus camaldulensis*. J. Ess. Oil. Res., 3(2) :117-118.
 58. Zrira, S., Benjilalp, B., & Lamaty, G. (1995). Effet du séchage à l'air libre des feuilles d'*E. camaldulensis* sur le rendement et la composition de l'huile essentielle. Actes Inst. Agron. Veto,15 (4) :27-35

Efecto de la Quema de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) Sobre las Propiedades de los Suelos Agrícolas en la Zona Kárstica del Sur de Quintana Roo

Fragoso-Servón Patricia

Pereira Corona Alberto

Prezas Hernández Benito

Departamento de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo,
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, colonia Del Bosque.
Chetumal, Quintana Roo, Mexico

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p330](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p330)

Submitted: 08 November 2022

Accepted: 21 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fragoso-Servón P., Pereira Corona A. & Prezas Hernández B. (2023). *Efecto de la Quema de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) Sobre las Propiedades de los Suelos Agrícolas en la Zona Kárstica del Sur de Quintana Roo*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 330. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p330>

Resumen

Existe una gran controversia respecto al uso de quemas controladas en agricultura. La mayor parte de las investigaciones van dirigidas hacia: el efecto sobre los microorganismos, la pérdida de la materia orgánica y la contaminación del aire. La quema contribuye a reducir la materia orgánica sobre el suelo, fuente de macro y micronutrientes. Nutrientes que son reincorporados en los suelos agrícolas principalmente a través del uso de fertilizantes. El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios físicos y químicos que produce la quema en el suelo sometido a cultivo intensivo de caña en la zona kárstica del sur de Quintana Roo, México. Al analizar las propiedades físicas en los primeros 20 cm de profundidad en un suelo Gleysol antes y después de la quema controlada se encontraron cambios en la textura y el patrón de distribución de arcillas y limos respecto a profundidad con una visible migración de arcillas hacia niveles inferiores. El contenido de carbono orgánico varió poco en los perfiles analizados, indicando un efecto menor de la quema sobre esta variable. Se encontraron pequeños cambios en las concentraciones de K, Ca y Mg; solo fueron estadísticamente significativos

los cambios en Na y P, tanto en sus concentraciones como en la distribución de estos elementos respecto a profundidad. La dinámica de los suelos kársticos es diferente a otros por el elevado contenido de CaCO₃ que interfiere en el comportamiento físico y químico del suelo y en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por lo que se hace evidente la necesidad de profundizar estos estudios en otros tipos de suelo usados con el mismo fin en estos ambientes kársticos.

Palabras clave: Quema agrícola, karst, carbono, fósforo, caña

Effect of fire on the properties of agricultural soils in the karst zone of southern Quintana Roo

Fragoso-Servón Patricia

Pereira Corona Alberto

Prezas Hernández Benito

Departamento de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo,
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, colonia Del Bosque.
Chetumal, Quintana Roo, Mexico

Abstract

There is great controversy regarding the use of controlled burning in agriculture. Most of the investigations are directed towards the effect on microorganisms, the loss of organic matter and air pollution. Burning contributes to reducing organic matter on the soil, a source of macro and micronutrients. Nutrients that are reincorporated into agricultural soils mainly using fertilizers. The objective of this work was to analyze the physical and chemical changes produced by burning in the soil subjected to intensive sugarcane cultivation in the karstic zone of southern Quintana Roo, Mexico. When analyzing the physical properties in the first 20 cm of depth in a Gleysol soil before and after controlled burning, changes were found in the texture and distribution pattern of clays and silts with respect to depth with a visible migration of clays towards lower levels. The organic carbon content varied little in the analyzed profiles, indicating a minor effect of burning on this variable. Small changes were found in the concentrations of K, Ca, and Mg; Only the changes in Na and P were statistically significant, both in their concentrations and in the distribution of these elements with respect to depth. The dynamics of karstic soils is different from others due to the high content of CaCO₃ that interferes with the physical and chemical behavior of the soil and the availability of nutrients for plants, which is why it is evident the need

to deepen these studies in other types of soil used for the same purpose in these karstic environments.

Keywords: Agricultural burning, karst, carbon, phosphorus, cane

Introducción

La caña de azúcar es un cultivo perenne característico de las zonas cálidas húmedas y subhúmedas del planeta, de ella se obtienen cuatro productos principalmente azúcar, piloncillo, fruta (caña) y forraje.

La producción a nivel mundial de acuerdo con los datos de ISO (2022) es de casi 174.11 millones de toneladas y abarca un área de 24 millones de hectáreas siendo los principales países productores Brasil, India, China

En México hay 55 ingenios azucareros distribuidos en 15 estados de la República, para el ciclo 2021-2022 se reportó actividad en 49 de ellos abarcando una superficie cosechada de 799,774 hectáreas, con una producción de 54.680,830 toneladas de caña y 6.185,050 toneladas de azúcar (CONADESUCA, 2022).

Dentro de las prácticas de cultivo tradicionales se realizan una o dos quemas al año, la primera antes de la cosecha y la segunda posterior a la cosecha. La quema es una práctica que se realiza por las características particulares que tiene el cultivo y por el contexto social y económico en que esa agroindustria se desenvuelve (Chaves y Bermúdez, 2006).

Derivado de esta práctica se han realizado diversas investigaciones sobre el efecto que tienen las quemas sobre las poblaciones de microorganismos del suelo (Goberna et al., 2012; Pineda y Lizarazo, 2013), sobre el efecto en los contenidos de carbono en el suelo (Torres et al., 2004; Cabrera y Zuaznábar, 2010; Goberna et al., 2012), los efectos sobre la contaminación atmosférica y emisora de gases de efecto invernadero y daños a la salud de las poblaciones aledañas (Fearmside, 2000, Dávalos, 2007; Silva et al., 2011; Flores, et al., 2016) y sobre cambios en la fertilidad del suelo para calcular dosis de fertilizantes (Salgado et al. 2000, 2003, 2005; Palma et al. 2002; Karlen et al., 2003).

Hay pocos estudios sobre los efectos de la quema sobre las propiedades del suelo, la mayoría desde el punto de vista del efecto de los incendios forestales en zonas templadas como los realizados por Úbeda (2021) y Celis et al., (2013) en España, Coldwel et al. (2002) en Estados Unidos, Valdes (2016) en Cuba y Capulín et al., (2010) en México.

En el caso de la caña de azúcar, la quema controlada se hace cada año a lo largo de 10 a 15 años de producción continua antes de dejar descansar el suelo por un par de años para volver a ser sembrada, no hay forma de recuperación como en el caso de la vegetación natural siniestrada en los incendios forestales.

Hay opiniones tanto a favor como en contra de las quemas, algunos consideran que no son necesarias y que contaminan el aire, otros consideran que es una práctica que solo favorece las condiciones de la mano de obra para la cosecha (Crovetto, 1992; Molina et al., 2002; Ripoli, 2000; Sentiés et al., 2014) y en el suelo la mayor pérdida es de la materia orgánica Hartemik (1998), Molina et al. (2002), Salgado et al. (2000), Hernández y López (2002) indican que la quema de la materia orgánica no permite que se obtengan de esta forma los nutrientes que la planta necesita de manera natural, a cambio de ello en las zonas de cultivo de caña se debe subsidiar a la planta a través del uso de fertilizantes aplicando dosis excesivas generales para toda la zona sin considerar los contenidos de nutrientes del suelo como indican Salgado et al. (2000, 2005) y Palma et al. (2002).

Aún con la información disponible hasta ahora, el uso de la quema controlada para el mantenimiento de los sistemas naturales y agropecuarios sigue siendo un tema conflictivo, el efecto del fuego sobre el suelo es variable, depende de varios factores como las temperaturas alcanzadas, la duración, la frecuencia de quemas, el tipo de vegetación o cultivo y el grado de incorporación de las cenizas (Hepper et al., 2008) trayendo como consecuencia la pérdida de nutrientes o favorecer la mineralización de la materia orgánica.

A pesar del uso frecuente del fuego en la producción de caña en México donde se realiza principalmente la quema precosecha, es escasa la información disponible del efecto que este tiene sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas (Domínguez, 2016) y en especial en los suelos kársticos de la Península de Yucatán.

Esta investigación tiene por objetivo analizar el efecto que tiene la quema de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en las propiedades físico - químicas del suelo en la zona cañera del sur de Quintana Roo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La zona de cultivo de caña en Quintana Roo se encuentra en la porción sur bajo la administración del ingenio de San Rafael de Pucté, el cual trasciende en la actividad económica y social del estado, abarca 13 ejidos a lo largo de la Riviera del río Hondo con una superficie cosechada de 32.676 hectáreas, una producción de 1.774.069 toneladas de caña y un rendimiento de 54 toneladas por hectárea (rendimiento máximo reportado en 2012 es de 114 ton/ha y el mínimo de 46,8 ton/ha) (CONADESUCA, 2022).



Figura 1. Localización del área de estudio.

En la zona predominan planicies subhorizontales y ligeramente diseccionadas con algunos acolinamientos, el clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual es de 26,7°C y una precipitación anual de 1307 mm, los grupos de suelo dominantes en el área son Gleysol, Vertisol, Luvisol y en menor escala Leptosol (INIFAP, 2012; Fragoso et al., 2016).

El estudio se realizó en el ejido Álvaro Obregón en un predio de 16 hectáreas ubicado en el lugar llamado “El Zapote” con coordenadas 18°18’50” latitud norte y 89°42’11” longitud oeste (Figura 1), en un cultivo de caña de 10 años en producción con una altura promedio de 3 m y sin plagas sobre un suelo Eutric Gleysol (Clayic, Vertic), el más representativo y abundante en el área, cuyas características distintivas son el alto contenido de arcillas, problemas hidromórficos, predominancia de reacciones de reducción lo que favorece las coloraciones grisáceas (WRB, 2015).

Metodología

Para identificar los efectos de la quema, se realizaron dos muestreos en el intervalo de un ciclo productivo, el primero cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo y el segundo después de la quema y cosecha de este.

Se siguieron las metodologías de muestreo y análisis de Siebe et al. (1996) y la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) (SEMARNAT, 2002). Se utilizó el diseño por zigzag para el muestreo, tomando 10 puntos, cada punto fue georreferenciado, se eliminó la hojarasca y el horizonte orgánico; a partir del horizonte mineral, se tomaron muestras

cada 2 cm hasta llegar a una profundidad de 20 cm (Figura 2), cada muestra fue secada a la sombra, molida y tamizada con malla de 2mm, para los análisis físicos y químicos.



Figura 2. Muestreo cada 2 cm de profundidad

Se evaluaron las propiedades físicas y químicas previo a la quema y posterior a la quema: estructura, estabilidad de agregados, color por tablas Munsell, textura por hidrómetro de Bouyoucos, pH 1:2 agua, materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) Walkley-Black, conductividad eléctrica (CE) 1:5 agua, fósforo (P) Bray y cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}) por extracción con solución de acetato de amonio y posteriormente Ca^{2+} y Mg^{2+} por absorción atómica y K^{+} y Na^{+} con la técnica de emisión atómica.

Para evaluar las temperaturas del suelo durante la quema se utilizaron placas de cerámica cruda (sin vidriado) de 10 por 5 cm con pintura termosensible poniendo en cada una de ellas líneas de registro verticales de 5 cm de altura, teniendo siete indicadores de temperaturas (90-130°C, 130-150°C, 150-180°C, 180-220°C, 230-260°C, 320-340°C, 590-630°C). Cada placa fue enterrada junto al pozo de muestreo de modo tal que las líneas de pintura abarcaran los primeros cinco centímetros de profundidad del suelo, de manera análoga a lo realizado por González (2011) y Campo (2012). La temperatura superficial durante la quema se midió usando un pirómetro laser portátil.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de comparación de medias pre y post quema por propiedad y por profundidad usando el software SYSTAT v 13, (versión de prueba), al tratarse de dos

condiciones y dos criterios, antes y después de la quema y profundidad y propiedad, se forman seis grupos lo que hace recomendable un análisis ANOVA o análisis de varianzas para determinar si los valores medios para cada combinación pertenecen a una sola población de datos o más. Considerando el valor de una desviación estándar de los datos como criterio para determinar la diferencia entre valores, en todos los casos los datos comparados son resultante de las medias de dichos parámetros ya sea por perfil o por profundidad (Kohli et al,2003).

En cuanto a la posible relación entre los diferentes parámetros medidos, se hizo un análisis de correlación simple entre las condiciones de pre y post quema ($\alpha = 0,05$) para determinar si existen modificaciones al patrón de distribución en profundidad de cada una de las propiedades medidas, como criterio para determinar la posibilidad de que los resultados sean producto del azar (la aleatoriedad de los datos), el software utilizado fue SYSTAT v.13, (versión de prueba)..

Resultados y Discusión

Temperatura

Durante la quema en la superficie del suelo, las temperaturas registradas estuvieron por encima de los 200°C, registrándose valores máximos de hasta 500°C. En el perfil del suelo las temperaturas registradas en los primeros 5 cm de profundidad produjeron cambios en las pinturas térmicas de 90-130°C, 130-150°C y 150-180°C. (Figura 3).



Figura 3. Placa de cerámica con indicadores de temperatura.

Las temperaturas alcanzadas pueden determinar la influencia del fuego sobre las propiedades tanto físicas como las químicas del suelo. Soto et al.

(1991) y Capulín et al., (2010, 2018) coinciden en que por debajo de los 170°C se favorece las pérdidas por volatilización, por encima hay una deshidratación de las partículas y se favorece la degradación de la materia orgánica. Entre 220 y 460°C además se producen procesos de disolución y movimiento de materiales y la posible liberación de nutrientes, las temperaturas mayores a 500°C alteran el ciclo de nutrientes.

Propiedades físicas

Color

De acuerdo con las tablas de color Munsell, el suelo antes de la quema tiene un color en seco 10YR 4/2 (café grisáceo muy oscuro) con variaciones de Value de 3,4 y 5 y en húmedo 10YR 3/1 (gris muy oscuro) con variaciones del Chroma entre 1,2 y 3.

Después de la quema y cosecha solo se aprecia cambio por encima de los primeros 10 cm en el Chroma a valores de 1 y 2 indicando un color más oscuro (café oscuro). No hay cambios significativos en el color tanto en seco como en húmedo por debajo de los 10 cm.

Este oscurecimiento de color presente en los primeros centímetros puede ser debido a la quema de la materia orgánica y la presencia de cenizas depositadas en la superficie. Este fenómeno coincide con lo reportado por la mayoría de los autores que estudian el efecto del fuego como Celis et al. (2013)

Estructura y estabilidad de agregados

En toda la profundidad estudiada la estructura dominante en ambos muestreos es de bloques subangulares, teniendo en promedio un diámetro de 1,23 cm (de 0,5 a 2,26 cm) en pre-quema y en pos-quema los bloques tienen un promedio de 1,03 cm en un intervalo de valores que van de 0,6 cm a 1,5 cm.

De acuerdo con la técnica de Siebe et al. (1996) los agregados presentan una estabilidad de mediana a alta en ambos muestreos, en pre-quema domina la estabilidad media y en el caso de pos-quema domina la estabilidad alta.

La diferencia entre el tamaño de pre y pos-quema y la estabilizas de agregados puede estar relacionada con la pérdida de humedad debida al calor y como consecuencia la ruptura de los bloques.

Con la temperatura alcanzada durante la quema los agregados se deshidrataron, se agrietaron y se fragmentaron, dando una mayor estabilidad después de la quema por haber un proceso de cementación interna, el mismo fenómeno fue reportado por Soto et al. (1991) trabajando con Cambisoles (suelos ricos en arcillas) en donde definieron que las temperaturas por debajo de 220°C deshidratan los agregados del suelo, a su vez Celis et al. (2013) en la zona mediterránea encontraron que las arcillas por el calentamiento

generaron agregados más estables y la combustión del material orgánico destruye los agregados del suelo, puede inducir a la cementación de los mismos y dar lugar a la presencia de compuestos hidrofóbicos que favorecen la estabilidad de los agregados.

Los valores de las propiedades físicas en la pre-quema son relativamente homogéneos a lo largo de los 20 cm del perfil, lo que permite suponer una cierta homogeneidad en el comportamiento de esta capa de suelo respecto a la capacidad de conducción térmica al menos en los 20 cm de profundidad estudiados.

Textura

Dentro de las propiedades físicas es en la textura donde se encontraron mayores cambios. En pre-quema se observa un incremento en el contenido de arcillas de 45 a 52% con la profundidad, los limos se mantienen esencialmente constantes a lo largo del perfil y las arenas disminuyen de 41 a 32% en el mismo intervalo de profundidad (Figura 4).

Es claro que a mayor profundidad hay más arcillas y menos arenas, este es un proceso de arrastre mecánico y acomodo de las partículas que se ve favorecido con las fuertes lluvias típicas de la zona de estudio.

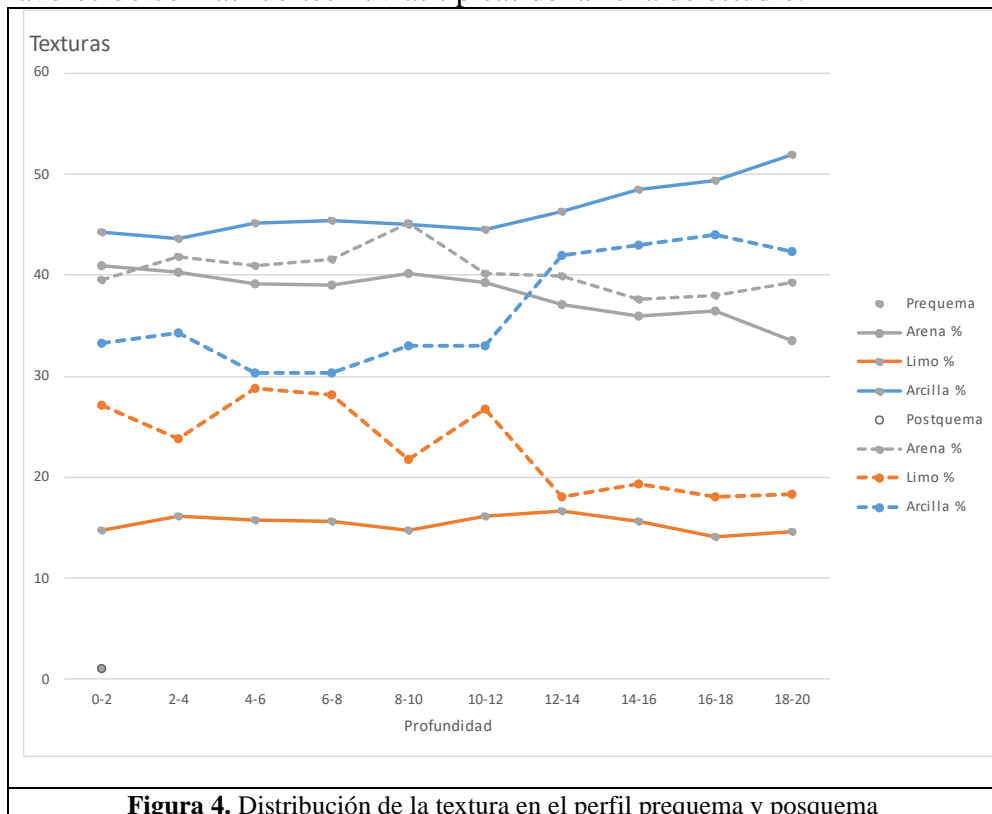


Figura 4. Distribución de la textura en el perfil prequema y posquema

En la pos-quema se observa un aumento en el contenido de limos y disminuye el contenido de arcillas, las arenas se mantienen relativamente en la misma proporción en el perfil, el porcentaje de arcillas es menor (34-42%) pero conserva el mismo comportamiento en profundidad (menor contenido en la superficie y mayor en la profundidad). En cambio, para los limos se observa un mayor contenido (28-18%) y su patrón de distribución respecto a la profundidad va disminuyendo de manera irregular.

Para las tres texturas entre los 4 y 12 cm de profundidad hay una mayor irregularidad en sus contenidos, lo que podría estar asociado con el aumento de temperatura y el desarrollo radicular de la caña de azúcar a dicha profundidad.

Este comportamiento fue igualmente reportado por varios autores como Úbeda (2001); Hepper et al. (2008) y Celis et al. (2013), ellos encontraron que las altas temperaturas favorecen la descomposición térmica de las arcillas, liberando compuestos amorfos de sílice y aluminio y óxidos e hidróxidos de hierro que actúan como cementantes aumentando el tamaño de las partículas.

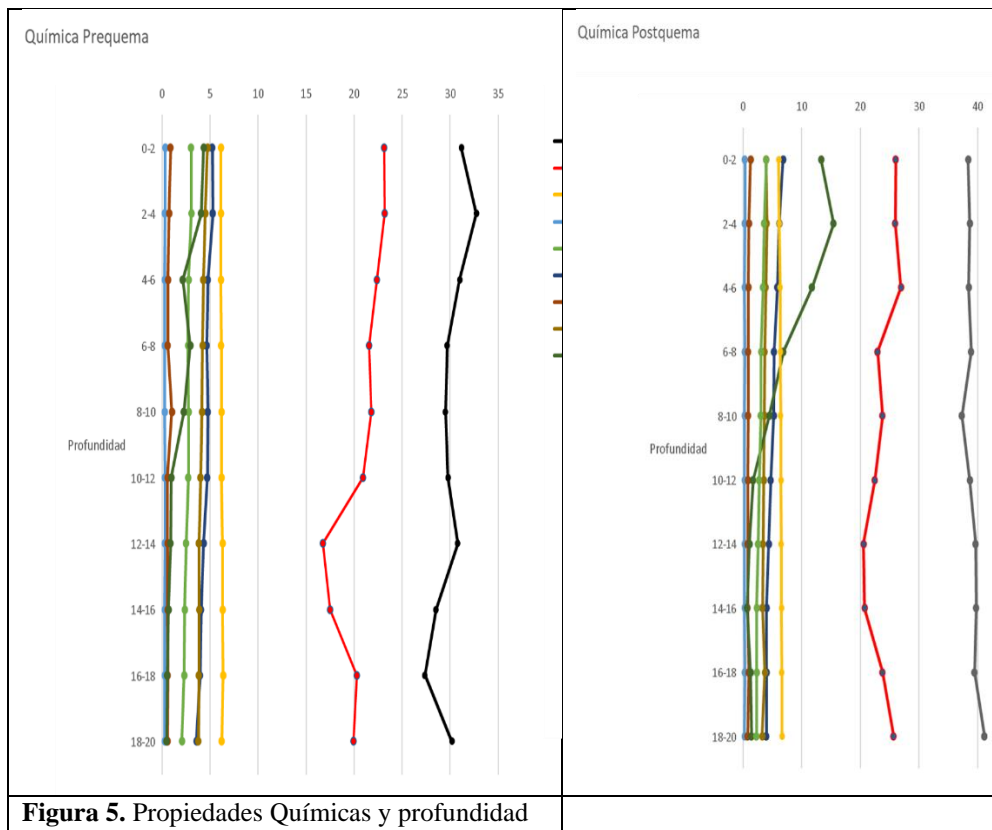
Propiedades químicas

Las concentraciones de las variables químicas en pre y pos-quema se encuentran en la Figura 5 y 6. En cuanto a la concentración relacionada con la profundidad se observa de manera general que las mayores concentraciones están en la parte superior del perfil y disminuyen conforme se desciende en profundidad (Figura 5 y cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de las variables químicas pre y post quema.

Prof.	pH		CE		CO		MO		K		Na		Mg		Ca		P	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
0-2	6,1	6,1	0,3	0,3	3,0	4,0	5,2	6,8	0,9	1,3	31,2	38,4	4,7	3,9	23,2	26,0	4,3	13,3
2-4	6,1	6,2	0,3	0,3	3,1	3,6	5,3	6,2	0,7	1,0	32,7	38,7	4,5	4,1	23,2	26,0	4,1	15,4
4-6	6,1	6,3	0,3	0,3	2,8	3,4	4,8	5,8	0,6	0,9	31,0	38,5	4,3	3,9	22,4	26,9	2,2	11,8
6-8	6,2	6,4	0,3	0,3	2,7	3,1	4,7	5,3	0,6	0,9	29,7	38,9	4,2	3,7	21,6	22,9	2,9	6,9
8-10	6,2	6,4	0,3	0,3	2,8	3,0	4,8	5,2	1,0	0,9	29,5	37,3	4,2	3,6	21,8	23,8	2,3	4,5
10-12	6,2	6,5	0,3	0,3	2,7	2,7	4,7	4,7	0,6	0,8	29,8	38,7	4,0	3,5	21,0	22,5	1,0	1,7
12-14	6,3	6,5	0,3	0,3	2,5	2,5	4,3	4,4	0,6	0,8	30,8	39,6	3,8	3,4	16,8	20,5	0,9	1,1
14-16	6,3	6,6	0,3	0,3	2,4	2,3	4,1	4,0	0,6	0,8	28,5	39,8	3,9	3,3	17,5	20,7	0,7	0,7
16-18	6,4	6,6	0,3	0,3	2,3	2,3	4,0	4,0	0,6	0,9	27,4	39,5	3,9	3,7	20,3	23,8	0,5	1,3
18-20	6,2	6,7	0,3	0,3	2,1	2,3	3,6	3,9	0,6	0,8	30,2	41,2	3,8	3,2	20,0	25,7	0,5	1,4

Elaboración propia



pH

El pH del suelo es ligeramente ácido, los valores menores están en la superficie y a mayor profundidad se acercan a la neutralidad, las variaciones en profundidad son menores en la prequema. En la postquema las variaciones son mayores y el valor de la media de pH aumenta en 0,2. Esto debido a que las cenizas producidas en la quema alcalinizan el suelo al reducir la formación de ácidos orgánicos (Hernández y López, 2002)

Este comportamiento, en mayor o menor grado, ha sido reportado por Vega et al. (2000) y Capulín et al. (2010), todos coinciden en que el pH aumenta con las quemas e incluso el cambio puede ser de más de una unidad. A su vez Celis et al. (2013), encontraron que es debida a la pérdida de los grupos OH de las arcillas, la liberación de cationes o la sustitución de protones en el complejo de cambio pueden ser las razones de estos cambios.

En la zona estudiada el cambio de pH no fue de más de un grado, Vega et al. (2000) indican que la humedad del suelo puede ser un factor que aminore los cambios del suelo, en el suelo estudiado (Gleysol) con sus problemas de

infiltración e hidromorfismo, puede ser el factor por el cual el cambio de pH sea menor que el reportado en otras zonas.

CE

No se encontraron problemas de salinidad al obtener valores menores de uno en la conductividad eléctrica tanto en la prequemada como en la postquemada en todos los sitios y en todas las muestras.

CO y MO

Antes de la quemada se encontraba una gran cantidad de hojarasca sobre el suelo producto de la caída de hojas del cultivo. El contenido de materia orgánica y carbono en los estratos minerales estudiados fue alto (mayor de 2% de CO) y muestran una mayor concentración en superficie disminuyendo con la profundidad. En la postquemada el contenido de MO y CO se incrementó y se observó una mayor variación en la profundidad, se encontraron diferencias significativas en los contenidos de CO solo en los primeros 6 cm de profundidad. Al respecto Úbeda et al (2001) reportan igualmente que el efecto del fuego solo se da en los primeros 10 cm en incendios forestales en la región de Girona, España.

Esto indica que la quemada aportó carbono al suelo y las diferencias en los contenidos de carbono pueden estar asociados al comportamiento observado de la temperatura respecto a la profundidad ya que no se alcanzaron temperaturas mayores de 450°C que es cuando se da la combustión casi total de la materia orgánica (Hepper et al., 2008)

En cuanto a los cationes intercambiables, las concentraciones de sodio, potasio, calcio y magnesio tanto en la pre-quemada como en la pos-quemada son altas, sin embargo, no hay cambios significativos en los contenidos de potasio, calcio y magnesio; solo para sodio los cambios son significativos (Figura 6 letra A).

Llama la atención que el potasio y magnesio no se incrementaron, en la mayoría de los trabajos como los de Sánchez et al. (1991), Rosero y Osorio (2013) y Ebel (2018) señalan un incremento en la concentración de potasio debido a la ceniza que se produce como producto de la combustión en temperaturas por debajo de los 300°C y a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, a su vez Vega et al. (2000) señalan que los incrementos o decrementos de estos cationes dependen tanto de la temperatura como del tipo de vegetación quemada.

El sodio aumenta su concentración un 20% después de la quemada (Figura 6 letra A), posiblemente debido a la formación de sales complejas que aumentan el contenido de sodio del terreno en los primeros 20 cm, este cambio podría ser producto de la destrucción térmica de feldespatos de Na⁺, que son los menos estables entre los feldespatos de acuerdo con Hepper et al. (2008).

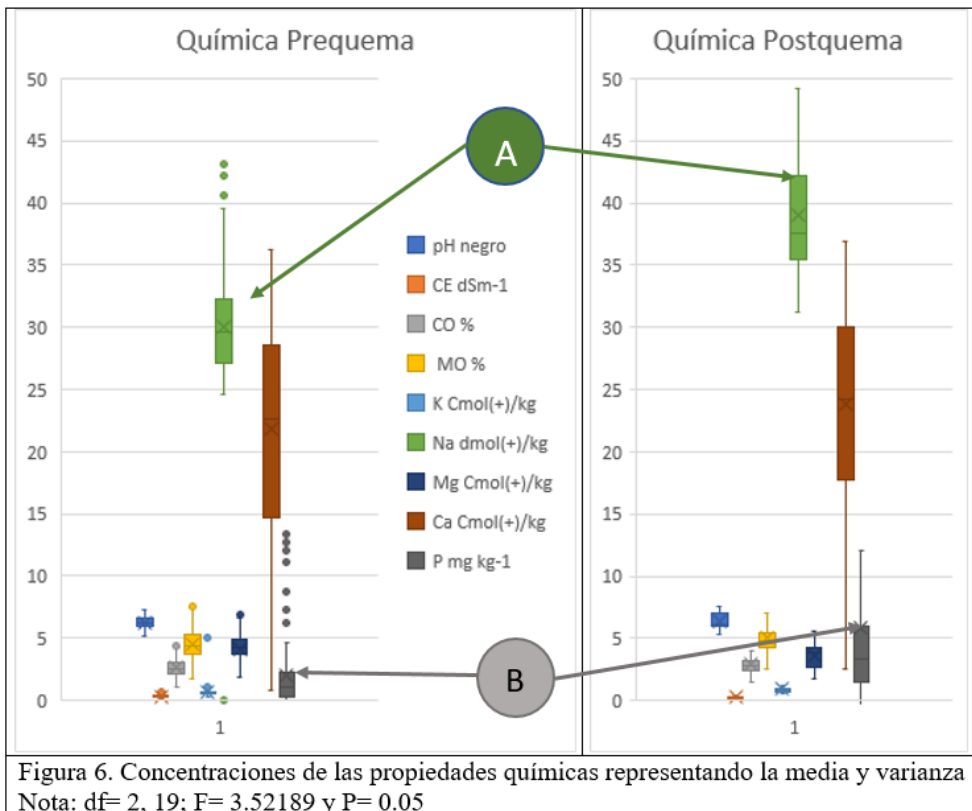


Figura 6. Concentraciones de las propiedades químicas representando la media y varianza
Nota: $df= 2, 19$; $F= 3.52189$ y $P= 0.05$

Se observa un incremento sustancial en los contenidos de fósforo (Figuras 5 y 6 Letra B) que van de valores menores de 4 mg kg^{-1} de P (contenido bajo) a más de 10 mg kg^{-1} en la pos-quema (medio a alto) solo en los primeros 10 cm, estos incrementos se deben probablemente al aporte del material orgánico degradado durante la quema y a que las temperaturas no fueron lo suficientemente altas para su volatilización.

Estos resultados concuerdan con lo observado por Coldwell et al. (2002), Maycotte et al. (2002) y Capulín et al. (2010) al analizar el efecto de los incendios forestales en México y Estados Unidos en zonas templadas e indican que es debido a que el fósforo es un elemento estable por no presentar compuestos inorgánicos que puedan ser volatilizados o lixiviados siendo un elemento de baja solubilidad, lo que en ocasiones puede causar deficiencias en la disponibilidad para las plantas por otra parte Úbeda (2001) justifica el incremento de fósforo a que se alcanza una temperatura en la que se mineraliza el fósforo orgánico.

El análisis de correlación entre las dos condiciones revisadas, es decir entre las diferentes profundidades para cada variable en pre-quema y post-quema, permite definir si existe un cambio en la distribución de dicha variable

respecto a la distribución inicial por estratos resultan significativos la inversión en el patrón de distribución vertical del sodio (mayor concentración en la superficie) y el comportamiento del fósforo, el carbono y la materia orgánica que tienen correlaciones superiores a 0.9 y confirman que el incremento de fósforo en la postquema proviene de la materia orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Correlación para las variables físicas y químicas del suelo bajo condiciones de pre y post quema

Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	CO	MO	K	Na	Mg	Ca	P
0,592	0,254	0,794	0,777	0,633	0,921	0,921	0,528	-0,201	0,850	0,817	0,916

De esta forma, los resultados del análisis de correlación en conjunto con las variaciones en la cantidad de los distintos elementos en las muestras procesadas apuntan a que si bien los cambios en la cantidad de nutrientes no son significativos para la mayoría de las variables medidas, los patrones de distribución de estos materiales cambian de manera significativa al menos para el sodio y el fósforo, como se aprecia en las figuras 5 y 6 (letras A y B).

Globalmente los resultados expuestos, al menos para este tipo de suelo y en las condiciones de karsticidad que se da, muestran que la quema reintegra una parte de los nutrientes de manera inmediata y que el cambio a lo largo de tiempos más prolongados debe ser menor al estimado inicialmente por otros trabajos debido a esta reincorporación. Sin embargo, la rápida mineralización y lixiviación de algunos como el fósforo en especial, podría apuntar a esa deficiencia incremental con el tiempo y a la degradación de las propiedades relacionadas con la fertilidad de dicho suelo.

Conclusion

Contrario a lo señalado en la bibliografía, en este estudio la quema de la caña libera nutrientes al suelo, se encontraron diferencias significativas en el comportamiento vertical (a lo largo del perfil), en la distribución y en la concentración de limos, arcillas, sodio y fósforo.

Las temperaturas alcanzadas menores a 200°C durante la quema afectaron las propiedades físicas en cuanto a la textura (contenidos de limo y arcilla), una mayor estabilidad de agregados, a las propiedades químicas principalmente enfocadas a pequeños cambios de pH y cambios importantes en los contenidos de fósforo y sodio principalmente en los primeros 5 cm del suelo, al menos en el caso del tipo de suelo estudiado, el cultivo específico y las características muy particulares del comportamiento de los suelos en la zona kárstica del sur de Quintana Roo.

El contenido de materia orgánica tiene poco cambio en cuanto a concentración, con la quema no se aporta un incremento de nutrientes para el siguiente ciclo, obligando a los productores a utilizar fertilizantes perdiéndose

además, de todos los beneficios derivados de su incorporación directa al suelo (aumento de la porosidad, disminuir la densidad, favorecer la infiltración, etc.).

Los stocks de carbono del suelo no se ven modificados significativamente contrario a lo que sucede en la parte superficial del suelo en donde la parte vegetativa caída del cultivo se acumula (hojarasca) y la quema de esta genera una gran cantidad de cenizas que influyen en el color de la parte superficial del suelo.

Los resultados que se muestran ponen de manifiesto que una parte de los nutrientes aportados mediante los fertilizantes son reincorporados durante la quema, específicamente el fósforo y el sodio muestran este comportamiento al aumentar considerablemente su concentración en la parte superior del perfil luego de la quema, mismo que con el laboreo posterior y las precipitaciones muy posiblemente se redistribuyan en todo el perfil.

Agradecimientos:

Al Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo por el apoyo en la realización de esta investigación

References:

1. Cabrera, J. A., & Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos tropicales*, 31(1), 5-13.
2. Campo, J. (2012). Efectos de incendios experimentales repetidos en la agregación del suelo y su evolución temporal. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia, España.
3. Capulín, G.J., Mohedano, C.L., & Razo, Z.R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87.
4. Capulín, G. J., Suárez, I. A., Rodríguez, L. R., Mateo, S. J. J., Razo, Z. R., & Islas, S. M. (2018). Influencia del fuego en el suelo y las propiedades de la vegetación en dos sitios forestales contrastantes en el centro de México. *Ciencia e investigación agraria*, 45(2), 128-137.
5. Caldwell, T. G., Johnson, D. W., Miller, W. W., & Qualls, R. G. (2002). Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), 262-267.
6. Celis, R. D., Jordán, L., A., & Martínez, Z. L. M. (2013). Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. En: Bento, G.A., & Vieira, A. (Eds) *Grandes incêndios florestais, erosão*,

- degradação e medidas de recuperação dos solos. Universidad do Minho.
7. CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). (2022). 09 Informe Estadístico del sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México, zafras 2012-2013/2021-2022. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural - CONADESUCA.
<https://www.gob.mx/conadesuca/documentos/dieproc-informes-estadisticos-del-sector-agroindustrial-de-la-cana-de-azucar-en-mexico>
 8. Crovetto, C. (1992). Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 301 p.
 9. Chaves, M., & Bermúdez, A. (2006). Motivos y Razones para Quemar las Plantaciones de Caña de Azúcar en Costa Rica. Políticas para la Agroindustria Azucarera Costarricense. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I, 248- 253.
 10. Dávalos, E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? *Desarrollo y Sociedad* 59, 117-164.
 11. Domínguez, H. (2016). Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada, 19-21.
 12. Ebel, R. (2018). Effects of Slash-and-Burn-Farming and a Fire-Free Management on a Cambisol in a Traditional Maya Farming System. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 25(2).
 13. Fearnside, P. M. (2000). Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic change*, 46(1), 115-158.
 14. Flores, D., Algara, M., Aguilar, N., Carbajal, N., Aldama, C., Ávila, A., & Álvarez, G. 2016. Influence of sugarcane burning on soil carbon and nitrogen release under drought and evapotranspiration conditions in a Mexican sugarcane supply zone. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(2), 177-189.
 15. Fragoso, P., Pereira, A., Bautista, F., & Zapata, G. (2017). Digital soil map of Quintana Roo, Mexico. *Journal of Maps*, 13(2), 49-456.
 16. Goberna, M., García, C., Insam, H., Hernández, M. T., & Verdú, M. (2012). Burning fire-prone Mediterranean shrublands: immediate changes in soil microbial community structure and ecosystem functions. *Microbial ecology*, 64(1), 242-255.

17. González P.O. (2011). Dinámica de la humedad del suelo. Propiedades físicas y escorrentía en laderas mediterráneas afectadas por incendios forestales. Universitat de València.
18. Hartemink, A. E. (1998). Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 85(4), 283-306.
19. Hernández, I. & López, D. (2002). Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Revista de Biología Tropical*, 50(3-4), 1013-1019.
20. Hepper, E., Urioste, A., Belmonte, V., & Buschiazzo, D. (2008). Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del suelo*, 26(1), 29-34.
21. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias). 2012. Características climáticas y edáficas de las zonas de abastecimiento de ingenios cañeros en México. Gobierno Federal, SAGARPA, INIFAP.
22. ISO (Internacional Sugar Organization). (Noviembre 2022) Word Sugar Balance. <https://www.isosugar.org/publications/7/world-sugar-balance>. fecha de consulta 25 de noviembre de 2022.
23. Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114 (3-4), 145-156.
24. Kohli, M. M.; Díaz, M.; Castro, M., (eds.) 2003 . Estrategias y Metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
25. Sánchez, J. J. M., de las Heras Ibáñez, J., & Sanz, J. M. H. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses*, (29), 105-117.
26. Molina, D. E., Molina, C. H., Molina, C., & Molina, J. (2002). Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. Reserva Natural El Hatico.
27. Maycotte, C. C., Martínez, A. V., Hernández, J. V., Santos, A. T., & Vera, G. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades fisico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques*, 8(2), 39-55.
28. Palma, L.D. J. P., García, S. S., Olán, J. J. O., Narcía, A. T., Espinoza, L. D. C. L., Cruz, J. Z., & Martel, M. A. C. (2002). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana*, 20(3), 347-358
29. Pineda, M. E. B., & Lizarazo, L. M. (2013). Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales. *Revista de Ciencias*, 17(2), 121-136.

30. Ripoli, T. (2000). Energy potencial of sugar cane biomasa in Brazil. *Scientia Agrícola*, 56 (4).
31. Rosero-Cuesta, J. R., & Osorio, I. O. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno activa*, 5, 59-67.
32. Salgado, S., Nuñez, R., Peña, J., Etchevers, J., Palma, D., & Soto, M. R. (2000). Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia*, 34 (6), 689-698.
33. Salgado, S., Núñez, R., J Peña, J., Etchevers, J. D., Palma, D. J., & Soto, R. M. (2003). Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia*, 28(10), 576-580
34. Salgado, S., Palma, D. J., Lagunes, L. D. C., Ortiz, C. F., & Ascencio, J. M. (2005). Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia*, 30(7), 395-403.
35. Soto, B., Benito, E., & Díaz-Fierros, F. (1991). Heat-induced degradation processes in forest soils. *International Journal of Wildland Fire*, 1(3), 147-152. de Tabasco, México.
36. SEMARNAT (Secretaría de medio Ambiente y recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. *Diario Oficial de la Federación*. México
37. Senties, H., Gómez, F., Valdez, A., Silva, H., & Trejo, L. (2014). The Agro-Industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 6 (4), 26-54.
38. Siebe, C., Jahn, R. & Stahr, K. (1996). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, A.C. Chapingo, México.
39. Silva, J. M. N., Carreiras, J. M. B., Rosa, I., & Pereira, J. M. C. (2011). Greenhouse gas emissions from shifting cultivation in the tropics, including uncertainty and sensitivity analysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20).
40. Torres, V. D. L., Quiroz, G. R., & Juscamaita, M. J. (2004). Efecto de una quema controlada sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la SAIS Tupac Amaru-Junín, Perú. *Ecología aplicada*, 3(1-2), 139-147.
41. Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Revista de la sociedad española de la ciencia del suelo*, 8, 41-49.

42. Valdes, L. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 60-65.
 43. Vega H. J. A. V., Landsberg, J., Bará, S., Paysen, T., & Santos, M. A. (2000). Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 123-136.
- WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos Actualización 2015. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Evaluation de la Qualité de Vie des Enfants et Adolescents Inclus dans un Programme de Prise en Charge Tridimensionnelle de l'Exces Ponderal a Abidjan (Côte d'Ivoire)

Assi Kaudjhis K.R.

Institut National de Santé Publique (INSP) d'Abidjan
Université Nanguy Abrogoua/Nutrition et Sécurité Alimentaire

Kouassi K. F.

Institut des Sciences Anthropologiques de développement (ISAD)

Université FHB Abidjan (Cocody)

Société Ivoirienne de Nutrition (SIN)

Société d'Anthropologie de Paris (SAP)

Kouassi E. S.

Blao N. R.

Ake-Tano O.

Institut National de Santé Publique (INSP) d'Abidjan

Tiahou G.

Société Ivoirienne de Nutrition (SIN)

Société d'Anthropologie de Paris (SAP)

Université Alassane Ouattara (UAO)

Anin Atchibri L.

Université Nanguy Abrogoua/Nutrition et Sécurité Alimentaire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p349](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p349)

Submitted: 04 January 2023

Accepted: 20 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Assi Kaudjhis K.R., Kouassi K. F., Kouassi E. S., Blao N. R., Ake-Tano O., Tiahou G. & Anin Atchibri L. (2023). *Evaluation de la Qualité de Vie des Enfants et Adolescents Inclus dans un Programme de Prise en Charge Tridimensionnelle de l'Exces Ponderal a Abidjan (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 349.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p349>

Résumé

Contexte et objectif : L'obésité affecte la qualité de vie des sujets concernés, et de façon particulière les plus jeunes qui font l'objet de moquerie. Ainsi, un programme de coaching tripartite : un aspect nutritionnel, un volet

promotion de la pratique d'activité physique, et un volet accompagnement psychologique. La présente étude a donc été initiée avec pour objectif de mesurer l'impact de ce programme de coaching mis en place sur la qualité de vie des enfants et adolescents obèses qui en étaient les bénéficiaires. **Matériel et méthodes :** Il s'est agi d'une étude de cohorte à deux mesures avant et après la mise en place du coaching. Celle-ci s'est déroulée avec un échantillon de 136 enfants et adolescents de 6 à 17 ans, soit sur une période de 18 mois, au Service de Nutrition de l'Institut National de Santé Publique d'Abidjan. La qualité de vie a été évaluée à l'aide du questionnaire PedsQL (the Pediatric Quality of Life Inventory) dans sa version 4 adapté pour les besoins de l'étude. Il était composé de la dimension physique et la santé psychosociale. **Résultats :** Les enquêtés étaient des deux sexes avec une prédominance féminine (58,8%) et étaient tous scolarisés. A la fin du programme de coaching en santé on note une amélioration de la dimension physique qui devient acceptable chez 71,8% des enfants et adolescents et une meilleure évolution de la dimension psychosociale et la qualité de vie d'acceptable à bonne. Un lien significatif ($p < 0,05$) a été plus observé entre la santé psychosociale, le poids moyen et l'indice de masse corporelle des adolescents de 12 à 19 ans à l'issue de ce programme que chez les enfants. **Conclusion :** Cette étude situe sur l'intérêt du programme de coaching en santé dans l'amélioration de la qualité de vie des personnes lors de la prise en charge de l'obésité infantile. En effet, elle confirme que la prise en charge psychologique est un élément important dans la prise en charge de la malnutrition.

Mots-clés: Coaching en santé, enfants, adolescents, obèses, Abidjan

Evaluation of the Quality of Life of Children and Adolescents Included in a Three-Dimensional Care Program for Excess Weight in Abidjan (Côte d'Ivoire)

Assi Kaudjhis K.R.

Institut National de Santé Publique (INSP) d'Abidjan
Université Nanguy Abrogoua/Nutrition et Sécurité Alimentaire

Kouassi K. F.

Institut des Sciences Anthropologiques de développement (ISAD)
Université FHB Abidjan (Cocody)
Société Ivoirienne de Nutrition (SIN)
Société d'Anthropologie de Paris (SAP)

Kouassi E. S.

Blao N. R.

Ake-Tano O.

Institut National de Santé Publique (INSP) d'Abidjan

Tiahou G.

Société Ivoirienne de Nutrition (SIN)
Société d'Anthropologie de Paris (SAP)
Université Alassane Ouattara (UAO)

Anin Atchibri L.

Université Nanguy Abrogoua/Nutrition et Sécurité Alimentaire

Abstract

Context and objective: Obesity affects the quality of life of the subjects concerned, and in particular the youngest who are made fun of. Thus, a tripartite coaching program: a nutritional aspect, a component promoting the practice of physical activity, and a psychological support component. The present study was therefore initiated with the aim of measuring the impact of this coaching program set up on the quality of life of obese children and adolescents who were the beneficiaries. **Material and methods:** This was a two-measure cohort study before and after the implementation of coaching. This took place with a sample of 136 children and adolescents aged 6 to 17, over a period of 18 months, at the Nutrition Service of the National Institute of Public Health in Abidjan. Quality of life was assessed using the PedsQL questionnaire (the Pediatric Quality of Life Inventory) in its version 4 adapted for the needs of the study. It was composed of the physical dimension and the psychosocial health. **Results:** The respondents were of both sexes with a female predominance (58.8%) and were all educated. At the end of the health coaching program, there is an improvement in the physical dimension which

becomes acceptable in 71.8% of children and adolescents and a better evolution of the psychosocial dimension and the quality of life from acceptable to good. A significant link ($p < 0.05$) was observed between psychosocial health, average weight and body mass index in adolescents aged 12 to 19 at the end of this program than in children. **Conclusion:** This study situates the interest of the health coaching program in improving the quality of life of people during the management of childhood obesity. Indeed, it confirms that psychological care is an important element in the management of malnutrition.

Keywords: Health coaching, children, adolescents, obese, Abidjan

Introduction

L'obésité Infantile est considérée selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme l'un des défis sanitaires majeurs de ce début du XXI^e siècle du fait de sa rapide progression et des conséquences qu'elle pourrait engendrer (OMS 2012). L'obésité résulte d'un déséquilibre entre apport et dépense énergétiques au profit de l'apport présentant un risque pour la santé (OMS, 2017 ; Ogilvie et Eggleton, 2016). Les approches actuelles en santé publique pour prévenir et lutter contre l'obésité infantile visent principalement à faire la promotion d'une alimentation saine et d'un mode de vie actif (Anstett et al., 2014, OMS 2017). Plusieurs études ont mis l'accent sur la diététique et l'activité physique comme élément essentiel dans la prise en charge de l'obésité Infantile. (R.J. Shephard, GJ. Balady 1999; McGovern et al., 2008; Huang JS, and al. 2014)

L'amélioration de l'alimentation et la pratique d'une activité physique sont certes essentielles pour régler le problème d'excès pondéral mais elles ne représentent qu'un volet de la solution car pouvant découler directement des facteurs psychosociaux de l'obésité. (Neimen et LeBlanc, 2012 ; Savard, L. & Doucet, M. 2018).

De nombreux auteurs (Neimen et Le Blanc, 2012 ; Savard, L. & Doucet, M. (2018) reconnaissent qu'il existe un lien direct entre l'obésité et ses conséquences notamment sur la santé psychologique des jeunes touchés par cette maladie. Il en est de même pour le lien entre l'obésité et les émotions négatives suscitées par des situations où ces jeunes sont victimes de moqueries, d'intimidation ou d'humiliation.

C'est la raison pour laquelle, la Haute Autorité de la Santé en France recommande une prise en charge globale de l'obésité infantile combinant une approche nutritionnelle, la pratique de l'activité physique et aussi la gestion du comportement. (HAS, 2011). Cette prise en charge recommandée englobe plusieurs domaines d'intervention avec pour objectif final la modification des comportements : l'alimentation, l'activité physique, la lutte contre la

sédentarité, l'équilibre des rythmes de vie, en l'occurrence, le sommeil, et les aspects psychologiques et socio-économiques.

Parmi ces aspects suscités la psychologie demeure le plus important car les enfants et les adolescents qui sont en état d'obésité peuvent en subir des séquelles psychosociales nuisibles et une réduction de leur qualité de vie (Niemen et LeBlanc, 2012 ; Schwimmer JB, Burwinkle TM, Varni JW. 2003 ; Tsiros MD et al. 2009 ; Williams J WM et al., 2005). Même si l'Indice de Masse Corporelle (IMC) demeure un important indicateur médical de la santé, il ne saisit pas assez la capacité du patient à évoluer au quotidien. La qualité de vie qui est une mesure de cette fonction, est selon certains auteurs peu élevée chez les enfants obèses. (Niemen et LeBlanc, 2012 ; Puhl RM 2007, Schwimmer JB, Burwinkle TM, Varni JW. 2003 ; Tsiros MD et al. 2009 ; Williams J WM et al., 2005). Elle se définit, selon l'OMS (1996), comme « *la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lesquels il vit en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est un concept très large influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique, son niveau d'indépendance, ses relations sociales ainsi que sa relation aux éléments essentiels de son environnement.* » Elle représente une alternative innovante, permettant d'éclairer les jugements et les choix médicaux et thérapeutiques tant individuels que collectifs. Elle repose essentiellement sur le point de vue du sujet lui donnant un caractère subjectif (S. Tessier 2009). Sa mesure est de plus en plus utilisée dans le monde de la recherche pour la santé. (Ravens-Sieberer et al, 2010 ; Zhang L et al 2008, Puhl RM 2007, Schwimmer JB, Burwinkle TM, Varni JW. 2003 ; Tsiros MD et al. 2009 ; Williams J WM et al., 2005). Plusieurs questionnaires existent pour évaluer la qualité de vie d'un patient mais peu sont adaptés à l'enfant ou l'adolescent car l'appréciation de la qualité de vie chez eux présente des particularités conceptuelles (Varni et al., 2001 ; Tessier et al., 2009).

Au regard de ce qui précède, nous avons jugé nécessaire d'adapter certains des outils d'évaluation de la qualité de vie et de l'appliquer à des enfants et à des adolescents impliqués dans un programme de prise en charge basé sur des consultations individuelles et des séances de coaching en groupe.

L'objectif de cette étude était de mesurer la qualité de vie (condition de vie objective et subjective) des enfants et des adolescents obèses avant et après la mise en œuvre d'un programme de prise en charge par Coaching en santé.

I. Matériel et Méthode

Il s'est agi d'une étude de cohorte à deux mesures avant et après qui s'est déroulée sur une période de 18 mois au sein du service de nutrition de l'Institut National de Santé publique (INSP) d'Abidjan. Des enfants et des adolescents âgés de 6 à 17 ans venus consulter pour excès pondéral pendant la

période de l'étude ont été recrutés pour participer au programme par une approche éducative après le consentement libre et volontaire des parents. Au total 136 sujets ont été recrutés sur une période de 7 mois. En tenant compte de la régularité de la participation des sujets, des perdus de vue et des décès, 71 sujets des 136 de départ ont été retenus pour l'évaluation finale. Le programme de coaching comportait des consultations individuelles (psychologique et diététique) et des séances de coaching basées sur le renforcement de la motivation à l'activité physique par des activités de fitness et des focus groupes d'éducation nutritionnelle pour un changement durable dans les habitudes alimentaires. Au total, six séances de coaching en santé ont été réalisées.

Pour évaluer la qualité de vie des enfants et des adolescents, le questionnaire PedsQL (the Pediatric Quality of Life Inventory) dans sa version 4 adapté pour les besoins de l'étude a été administré à chacun des participants à la première et à la dernière séance de coaching en santé. Cette version étudie le fonctionnement de l'enfant et des parents dans les domaines physique (8 items), social (5 items), scolaire (5 items) et psychologique (5 items), soient 23 items (Varni et al., 2001) pour la qualité de vie. Le score résumé physique correspondait au score de la dimension capacité physique alors que la dimension psycho sociale correspondait à la somme des scores obtenus pour les 3 autres dimensions (S. Tessier et al, 2009).

Les données collectées ont été transformées en score sur une échelle de 0 à 100 conformément aux travaux de Varni et al. (2001). Toutefois pour l'interprétation, plus le score est faible, la qualité de vie a été considérée comme meilleure contrairement à l'étude de Varni et al. (2001) pour qui un score élevé correspondait à une meilleure qualité de vie. Ainsi avec une amplitude de 25, les niveaux de qualité de vie étaient soit bonne (score compris entre 0 et 25), acceptable, critique ou mauvaise pour un score compris entre 25 à 75 et 75 à 100 une mauvaise qualité de vie.

La saisie des données a été faite sur le Logiciel Epi Data 3.1 et l'analyse avec le logiciel SPSS version 25.0. Les variables quantitatives ont été décrites sous formes de moyennes et d'écart type et les variables qualitatives sous formes de proportions.

Du point de vue éthique, le consentement des participants et de leurs parents respectifs a été sollicité et obtenu. De même, l'autorisation des responsables de l'Institut National de Santé Publique a été obtenue et le registre des patients et leurs dossiers ont été consultés dans l'enceinte de l'établissement.

II. Résultats

Le taux de réponses au questionnaire a donc été de 100% à la première rencontre et de 53,60% à la deuxième rencontre. Les non réponses correspondent à des absences ou des abandons au cours du programme.

Tableau 1. *Caractéristiques sociodémographiques des 136 enfants et adolescents inclus dans le programme initial de coaching en santé*

Variables	Caractéristiques	Effectif (n)	Proportion (%)
Age Moyen	11,6		
Tranche d'âge	6-11ans	63	46,3
	12-17ans	73	53,7
Sexe	Fille	80	58,8
	Garçon	56	41,2
Niveau d'étude	Primaire	55	40,4
	Secondaire	81	59,6
Groupe ethnique	Akan	68	50,0
	Mandé	20	14,7
	Krou	12	8,8
	Gur	26	19,1
	Non Ivoirien	10	7,4

La taille de l'échantillon comprenait 46,3% d'enfants de 6 à 11 ans et 53,7% d'adolescents de 12 à 17 ans. On notait une prédominance féminine de 58,8%. L'âge moyen était de 11,6 au début de l'étude. La moitié des patients était originaire du peuple Akan.

Tableau 2. *Caractéristiques sociodémographiques et cliniques des parents des patients inclus dans le programme initial*

Variables	Caractéristiques	Effectif	Proportion (%)
Situation Matrimoniale des parents	Célibataire	11	8,1
	En couple	96	70,6
	Séparés	29	21,3
Rang dans la fratrie	Unique	36	26,5
	Ainé	36	26,5
	Benjamin	34	25
	Autres	30	28
Antécédents des parents	Maladie Chronique	41	30,10
État Nutritionnel des parents	Normal	7	5,2
	Surpoids	44	32,8
	Obésité	83	61,9

Plus des deux-tiers (70,6%) des enfants et adolescents de notre étude vivait avec les deux parents. On observe que dans 26,5% des cas nos sujets étaient soit enfant unique, soit aîné de famille.

Les antécédents des parents étaient marqués par les maladies chroniques (diabète, hypertension et obésité) chez le père et la mère dans

30,1%. L'examen clinique de l'un des parents accompagnateurs le jour de la première consultation a montré 61,9% de cas d'obésité.

Tableau 3. Comportement alimentaire actuel et dans l'enfance des 136 patients inclus dans le programme

Variables	Caractéristiques	Effectif	Proportion (%)
Alimentation de 0 à 6 mois	Allaitement exclusif	12	8,8
	Alimentation Mixte	87	64,0
	Alimentation de remplacement	37	27,2
Comportement alimentaire actuel	Grignotage	136	100
	Hyperphagie	110	80,9

Le type d'alimentation dans les premiers mois de naissance était mixte composé du lait maternel et d'un autre substitut de lait maternel dans 64,0% des cas. Le comportement alimentaire actuel était dominé par le grignotage chez tous les patients, associé à l'hyperphagie dans 80,9% des cas.

Tableau 4. Répartition des 136 enfants et adolescents selon la mesure de la qualité de vie à l'initiation du programme de coaching

Variables	Bonne n (%)	Acceptable n (%)	Critique n (%)	Mauvaise n (%)
Santé physique	4 (2,9)	82(60,3)	48(35,4)	2(1,5)
Santé Psychosociale	31 (22,8)	97(71,3)	8(5,9)	0(0,0)
Qualité de vie	16 (11,8)	112(82,4)	8(5,8)	0(0,0)

La dimension physique est la plus détériorée chez les enfants et adolescents. La dimension psychosociale et la qualité de vie globale était acceptable chez plus de la moitié des patients à l'entame du programme.

Tableau 5. Mesures de la qualité de vie des 71 enfants et adolescents à l'évaluation finale

Variables	Bonne n (%)	Acceptable n (%)	Critique n (%)	Mauvaise n (%)
Santé physique	9 (12,7)	51 (71,8)	9 (12,7)	2 (2,8)
Santé Psychosociale	31 (43,7)	38 (53,5)	2 (2,8)	0 (0,0)
Qualité de vie	27 (38,0)	41 (57,7)	3 (4,2)	0 (0,0)

A la fin du programme on note une amélioration de la dimension physique qui devient acceptable chez 71,8% des enfants et adolescents et une meilleure évolution de la dimension psychosociale et la qualité de vie d'acceptable à bonne.

Tableau 6. Comparaison des mesures anthropométriques au début et à la fin du programme de coaching

Mesures Anthropométriques	Effectif	Poids	Taille	IMC	Tour de taille
Début	136	76,8	154,7	31,3	91,7
Fin	71	77,5	160,3	27,8	88,6

L'analyse des données anthropométriques en début et en fin de programme a montré une baisse de l'Indice de Masse Corporelle moyen passant de 31,3 à 27,8 avec une augmentation de la taille. Le poids moyen quant à lui, n'a quasiment pas augmenté.

Tableau 7. Comparaison des paramètres anthropométriques moyens des enfants de 6 à 11 ans à la fin du programme de coaching suivant leur Santé Physique Finale (SPF) et leur Santé Globale Finale (SGF)

	Effectif	Poids moyen (Kg)		Taille moyenne (m)		IMC moyen		Tour de taille moyen (cm)	
		SPF	SGF	SPF	SGF	SPF	SGF	SPF	SGF
Acceptable	17	53,0	53,4	1,45	1,45	24,8	25,1	78,2	77,7
Bonne	1	74,0	55,6	1,56	1,48	30,5	25,0	82,0	79,3
Critique	1	55,0	54,2	1,53	1,46	23,5	25,0	76,0	78,3
Ensemble	19	54,2	53,4	1,46	1,45	25,0	25,1	78,3	77,7
P-value (Anova)		0,20*	0,69*	0,33*	0,44*	0,80*	0,98*	0,90*	0,72*

* lien non significatif ($p > 0,05$)

Nous n'avons observé aucun lien significatif ($p > 0,05$) entre la santé physique et les mesures anthropométriques moyennes des enfants de 6 à 11 ans à la fin du programme de coaching. Il en est de même pour la santé globale finale. On note néanmoins chez les enfants ayant une bonne qualité de vie, des valeurs moyennes des paramètres anthropométriques inférieure concernant la dimension SGF.

Tableau 8. Comparaison des paramètres anthropométriques moyens des adolescents de 12 à 17 ans à la fin du programme de coaching suivant leur Santé Physique Finale (SPF) et leur Santé Globale Finale (SGF)

Qualité de vie	N	Poids moyen (Kg)		Taille moyenne (m)		IMC moyen		Tour de taille moyen (cm)	
		SPF*	SGF**	SPF*	SGF**	SPF*	SGF**	SPF*	SGF**
Acceptable	33	77,94	78,93	1,66	1,65	28,09	28,70	87,79	86,97
Bonne	8	80,50	80,13	1,61	1,66	30,54	29,01	89,50	90,11
Critique	5	78,25	70,00	1,67	1,68	27,40	48,65	85,80	111,50
Mauvaise	2	139,50	139,50	1,68	1,74	48,65	23,12	111,50	85,00
Moyenne	3	91,40	81,58	1,67	1,65	32,83	29,49	92,22	89,06
Ensemble	51	81,58	78,93	1,65	1,65	29,49	28,70	89,06	90,11
P-value (Anova)		0,001s	0,001s	0,714	0,800	0,000 s	0,000 s	0,290	0,162

s : lien significatif ($p < 0,05$)

N : Effectif

*Santé Physique Finale (SPF)

**Santé Globale Finale (SGF)

Dans l'ensemble, les paramètres anthropométriques moyens des adolescents avec une santé physique et une santé globale bonne ou acceptable sont inférieurs à la moyenne des adolescents. Cependant, outre l'IMC moyen et le poids moyens des adolescents avec une qualité de vie critique qui sont plus faibles, les autres paramètres anthropométriques moyens (taille et tour de taille), restent supérieurs à ceux des classes de qualité de vie « bonne » ou « acceptable ».

A la fin de du programme de coaching en santé, nous notons une amélioration de la santé physique et de la santé globale des adolescents avec un lien significatif ($p < 0,05$) entre ces deux paramètres et le poids moyens et l'Indice de Masse Corporelle moyen des enfants et adolescents.

Tableau 9. Comparaison des paramètres anthropométriques moyens des enfants de 6 à 11 ans au début du programme de coaching suivant leur santé psychosociale finale Santé

	N	Poids moyen (Kg)		Taille moyenne (m)		IMC moyen		Tour de taille moyen (cm)	
		M	±	M	±	M	±	M	±
Acceptable	10	57,81	14,13	140,35	9,41	28,81	4,97	80,40	10,88
Bonne	9	53,90	9,82	146,88	14,56	25,86	2,50	89,56	20,91
Ensemble	19	55,96	12,11	143,44	12,23	27,41	4,17	84,74	16,60
P-value (T-student)		0,499 ns		0,256 ns		0,128 ns		0,241 ns	

ns : lien non significatif ($p > 0,05$)

N : Effectif

En dépit des différences observées entre les différents niveaux de la santé psychosociale, il n'existe pas de lien significatif ($p > 0,05$) entre les paramètres anthropométriques et la santé psychosociale chez les enfants de 6 à 11 ans.

Tableau 10. Comparaison des paramètres anthropométriques moyens des adolescents de 12 à 19 ans à la fin du programme de coaching suivant leur santé psychosociale finale

Santé psychosociale finale	N	Poids moyen (Kg)		Taille moyenne (m)		IMC moyen		Tour de taille moyen (cm)	
		M	±	M	±	M	±	M	±
Acceptable	28	79,25	17,99	1,65	0,08	28,68	5,29	86,71	13,29
Bonne	21	79,16	16,30	1,65	0,09	28,75	5,03	90,05	15,46
Critique	2	139,50	43,13	1,68	0,14	48,65	7,06	111,50	26,16
Total	51	81,58	21,40	1,65	0,09	29,49	6,44	89,06	15,11
P-value (Anova)		0,000 s		0,945ns		0,000 s		0,073ns	

s : lien significatif ($p < 0,05$)

ns : lien non significatif ($p > 0,05$)

N : Effectif

A la fin du programme de coaching, les paramètres anthropométriques sont meilleurs chez les adolescents ayant une santé psychosociale bonne ou acceptable comparativement à ceux dont la santé psychosociale est critique. On note un lien significatif ($p < 0,05$) entre la santé psychosociale et le poids moyen et l'Indice de Masse Corporelle des adolescents de 12 à 19 ans au sortir de ce programme.

II. Discussion des résultats

Cette étude visait à mesurer la qualité de vie (condition de vie objective et subjective) des enfants et des adolescents obèses avant et après la mise en œuvre d'un programme de prise en charge par Coaching en santé.

Caractéristiques sociodémographiques et cliniques des enfants et adolescents

Les résultats obtenus mettent en évidence une prévalence de l'obésité chez les adolescents avec une prédominance féminine (cf Tableau I). A ce stade, différentes études corroborent nos données quant à la hausse de l'obésité chez les adolescents. En France, l'étude nationale nutrition santé (ENNS) fournit des données concernant les enfants français de 3 à 17 ans. La prévalence estimée du surpoids incluant l'obésité était de 18 % chez ces enfants et adolescents. Parmi eux, 3,5 % étaient considérés comme obèses (références IOTF). La prévalence du surpoids était supérieure chez les filles dans la catégorie des 3-10 ans. (HAS 2011) Ce constat s'est aussi fait aux États unis (Ogden CL, et al 2000 ; Bégarie JA, 2009 ; Hales CM et al., 2018) Dans

notre contexte, ces résultats confirment les premiers résultats d'une précédente étude menée au service de nutrition de l'Institut National de Santé Publique en Côte d'Ivoire. (Assi Kaudjhis KRH. et al.,2021). Cette augmentation de la prévalence de l'obésité dans l'adolescence mérite une attention particulière. En effet l'adolescence est une période de la vie au cours de laquelle de nombreux changements d'ordre physique, psychologique et social peuvent se produire et induire de nombreux comportements à incidence négative à la fois sur la santé de l'adolescent et sur son devenir. Les parents doivent jouer un rôle crucial dans la promotion d'une vie saine et active et dans la prise en charge de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent. La séparation et le divorce des parents grèvent les ressources parentales (temps, argent et énergie), compromettant une saine alimentation et une activité physique régulière. Certains enfants réagissent aux stress générés par le divorce en mangeant leurs émotions (P Nieman, CMA LeBlanc, 2012).

Dans notre étude plus des deux-tiers (70,6%) des parents de nos patients vivaient sous le même toit (voir tableau 2), ce qui logiquement devrait être en faveur d'un état nutritionnel normal. Mais force est de constater qu'il faut en la circonstance prendre en compte d'autres facteurs pouvant expliquer leur obésité tels que le niveau d'éducation nutritionnelle même des parents, leurs emprises sur ces enfants et adolescents et leurs préférences alimentaires ainsi que leur comportement déviant vis-à-vis des bonnes habitudes alimentaires. Aussi sur les 136 enfants et adolescents recrutés pour participer à ce programme de prise en charge de l'obésité par approche éducative, on observe que dans 26,5% des cas nos sujets étaient soit enfant unique (Tableau 2), soit aîné de famille. En théorie, l'enfant unique mangerait peut-être davantage pour tromper l'ennui ou la solitude, ou les parents traiteraient davantage leur enfant unique comme un adulte, leur servant de plus grosses portions d'aliments ou partageant trop de « temps d'écran » avec eux au lieu de privilégier l'activité physique. (P Nieman, CMA LeBlanc, 2012)

Outre le statut matrimonial et la notion de fratrie, le rôle des parents s'étend au choix de l'alimentation de leur enfant depuis la naissance. Soixante-quatre (64%) des enfants et adolescents de notre étude ont reçu une alimentation mixte depuis la naissance composée de lait maternel et autre substitut de lait maternel ou une diversification précoce (Tableau 3). L'OMS recommande l'allaitement maternel exclusif de la naissance à l'âge de six mois, suivi par l'introduction progressive d'aliments de complément, notamment des légumes, des fruits et des céréales. L'introduction prématurée d'aliments de complément (à l'âge de quatre mois ou moins) peut accroître le risque que le nourrisson développe une obésité au cours de l'enfance. (Horta, BL., et al, 2015).

a. Évolution de la qualité de vie des enfants et des adolescents lors du programme de coaching

En somme, il est généralement admis que les enfants et les adolescents présentant une obésité rapportent une moins bonne qualité de vie globale que les enfants atteints d'autres pathologies ou les enfants indemnes de maladie chronique. (Schwimmer JB et al 2003 ; Ingerski LM et al,2010 ; Zhang L et al 2008 ; Bock DE et al 2014). Dans les revues de la littérature, la qualité de vie des enfants et adolescents obèses est significativement diminuée surtout dans les dimensions physiques mais également la vie sociale (Zhang L et al 2008 ; P Nieman, CMA LeBlanc, 2012). Dans notre étude la qualité de vie chez les trois quarts de nos enquêtées est acceptable (Tableau 4). La dimension la plus détériorée, est la dimension physique. Nos résultats ne correspondent pas aux précédentes recherches similaires sur la qualité de vie mais ont le même point de vue concernant l'atteinte de la dimension physique.

La qualité de vie de nos patients affiche un meilleur score que les études antérieures, l'explication pourrait venir du fait que nos participants ont été recrutés dans un service de soin. Ils ont motivé eux même la consultation, accompagnés d'un des parents, parfois les deux. Cette demande d'aide, la situation matrimoniale de leur parent pourrait être en faveur d'une qualité de vie acceptable. Par contre le faible score d'habileté sur le plan physique (Tableau 4) est décrit dans de nombreuses études consultées comme un facteur important dans l'évolution de l'excès pondéral chez l'enfant et l'adolescent (Oulamara HW et al., 2016 ; Fedala N et al.,2015 ; J. Vanhelst et al.,2016) Pourtant la pratique d'une activité physique régulière pourrait avoir un effet bénéfique chez eux d'autant plus que dans notre étude les antécédents des parents étaient marqués par les maladies chroniques (diabète, hypertension et obésité) chez le père et la mère dans 30,1% et l'examen clinique de l'un des parents accompagnateurs le jour de la première consultation a montré 61,9% de cas d'obésité (Tableau 2).

b. Qualité de vie et évolution des paramètres anthropométriques

Certaines études ont aussi identifié un IMC élevé ou l'obésité comme un facteur significatif associé à une mauvaise qualité de vie notamment celle de Zhang L et al (2008).

Dans la nôtre, parmi les mesures anthropométriques, nous avons observé un lien statistique entre la qualité de vie et l'indice de masse corporel et le poids chez les adolescents de 12 à 19 ans (Tableau 8). Aucun lien n'a été trouvé chez les enfants de 6 à 11 ans (Tableau 7). Par contre l'étude de Zhang L et al met en évidence une association entre l'IMC et la qualité de vie chez les enfants d'une école primaire de la maternelle à la quatrième année dans le sud du Mississippi. Ces résultats suggèrent que la santé des enfants plus jeunes peut être plus détériorée par leur IMC, par rapport aux enfants de quelques

années de plus (Zhang L et al 2008). Cette assertion ne s'est pas confirmée dans notre étude qui a concernée des enfants plus grands. Seuls les adolescents de 12 à 19 ans par rapport aux enfants de 6 à 11 ans avaient une relation significative entre leur IMC au départ et à la fin de l'étude et la qualité de vie (Tableau 9 & 10). La différence entre la qualité de vie et l'état de santé tient à la notion de point de vue. Il est donc essentiel de prendre en considération le point de vue des patients d'où l'étude chez les enfants un peu plus grands, capable de remplir le questionnaire. Pour Gabrielle J.-Nolin and Julie Leclerc, le répondant à privilégier dans l'évaluation de la qualité de vie de l'enfant demeure l'enfant lui-même, il est le mieux placé pour avoir un regard global sur sa vie. (J.-Nolin, G. & Leclerc, J. 2019). On pourrait aussi ajouter que le développement du point de vue physiologique au cours de leur croissance pourrait avoir un impact sur le volet thérapeutique de la prise en charge de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent. Au cours de la croissance, chez les adolescents, le coaching a un impact positif comparativement aux enfants de 6 à 11 ans. Cela peut être dû au fait qu'ils ont une meilleure compréhension du coaching et une certaine maturité. Ils arrivent ainsi à mieux assimiler le coaching et à opérer les changements de vie plus notables par rapport aux enfants plus jeunes. Il faudrait assurément envisager une autre approche pour les tous petits, les aidant à une meilleur compréhension.

Conclusion

La qualité de vie chez les enfants et adolescents peut avoir différentes analyses, elle n'est pas à priori mauvaise. Cette étude a montré l'intérêt d'un accompagnement par approche éducative (coaching en santé) dans la prise en charge de l'obésité des enfants et adolescents de 6 à 19 ans qui ont vu dans la majorité des cas, leur qualité de vie physique passer d'acceptable à bonne. Nous avons observé un lien statistiquement significatif entre l'Indice de Masse Corporelle et la qualité de vie chez les adolescents comparés aux enfants malgré une baisse de leur IMC. D'où l'intérêt de mieux orienter cette approche éducative chez les enfants pour une croissance physique harmonieuse.

References:

1. OMS (1996). Quality of Life Assessment. The WHOQOL Group, 1994. What Quality of Life? The WHOQOL Group. In : World Health Forum. WHO, Geneva, 1996.
2. Organisation mondiale de la Santé (2012). Hiérarchiser les domaines d'action prioritaires pour prévenir l'obésité de l'enfant dans la population : L'obésité de l'enfant dans la population. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85400/9789242503272_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y

3. Haute Autorité de Santé. (2011). Haute Autorité de santé. Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent (actualisation des recommandations 2003). Argumentaire scientifique. 2011 : 1-219
4. Anstett, É., Arsenault, P.-É., Guilbert-Couture, A., Héronneau, C., Michaud, M., Namoro, A. et Tourigny, A. (2014). La prévention de l'obésité au Québec : portrait analytique des initiatives et politiques gouvernementales visant les jeunes : rapport final présenté à la Plateforme d'évaluation en prévention de l'obésité. Québec (Québec) : ENAP, Centre de recherche et d'expertise en évaluation (CREXE). Repéré à <http://archives.enap.ca/bibliotheques/2014/09/030673818.pdf>.
5. Fedala N, Mekimene L, Haddam AEM, Fedala NS. Association entre l'indice de masse corporelle, l'activité physique et la sédentarité chez les adolescents algériens. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2015 ;10(2) :489- 497. PubMed | Google Scholar.
6. Tessier, S, Vuillemin, A, Lemelle, JL and Briançon, S. (2009) Psychometric properties of the French Pediatric Quality of Life Inventory Version 4.0 (PedsQL TM 4.0) generic core scales. *Rev Eur Psychol Appl*, 59, 291-300.
7. Schwimmer JB , Burwinkle TM, Varni JW. Health-related quality of life of severely obese children and adolescents. *JAMA* 2003 ;289(14):1813-9.
8. Varni, J. W., Burwinkle, T. M., Seid, M., & Skarr, D. (2003). The PedsQL 4.0 as a Pediatric Population Health Measure: Feasibility, Reliability, and Validity. *Ambulatory Pediatrics*, 3(6), 329-341.
9. Tsiros MD et al. Health-related quality of life in obese children and adolescents. *International Journal of Obesity (London)*, 2009, 33:387–400.
10. Williams J WM et al. Health-related quality of life of overweight and obese children. *Journal of the American Medical Association*, 2005;293:70–6.
11. Puhl RM, Latner JD. Stigma, obesity, and the health of the nation's children. *Psychol Bull* 2007 Jul ;133(4) :557-80.
12. Banerjee, T, Pensi, T and Banerjee, D. (2010) HRQoL in HIV-infected children using PedsQL 4.0 and comparison with uninfected children. *Qual.Life Res*, 19, 6, 803-812.
13. Organisation mondiale de la Santé, (2018). Directives de l'OMS sur la politique de santé et l'accompagnement au sein du système en vue d'optimiser les programmes relatifs aux agents de santé communautaires. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/325564/9789242550368-fre.pdf>.

14. Inserm, Institut Roche de l'obésité, SOFRES. ObEpi 2000 : le surpoids et l'obésité en France. Neuilly-sur-Seine, FR : Roche ; 2000.
15. Ravens-Sieberer, U, Erhart, M, Rajmil, L, Herdman, M, Auquier, P, Bruil, J, Power, M, Duer, W, Abel, T, Czemy, L, Mazur, J, Czimbalmas, A, Tountas, Y, Hagquist, C and Kilroe, J. (2010) Reliability, construct and criterion validity of the kidscreen-10 score: a short measure for children and adolescents' well-being and health-related quality of life. *Qual.Life Res.*
16. Zhang, L, Fos, PJ, Johnson, WD, Kamali, V, Cox, RG, Zuniga, MA and Kittle, T. (2008) Body mass index and health related quality of life in elementary school children: a pilot study. *Health Qual.Life Outcomes*, 6, 77.
17. J.-Nolin, G. & Leclerc, J. (2019). La mesure de la qualité de vie : nouvel horizon dans l'évaluation des traitements des enfants présentant un syndrome de Gilles de la Tourette. *Revue de psychoéducation*, 48(2), 373–396. <https://doi.org/10.7202/1066148ar>
18. Horta, BL., Loret de Mola, C., Victora, CG. Long-term consequences of breastfeeding on cholesterol, obesity, systolic blood pressure and type 2 diabetes: a systematic review and metaanalysis, *Acta Paediatrica*, 2015.
19. Ogilvie, K. K. et Eggleton, A. (2016). L'obésité au Canada : une approche pansociétale pour un Canada en meilleure santé. Ottawa (Ontario) : Sénat du Canada, Comité sénatorial permanent des affaires sociales, des sciences et de la technologie. Repéré à http://www.parl.gc.ca/content/sen/committee/421/SOCI/Reports/2016-02-25_Revised_report_Obesity_in_Canada_f.pdf.
20. H.Oulamara W.Allam A.-N.Agli D.Touati A.Bensalem L.Dridi Obésité et surpoids chez des enfants scolarisés à Constantine (Algérie) : identification de quelques facteurs de risque Volume 30, Issue 3, September 2016, Page 272 Elsevier.
21. RJ. Shephard, GJ. Balady, "Exercise as cardiovascular therapy". *Circulation*, vol.99, pp.963–72,1999.
22. Savard, L. & Doucet, M. (2018). Une approche éducative novatrice pour outiller les enfants présentant de l'embonpoint ou de l'obésité. *Revue hybride de l'éducation*, 2(2), 93–102. <https://doi.org/10.1522/rhe.v2i2.700>
23. Ogden CL, Flegal KM, Carroll MD, Johnson CL. Prevalence and trends in overweight among US children and adolescents: 1999-2000. *JAMA* 2002; 288:1728–32.
24. J. Vanhelst et al. / *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 64 (2016) 219–228 Bock DE, Tracy Robinson T, Seabrook JA, et al The Health Initiative Program for Kids (HIP Kids): effects of a 1-year

- multidisciplinary lifestyle intervention on adiposity and quality of life in obese children and adolescents - a longitudinal pilot intervention study .
25. BMC Pediatrics 2014, <http://www.biomedcentral.com/1471-2431/14/296>.
 26. Niemen, P. et LeBlanc, C. M. (2012). Les aspects psychosociaux de l'obésité chez les enfants et les adolescents. Repéré à <http://www.cps.ca/fr/documents/position/psychosociaux-obesiteenfants-adolescents>.
 27. Assi Kaudjhis KRH., N'Guessan Blao AR., Kouassi E.S., Kouassi K. F., Ake-Tano O., Tiahou G. and Anin A. L. Épidémiologie du Surpoids et de l'obésité Infantile à Abidjan : Cas colligés au Service de Nutrition de l'Institut National de Santé Publique d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Journal of Pharmacy and Pharmacology 9 (2021) 438-443
 28. Hales CM, M.D., Carroll MD. Prevalence of Obesity and Severe Obesity Among Adults : United States, 2017–2018 NCHS Data Brief No. 360. February 2020. Available from : <https://www.cdc.gov/nchs/data/databriefs/db360-h.pdf>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Evaluation de l'Impact des Activités Anthropiques Sur la Séquestration de Carbone dans le Parc National Du Mont Sangbé, en Côte d'Ivoire

Tra Bi Tra Jeannot

Doctorant, Université Jean Lorougnon Guédé,
UFR Agroforesterie, Ivorien, Man, Côte d'Ivoire

Kouassi Kouadio Henri

Maître de Conférences, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean Lorougnon
Guédé, UFR Agroforesterie, Ivoirien, Daloa, Côte d'Ivoire

Keulai Minty Celestin

Officier forestier à l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) Ivoirien
(à la retraite), Soubré, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p367](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p367)

Submitted: 04 November 2022

Accepted: 22 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Jeannot T.B.T., Henri K.K. & Celestin K.M. (2023). *Evaluation de l'Impact des Activités Anthropiques Sur la Séquestration de Carbone dans le Parc National Du Mont Sangbé, en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 367.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p367>

Résumé

La présente étude concerne l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la capacité de séquestration du carbone du Parc National du Mont Sangbé (PNMS) fortement anthropisé. L'objectif principal était de contribuer à l'estimation de l'effet des activités anthropiques sur la capacité de séquestration du carbone du PNMS. Plus spécifiquement, il s'agissait : (1) de caractériser les activités anthropiques responsables de la dégradation du PNMS et (2) d'estimer l'impact de ces activités sur la capacité de séquestration du carbone du PNMS. Pour mener à bien l'étude, nous avons utilisé un dispositif d'échantillonnage composé de 14 blocs carrés de 1 ha chacun, comprenant chacun 100 parcelles carrées de 100 m² (10 mx 10 m). La collecte des données a été effectuée à l'aide d'un échantillonnage direct. Les activités anthropiques (exploitation agricole et forestière, prélèvement des ligneux pour divers besoins domestiques, feux de brousse, défrichements et pâturage) dont les plus incidentes sont les pratiques agricoles, ont provoqué la destruction

massive des espèces ligneuses arborescentes dans le PNMS. Cela a occasionné une perte de capacité de séquestration du carbone du PNMS estimée à 43 tC/ha. Pour remédier à cette situation, il a été recommandé d'intensifier la surveillance du PNMS, la sensibilisation des populations et de développer des micro-projets pour les riverains.

Mots-clés: Impact, Activités anthropiques, Espèces Arborescente, Biomasse, Taux de carbone

Assessment of the impact of anthropogenic activities on carbon sequestration in the Mont Sangbé National Park, Côte d'Ivoire

Tra Bi Tra Jeannot

Doctorant, Université Jean Lorougnon Guédé,
UFR Agroforesterie, Ivorien, Man, Côte d'Ivoire

Kouassi Kouadio Henri

Maître de Conférences, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean Lorougnon
Guédé, UFR Agroforesterie, Ivoirien, Daloa, Côte d'Ivoire

Keulai Minty Celestin

Officier forestier à l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) Ivoirien
(à la retraite), Soubré, Côte d'Ivoire

Abstract

The present study concerns the evaluation of the impact of anthropogenic activities on the carbon sequestration capacity of the highly anthropized Mont Sangbé National Park. The main objective was to contribute to the estimation of the effect of anthropogenic activities on the carbon sequestration capacity of the MSNP. Specifically, it was to : (1) characterize the anthropogenic activities responsible for the degradation and (2) estimate the impact of these activities on the carbon sequestration capacity of the MSNP. To conduct the study, we used a sampling design consisting of 14 square blocks of 1 ha each, each comprising 100 square plots of 100 m² (10 m x 10 m). Data collection was conducted using direct sampling. Anthropogenic activities, of which the most incidental are agricultural practices, have caused massive destruction of woody tree species in the SMNP. This has resulted in a reduction in the density, land area and diameter structure of woody stands on impacted sites. This has resulted in an estimated loss of carbon sequestration capacity of 43 tC/ha across the park. To remedy

this situation, it was recommended to intensify the monitoring of the park, raise awareness and develop micro-projects for the local populations.

Keywords: Impact, Anthropogenic activities, Tree species, Biomass, Carbon rate

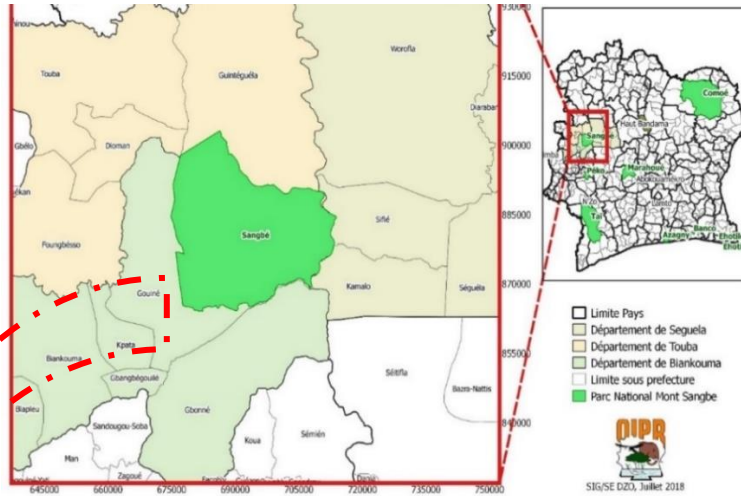
Introduction

La crise environnementale mondiale de ces dernières décennies, caractérisée par la perte drastique d'immenses étendues de forêt à travers le monde (FAO, 2010; WWF, 2016), n'a pas épargné la côte d'Ivoire. De 16 millions d'ha de forêts dans les années 1900, ce pays est passé à 3 millions en 1991, puis de nos jours à environ 2,5 millions d'ha (Kassoum, 2018). Au niveau des parcs nationaux et réserves naturelles qui bénéficient d'un statut de protection (OIPR, 2002), le bilan est alarmant. La plupart de ces sites ont fait objet de divers pillages des ressources naturelles et d'intense déforestation. D'importantes superficies forestières y ont été défrichées au profit de l'exploitation agricole et diverses activités anthropiques y ont été perpétrées (Virginie et al., 2012; PNUE, 2015). Le Parc National du Mont Sangbé objet de la présente étude, est situé à l'ouest de la Côte d'Ivoire et appartient à l'une des 18 zones tropicales d'importance mondiale pour leur biodiversité (Michael et al., 2016). Les dégâts occasionnés par les activités humaines dans ce parc ont été considérables (Anonyme, 2012). Les infiltrations agricoles clandestines massives qui ont eu lieu sur ce site durant la période de crise de 2002 à 2012, ont provoqué de graves dégradations des ressources naturelles et occasionné la disparition d'importantes superficies de forêt et de savane au profit des plantations de cacao et de cultures vivrières (Anonyme, 2014). Des feux de brousse récurrents d'origine anthropique, ont également été enregistrés sur ce site. On note de ce fait une importante destruction des espèces ligneuses arborescentes dans le PNMS. Vu que ces espèces interviennent principalement dans la séquestration de carbone (Anobla & N'Dja, 2016; Saj & al., 2013), l'on cherche à mesurer l'impact de ces dégradations sur la capacité de séquestration de carbone du PNMS. C'est le but de la présente étude. L'objectif général est de mesurer l'impact de la perte massive des essences forestières ligneuses arborescentes due aux activités anthropiques sur la capacité de séquestration de carbone du PNMS. De façon spécifique, il s'est agi, (1) de caractériser les activités anthropiques responsables de la dégradation du PNMS, (2) d'évaluer la quantité de carbone séquestrée dans les différents milieux impactés.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Le Parc National du Mont Sangbé (PNMS), d'une superficie totale de 97 554 ha, est situé à l'Ouest de la Côte d'Ivoire entre 7°51' et 8°10' de latitude nord et 7°03' et 7°23' de longitude ouest. Il est à cheval entre les départements de Biankouma (S/P de Biankouma et Gbonné), de Touba (S/P de Founghesso, Guintéguéla et de Touba) et de Sifié (Figure 1). Il comporte 33,5 km de limites conventionnelles, 102 km de limite constituées par les cours d'eau et 5 km de limite en pistes (Laugnie, 2007). Selon Guillaumet et Adjanohoun (1971) le PNMS est situé dans la zone de transition entre la forêt dense humide sempervirente du domaine ombrophile, et les forêts claires et savanes du secteur subsoudanais. Le climax dominant de la partie sud du parc est la forêt dense humide semi-décidue et pour la partie nord, la forêt claire. Les sols sont ferrallitiques fortement désaturés dans la partie sud-ouest et moyennement désaturés dans les autres parties du parc. Le climat est de transition entre les climats subéquatoriaux à deux saisons de pluie et les climats tropicaux à une seule saison de pluie. La saison sèche dure cinq à six mois et la saison pluvieuse sept mois avec une pluviométrie annuelle de 1100 et 1600 mm d'eau. Le réseau hydrographique est dominé par le fleuve Sassandra à l'est et ses affluents (Bafing au sud et Baba au nord). Les populations de la zone d'étude ont pour principale activité l'agriculture dominée par les cultures vivrières (le manioc, le taro, le riz et le maïs). Les cultures pérennes, quant à elles, sont constituées en grande partie de plantations de caféiers, de cacaoyers, d'anacardiés et d'hévéas. On note dans les villages riverains l'élevage traditionnel des bovins, ovins, caprin et volaille (Laugnie, 2007).



Source: Service suivi écologique de la Direction de Zone Ouest de l'OIPR

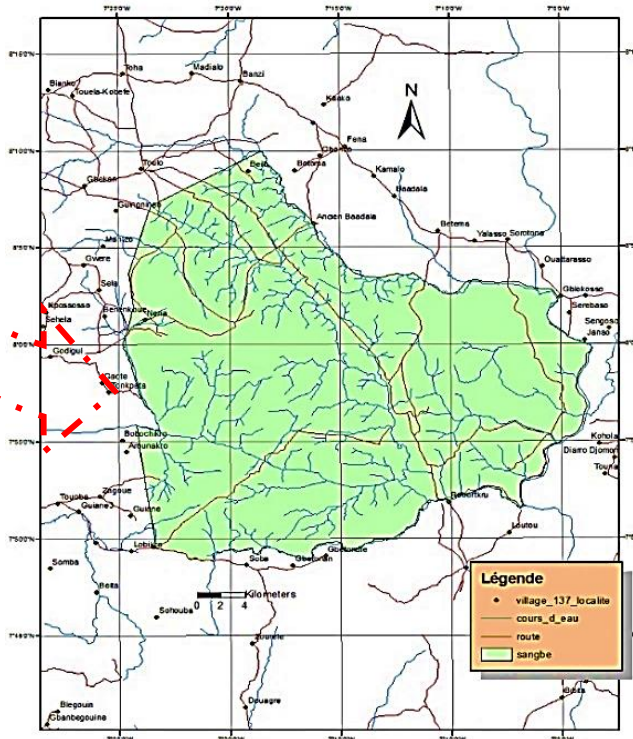


Figure 1. Situation géographique du Parc National du Mont Sangbé

Méthodes

Inventaire de la flore ligneuse arborescente

Choix des sites d'inventaire

Le choix des sites d'inventaire floristique a été réalisé à partir d'une carte d'occupation de sol (Figure 3) et des informations recueillies lors de l'enquête en milieu riverain et les missions de terrain. Il a été tenu compte de la présence ou non d'indices d'activités humaines et du type de formation végétale (savane, forêt claire, forêt dense, forêt galerie ou ripicole). Des sites témoins non impactés ont été choisis dans chaque type de formation végétale pour mieux estimer l'effet des impacts (Figure 2).

Dispositif d'échantillonnage

Pour collecter les données floristiques, des blocs d'un hectare chacun (100m x100m) subdivisé en 100 placettes carrés de 100 m² (10m x 10m) chacun (Figure 2) ont été installés sur les sites à inventorier. Au total 14 blocs d'inventaire ont été disposés dans la zone d'étude. 07 en zone de forêt dense (3 dans les jachères, 3 dans les forêts secondaires et 01 sur le site témoin); 03 en forêt claire (01 site de feu de brousse, 01 dans jachère et 01 sur le site témoin); 02 en forêt ripicole (01 dans jachère, 01 site témoin) et 02 en zone de savane (01 site de pâturage et 01 site témoin). (Figure 3).

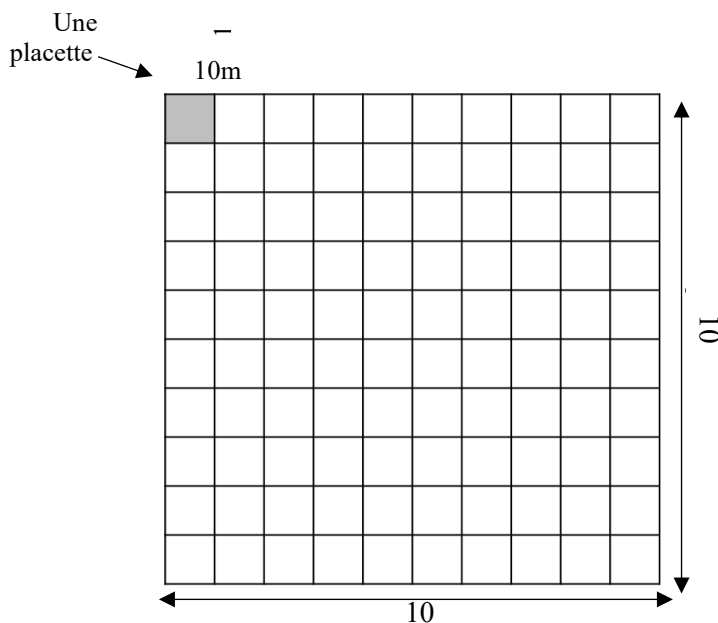
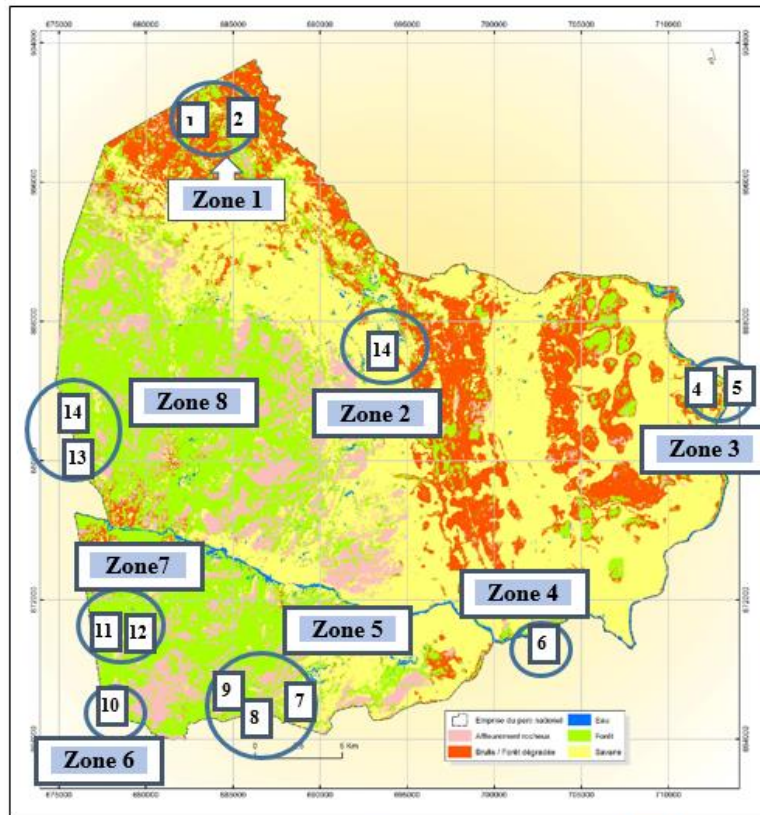
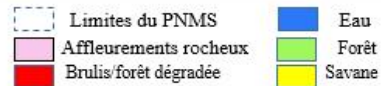


Figure 2. Schema d'une placette et d'un bloc d'inventaire



(Source : Kassi, 2017).



LEGENDE

Zone 1 : Site de feu de brousse avec le bloc feu BF (1) et bloc témoin des forêts claires BTFC (2) ;

Zone 2 : Site d'exploitation agricole en savane boisée ou forêt claire BAS (3) ;

Zone 3 : Site de pâturage des pâturage BP (4) et le bloc de pâturage témoin BPT (5) ;

Zone 4 : zone de forêt ripicole témoin BFRT (6) ;

Zone 5 : forêt dense: blocs défrichement BDA (7), prélèvement BPL (8) et agricoles BAFD (9) ;

Zone 6 : forêt ripicole : impacté par les pratiques agricoles avec le bloc BFRA (10)

Zone 7 : forêt dense :défrichement recent BDR (11) et exploitat. agricole et forestière BEAF (12)

Zone 8 : de forêt dense : exploitation forestière BEF (13) et le bloc témoin de forêt dense (BTFD).

Figure 3. Carte de situation de l'ensemble des sites inventoriés par l'étude

Inventaire floristique

La collecte des données floristiques a été réalisée en combinant deux méthodes de relevée à savoir, la méthode de relevé de surface et celle des relevés itinérants. La méthode de relevé de surface a consisté à délimiter des placettes carrées de 100 m² (10 m x 10 m) sur chaque site. A l'intérieur de chaque placette, toutes les espèces ligneuses arborescentes de dbh \geq 10cm à 1,30m au-dessus du sol ont été identifiées, leurs noms ont été notés et le nombre d'individus compté. Les hauteurs des ligneux ont été estimées à l'aide de jalons emboîtables de 2m chacun. Entre deux placettes, des inventaires itinérants ont été réalisés le long des pistes et des cours d'eaux, etc., dans le but de compléter la liste floristique générale. Les espèces non identifiées sur place ont été photographiées, puis des échantillons ont été récoltés et mis en herbier durant la campagne d'échantillonnage. Ces taxons ont été identifiés plus tard à partir de l'herbier de référence de l'Université Jean Lorougnon Guédé et Centre National Floristique de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody.

Collecte des données des activités anthropiques

Pour déterminer la typologie des activités anthropiques, une enquête a été menée dans les villages riverains et auprès des gestionnaires du parc. A cela s'ajoutent des missions d'observation de terrain organisées dans le PNMS. Au cours de l'enquête il été demandé aux populations et aux agents de l'OIPR d'énumérer les types d'agressions enregistrées dans le parc, l'étendu ou la portée de ces gressuions ainsi que leur durée, leur intensité et leur localisation. Les données recueillies ont été complétées par la revue de littérature.

Analyse des données

Détermination des types biologiques des espèces inventoriées

Les types biologiques des espèces arborescentes ont été déterminés en se basant sur la méthode de classification proposée par Raunkiaer (1934). Pour ce faire, les arbres dont les tailles sont supérieures ou égales à 25 m ont été classés comme des mégaphanérophytes ; ceux dont les tailles sont comprises entre 10 et 25m, des mésophanérophytes ; entre 2 à 10 m, des microphanérophytes et entre 0,5 et 2m, des nanophanérophytes.

Structure des peuplements

La caractérisation de la structure de la végétation des différents sites investigués, a été basée sur l'analyse des structure horizontale et verticale, de la densité et de l'aire basale.

La structure horizontale du peuplement ligneux de chaque site est déterminée par la répartition des spécimens inventoriés en classe de diamètre. Pour ce

faire 8 classes ([10-20m[, [20-30m[, [30-40m[, [40-50m[, [50-60m[, [60-70m[, [70-80m[, [80,+[). L'allure de l'histogramme qui en découle a permis d'apprécier le degré de perturbation du site (Koulibaly, 2008). Ainsi, la forme de « J » inversé indique un milieu perturbé avec un bon potentiel de régénération et la forme de « J » normal un milieu bien conservé avec un mauvais état de régénération (Konan, 2015).

Quant à la structure verticale, elle est déterminée par la distribution des arbres par classe de hauteur ([0-2m], [2-4m], [4-8m], [8-16m], [16-32m], [32,+]) qui fait ressortir le pourcentage des arbres de grandes tailles par rapport à ceux de petites tailles. Selon Parde (1961), cette distribution est généralement utilisée pour rendre compte de la dynamique des populations ou des peuplements forestiers.

La densité des peuplements correspond au nombre d'individus par unité de surface. Elle a été estimée en comptant le nombre de pieds de ligneux par ha. Sa formule est :

$$D = N / S$$

avec : N = Nombre de pieds de chaque individu et S : surface totale en ha.

L'aire basale correspond à la somme des sections horizontales des troncs, pris par convention à 1,30 m au-dessus du niveau du sol. Ce paramètre est caractéristique de la stabilité d'un biotope (Rollet, 1974). Le calcul se fait suivant la formule ci-après :

$$A = \sum_{i=1}^N \pi D^2/4$$

A est en m²/ha, D le diamètre des arbres à 1.3 m du sol (DHP)

Calcul de la biomasse totale et de la quantité de carbone séquestrée dans les sites

La biomasse totale de chaque site a été évaluées à partir de la formule :

$$\text{Biomasse totale} = \text{Biomasse aér} + \text{Biomasse soutér.}$$

Pour estimer la biomasse aérienne vivante, nous nous sommes basés sur une équation allométrique pantropicale développée par Chave et al. (2014) et récemment utilisée par REDD+ pour l'évaluation de la biomasse forestière en Côte d'Ivoire (FAO/REDD+, 2017). L'expression mathématique de cette équation est : **AG Best = 0.0673 x (ρ DHP² H) ^{0.976}**

Où AGB est la biomasse aérienne estimée en Kg; D est le diamètre à hauteur de poitrine en cm; H la hauteur totale de l'arbre (m); ρ : la densité spécifique du bois (g.cm^3). Elle prend en compte le DBH, la hauteur de l'arbre et la densité basique du bois. La densité spécifique du bois (ρ) des espèces ligneuses arborescentes est fournie dans Wood Density Database³ à travers les sites <http://db.worldagroforestry.org/wd/genus> (ICRAF Database-woOd Density). La valeur par défaut $\rho = 0,58 \text{ g/cm}^3$ a été retenue pour les densités inconnues (Brown, 1997).

La biomasse souterraine a été estimée par **Biomasse souterraine = (Tx) x Biomasse aérienne** (Chave et al. (2014), avec Tx = 0,2 pour forêt décidue humide tropicale et AGB < 125 t.ha-1 et Tx=0, 24 pour forêt décidue humide tropicale et AGB > 125 t.ha-1 (Mokany et al.2006). Ce qui donne :

$$\text{Biomasse totale} = \text{Biomasse aér} + \text{Biomasse soutér.}$$

Pour la détermination du stock de carbone exprimé en tonne, on a procédé à une conversion de la biomasse selon les recommandations de l'IPCC (2003). La détermination du stock de carbone est égale à 50 p.c. de la biomasse totale :

$$\text{Stock de carbone} = \text{Biomasse totale} \times 0,5.$$

Détermination du taux de dégradation des sites impactés

Dans le but de classer les sites par niveau de dégradation, les taux de dégradation (Td) de chaque site a été estimé avec la formule:

$$\text{Td} = \text{C}_{Si} + \% \text{ Snu}$$

Avec C_{Si} : la contribution spécifique de l'espèce pionnière « i » espèce et % Snu le pourcentage de sols nus de chaque site (Daget et Poissonnet, 1971). C_{Si} a été obtenu par la formule $\text{C}_{Si} = \frac{\text{FS}_i}{\sum \text{FS}} \times 100$, où FS_i est fréquence spécifique (FS) de l'espèce « i » et $\sum \text{FS}$ la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces recensées (Daget & Poissonnet, 1965).

Ainsi lorsque :

- Td = 0 p.c, la formation végétale est dite non dégradée.
- 0 p.c. < Td ≤ 25 p.c., la formation végétale est dite peu dégradée
- 25 p.c. < Td ≤ 50 p.c., la formation végétale est dite dégradée
- 50 p.c. < Td ≤ 75 p.c., la formation végétale est dite très dégradée
- 75 p.c. < Td la formation végétale est dite très fortement dégradée.

Caractérisation de l'impact des activités anthropiques

Pour caractériser l'impact de chacune des activités anthropiques en vue de classer ces activités par ordre d'importance, trois paramètres ont été pris en compte, à savoir, la portée de l'impact, sa durée et son intensité. La portée ou l'étendue de l'impact représente la mesure de la superficie ou de la proportion de population ou rayonnement spatial de l'impact. La durée désigne la période pendant laquelle l'effet de l'impact se fait sentir et l'intensité de l'impact, le niveau du changement généré par une source d'impact.

Un code allant de 1 à 3 a été attribué à chaque niveau de paramètre (portée, durée, intensité). Ainsi:

- *Portée*, locale (seulement une petite partie du parc impactée) =1; zonale (plus de la moitié de la superficie du parc impactée) =2, régionale (toute la superficie du parc impacté) = 3.
- *Durée* de l'impact: courte durée (moins de 5 ans) = 1, durée moyenne (entre 5 et 10 ans) = 2 et longue durée (plus de 10 ans) = 3.
- *Intensité* : faible (taux de dégradation du site impacté) < 25%) = 1 Moyenne (taux de dégradation du site impacté) entre 50 et 75%) = 2 forte (taux de dégradation du site impacté >75%)= 3.

Evaluation de l'influence des activités anthropiques sur les quantités de carbone séquestrées

L'influence des activités anthropiques sur la diversité et la structure de la flore ligneuse a été évaluée en mettant en corrélation les sites organisés en fonction des taux de dégradation et les quantités de carbone séquestrées par ces sites.

Analyse statistique des données

Dans la présente étude, les paramètres de distribution des différents échantillons ont été comparés entre eux grâce au test de Kruskal-Wallis. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour l'analyse des données relatives aux biomasses et stocks de carbone des différents biotopes. Le but de l'analyse est d'établir si les moyennes des valeurs mesurées dans différents groupes, sont significativement différentes.

Résultats

Types biologiques des différents sites

En forêt dense, les jachères sont dominées par les microphanérophytes, les forêts secondaires par les mésophanérophites et le site témoin par les mégaphanérophites (Figure 16). En forêt claire, les microphanérophytes sont majoritaires sur le site exposé aux feux de brousse et les mésophanérophites sur le site témoin et le site de jachère (Figure 17). En zone ripicole, les microphanérophytes sont les plus représentés sur le site témoin et les

mégaphanérophytes sur le site de jachère (Figure 18). En savane arbustive les microphanérophytes dominent sur tous les sites (Figure 19).

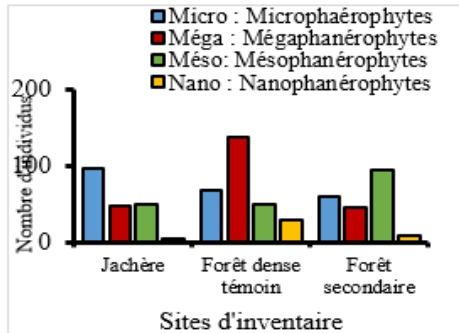


Figure 16: Types biologiques sites de forêt dense

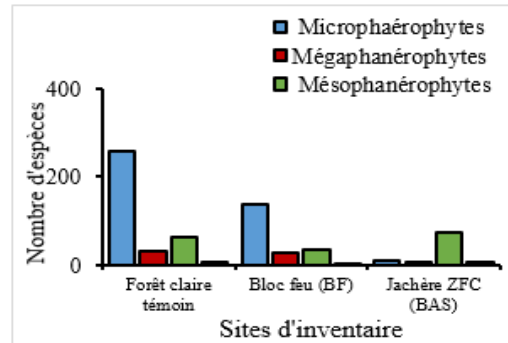


Figure 17: type biologiques sites de forêt claire

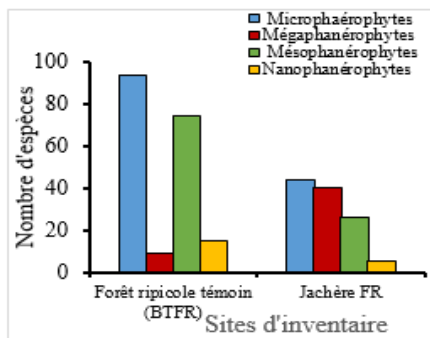


Figure 6: Types biologiques sites forêt ripicole

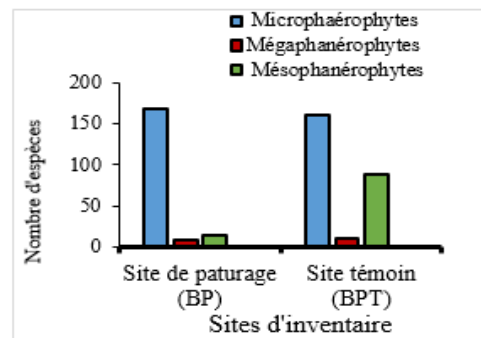


Figure 7: Types biologiques sites savane arbustive

Structure de la végétation dans les différents sites

Structure horizontale

➤ Densités et aires basales des peuplements ligneux des sites

Les densités des peuplements ligneux des sites d'inventaire varient de 360 tiges/ha (site témoin de forêt claire) à 54 tiges/ha (site de jachère forêt dense). Dans tous les milieux, les sites témoins présentent les plus fortes densités et les jachères les plus faibles. Les différences entre les valeurs moyennes des densités sont significative (tableau I).

Dans tous les milieux inventoriés, les sites témoins enregistrent les plus fortes aires basales et les sites de jachère les plus faibles. Les différences entre les aires basales moyennes sont significatives (Tableau IX).

Tableau 1. Densités des peuplements ligneux des sites type de biotope

Biotopes	Sites	Densités (tiges/ha)	Rang moyen	Kruskal-Wallis		
				H(chi ²)	dl	p-value
Forêt dense	Bloc témoin (BTFD)	294	3,16 ± 1,89	82,62	2	1,06.10 ⁻¹⁹ (Différences significatives)
	Forêts secondaires	169	2,13 ± 1,01			
	Jachères	54	1,45 ± 0,78			
Forêt claire	Bloc témoin (BTFC)	360	6,10 ± 3,61 ^b	44,53	2	1,44.10 ⁻¹⁰ (Différences significatives)
	Bloc feu (BF)	292	3,13 ± 2,26 ^a			
	Jachère (BAS)	88	2,85 ± 2,03 ^a			
Forêt ripicole	BFRT (Bloc témoin)	207	4,97 ± 3,33	18,4	1	1,37.10 ⁻⁵
	BFRA (jachère)	108	2,43 ± 1,45			
Zone savane	Bloc témoin (BPT)	242	2,78 ± 0,91	2,989	1	0,074 > 0,05
	BP	127	2,98 ± 2,82			

Tableau 2. Aires basales des peuplements ligneux par site et par biotope

Biotopes	Sites	Aires basales (m ² /ha)	Rang moyen	Kruskal-Wallis		
				H(chi ²)	dl	p-value
Forêt dense	Bloc témoin (BTFD)	34,30	0,31 ± 0,78 ^a	98,61	2	3,79.10 ⁻ Différences significatives
	Forêts secondaires	27,26	0,22 ± 0,03 ^b			
	Jachères	5	0,10 ± 0,25 ^b			
Forêt claire	Bloc témoin (BTFC)	16,93	0,41 ± 1,13	1,204	2	0,547
	Bloc feu (BF)	21,99	0,59 ± 1,27			
	Jachère (BAS)	11,95	0,76 ± 1,58			
Forêt ripicole	BFRT (Bloc témoin)	21,16	0,62 ± 1,08	13,41	1	0,00025 Différences significatives
	BFRA (jachère)	28,03	5,06 ± 17,48			
Zone savane	Bloc témoin (BPT)	13,03	0,89 ± 2,42			
	BP	2,61	0,27 ± 0,66			

➤ Structure diamétrique et des peuplements

En forêt dense les individus de petit diamètre sont dominants sur tous les sites. Mais sur le site témoins les individus de grand diamètre sont plus nombreux que sur les autres sites (Figure 23). Les individus de très grandes tailles sont majoritaires sur le site témoins et minoritaires sur les autres sites (Figure 24).

En forêt claire, les individus de petits diamètres sont dominants sur tous les sites (Figure 24) et les individus de tailles moyennes (18-16m) dominant sur tous les sites sont plus nombreux sur le site témoin (figure xxx).

En forêt ripicole, les individus de très grands diamètres (> 80 cm) dominent sur le site de jachère que dans le bloc témoin BFRT (Figure 25). En savane arbustive, les arbres de grands diamètres sont plus nombreux sur le site témoin (Figure 26).

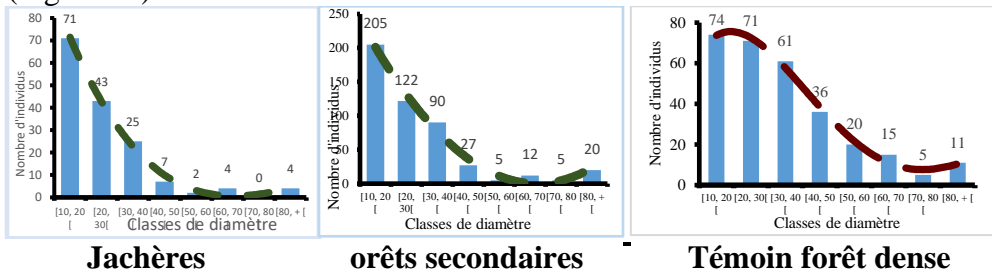


Figure 8. Structures diamétriques des sites de forêt dense

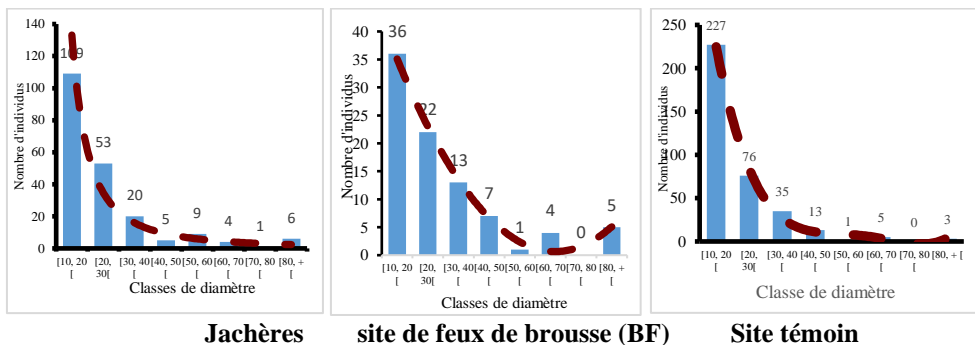


Figure 9. Structure diamétrique des sites de forêt claire

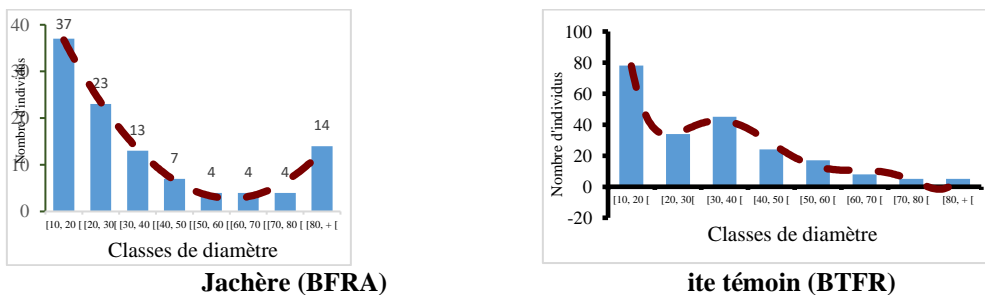


Figure 10. Structures diamétriques des sites de forêt ripicole

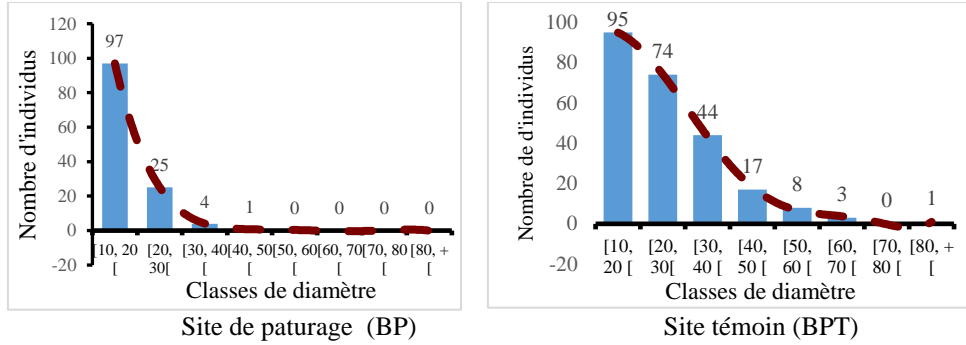


Figure 11. Structures diamétriques des sites de savane arbustive

Structure verticale des peuplements des sites

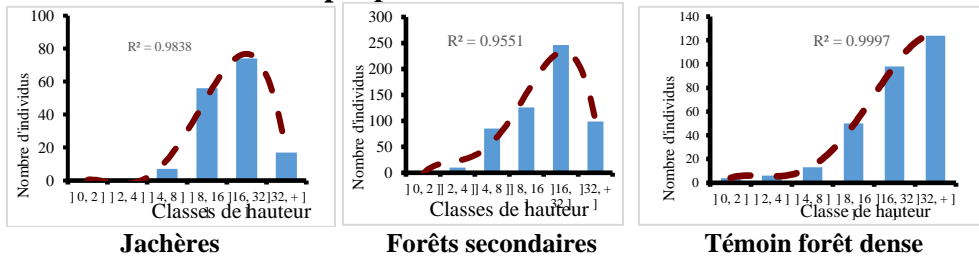


Figure 12. Structures verticales des sites de forêt dense

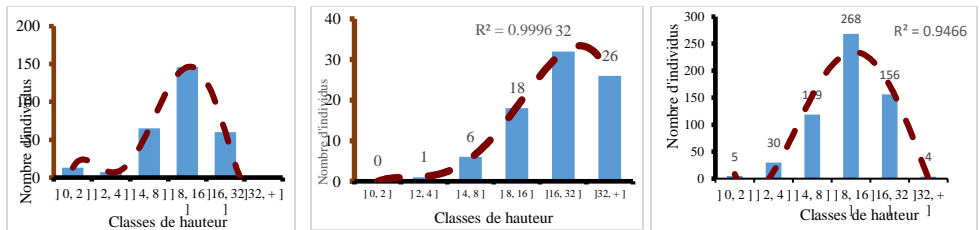


Figure 13. Structures verticales des sites de forêt claire

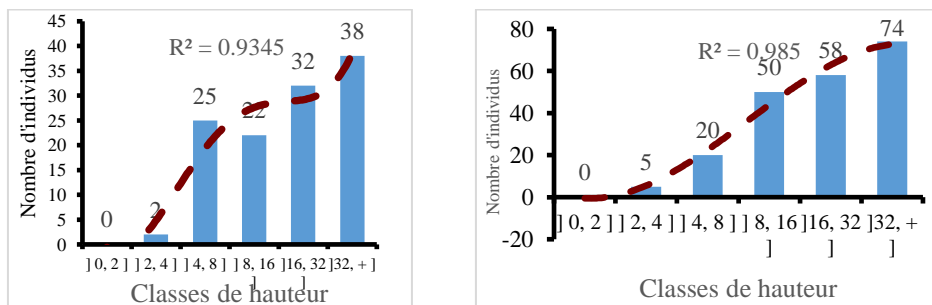


Figure 14. Structures verticales des sites de forêt ripicoles

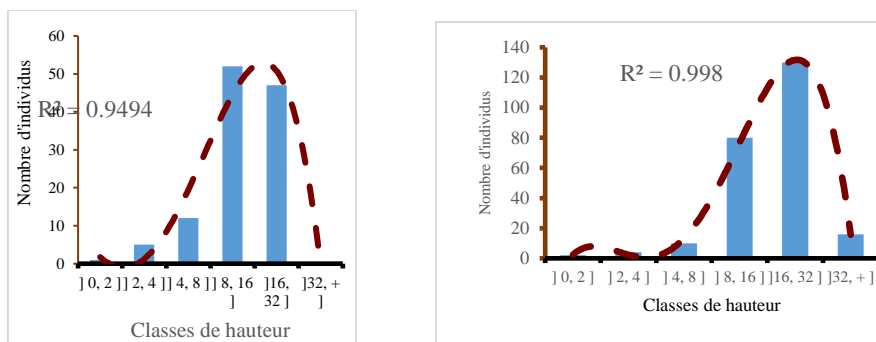


Figure 15. Structures verticales des sites de savane arbustive

Quantités de carbone séquestrée par les différents sites inventoriés

La quantité totale de carbone séquestrée par les blocs inventoriés dans la zone d'étude a été estimée à 1499 tonnes, soit 107,07 t/ha. Cette quantité varie d'un site à un autre. La quantité de carbone séquestrée par le site témoin de forêt ripicole BFRT (300 tC/ha) est plus élevée que celles des sites témoins de tous les autres milieux. La plus faible quantité de carbone séquestrée provient du site de jachère de forêt claire BAS (9,56 tC/ha). Dans les différents biotopes, les sites témoins enregistrent les plus fortes quantités de carbone séquestrées et les jachères les plus faibles (Tableau 3).

Milieux ou biotopes	Sites inventoriés	Quantité de carbone séquestrée (tonne/ha)
Forêt dense	Bloc témoin (BTFD)	213,03
	Forêts secondaires	188,96
	Jachères	21,21
Forêt claire	Bloc témoin (BTFC)	86,09
	Bloc feu (BF)	68,42
	Jachère (BAS)	9,56
Forêt ripicole	BFRT (Bloc témoin)	300
	BFRA (jachère)	188,61
Zone savane	Bloc témoin (BPT)	81,35
	BP	71,65
PNMS		107,07

Tableau 3. Quantités de carbone séquestrées par site en fonction des biotopes

Typologie des activités anthropiques du PNMS

Les différentes investigations ont permis de recenser au total six principales activités anthropiques à l'origine des dégradations dans le Parc national du Mont Sangbé. Il s'agit des pratiques agricoles basée sur la création des plantations de cacao et de cultures vivrières (défrichements, labours, mise en place des cultures, entretien des cultures, etc.), des feux de brousse, des défrichements (sites du parc déblayés sans cultures), des prélèvements des ligneux pour divers usages domestiques, de l'exploitation forestière et du pâturage des boeufs (Figure 5). Les figures 16 et 17 présentent quelques images des sites d'exploitation agricole et de prélèvement des ligneux.



Figure 16. Indices des pratiques agricoles sur les sites impactés



Figure 17. Indices de prélèvement des ligneux sur le site impacté

Classification des activités anthropiques par niveau d'importance

Suivant les totaux des scores des niveaux de la portée, de la durée et de l'intensité des impacts des activités anthropiques (Annexe 4), les pratiques agricoles avec 27%, constituent l'activité anthropique la plus importante dans le Parc national du Mont Sangbé (figure 49).

Types d'activité anthropique

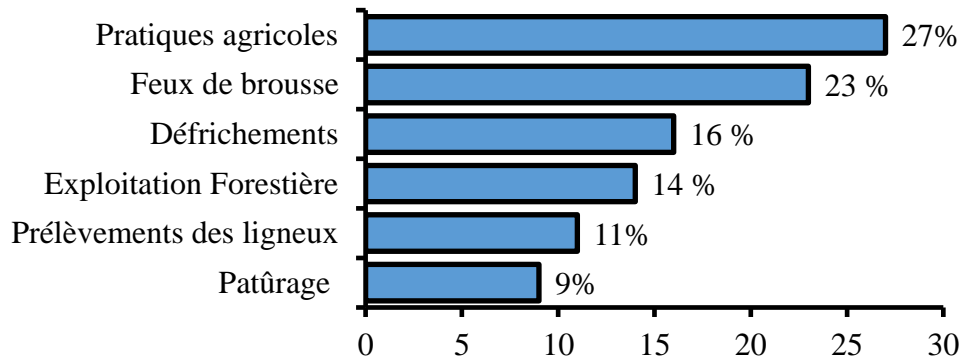


Figure 18. Classification des activités anthropiques du PNMS par degré d'importance

Niveau de dégradation des sites inventoriés

Selon les résultats, en zone de forêt dense les sites de jachères impactés par les pratiques agricoles (BAFD, BEAF et BPL) présentent des taux de dégradation les plus élevés compris entre 62 et 75%. Après les pratiques agricoles viennent les défrichements et la coupe des ligneux avec des taux de dégradation compris en 40,43 à 49%. Les sites concernés sont dits dégradés et sont constitués par les forêts secondaires à savoir les blocs BDA, BDR et BEF (Tableau II). En zone de forêt claire le bloc de jachère (BAS) impacté par les pratiques agricole est le site le plus dégradé avec un taux de dégradation estimé à 76%. Il est suivi par le bloc de feu BF avec un taux de dégradation de 35%. Ce site est dit dégradé. En zone ripicole, le site de jachère BFRA (60,67%) est fortement dégradé et en savane le site de pâturage BP(37%) moyennement dégradé (Tableaux 4).

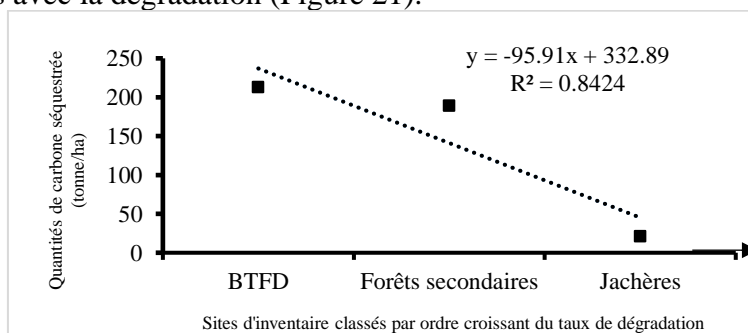
Tableau 4. Taux de dégradation des sites inventoriés

Biotopes	Type de milieux	Sites	Contribution spécifique des espèces pionnières	% Sol nu	Taux de dégradation des sites (%)	Intensités de dégradation des sites
Forêt dense	Jachères	BAFD	25	50	75	Sites fortement dégradés
		BPL	17,74	50	67,74	
		BEAF	22,21	40	62,21	
	Forêt secondaire	BDR	42	7	49	Sites moyennement dégradés
		BDA	40	8	48	
		BEF	30,43	10	40,43	
Forêt dense témoin	BTFD	10	1	11	Sites très peu dégradés	
	Jachères	BAS	46,15	30	76	Site très fortement dégradé

Forêt claire	Bloc feu	BF	5	30	35	Site dégradé
	Bloc témoin	BTFC	6	2	8	Sites très peu dégradés
Forêt ripicole	Jachères	BFRA	40,67	20	60,67	Sites fortement dégradés
	Bloc témoin	BFRT	6,65	2	8,65	Sites très peu dégradés
Savane arbustive	Bloc paturage	BP	2,49	30	32,49	Site dégradé
	Bloc témoin	BPT	2 ,52	5	7,52	Sites très peu dégradés

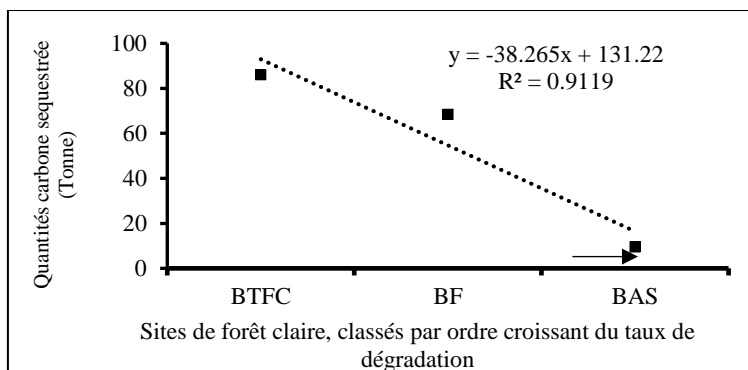
Impact des dégradations sur la séquestration de carbone dans les sites

En forêt dense les quantités de carbone séquestrées varient entre 213,03 tc/ha (site témoin non dégradé BTFD) et 21,21 tC/ha (site de jachère fortement dégradés). La pente ($Y = -95,91X$) de la droite de régression et le coefficient de corrélation ($R^2 = 0,84$), montrent que la quantité de carbone séquestrée par les arbres des sites est inversement corrélée avec la dégradation (Figure 19). De même, en forêt claire (Figure 20), la quantité de carbone séquestrée par les ligneux des sites est inversement corrélée avec la dégradation ($Y = -38,265 X$ et $R^2 = 0,9119$). En zone de forêt ripicole et savane arbustive les quantités de carbone séquestrées sont également inversement corrélées avec la dégradation (Figure 21).



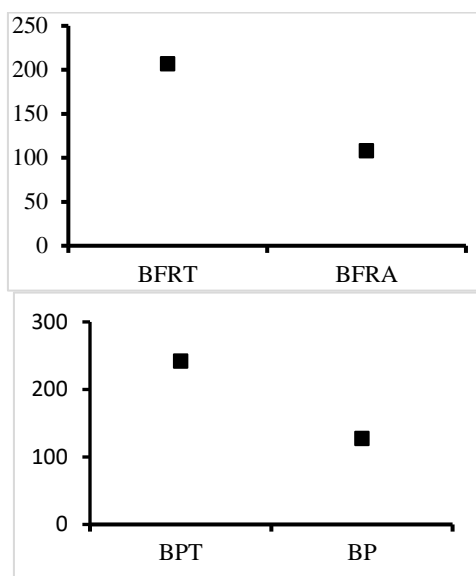
Légende : BTFD : Bloc témoin forêt dense

Figure 19. Evolution de la quantité de carbone séquestrée par les sites en forêt dense en fonction du taux de dégradation



Légende : BTFC : Bloc témoin forêt claire BF: Bloc impacté par les feux de brousse
BAS: bloc impacté par les pratique agricole

Figure 20. Tendence de l'évolution de la quantité de carbone séquestrée par les sites de forêt claire en fonction du taux de dégradation



BFRT : Bloc forêt ripicole témoin BPT: Bloc pâturage témoin
BFRA: Bloc forêt ripicole agricole BP: Bloc impacté par le pâturage
(a) (b)

Figure 21: Tendence de l'évolution des quantités de carbone séquestrées par les sites en forêt ripicole (a) et en savane (b) en fonction du taux de dégradation

Discussion

Les résultats ont montré

L'absence d'anciennes données sur la biomasse et le taux de carbone du PNMS, limite les possibilités de comparaison de nos résultats. Néanmoins nous pouvons confronter nos données à celles issues de quelques travaux. Lescuyer et Locatelli (1999) cités par Kouamé (2013), ont estimé la capacité

de stockage de carbone des forêts tropicales à environ 150 t/ha mais avec des variations de stock pouvant atteindre 500 t/ha dans la végétation de certains type de forêts. De même Nasi et al. (2008) cité aussi par Kouamé (2013), ont obtenu des valeurs de 150 à 175 t C/ha, en utilisant différentes méthodologies pour estimer le stock de carbone des forêts denses humides de basse altitude d'Afrique Centrale. Enfin, Kouamé (2013) a estimé à 186,67 tC/ha la quantité de carbone séquestrée dans l'aboretum du Centre National Floristique d'Abidjan. Avec 107,10 tC/ha comme quantité de carbone séquestré dans la zone d'étude, il ressort une plus faible capacité de carbone séquestrées par rapport aux sites précités. Cette réduction de quantité de carbone séquestrée serait liée aux activités anthropiques qui ont provoqué la destruction de nombreux ligneux dans la zone d'étude. On note par ailleurs une variation du taux de carbone séquestré d'un site à un autre. Elle est plus élevée dans la zone de forêt ripicole et plus faible dans la zone de forêt claire. La forte quantité de carbone séquestrée par les sites ripicoles pourrait se justifier par la présence sur ces sites de nombreux arbres de grandes tailles et à croissance rapide qui séquestrent plus de carbone (Laitat *al.*, 2004 ; Dubé *et al.*, 2006). Après la zone de forêt ripicole vient la zone de forêt dense qui enregistre également une forte quantité de carbone séquestrée à cause de nombreux mégaphanéophytes que comporte ce milieu. Les faibles quantités de carbone enregistrées dans les zones de forêt claire et savane arbustive proviendrait de la prédominance des microphanérophytes dans ces milieux. Par ailleurs, une comparaison des quantités de carbone séquestrées par site et par biotope révèle des différences significatives. Les sites témoins ont séquestré les plus grandes quantités de carbone et les jachères les plus faibles. Les forts déficits de quantités de carbone séquestrées relevés entre les sites témoins et les sites de jachères enregistrées sont dus aux activités anthropiques qui ont occasionné la destruction massive des ligneux sur les sites de jachère. En effet, les résultats ont montré une importante modification de la structure de la végétation dans les jachères sous l'influence des activités anthropiques. On y enregistre la prédominance des microphanérophytes et des individus jeunes (structures horizontale et verticale en forme de "J inversé") et de faibles densités et aires basales des peuplements ligneux. Pour les sites ripicoles, la quantité élevée de carbone séquestrée pourrait se justifier par l'accélération de la régénération des espèces dans ce milieu qui dispose des conditions favorables au développement des plantes (Humidité en permanence, sol assez riche, etc). Par ailleurs, les principales activités anthropiques identifiées dans le PNMS à savoir les feux de brousse, les pratiques agricoles, l'exploitation forestière, le prélèvement des ligneux, les défrichements et le pâturage des bœufs font partie des principales agressions généralement relevées par les gestionnaires des aires protégées en Afrique de l'Ouest (Konaté *et al.*, 2010). Parmi elles, l'exploitation agricole constitue l'activité anthropique la plus incidente. Les

travaux réalisés par Ousmane et *al.* (2020) sur les crises politico-militaires et la dynamique de la végétation du Parc national du Mont Péko en Côte d'Ivoire ont abouti aux mêmes résultats. Les fortes pressions de l'exploitation agricole enregistrées dans le PNMS pourraient s'expliquer, par l'infiltration massive des populations riveraines dans cette aire protégée durant la période de crise politico-militaire de la Côte d'Ivoire (2002-2012). Cette infiltration a été accompagnée de la création de plusieurs plantations de cacaoyers et de vivriers. Aussi la mise en place de ces plantations a-t-elle occasionné la destruction d'importantes superficies de forêt (Anonyme, 2014 ; Virginie et al., 2012 ; Anonyme, 2017). Les sites exposés à ces activités anthropiques comportent encore de nombreux ligneux morts sur pied, des zones dénudées, des zones de jachères et plusieurs espèces pionnières de la reconstitution des zones dégradées.

La mise en corrélation des sites d'inventaire classés par ordre croissant de dégradation avec les quantités de carbone séquestrées par les sites, a montré que les dégradations des sites réduisent les quantités de carbone séquestrée. En effet, cette analyse a montré que plus la dégradation du site augmente moins il séquestre le carbone. Cela s'explique par la destruction de plusieurs ligneux par les activités anthropiques. Par ailleurs, le fait que les jachères enregistrent les plus faibles quantités de carbone séquestrées montrent que ce sont les pratiques agricoles qui ont le plus provoqué la réduction de la quantité de carbone séquestré dans le PNMS. Assalé et al., (2021) ont abouti au même résultats. En effet, ces auteurs ont relevé le fait que les taux de carbone séquestré étaient plus élevés dans les poches de forêt et plus faible dans les cacaoyères.

Conclusion

Au terme de la présente étude nous retenons que les activités anthropiques dont la plus incidente est l'exploitation agricole, ont engendré une réduction de la quantité de carbone séquestrée par le PNMS. En effet, tandis que l'on estime à 150 tC/ha, la capacité de séquestration de carbone des forêts tropicales et entre 150 à 175 tC/ha celle des forêts humides de l'Afrique centrale, celle du PNMS a été estimée à 107 tC/ha. Cependant cette quantité de carbone séquestré est très variable en fonction des milieux et des sites du parc. Elle est plus élevée dans les sites de forêt non dégradées et plus faibles dans les jachères qui sont des sites fortement dégradés par les pratiques agricoles. Ce qui traduit l'influence négative jouée par les infiltrations agricoles massives qui ont eu lieu dans le PNMS de 2002 à 2012 sur la capacité de séquestration de carbone de ce site. Aujourd'hui on assiste à une forte reprise de la végétation dans les différents compartiments du PNMS. Ce qui permet l'augmentation progressive de la capacité de séquestration du carbone du PNMS. Ce processus de reconstitution de la flore ligneuse arborescente doit

suivre son cours en vue de permettre au PNMS de jouer son rôle d'autant en tant que l'un des plus importants puits de carbone de la région et même du pays. Cela passe nécessairement par l'intensification de la surveillance de ce parc et la sensibilisation des populations riveraines au respect de l'intégrité de cette aire protégée.

References:

1. Anobla A. O. M. M. et J. K. N'Dja. 2016. Dynamique de la végétation de Bamo et stocks de carbone dans la mosaïque de végétation. *European Scientific Journal* 12 (18)
2. Anonyme, 2012. Evaluation rapide de la diversité faunique terrestre : l'état
3. des lieux de quatre parcs nationaux : Azagny, Marahouet, Mont Péko et
4. Mont Sangbé.(Afrique Nature International). Rapport d'étude. 33p.
5. Assalé A.A.Y., Kouakou K.A., Kouakou A.T.M., Kpangui K.B. Barima
6. Y.S.S., 2021. Diversité végétale et potentiel de séquestration de carbone
7. des espaces domaniaux anthropisés : cas de la forêt classée du Haut-
8. Sassandra (centre-ouest de la cote d'ivoire). *Agronomie Africaine Sp.* 33 (1): 15 - 28 (2021).
9. Aubreville A, Pity B., N'Klo O., Alassane C., N'guessan A., Louppe D., Robert O., Didier L., Ducouso M., Abbadie L., Lepage M. 1998.- Analyse de l'impact des feux de brousse sur l'évolution des ligneux, des herbacées et des sols en zone de savane (Rapport final d'activités du projet)-5 mars 1998. Communautés Européennes DGXI 209 rue de la loi B-1049 Bruxelles/Institut des projets- Département forestière- Abidjan. 13 p.
10. Chave J.C., Andalo S., Brown M. A., Cairns J. Q., Chambers D., Eamus H., Folster F., Fromard N., Higuchi T., Kira J.-P., Lescure B. W. Nelson H., Puig H., Riera B., Yamakura T., 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Ecosystem Ecology, Oecologia* (2005) 145: 87–99 DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
11. Chave J., Maxime R-M., Alberto B., Emmanuel C., Matthew S. Colgan., Welington B.C., Alvaro D. Tron Eld, Philip. M. 2014. *Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*. *Global Change Biologie*. Mai 2014.
12. Brown S., 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134).

13. Dubé A., Saint-Laurent D. & Senécal G., 2006. Penser le renouvellement et la politique de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique 50p.
14. FAO, 2001. *State of world's forest 2001*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2001, 136 p. FAO, 2010. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Département des forêts. Rapport national- Côte d'Ivoire. 60 p.
15. FAO/REDD+, 2017. Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire. Inventaire de la biomasse forestière pour l'estimation des facteurs d'émission. FAO, 2017. 45 p.
16. IPCC, 2003.-Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental panel on climate change. National Greenhouse Gas Inventories Programme and Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan 295 p.
17. Guillaumet et Adjanohoun (1971) : Avenard et al, 1971. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM (Mémoires n°50). Paris. 391 p.
18. Guillaumet Jean-Louis, Adjanohoun Edmond, (1971)- La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Avenard Jean-Michel, Eldin Michel, Girard Georges, Sircoulon Jacques, Touchebeuf de Lussigny, Guillaumet Jean-Louis, Adjanohoun Edmond, Perraud Alain. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire Paris : ORSTOM, (50), 161-263. (Mémoires ORSTOM ;50). 391 p.
19. Kouamé A., P-S., N'Guessan K., E., 2013. Diversité végétale et estimation de la biomasse dans l'arboretum du Centre National Floristique (Abidjan, Côte d'Ivoire). DEA, UFR Biosciences d'Abidjan. 2012-2013.
20. Lescuyer G. & Locatelli B. 1999. Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique ; Bois et Forêts des tropiques, 1999, n 260 (2) ; CIRAD- Terra ; 13.
21. Lauginie F., 2007. - Dans *Conservation de la nature et aires protégées en Côte d'Ivoire*. NEI/ Hachette et Afrique Nature, Abidjan, xx + 668 pp.
22. Nasi R., Mayaux P., Devers D., Bayol N., Eba'a Atyi R., Mugnier A., Cassagne B., Billand A. & Sonwa D. 2008. Un Aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans les forêts du Bassin du Congo. 206 p.
23. OIPR, 2002.- Loi n°2002-102 du 11 février 2002 relative à la création, à la gestion et au financement des parcs nationaux et des réserves naturelles de Côte d'Ivoire, 18 p.
24. Pagès P., 2002.-Analyse Factorielle Multiple appliquée aux variables qualitatives et aux données mixtes. Revue de statistique appliquée, 50 (4) : 5-37

25. Pearce D., Moran D. (1994). The Economic value of Biodiversité. UICN 147 p.
26. PERRAUD A. (1971). Les sols. In : Avenard J-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf D.L.P., Guillaumet J-L, Adjanohoun E. Perraud A. *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Paris : ORSTOM, (50), 269-391.(Mémoires ORSTOM ; 50).
27. PNUE, 2015.- *Côte d'Ivoire, évaluation environnementale post-conflit*, rapport publié en juillet 2015 par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
28. Raunkiaer C., 1934. The life forms of plants and statistical plant geographic, Oxford University Press, London (England), 632 p.
29. Rollet B., 1974. L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaines. C.T.F.T., Paris, France. 298 p.
30. Saj A., Y. Cojan, R. Vocat, J. Luauté and P. Vuilleumier. 2013. Prism
31. adaptation enhances activity of intact fronto-parietal areas in both
32. hemispheres in neglect patients. *Cortex*, 49 (1) : 107 - 119
33. Sangne, Y.C, Adou Yao C.Y et N'Guessan K.E. 2008. Transformations de la flore d'une forêt dense semi décidue : impact des activités humaines (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine XX* : 111.
34. Sangne YC. 2009. Dynamique du couvert forestier d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : cas de la Forêt Classée de Téné dans le Département d'Oumé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan.
35. Stratégie de surveillance, 2015 : Rapport d'étude élaboré en Aout 2015 dans le cadre du Projet CORENA pour la gestion durable du Parc National du Mont Sangbé. 42p.
36. WWF, 2016. Living planet report 2016. Risk and resilience in a new era. 128 p.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Technique de Multiplication Végétative par Bouturage de *Macaranga beillei* Prain (Euphorbiaceae) à Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Kouao Jean

Maitre de Conférences, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV), Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Institut Botanique Aké-Assi d'Andokoi (IBAAN) Abidjan, Côte d'Ivoire

Yao N'Guettia Francis

Doctorant, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Yao Lambert

Maitre de Conférences, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV), Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Haba Jean Florent

Doctorant, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

Tuo Fatou

Doctorante, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Kone Moussa

Adama Bakayoko

Professeur Titulaire, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV), Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Jan Bogaert

Professeur Titulaire, Université de Liège / Gembloux Agro-Bio Tech Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p392](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p392)

Submitted: 30 November 2022

Accepted: 15 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Koffi K.J., Yao N.F., Kouadio Y.L., Haba J.F., Tuo F., Kone M., Adama B. & Boagert J. (2022). *Technique de Multiplication Végétative par Bouturage de Macaranga beillei Prain (Euphorbiaceae) à Abidjan, Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 392. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p392>

Resume

Macaranga beillei Prain, est une espèce de la famille des Euphorbiaceae. Elle est vulnérable selon l'UICN, endémique à la Côte d'Ivoire et surtout utilisée en médecine traditionnelle. Cette étude a pour objectif de contribuer à la conservation de cette espèce en Côte d'Ivoire. De façon spécifique, il s'agit de faire une analyse floristique, de vérifier la disponibilité actuelle de cette espèce et de faire un essai de multiplication végétative de *Macaranga beillei* afin de permettre sa vulgarisation auprès des utilisateurs. Pour ce faire, des boutures de *Macaranga beillei* ont été cultivées dans trois types de substrats, à savoir le sol issu de l'ilot forestier de l'Université Nangui Abrogoua (TfUNA), le sol de la jachère de l'Université Nangui Abrogoua (TjUNA) et le sol composté réalisé à partir des fientes de caille et de coupeaux de bois (Tc). Un échantillonnage de 72 individus de l'espèce *Macaranga beillei* ont été récoltés. Il ressort que 38 sur 72 individus de *Macaranga beillei* ont été récoltés dans le Parc National du Banco, soit un taux de 52,77%. Quant à l'analyse de la disponibilité actuelle, elle a révélé une disparition éminente de l'espèce. Alors que le Parc National du Banco a été plébiscité zone de refuge de *Macaranga beillei*, cependant, sur les 38 échantillons récoltés de 1905 à 2002, seulement 4 échantillons ont été retrouvés. Pour ce qui concerne l'essai de multiplication végétative, elle a été un succès avec un taux moyen de reprise végétative des boutures de 66,66% contre 33,33% de taux moyen de mortalité. La valeur de l'indice du risque de vulnérabilité de l'espèce (IV), calculé au sujet de *Macaranga beillei* est de 2,46 ce qui confirme sa vulnérabilité. Les plants pourraient être introduits dans la forêt de l'Université Nangui Abrogoua et dans l'arboretum du Centre National de Floristique (CNF) de l'Université Houphouët-Boigny de Cocody.

Mots-clés: *Macaranga beillei* Prain, Multiplication végétative, Bouturage, Conservation, Côte d'Ivoire

Technique of Vegetative Propagation by Cuttings of *Macaranga beillei* Prain (Euphorbiaceae) in Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Kouao Jean

Maitre de Conférences, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature,
Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV),
Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Institut Botanique
Aké-Assi d'Andokoi (IBAAN) Abidjan, Côte d'Ivoire

Yao N'Guettia Francis

Doctorant, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire
d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Yao Lambert

Maitre de Conférences, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature,
Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV),
Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte
d'Ivoire

Haba Jean Florent

Doctorant, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de
Biologie et Amélioration des Productions Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

Tuo Fatou

Doctorante, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire
d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte d'Ivoire

Kone Moussa

Adama Bakayoko

Professeur Titulaire, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature,
Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale (LaBVDiV),
Laboratoire d'Ecologie et de Développement Durable (LEDD), Abidjan, Côte
d'Ivoire

Jan Bogaert

Professeur Titulaire, Université de Liège / Gembloux Agro-Bio Tech Unité
Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique

Abstract

Macaranga beillei Prain, is a species of the Euphorbiaceae family. It is vulnerable according to the IUCN, endemic to Côte d'Ivoire, and mainly used in traditional medicine. This paper focuses on contributing to the conservation of this species in Côte d'Ivoire. It includes carrying out a floristic analysis, checking the current availability of this species, and implementing a vegetative propagation test of *Macaranga beillei* in order to allow its popularization among users. To do this, cuttings of *Macaranga beillei* were grown in three types of substrates, namely the soil from the forest island of Nangui Abrogoua University (TfUNA), the soil from the fallow land of

Nangui Abrogoua University (TjUNA), and composted soil made from quail droppings and wood shavings (Tc). A sampling of 72 individuals of the *Macaranga beillei* species were collected. It appears that 38 out of 72 individuals of *Macaranga beillei* were harvested in the Banco National Park, a rate of 52.77%. The Banco National Park was the preferred refuge area of *Macaranga beillei*. Although 38 samples were collected from 1905 to 2002, only 4 samples were found. As for the vegetative propagation test, it was a success with an average rate of vegetative recovery of cuttings of 66.66% against 33.33% average mortality rate. The value of the index of the risk of vulnerability of the species (IV) is 2.46 which confirms its vulnerability. The plants could be introduced into the Nangui Abrogoua University forest and into the arboretum of the Center National de Floristique (CNF) of the Houphouët-Boigny University of Cocody.

Keywords: *Macaranga beillei* Prain, Vegetative propagation, Cuttings, Conservation, Côte d'Ivoire

Introduction

L'appétit de l'homme, pour les biens et les services, affecte les écosystèmes. Ainsi, selon la stratégie et plan d'action pour la diversité biologique nationale 2016-2020, l'Etat de Côte d'Ivoire, à l'instar des autres Etats du monde entier, se doit d'élaborer une stratégie pour la préserver. Pour la mise en œuvre de cette stratégie, plusieurs approches ont été menées. Dès lors, pour le cinquième rapport national sur la diversité biologique en 2014, en Côte d'Ivoire, des enquêtes sur l'état des espèces végétales à statut particulier, leur répartition et leur écologie, les résultats de liaison à la gestion de la conservation, et des mesures spécifiques de sauvegarde sont mises en œuvre pour 100% des espèces prioritaires identifiés. De ce fait, l'extinction d'espèces menacées connues est évitée et leur état de conservation, en particulier de celles qui tombent le plus en déclin, est amélioré et maintenu.

C'est dans ce cadre que cette étude s'oriente en faisant cas de *Macaranga beillei* Prain, une espèce végétale de la famille des Euphorbiaceae à Statut particulier. Le choix de cette espèce s'est essentiellement basé sur le statut particulier (rare ou vulnérable, endémique à la Côte d'Ivoire) de l'espèce et de son utilité pour la population ivoirienne. En effet la bibliographie relative à cette espèce, révèle que *Macaranga beillei* est une espèce vulnérable (UICN, 2019), endémique à la Côte d'Ivoire (Aké Assi, 2001) et utilisée en médecine traditionnelle pour soigner la toux (Bouquet & Debray, 1974; Piba, 2016). Il convient de signaler que *Macaranga beillei* a également une aire très restreinte dans la région d'Abidjan-Dabou. Pourtant cette espèce, peut être localement abondante mais à cause de son habitat très menacé par les activités

anthropiques. Sa survie dépend pratiquement de celle du Parc National du Banco (Lachenaud, 2004).

Au delà de toutes ces informations, en aucun cas, un essai de reproduction de cette espèce a été entrepris. De ce constat, cette étude préliminaire, vient comme une contribution à la conservation, à la valorisation et à l'utilisation durable des espèces à Statut particulier de la Côte d'Ivoire de façon générale et particulier de *Macaranga beillei*. De façon spécifique, il sera question d'analyser la flore de *Macaranga beillei*, d'analyser la disponibilité actuelle *Macaranga beillei*, et procéder par la mise en place d'une technique de repeuplement de cette espèce. Il s'agit d'une technique conservatoire d'une espèce en général rare pour sa sauvegarde et éventuellement sa réintroduction dans son milieu naturel où un milieu remplissant les conditions de vie de cette espèce (Philippe et al., 2009).

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Site d'étude

L'essai s'est effectué dans la lisière de la forêt de l'Université Nangui Abrogoua (UNA). L'Université Nangui Abrogoua est située dans la ville d'Abidjan (Capitale de la Côte d'Ivoire), plus précisément entre la commune d'Adjamé et celle d'Abobo (Figure 1). La première raison justifiant ce choix est qu'un pied de *Macaranga beillei* a été retrouvé dans cette forêt. La deuxième raison est que la forêt de l'UNA est un îlot forestier issu de la fragmentation de la forêt du banco (Missa et al., 2018). De ces deux informations, nous pouvons dire que la forêt de l'UNA remplit les conditions favorables pour le développement de *Macaranga beillei*.

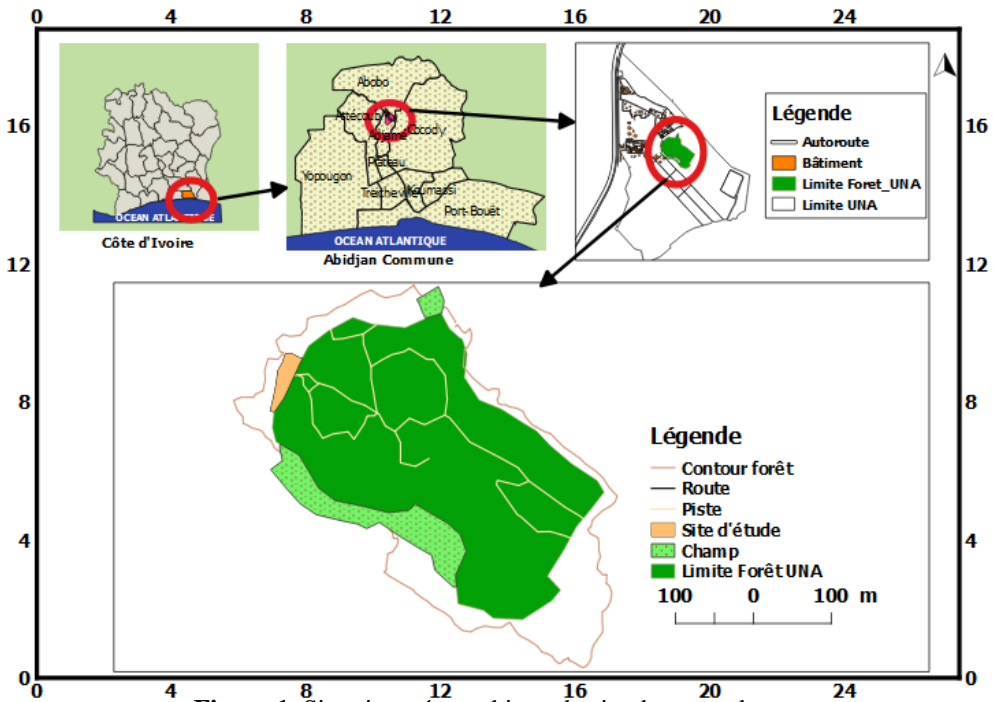


Figure 1. Situation géographique du site de repeuplement (forêt de l'UNA ; Missa et al., 2018, modifiée)

I.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé est essentiellement composé des échantillons des espèces de la famille des Euphorbiaceae issues de la base de données issues de SIG IVOIRE (Gautier et al., 1999), de la flore de Côte d'Ivoire (Aké Assi, 2001) et des données de GBIF (Global Biodiversity Information Facility, www.gbif.org) et du Musé de Paris, <http://www.mnhn.fr/fr/collection>). Pour la multiplication végétative, des boutures de *Macaranga beillei* Prain ont été utilisées.

I.3. Méthodologie

I.3.1. Méthode d'inventaire en randonnée

Le but de l'inventaire en randonnée est de vérifier la disponibilité actuelle de *Macaranga beillei*, afin d'avoir du matériel végétal de l'espèce pour l'essai de repeuplement. En effet, un seul pied de *Macaranga beillei* étant répertorié dans la relique forestière de l'UNA, il s'avère important de chercher d'autres pieds afin d'effectuer les prélèvements d'organes pour le repeuplement dans le souci de ne pas surexploiter le seul pied déjà trouvé. Dès lors, selon la bibliographie, *Macaranga beillei* est une espèce qui aurait trouvé refuge au Parc National de Banco à cause de son habitat fortement menacé par les activités humaines (Lachenaud, 2004). C'est ainsi que le Parc National de

Banco a été choisi pour mener cette activité. Une fois le matériel de l'inventaire en randonnée réuni, les coordonnées géographiques des échantillons ont été projetées sous forme de point sur la carte du Parc National de Banco qui a servi de moyen d'orientation. Ensuite, les coordonnées géographiques des échantillons récoltés ultérieurement, ont été introduites dans un GPS avec l'option « go to » afin de repérer ces points de récolte. Les échantillons prélevés ont été identifiés au Centre National du Floristique (CNF).

I.3.2. Préparation des substrats et habillage des boutures

Le repeuplement nécessite une acquisition de parcelle pour la culture des pépinières. Ainsi, pour les travaux préalables, une machette a été utilisée pour le désherbage et l'entretien des parcelles expérimentales. Un ruban mètre a été utilisé pour mesurer et délimiter les parcelles. Des sacs en matière de polystyrène contenant les substrats pour enfouir les boutures ont été utilisés. Un sécateur a permis de prélever et d'habiller les boutures. Une règle et un compact ont été utilisés pour mesurer la hauteur des plants. Un arrosoir a servi pour l'arrosage des boutures en pépinières. Pour noter toutes les informations relatives aux plantules (mesure de la hauteur plants et comptage des nombre de feuilles apparues), des fiches de relevés ont été établies et utilisées à cet effet.

Une analyse au laboratoire a été faite pour évaluer la composition physico-chimique des substrats utilisés. A cet effet, plusieurs matériels de laboratoire ont été utilisés. Il s'agit d'un pH-mètre pour la mesure de pH. Une spectrométrie démission atomique par plasma induit et un colorimètre ont été utilisés pour le dosage des bases échangeables et du phosphore. Une centrifugeuse pour la séparation de substances de densités différentes tenues en suspension ou émulsion dans un liquide a également été utilisée. Pour peser les échantillons de sol, une balance électronique a été utilisée. Des flacons, des béchers, et des bocaux stériles ont été utilisés pour la conservation des échantillons. Tout ce matériel provient de Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA).

Pour la conduite de l'essai de culture, trois types de sols ont été utilisés. Il s'agit du sol issu de l'ilot forestier de l'Université Nagui Abrogoua (TfUNA), du sol de la jachère de l'Université Nangui Abrogoua (TjUNA) et du sol composté (Tc) réalisé à partir des fientes de caille et de coupeaux de bois.

Pour l'essai de la multiplication végétative par bouturage de *Macaranga beillei*, une quantité de 500 mg de chaque substrat ont été prélevés pour subir les tests d'analyse physico-minéralogique. En effet, chaque substrat a été répété 2 et la moyenne des valeurs relatives en composition physico-minéralogique de ces 3 échantillons, a été considérée comme la valeur de la

composition physico-minéralogique d'un substrat. L'objectif est de voir l'influence des composés physico-minéralogique sur la reprise végétative et la croissance en hauteur des boutures.

Pour ce qui concerne l'habillage des boutures, deux types de boutures ont été choisies (Figure 2). Il s'agit des boutures dépourvues de feuilles (F0) et de boutures avec deux feuilles (F2).

Toutes les boutures utilisées, mesurent 10 cm de long et chacune d'elles porte 3 nœuds. Au total 36 boutures ont été utilisées pour l'expérience. Dans cette expérience, deux facteurs ou modalités sont étudiés. Il s'agit du facteur substrat et du facteur bouture

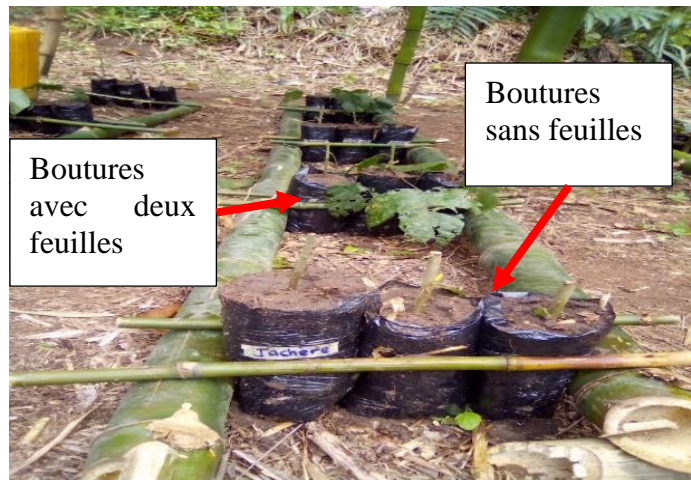


Figure 2. Mode d'habillage des boutures

I.3.3. Dispositif expérimental et mise en terre des boutures

Le dispositif utilisé est le factoriel bloc avec 3 répétitions et sans randomisation (Figure 3). Il s'agit d'un dispositif expérimental classique qui associe deux facteurs étudiés et un gradient d'hétérogénéité qui suit le sens du gradient repéré et une répartition aléatoire des traitements dans chaque bloc (Tableau 1). Un bloc est constitué d'un ensemble de parcelles élémentaires recevant chacune une répétition de chacun des traitements étudiés. Il y a donc autant de blocs que de répétitions des traitements. Ce dispositif expérimental est plus souvent rencontré en expérimentation agronomique car mieux adaptés aux hétérogénéités du terrain (Pierre, 2013). En effet, selon Pierre (2013), ce dispositif a un triple avantage: l'hétérogénéité et donc la variance de l'erreur expérimentale est mieux maîtrisée, les travaux sont plus faciles à exécuter, et il est facile de comparer visuellement les traitements puisqu'ils sont peu éloignés les uns des autres. Cette méthode a été utilisée pour le bouturage de nombreuses espèces (Aké-Assi, 2015 ; Ebah, 2019 ; Rosenn & Denis, 2004).

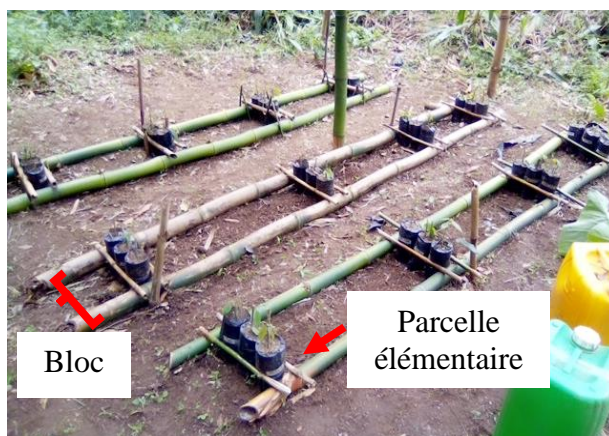


Figure 3. Dispositif expérimental pour le repeuplement de *Macaranga beillei* Prain (Euphorbiaceae)

Pour la réalisation de cette expérience, six traitements ont été constitués en combinant le type de substrat et le mode d'habillage des boutures (Tableau 1). Ces six traitements sont repartis comme suit :

- ✓ Traitement 1 (T1) : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles (TjUNAF0);
- ✓ Traitement 2 (T2) : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec deux feuilles (TjUNAF2);
- ✓ Traitement 3 (T3) : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles (TfUNAF0) ;
- ✓ Traitement 4 (T4) : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture avec deux feuilles (TfUNAF2) ;
- ✓ Traitement 5 (T5) : sol composté + bouture dépourvue de feuilles (TcF0) ;
- ✓ Traitement 6 (T6) : sol composté + bouture avec deux feuilles (TcF2).

Chaque traitement correspondant à une parcelle élémentaire et qui est répétée 3 fois, est affecté une et une seule fois dans chacun des blocs. On répète les traitements pour avoir une idée de l'erreur expérimentale, sans répétition, on ne pourrait pas l'estimer (Philippe, 1999). Chaque parcelle est composée de 4 sachets portant chacune des boutures. Ainsi, on a 12 boutures par traitement et 36 sachets pour la réalisation de l'essai repartis en 3 blocs. Les blocs sont alors allongés perpendiculairement au gradient. Le gradient peut être induit par une pente, ou par une lisière brise-vent ou apportant de l'ombrage, ou bien par la proximité d'un cours d'eau, ou encore par d'autres causes. Dans cette étude, le gradient est induit par la lisière de la forêt de l'UNA apportant de l'ombrage. Chaque bouture a été enfouie dans le substrat

jusqu'au niveau du deuxième nœud. Après la mise en terre des boutures, celles-ci sont arrosées tous les deux jours durant le premier.

1 facteur substrat: 3 substrats (TjUNA, TfUNA, Tc) 1 facteur bouture: 2 boutures (F0, F1)							
Blo c 1	(TjUNA F0) 1	(TfUNA F2) 4	(TcF2) 6	(TjUNA F2) 2	(TcF0) 5	(TfUNA F0) 3	6 traitements (3*2) 3 répétitions Sens du gradient d'hétérogénéité
Blo c 2	(TjUNA F2) 2	(TcF0) 5	(TfUNA F2) 4	(TfUNA F0) 3	(TjUNA F0) 1	(TcF2) 6	
Blo c 3	(TfUNA F0) 3	(TcF2) 6	(TjUNA F0) 1	(TfUNA F2) 4	(TcF0) 5	TjUNAF 2) 2	

Tableau 1. Récapitulatif de la composition des traitements et leur répartition dans les différents blocs

I.3.4. Paramètres d'analyse de l'essai de multiplication végétative

L'analyse de l'essai de la multiplication végétative a consisté à évaluer la reprise des poussées végétatives des boutures. Tous les 7 jours, le nombre de boutures ayant bourgeonné, est compté. L'objectif est d'évaluer le délai de la reprise végétative, le taux de la reprise végétative et aussi le taux de mortalité. Les paramètres tels que la hauteur des plants et le nombre de feuilles, seront également évalués. La hauteur des plants a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban. La mesure est prise entre le collet et la base des feuilles nouvellement formées. Les feuilles sont comptées chaque semaine à partir du premier nœud d'insertion jusqu'aux feuilles apicale.

- **Taux de reprise végétative**

Le taux de reprise végétative (Tr), est calculé suivant l'équation :

$$Tr = (Nr/Nt) * 100$$

Avec Nr , le nombre de bouture ayant bourgeonné et Nt , le nombre total de bouture piquées initialement. Il s'exprime en pourcentage (%) et sa valeur varie de 0 à 100. Ce paramètre a été pris en compte une semaine après la mise en terre des boutures.

- **Taux de mortalité des boutures**

Le taux de mortalité des boutures (Tm) est calculé selon la formule suivante :

$$Tm = (Pnv/Nt) * 100$$

Avec Pnv , le nombre des boutures n'ayant pas survécu et Nt , le nombre total de bouture piquées. Il s'exprime en pourcentage (%) et sa valeur varie de 0 à 100. Pour cette étude, ce paramètre a été pris en compte à partir de la 4^{ème} semaine après la mise en terre des boutures.

- **Hauteur moyenne des plants**

La hauteur moyenne des plants (H_m) est obtenue par la formule suivante :

$$H_m = H_t/N_s$$

Avec H_t , la hauteur totale des plants et N_s , le nombre de plants choisis par parcelle élémentaire. La hauteur moyenne s'exprime en mètre (m). Elle a été mesurée chaque semaine jusqu'à la fin de l'expérience.

- **Nombre moyen de feuilles des plants**

Le nombre moyen des feuilles (F_m) apparu par plant s'obtient selon la formule suivante :

$$F_m = F_t/N_s$$

Avec F_t , le nombre total de feuilles et N_s , le nombre de plants choisis par parcelle élémentaire.

I.3.5. Analyse statistique

L'objectif de l'analyse univariée dans ce travail, est de tester les relations existantes entre les différents paramètres de croissance évalués et l'influence des substrats sur la reprise végétative des boutures. En effet, l'analyse de la variance (ANOVA) a pour objectif d'étudier l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur une variable quantitative. C'est la comparaison de moyennes pour plusieurs groupes (> 2). Il s'agit de comparer la variance intergroupe (entre les différents groupes: écart des moyennes des groupes à la moyenne totale) à la variance intragroupe (somme des fluctuations dans chaque groupe). S'il n'y a pas de différence entre les groupes, ces deux variances sont (à peu près) égales. L'ANOVA se résume à une comparaison multiple de moyennes de différents échantillons constitués par les différentes modalités des facteurs.

Ainsi, pour la comparaison des moyennes des paramètres de croissance étudiées dans ce travail, une analyse des variances ANOVA a été appliquée. Toutefois, pour beaucoup de tests paramétriques (ANOVA, régression), l'homogénéité des variances est une condition nécessaire.

Dès lors, avant l'application de l'analyse ANOVA, certains tests ont été réalisés préalablement. L'objectif est de savoir si les conditions de l'application de l'analyse des variances ANOVA sont réunies dans le cadre de ce travail.

Pour vérifier les conditions d'application du modèle ANOVA, deux tests ont été réalisés.

Le premier test est le test de Shapiro-Wilk. Très populaire, le test de Shapiro-Wilk est basé sur la statistique. En comparaison des autres tests (Ricco, 2011), il est particulièrement puissant pour les petits effectifs ($n \leq 50$). L'objectif est de vérifier la normalité de la hauteur des plants. En effet, si la probabilité de réalisation de l'hypothèse d'égalité des moyennes p est

supérieure à 0,05 ($P > 0,05$), on a une distribution qui suit une loi normale. Le deuxième test est le test de Bartlett. Le test de Bartlett est un test paramétrique considéré comme un test de rapport de vraisemblance. Il permet de tester l'égalité de plusieurs variances. En pratique, nous pouvons l'appliquer lorsque les effectifs n_i des I échantillons sont tous au moins égaux à 3 (Frédéric, 2010). Ce test dépend de la normalité des résidus. Si la probabilité de réalisation de l'hypothèse d'égalité des moyennes p est supérieure à 0,05 ($P > 0,05$), alors on a une homogénéité de variance. Dans le cas inverse, le test de Tukey est utilisé pour comparer les moyennes entre elles au seuil de 0,05. Une fois tous ces paramètres vérifiés, le test ANOVA est alors effectué.

Le test de corrélation dans ce travail, a pour objectif d'analyser la liaison entre la hauteur moyenne des plants et le nombre moyen de feuilles pris deux-à-deux. Toutefois, le coefficient de corrélation de Pearson (et son test) est utilisé pour mesurer une relation linéaire entre deux variables quantitatives. On l'utilise théoriquement lorsque la population étudiée est distribuée de façon normale sur les deux variables. Le coefficient de corrélation de Pearson (également appelé coefficient de corrélation de Bravais-Pearson), noté " r ", peut prendre les valeurs comprises entre -1 et +1.

$r = 1$: relation linéaire parfaite, droite de pente positive

$r = -1$: relation linéaire parfaite, droite de pente négative

$r = 0$: absence de relation linéaire mais il peut y avoir une relation d'un autre type à savoir:

$-1 < r < 0$: relation linéaire négative: le nuage de points présente une pente descendante.

$0 < r < +1$: relation linéaire positive: le nuage de points présente une pente ascendante.

Le test de Pearson permet également de quantifier l'intensité d'une liaison entre deux grandeurs quantitatives observées. L'intensité de la liaison est statistiquement significative ou non, lorsque la p -value et les corrélations entre les traitements sont significatifs au seuil de 0.05.

Pour un résultat à corrélation significative, les deux variables présentent une relation qui, au minimum, présente une "ressemblance" avec la linéarité. Pour un résultat à corrélation non significative le test a été incapable de déceler une relation de linéarité. Dans ce cas, on observe les résultats suivants: pas de relation, indépendance entre les deux variables, relation à composante linéaire mais dont l'intensité est trop faible (masquée par la variabilité induite par les facteurs aléatoires), relation entre les 2 variables dont la forme empêche la détection d'une relation linéaire. Le logiciel R studio, à partir du package « Corplot » et de la fonction « rquery.comat » a été utilisé pour la réalisation de tous ces tests.

II- RESULTATS

II.1. Echantillons retrouvés

A partir des différentes bases de données, 72 échantillons de *Macaranga beillei* ont été retrouvés. Il en ressort également de cette analyse que le Parc National de Banco est la localité la plus échantillonnée avec 38 sur 72 échantillons soit un taux de 52,77% (Tableau 2). Aussi, les récoltes de *Macaranga beillei* se sont effectuées généralement dans les régions côtières.

II.2. Disponibilité de *Macaranga beillei*

L'inventaire en randonnée qui a permis de vérifier la disponibilité actuelle de *Macaranga beillei* a été menée au Parc National de Banco. Ainsi, sur les 38 échantillons de *Macaranga beillei*, récoltés de 1905 à 2002, seulement 4 échantillons ont été retrouvés (Figure 4 A).

Sur la Figure 4, les coordonnées géographiques des échantillons récoltés antérieurement sont suffisamment proches que les points sont superposés. En outre, par endroit, où l'espèce avait été récoltée antérieurement, les eaux de ruissellement en provenance de la commune d'Abobo, ont inondé les lieux causant probablement la disparition de l'espèce en ces lieux (Figure 4 B et C).

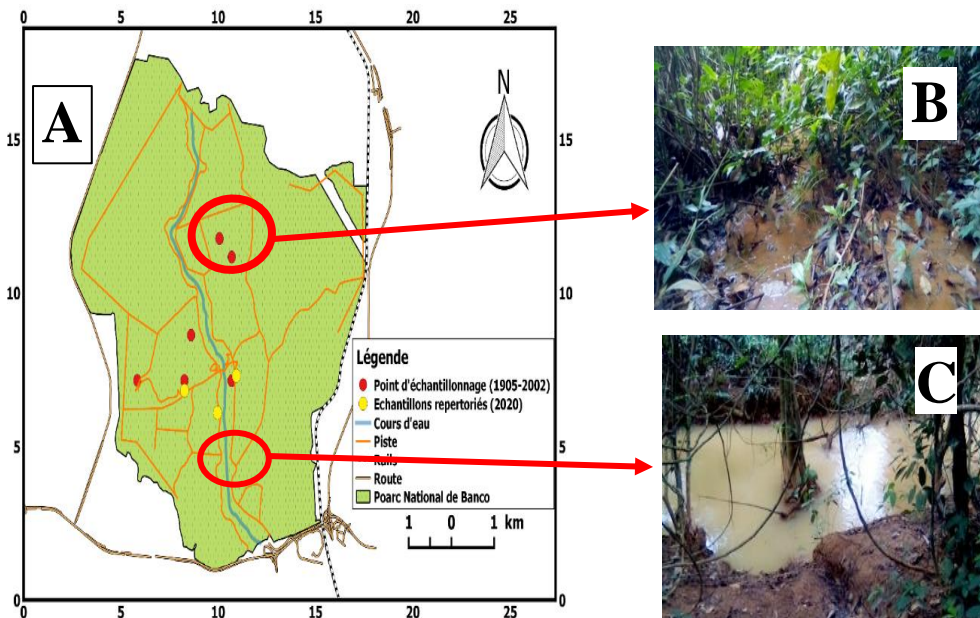


Figure 4. Carte de distribution spatiale de *Macaranga beillei* Prain et les zones inondées dans le Parc National du Banco

A: distribution spatiale de *Macaranga beillei* Prain; **B et C :** habitat de *Macaranga beillei* Prain

Tableau 2 : Echantillons de *Macaranga beillei* Prain

N ^o	Espèces	Lieux de récolte	Coordonnées Y	Coordonnées X	Date de récolte
1	Macaranga beillei Prain	Abou-abou	5.333333	-4.133333	1969
2	Macaranga beillei Prain	Abou-abou	5.333333	-4.133333	1969
3	Macaranga beillei Prain	Accradio	5.383333	-4.05	
4	Macaranga beillei Prain	Aghien, village	5.383333	-4.05	1976
5	Macaranga beillei Prain	Aghien, village	5.116667	-5.85	1968
6	Macaranga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1975
7	Macaranga beillei Prain	Banco	5.333333	-4.133333	1969
8	Macaranga beillei Prain	Banco	5.333333	-4.133333	1969
9	Macaranga beillei Prain	Banco	5.4	-4.166667	1958
10	Macaranga beillei Prain	Banco	5.416667	-4.05	1972
11	Macaranga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1976
12	Macaranga beillei Prain	Banco	5.416667	-4.05	1973
13	Macaranga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1976
14	Macaranga beillei Prain	Banco	5.291667	-3.895	1968
15	Macaranga beillei Prain	Banco	5.416667	-4.05	1972

1 6	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1955
1 7	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.4	-4.05	1973
1 8	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1970
1 9	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.416667	-4.05	1973
2 0	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.316667	-4.55	1967
2 1	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.116667	-5.85	1968
2 2	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.333333	-4.133333	1969
2 3	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1970
2 4	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.4	-4.15	1969
2 5	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.4	-4.05	1975
2 6	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.283333	-3.9	1959
2 7	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.4	-4.15	1969
2 8	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.333333	-4.133333	1969
2 9	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1976
3 0	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.416667	-4.05	1972
3 1	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1957

3 2	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383333	-4.05	1976
3 3	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.383334	-4.06	
3 4	Macaran ga beillei Prain	Banco	5.25	-3.833333	1963
3 5	Macaran ga beillei Prain	Banco, arboretum	5.333333	-4.133333	1969
3 6	Macaran ga beillei Prain	Banco, centre rivière -nord,	5.416667	-4.05	1972

N °	Espèce	Lieux de récolte	Coordonné s Y	Coordonné s X	Année récolte	de
3 7	Macaran ga beillei Prain	Banco, forêt	5.291667	-3.895	1968	
3 8	Macaran ga beillei Prain	Banco, nord-est	5.283333	-3.9	1959	
3 9	Macaran ga beillei Prain	Banco, nord-ouest	5.383333	-4.05	1976	
4 0	Macaran ga beillei Prain	Banco, arboretum	5.25	-4.183333	1955	
4 1	Macaran ga beillei Prain	Banco, nord-ouest	5.316667	-4.55	1967	
4 2	Macaran ga beillei Prain	Bingerville	5.383333	-4.05	1955	
4 3	Macaran ga beillei Prain	Bingerville	5.4	-4.166667	1958	
4 4	Macaran ga beillei Prain	Dabou	5.383333	-4.05	1976	
4 5	Macaran ga beillei Prain	Dabou.	5.383333	-3.85	1975	
4 6	Macaran ga beillei Prain	Dabou.	5.333333	-4.133333	1969	

4 7	Macaran ga beillei Prain	Dodo	5.333333	-4.133333	1969
4 8	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'Abou-abou	5.333333	-4.133333	1969
4 9	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'Abou-abou	5.333333	-4.133333	1969
5 0	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'anguededou	5.333333	-4.133333	1969
5 1	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'anguededou	5.333333	-4.133333	1969
5 2	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'anguededou	5.383333	-3.85	1975
5 3	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'anguededou	5.383333	-4.05	1953
5 4	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'anguededou	5.383334	-4.06	1959
5 5	Macaran ga beillei Prain	Forêt d'Audouin.	5.4	-4.166667	1975
5 6	Macaran ga beillei Prain	Forêt de Cosrou	5.383334	-4.06	1987
5 7	Macaran ga beillei Prain	IRHO.,10 Km de Port- Bouet	5.383335	-4.07	1973
5 8	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM	5.383336	-4.08	1970
5 9	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.383337	-4.09	1972
6 0	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.383338	-4.10	1972
6 1	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.383339	-4.11	1990
6 2	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.31667	-4.66667	1946

6 3	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.66667	-4.26667	1907
6 4	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.40248	-4.05261	1947
6 5	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.35	-3.88333	1906
6 6	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.40248	-4.05261	1987
6 7	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.40248	-4.05261	
6 8	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.40248	-4.05261	
6 9	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.31667	-4.38333	1907
7 0	Macaran ga beillei Prain	ORSTOM.	5.38946	-4.0586	1975
7 1	Macaran ga beillei Prain	Sassandra.	5.35	-3.88333	1905
7 2	Macaran ga beillei Prain	Sassandra.	4.9	-7.316	2002

II.3 Données de l'essai de repeuplement

II.3.1 Constituants des substrats

Les résultats relatifs à l'analyse des paramètres physico-minéralogique effectuée sur les trois types de substrats sont présentés dans le Tableau 3. En effet, il ressort que le pH des substrats varie de 4,07 à 5,9. La valeur la plus élevée du pH (5,9), est observée au niveau du sol composté. Le taux de Matière Organique (MO) du sol composté est de 28,5%, alors que celui des sols issu de la forêt de l'UNA et de la jachère de l'UNA sont respectivement 7,9 % et 7,33%. La plus grande valeur de la concentration du Carbone Organique Total (COT) (9,53%), est observée au niveau du sol composté. La concentration moyenne de phosphore assimilable (P), varie de 7,87 à 9,5 mg/kg dans les différents substrats. Le sol issu de la forêt de l'UNA est le plus concentré en phosphore avec une valeur de 9,5 cmol/kg. Les substrats ont pratiquement la même teneur en azote (N). La valeur du rapport carbone / azote (C/N), est plus élevée dans le sol composté (18,57) tandis que celles des sols issus de la forêt

de l'UNA et de la jachère de l'UNA, sont respectivement 9,93 et 8,55. La concentration moyenne en potassium échangeable (K^+) est plus élevée pour le sol composté (1659,53 cmol/kg). La concentration moyenne en sodium est plus élevée au niveau du sol composté par rapport aux autres types de sols avec une valeur de 244,61 cmol/kg. La concentration moyenne en magnésium (Mg^{2+}) pour le sol composté est largement supérieure à celle des autres sols avec une valeur de 660,95 cmol/kg. La concentration moyenne de calcium échangeable (Ca^{2+}) est plus élevée dans les sols issus de la forêt de l'UNA et de la jachère de l'UNA avec pour valeur respectives 9130,6 cmol/kg et 8812,01 cmol/kg.

De ce qui précède, ces analyses révèlent que le sol composté est le plus riche en termes de concentration moyenne des composés physico-minéralogiques et de capacité d'échange cationique par rapport aux sols en provenance de la forêt de l'UNA et de la jachère de l'UNA.

Tableau 3. Paramètres physico-chimique des substrats analysés

Paramètres	Substrats		
	Compost	Sol de la forêt de l'UNA	Jachère de l'UNA
pH	5,9	4,07	5,03
% MO	28,5	7,9	7,33
% COT	9,53	4,58	4,25
Phosphore (cmol/kg)	7,87	9,5	9
% N	0,51	0,46	0,5
C/N	18,57	9,93	8,55
K^+ (cmol/kg)	1659,53	1419,72	1417,39
Na^+ (cmol/kg)	244,61	111,20	115,21
Mg^{2+} (cmol /kg)	660,95	192,42	82,25
Ca^{2+} (cmol /kg)	2450,88	9130,6	8812,01
CEC	8127,79	20176,94	19321,11

II.3.2 Effet des traitements sur la reprise végétative et la mortalité des boutures.

La reprise végétative a commencé la première semaine de l'expérience pour certaines boutures et la deuxième semaine de l'expérience pour d'autres (Figure 5). Elle a été de façon progressive jusqu'à s'achever la quatrième semaine pour l'ensemble des traitements. Les taux de reprise végétative ont été déterminés à la quatrième semaine après la mise en terre des boutures. Cette période marque la fin des bourgeonnements des boutures de chaque traitement. Les courbes d'évolution des traitements en fonction du temps montrent que T1, T3 et T5 ont commencé le bourgeonnement la première semaine de l'expérience après la mise en terre des boutures tandis que les

traitements T2, T4 et T6 ont commencé leur bourgeonnement juste après la première semaine de l'expérience (8^{ème} jour). Entre la première et la deuxième semaine après la mise en terre des boutures, le bourgeonnement a été progressif pour tous les traitements. En effet, le traitement T3 est passé d'une bouture bourgeonnée de la première semaine à 5 boutures bourgeonnées la deuxième semaine. Les traitements T1 et T5 ont exactement le même nombre de boutures bourgeonnées de la première à la deuxième semaine après la mise en terre des boutures (3 boutures sur 6 ayant bourgeonnées pour chaque traitement), soit un taux de reprise végétative de 50%. Les traitements T4 et T2 ont chacun 2 boutures bourgeonnées à la deuxième semaine, soit un taux de reprise végétative de 33,33%. Le traitement T1 a une seule bouture bourgeonnée à la deuxième semaine, soit un taux de 16,66%. A partir de la deuxième semaine, d'importante modification du rythme d'évolution de la reprise végétative des boutures ont été observées. Les traitements T3 et T4 ont eu la reprise végétative de leurs boutures respectives stationnée (5 boutures ayant bourgeonnées pour le traitement T3 et 2 boutures pour le traitement T4) jusqu'à la troisième semaine, soit un taux de reprise végétative de 83,33% pour le traitement T3 et 33,33% pour le traitement T4. Les traitements T5 et T6 ont eu la reprise végétative s'accroître progressivement de la deuxième semaine à la troisième semaine avant d'être stationnée à partir de la quatrième semaine (3 boutures ayant bourgeonnées à la deuxième semaine après la mise en terre des boutures à 5 boutures à la troisième semaine pour le traitement T5 et 2 boutures ayant bourgeonnées à la deuxième semaine après la mise en terre des boutures à 5 boutures à la troisième semaine pour le traitement T6). Ce qui correspond à un taux de reprise végétative de 83,33% pour chaque traitement. Pour ce qui concerne les traitements T1 et T2, ils ont eu leur reprise végétative s'accroître progressivement de la deuxième semaine à la troisième semaine avant d'être stationnée à partir de la quatrième semaine (3 boutures ayant bourgeonnées à la deuxième semaine après la mise en terre des boutures à 4 boutures à la troisième semaine pour le traitement T1 et 2 boutures ayant bourgeonnées à la deuxième semaine après la mise en terre des boutures à 4 boutures à la troisième semaine pour le traitement T2). Ce qui correspond à un taux de reprise végétative de 66,66% pour chaque traitement.

Quant au taux de mortalité, elle a été prise en compte à partir de la quatrième semaine après la mise en terre des boutures. Il varie entre 16,66% et 66,66% (Figure 6). Toutefois, les boutures avec feuilles repiquées dans le sol issu de la forêt de l'UNA (T4), ont eu un fort taux de mortalité (66,66%) par rapport aux autres traitements. Par contre, les boutures avec et sans feuilles repiquées dans le sol issu de la jachère de l'UNA (T1 et T2), ont les mêmes taux de mortalité (33,33% pour chaque traitement). Il en est de même pour les boutures sans feuilles repiquées dans le sol issu de la forêt de l'UNA (T3), qui a un taux de mortalité égal à 33,33%. Les traitements T6 et T5 ont enregistré

les plus faibles taux de mortalité (16,66%). Ces traitements sont respectivement constitués des boutures sans feuilles repiquées dans le sol composté (T5) et des boutures avec feuilles repiquées dans le sol composté (T6).

Au total, sur les 36 boutures mises en terre, 24 ont survécu, soit un taux de reprise végétative de 66,66%. Les 12 autres boutures n'ont pas pu survécu, soit un taux de mortalité de 33,33%.

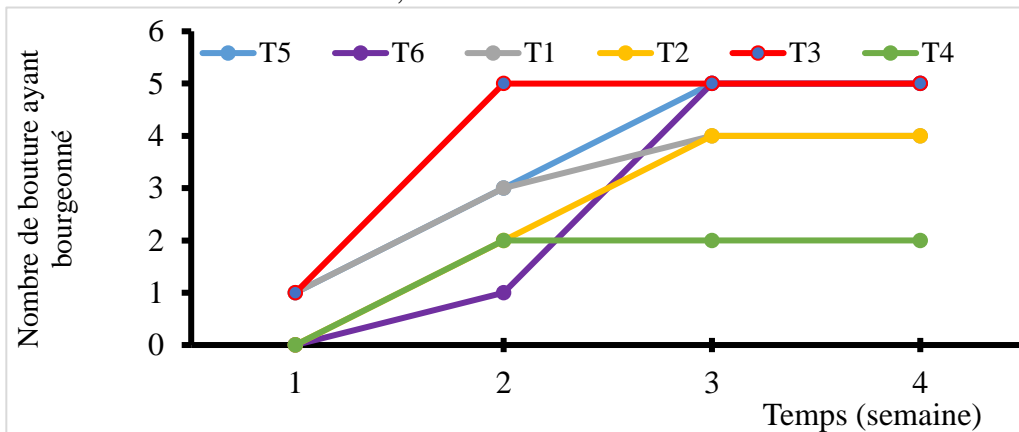


Figure 5. Courbe d'évolution de la reprise végétative des boutures en fonction du temps

T1 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ;
T2 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T3 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ; T4 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T5 : sol composté + bouture dépourvue de feuilles ; T6 : sol composté + boutures avec deux feuilles.

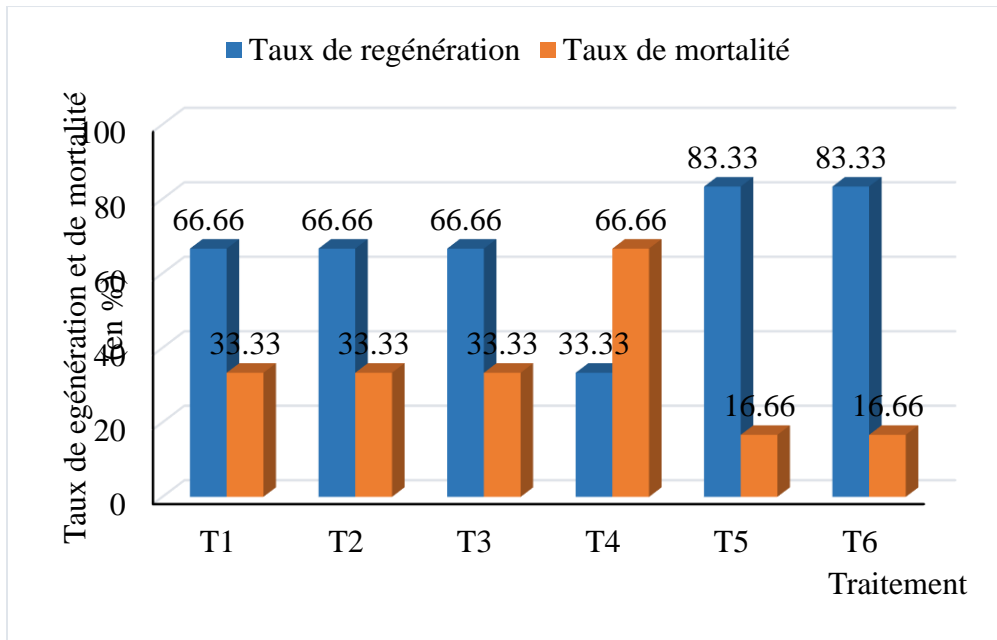


Figure 6. Influence des traitements sur les taux de reprise végétative et de mortalité des boutures

T1 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ; T2 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T3 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ; T4 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T5 : sol composté + bouture dépourvue de feuilles ; T6 : sol composté + boutures avec deux feuilles.

II.3.3 Effets des traitements sur l'apparition des feuilles

Le nombre moyen des feuilles des plants varie entre 7,17 et 24,5. Les traitements T5 et T1 ont les plus grands nombres moyens des feuilles. En effet, pour un nombre de feuilles total de 147 pour le traitement T5 on a une moyenne de 24,5 et pour un nombre de feuilles total de 146 pour le traitement T1 on a une moyenne de 24,33. Il s'en suit des traitements T2 e T3. Pour un nombre total de 124 pour le traitement T2, on a une moyenne de 20,66 et pour un nombre total de feuilles de 114 pour le traitement T3, on a une moyenne de 19. Le traitement T6 quant à lui, a un nombre total de feuilles de 74. Ce qui correspond à une moyenne de 12,33. Enfin, le traitement T4 a enregistré un nombre total de feuilles de 43. Ce qui correspond à une moyenne de 7,16 (Figure 7).

Toutefois, l'analyse des variances effectuée indique qu'il n'existe aucune différence significative entre le nombre moyen des feuilles au niveau différents traitements ($P = 0,9875$). Cela signifie que l'interaction substrat/mode d'habillage n'a pas eu d'influence sur la croissance en hauteur des plants.

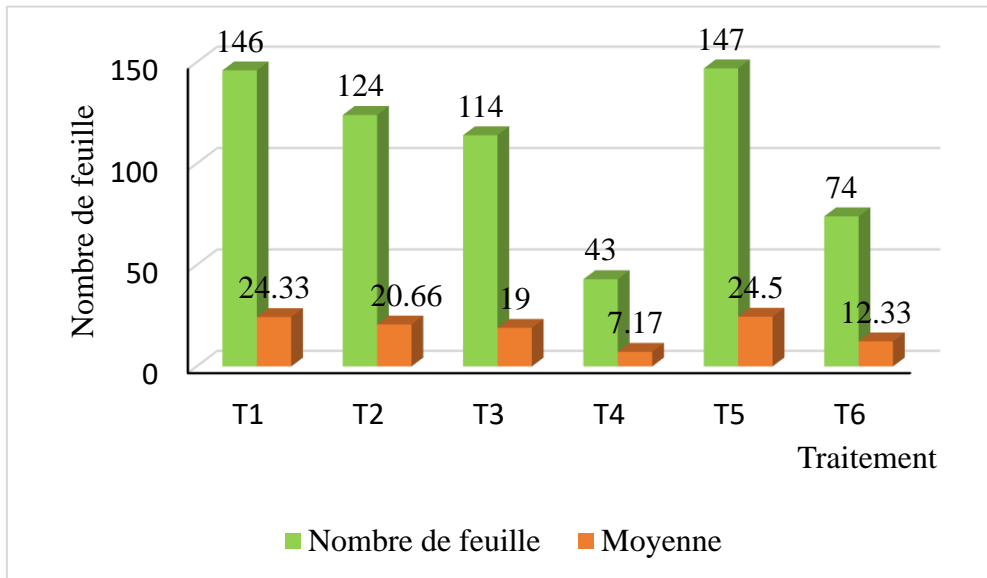


Figure 7. Influence des traitements sur l'apparition des feuilles

T1 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ;
T2 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T3 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ; T4 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T5 : sol composté + bouture dépourvue de feuilles ; T6 : sol composté + boutures avec deux feuilles.

II.3.4 Effets des traitements sur la croissance en hauteur des boutures.

La hauteur moyenne des boutures varie entre 52,65 cm et 127 cm (Figure 8). Ces différentes valeurs (hauteur moyenne des plants) ont été déterminées chaque semaine pendant l'expérimentation (24 semaines au total). Les analyses montrent que les plants du traitement T6 ont une hauteur moyenne plus élevée (127 cm) comparée aux autres plants des autres traitements. Les plants du traitement T2 viennent en deuxième position avec 100 cm. ils s'en suit des plants du traitement T3 (95,5 cm), des plants du traitement T1 (79,73 cm), des plants des traitements T5 et T4 qui ont respectivement 61 cm et 52,65 cm.

L'analyse des variance effectuée, indique qu'il n'existe aucune différence significative entre la hauteur moyenne des plants au niveau différents traitements ($P = 0,9875$). Cela signifie que l'interaction substrat/mode d'habillage n'a pas eu d'influence sur la croissance en hauteur des plants ($P = 0.1412$).

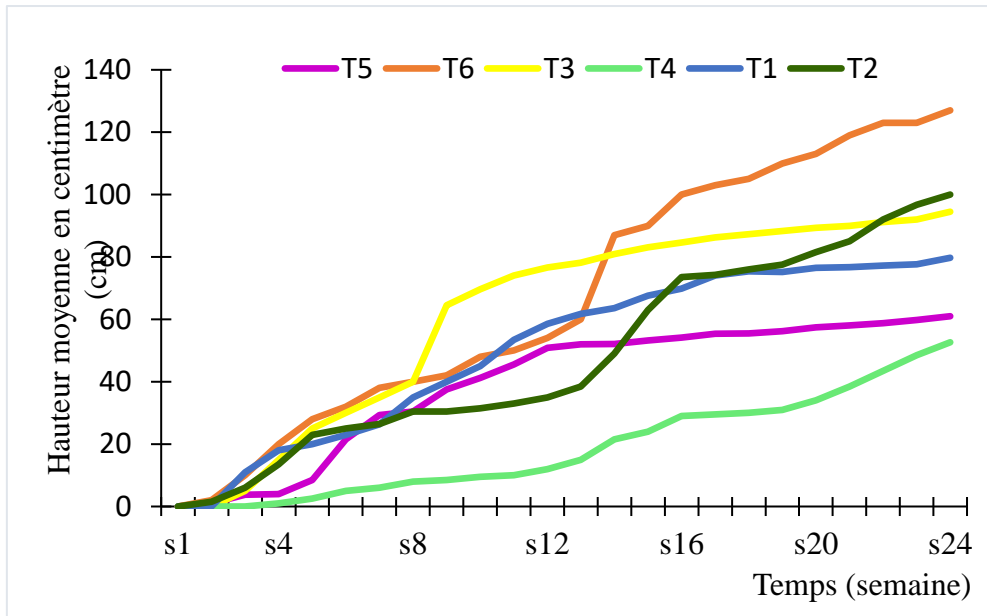


Figure 8. Evolution de la hauteur moyenne des plants en fonction du temps

T1 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ;
T2 : sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T3 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture dépourvue de feuilles ; T4 : sol issu de la forêt de l'UNA + bouture avec deux feuilles ; T5 : sol composté + bouture dépourvue de feuilles ; T6 : sol composté + boutures avec deux feuilles.

II.3.5 Corrélation entre les traitements et les paramètres de croissance mesurés.

Le test de corrélation réalisé sur les deux paramètres de croissance (Figure 9), révèle l'existence d'une forte corrélation positive entre le nombre moyen des feuilles et la hauteur moyenne des plants (p -value = 0.000000001198). Cette forte corrélation positive, signifie que le nombre des feuilles de chaque plant au niveau des traitements, augmente avec la hauteur du plants.

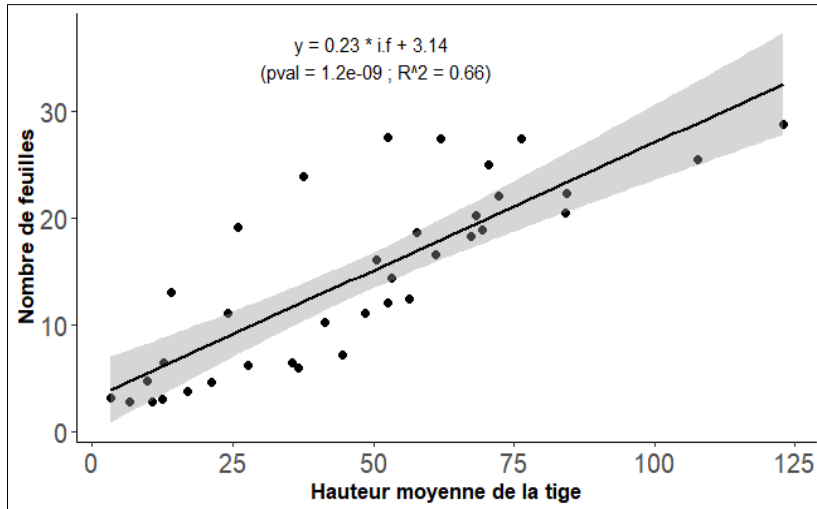


Figure 9. Courbe de corrélation

III- Discussion

Sur l'ensemble du territoire ivoirien, seulement 72 échantillons de *Macaranga beillei*, ont été retrouvés. Ainsi, sur les 72 échantillonnée, 38 soit un taux de 52,77% ont été récoltés dans le Parc National de Banco. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que *Macaranga beillei* est une espèce vulnérable et endémique à la Côte d'Ivoire, donc elle a une distribution restreinte sur l'étendue du territoire ivoirien. Ce constat est similaire à celui de Lachenaud (2004). En effet, il ressort des travaux de celui-ci que, l'aire de répartition spatiale de *Macaranga beillei* a été essentiellement réduite faute aux activités anthropiques et actuellement le Parc National de Banco constitue le dernier refuge de l'espèce. De même, pour cette espèce, les récoltes sont restreintes au domaine guinéen plus précisément dans le cordon littoral. On peut donc dire qu'il s'agit d'une espèce de forêt de basse altitude. Le statut d'espèce vulnérable de *Macaranga beillei* pourrait être du son aire de distribution qui est fortement menacée par les activités anthropiques.

Les analyses physico-minéralogiques des différents substrats utilisés pour l'essai de multiplication végétative de *Macaranga beillei* Prain, révèle que le sol composté est majoritairement le plus riche en termes de concentration moyenne des composés physico-chimiques par rapport aux sols issus de la forêt de l'UNA et de la jachère de l'UNA. Ce constat peut être justifié par le fait que les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K et oligo-éléments) susceptible d'améliorer la fertilité du sol. Ce constat a été fait également par Bicaba (2017), lors de ces travaux relatifs à l'évaluation des paramètres physico-chimiques des composts à base des résidus de mangue dans le village de samagan, Bobo Dioulasso (Burkina Faso). Il ressort de ces travaux que, les

composts sont des sources d'éléments minéraux comme le phosphore, le potassium, le magnésium, et le calcium.

De plus, le rapport C/N pour le sol composté montre une valeur de 18,5675 qui atteste la qualité de ce compost. Cette information a été confirmée par Charnay (2005) qui stipule que, lorsque le rapport C/N du compost est élevé (20-15), la matière organique évoluera lentement dans le sol et la libération des minéraux sera faible. Par contre le compost donnera des substrats durables qui contribueront au renforcement de la structure du sol. Un C/N important caractérise donc un compost stable à haut pouvoir amendant.

Pour ce qui est du pH, la valeur obtenue (5,9) est inférieure à celle de la neutralité (7). Cette valeur met en évidence une phase d'acidification. Cette phase d'acidification est principalement due à la production anaérobie d'acides organiques et à l'immobilisation de l'ammonium dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile. Pour Duparque et Rigalle (2006), plus le rapport C/N est élevé (>12), plus l'activité biologique est réduite et la minéralisation rencontre des difficultés. Cela traduit des conditions d'anaérobiose, d'acidité excessive. De même, durant la phase thermophile, les acides organiques sont dégradés entraînant une alcalinisation du compost, phénomène accentué par la minéralisation de l'azote. Selon Albrecht (2007), bien vrai que le pH est une des caractéristiques déterminant la qualité du substrat, il ne peut pas être utilisé pour montrer la maturité du compost parce qu'il n'est pas une mesure précise.

Aussi, la capacité d'échange cationique (CEC) du sol composté est moins élevée comparée aux autres substrats. Il s'agit de la quantité maximale de cations (ions positifs) que la matrice peut adsorber. Pour Cédric (2003), la CEC évolue dans le même sens que le pH du fait de la libération de charges négatives avec l'augmentation du pH.

Les autres substrats (le sol issu de la forêt de l'UNA et celui issu de la jachère de l'UNA), ont des teneurs en Matière Organique (MO), en Carbone Organique Total (COT) relativement identique. Ce constat peut être justifié par le fait que la modification du sol en mise en jachère n'est pas assez considérable et une mise en état légèrement avancée. Toutefois, en termes de composés minéraux (N, P et K), le sol issu de la forêt de l'UNA est plus riche en composés minéraux comparé à celui en issu de la jachère de l'UNA. Ce constat pourrait être dû à la présence importante de matière organique dans cette forêt avec une bonne présence des micro-organismes contribuant à la minéralisation de cette matière organique. En effet, les micro-organismes contribuent à transformer plus ou moins rapidement la matière organique sous forme de débris végétaux grossiers en matière organique stable et assimilable. Le rapport C/N pour le sol issu de la forêt de l'UNA est supérieur à celui du sol issu de la jachère de l'UNA (9,93 contre 8,56). Le rapport C/N indique le taux de décomposition de la matière organique. Il augmente avec le taux de

décomposition de la matière organique. Selon Duparque et Rigalle (2006), pour une valeur de C/N comprise entre 9 et 10, on a une bonne décomposition de la matière organique.

Le rapport C/N n'est pas suffisant pour apprécier la diversité des micro-organismes et le fonctionnement biologique du sol. Il existe d'autres mesures complémentaires de fertilité biologique du sol: le fractionnement des micro-organismes du sol, la biomasse microbienne et la minéralisation du carbone et celle de l'azote.

La différence de concentration en minéraux dans ces deux substrats, est due à la différence de matière organique observée entre ces deux substrats. Ce constat a été fait également par Badiori et Georges (2001). En effet, pour ces deux auteurs, les propriétés chimiques et biologiques dépendent largement du taux de matière organique. La concentration moyenne en minéraux de sol issu de la jachère a une lente décomposition de la matière organique. Cela est dû à une abondance relativement faible des micro-organismes du sol provoquant une activité lente de ces derniers. Ce constat est conforme à celui de Harmand (1998). Pour cet auteur, dans de jeunes jachères, de faibles variations du stock organique du sol pourraient avoir une influence sur les processus rapides du sol comme les cycles de minéralisation et d'immobilisation de l'azote, les transferts de nutriments vers des formes assimilables ou l'organisation des constituants du sol. De même, Gnahoua et al. (2008), constatent que l'exploitation préalable des sols en cultures successives (2 ans) occasionne une diminution des teneurs en éléments nutritifs des sols qu'une seule année de jachère ne peut suffire à faire remonter à un niveau acceptable.

Il ressort aussi de cette expérimentation sur la multiplication végétative de *Macaranga beillei* Prain que pour les traitements appliqués, la reprise végétative ne s'est pas réalisée simultanément. Elle a commencé la première semaine pour certaines boutures et la deuxième semaine pour d'autres boutures. En effet, les traitements T1, T3 et T5 ont commencé le bourgeonnement la première semaine, après la mise en terre des boutures. Ces traitements sont constitués de différents types de substrats mais avec un même mode d'habillage des boutures (boutures sans feuilles). Ce constat met en évidence l'influence du mode d'habillage des boutures sur la reprise végétative des feuilles des boutures. Toutefois, la reprise végétative pour toutes les boutures des différents traitements s'est établie sur une période de 3 semaines. Ce délai pour lequel toutes les boutures ont bourgeonné, permet de dire que *Macaranga beillei* Prain est une espèce qu'on peut bouturer.

Aussi, les résultats montrent que les traitements appliqués au cours de cette expérience, ont influencé la survie des boutures. En effet, les tests comparatifs ont montré que le plus faible taux de reprise végétative et par ailleurs, le taux de mortalité le plus élevé a été observé au niveau du

traitement T4 (T4: sol issu de la jachère de l'UNA + bouture avec feuilles). En effet, le sol issu de la jachère de l'UNA est le plus pauvre des substrats utilisés en termes de matière organique et éléments nutritifs. Or les feuilles sur les boutures continuent la photosynthèse qui demande une quantité d'éléments minéraux importants. Avec une disponibilité en éléments nutritifs insuffisants, on observe un flétrissement des feuilles qui aboutira à la mort de la plante. Cette même idée a été évoquée par Bünemann et al. (2018). En effet, pour ces auteurs, l'une des multifonctionnalités du sol est sa capacité à assurer une bonne croissance aux plantes cultivées, ce qui renseigne sur son aptitude à fournir les éléments nutritifs à la plante et détermine par conséquent son niveau de fertilité.

Par contre, le plus faible taux de mortalité est observé au niveau du traitement T5 et T6 (T5 : sol composté + boutures sans feuilles ; T6 : sol composté + boutures avec feuilles). Ce constat peut être justifié par le fait que les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K et oligo-éléments) susceptible d'améliorer la fertilité du sol. Par conséquent, il favorise une bonne reprise végétative au niveau des boutures quel que soit le mode d'habillage des celles-ci. Il convient donc de noter que le compost réalisé à partir des fientes de caille et de coupeaux de bois est le meilleur substrat pour la multiplication végétative de *Macaranga beillei* Prain. Ce constat est semblable à ce qu'a fait Benjamin (2019). En effet, comparant l'effet de trois types de composts et fertilisants chimiques sur la croissance et le rendement de la courgette (*Cucurbita pepo* L.), il découvre que la longueur moyenne des tiges des plantes et le nombre moyen de feuilles par plante à Robin pour l'amendement au compost à partir de fientes de poule ont été supérieurs aux autres traitements (Benjamin, 2019). Cette différence serait due aux propriétés chimiques du compost à partir de fientes de poule, principalement son contenu en azote total, qui a été bien supérieurs au compost fumure de cheval. De plus, la matière organique apportée par les composts augmente la capacité de rétention en eau du sol.

Pour ce qui concerne le nombre moyen des feuilles, on observe les plus fortes moyennes au niveau des traitements T1 et T5 (T1: sol issu de la jachère de l'UNA + bouture sans feuille; T5: sol composté + boutures sans feuilles). Ce constat révèle que, le nombre moyen n'est pas lié au type de substrat mais au mode d'habillage. Ce constat est semblable à celui de Sbay et Lamhamedi (2015). En effet, pour ces auteurs, l'habillage (suppression des feuilles du bas de la tige pour n'en garder que 2 à 4 à l'extrémité, ou coupe d'une partie du limbe des feuilles) joue également un grand rôle, notamment si l'on ne dispose pas d'installations spécialisées. En supprimant une partie du limbe des feuilles, on diminue significativement les pertes en eau, ce qui améliore les chances de survie des boutures avant leur enracinement. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que les bourgeons des boutures sans feuilles utilisent

pleinement les éléments nutritifs pour leur croissance. En effet, il n'y a pas de feuilles adultes sur la bouture qui pourraient utiliser les éléments nutritifs disponible pour la photosynthèse. Donc pas de compétition entre la plantule (bourgeon) et les feuilles pour la « nourriture ». En absence de toutes compétitions, la plante juvénile utilise les éléments nutritifs disponibles pour sa croissance en hauteur.

Or le test de corrélation réalisé entre le nombre moyen des feuilles et la hauteur moyenne lors de cette expérimentation atteste clairement que le nombre moyen des feuilles est fortement lié à la hauteur moyenne des plants. Ceci explique encore de façon plus claire le fait que les plus grandes valeurs du nombre moyen des feuilles sont observées au niveau des traitements T1 et T5.

Conclusion

Au terme de cette étude, plusieurs constats ont été observés. En effet, l'analyse floristique a permis de retrouver 72 échantillons de *Macaranga beillei*. Il en ressort également de cette analyse que le Parc National du Banco est la localité la plus échantillonnée avec 38 sur 72 échantillons soit un taux de 52,77%. Aussi, il a été révélé que les récoltes de *Macaranga beillei* se sont effectuées généralement dans les régions côtières. Toutefois, l'analyse de la disponibilité de *Macaranga beillei* a révélé la disparition éminente de l'espèce. Alors que le Parc National de Banco a été plébiscité zone de refuge de *Macaranga beillei*. Cependant, sur les 38 échantillons récoltés de 1905 à 2002, dans ce parc, seulement 4 échantillons ont été retrouvés. Quant à la multiplication végétative de *Macaranga beillei*, elle a été faite avec succès. Cela a été marqué par un taux moyen de reprise végétative largement supérieur à celui de la mortalité. Ainsi, déclarée comme une espèce vulnérable, l'on peut contribuer par la technique de la multiplication végétative à lever la vulnérabilité de cette espèce et aussi pour les autres espèces vulnérables.

Remerciement

Les auteurs remercient le Centre Suisse de Recherche Scientifique (CSRS) qui a mis à notre disposition la base de données SIG IVOIRE. Ils remercient vivement Monsieur Cyrille Chatellain et ses collaborateurs qui sont les auteurs de cette base de données.

Conflit d'Interet: Les auteurs de ce manuscrit déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt entre eux.

References :

1. Aké-Assi, E. (2015). Plantes à potentialité décorative de la flore du Sud de la Côte d'Ivoire étude des taxinomique, ethnobotanique et essai

- de domestication de *Thunbergia atacorensis* Akoegninou et Lisowski (Acanthaceae), une nouvelle espèce introduite. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, 216p.
2. Aké Assi, L. (2001). Flore de la Côte d'Ivoire : catalogue systématique, biogéographique et écologique. Vol. (1) Boissiera, 57.
 3. Albrecht, R. (2007). Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle Méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de l'Université Paul Cezanne Aix Marseille III. 189p.
 4. Benjamin, J. (2019). Effet de trois types de composts et fertilisants chimiques sur la croissance et le rendement de la courgette (*Cucurbita pepo* L.) dans des sols basaltiques et calcaires à la commune de 65p.
 5. Bicaba, L. F. D. (2017). Evaluation des paramètres physico-chimiques des composts à base des résidus de mangue dans le village de samagan, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Mémoire de fin de cycle, 74p.
 6. Bouquet, A. & Debray, M. (1974). Les plantes medicinales de la Côte d'Ivoire 231p.
 7. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W. & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120 ; 105–125.
 8. Badiori, O. & Georges (2001). Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest 65p.
 9. Cédric, F. (2003). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents 290p.
 10. Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en Développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Docteur de l'Université de Limoges. 277p.
 11. Duparque A. & Rigalle P. (2006). Les matières organiques du sol 12p.
 12. Ebah, A. E. (2019). Etude floristique et phytogéographique des Acanthaceae de Côte d'Ivoire : usage des espèces de la réserve naturelle partielle de Dahliafleur (Sud de la Côte d'Ivoire) par la population riveraines et domestication de *Justicia flava* (Vahl) pour l'horticulture. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, 183p.
 13. Frédéric, B. (2010). Analyse de la variance à un facteur 1 IRMA, Université de Strasbourg Strasbourg, France, 85p.
 14. Gautier, L., Aké Assi, L., Chatelain, C. & Spichiger, R. (1999). Ivoire: a geographic information system for biodiversity management in Ivory

- Coast. In: Timberlake, J. et Kativus, S. (eds.) African Plants: Biodiversity Taxonomy and uses. Royal Bot. Gardens, Kew. pp. 183-194.
15. GBIF.org (2022) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.aefgvh_
 16. Gnahoua, M., Kouassi, F. Y., Angui, P. K. T., Balle, P., Olivier, R. & Peltier R. (2008). Effets des jachères à *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* et *Chromolaena odorata* sur la fertilité du sol et les rendements de l'igname (*Dioscorea* spp.) en zone forestière de Côte d'Ivoire 11p.
 17. Harmand, J.-M. (1998). Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière 9p.
 18. Lachenaud, O. (2004). Les oiseaux du Parc National du Banco et de la Forêt Classée de l'Anguédédou, Côte d'Ivoire 27 p.
 19. Missa, K., Fofana, S., Dramane, S., Serge, C. P. & Adama B. (2018). Etat actuel de la relique forestière de l'université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire: impacte des pressions anthropiques sur sa flore et sa structure de la végétation 10p.
 20. Philippe, L. (1999). Expérimentation agronomique planifiée 50p.
 21. Philippe, F., Pascal, L. & Guillaume T. (2009). Projet de réintroduction d'une espèce végétale protégée, la tulipe sauvage (*Tulipa sylvestris* L. subsp. *sylvestris*), dans le vignoble nantais 29p.
 22. Piba, S. C. (2016). Diversité floristique et potentiel en espèces sources de produits forestiers non ligneux de la forêt classée de Yapo-abbé: contribution pour un aménagement durable 180p.
 23. Pierre, D. (2013). Collecte et analyses statistiques de données issues d'expérimentations sur le recyclage agricole de produits résiduels organiques dans différents contextes agropédoclimatiques 50p.
 24. Ricco, R. (2011). Tests de normalité Techniques empiriques et tests statistiques 59p.
 25. Rosenn, L. P. & Denis, R. (2004). ABC de la bouture. RUSTICA Edition, 223p.
 26. UICN, (2019). Red List of Threatened Species. Available at: <http://www.iucnredlist.org>.
 27. Sbay, H. & Lamhamedi M. S. (2015). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification 124p.

Influence des Facteurs individuels et Contextuels Sur la Réhydratation par Voie Orale des Enfants Diarrhéiques de Moins de Cinq ans en Côte d'Ivoire

N'Goran Kouassi Boris

Dr. Hamidou Koné

Enseignant chercheur à l'Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD)

Pr. Ondoua Owoutou

Enseignant chercheur à l'Université de Yaoundé II, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p423](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p423)

Submitted: 14 November 2022

Accepted: 21 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

N'Goran K.B., Koné H. & Ondoua O. (2023). *Influence des Facteurs individuels et Contextuels Sur la Réhydratation par Voie Orale des Enfants Diarrhéiques de Moins de Cinq ans en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 423.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p423>

Résumé

La diarrhée, avec un taux d'incidence de 88,86‰ en 2016, est la troisième cause de la morbidité chez les enfants de moins de 5 ans en Côte d'Ivoire (INS & ICF, 2012). Pour faire face aux maladies diarrhéiques, l'OMS et l'UNICEF recommandent comme mesures curatives la thérapie de réhydratation par voie orale (TRO) composée de la SRO et de la SMR. En dépit du programme de lutte contre les maladies diarrhéiques par la promotion de la thérapie notamment la réhydratation par voie orale, initié depuis 1985 en Côte d'Ivoire, le pourcentage des enfants diarrhéiques ayant reçu une réhydratation par voie orale en 2016 n'était de 56,4%. Il ressort de l'analyse multivariée explicative que la contribution du contexte communautaire dans l'explication de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de 5 ans est estimée à plus 42 %. Les facteurs contextuels associés à la TRO sont : la région de résidence et le milieu de résidence. Quant aux facteurs individuels associés, ce sont : le sexe de l'enfant et le niveau d'instruction de la mère. Ainsi, nous recommandons à l'Etat de Côte d'Ivoire, à travers le Ministère de la santé et de l'hygiène publique d'intensifier les campagnes de

lutte contre les maladies diarrhéiques chez l'enfant de moins de cinq ans par la promotion de la thérapie de réhydratation orale (SRO et LMR) auprès de la population du milieu rural surtout dans la région du Nord.

Mots-clés: Diarrhée, enfant de moins de 5 ans, réhydratation par voie orale, Côte d'Ivoire

Influence of Individual and Contextual Factors on Oral Rehydration of Diarrheic Children under Five Years in Côte d'Ivoire

N'Goran Kouassi Boris

Dr. Hamidou Koné

Enseignant chercheur à l'Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD)

Pr. Ondoua Owoutou

Enseignant chercheur à l'Université de Yaoundé II, Cameroun

Abstract

Diarrhea, with an incidence rate of 88.86‰ in 2016, is the third leading cause of morbidity in children under 5 years of age in Côte d'Ivoire (INS & ICF, 2012). To address diarrheal diseases, WHO and UNICEF recommend oral rehydration therapy (ORT) composed of ORS and SMR as curative measures. Despite the program to control diarrheal diseases through the promotion of oral rehydration therapy, initiated since 1985 in Côte d'Ivoire, the percentage of diarrheic children who received oral rehydration therapy in 2016 was only 56.4%. The explanatory multivariate analysis shows that the contribution of the community context in explaining oral rehydration of diarrheic children under 5 years of age is estimated at more than 42%. The contextual factors associated with ORT are: region of residence and environment of residence. The individual factors associated with ORT are: the child's sex and the mother's level of education. Thus, we recommend that the State of Côte d'Ivoire, through the Ministry of Health and Public Hygiene, intensify the campaigns against diarrheal diseases in children under five years of age by promoting oral rehydration therapy (ORT and MRL) among the rural population, especially in the northern region.

Keywords: Diarrhea, children under 5 years old, oral rehydration therapy, Côte d'Ivoire

Introduction

Les maladies diarrhéiques continuent d'être l'une des principales causes de morbidité et de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans dans le monde en général et en Afrique subsaharienne en particulier. En effet, selon l'OMS (2017) la diarrhée est la deuxième cause de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans et elle est à l'origine de 525000 décès par an dans le monde. Les maladies diarrhéiques infantiles sont ainsi devenues un problème de santé publique notamment en Afrique subsaharienne où 9% des décès avant l'âge de cinq ans sont dus à la diarrhée (OMS, 2017). Chez l'enfant, en cas de diarrhée, le traitement le plus important est d'éviter la déshydratation et la perte en sels minéraux (VIDAL, 2021). Ainsi, pour faire face aux maladies diarrhéiques, l'OMS et l'UNICEF recommandent comme mesures préventives la thérapie de réhydratation par voie orale (TRO) composée des sels de réhydratation orale (SRO) et la solution maison recommandée (SMR). Cette thérapie permet de prévenir et de corriger la déshydratation de l'enfant et donc d'éviter son décès (OMS, 2006).

La morbidité chez les enfants de moins de 5 ans estimée à 96‰ (MICS, 2016) en Côte d'Ivoire, est dominée par les maladies hybrides (la malnutrition et la diarrhée), les infections respiratoires aiguës (IRA), le paludisme et les anémies. Les incidences de ces quatre pathologies demeurent encore importantes dont un taux d'incidence de 88,86‰ pour la diarrhée (PNDS, 2016)). En dépit du programme de lutte contre les maladies diarrhéiques par la promotion de la thérapie notamment la réhydratation par voie orale initié depuis 1985, les maladies diarrhéiques sont la troisième cause de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans en Côte d'Ivoire après le paludisme et la pneumonie (INS & ICF, 2012). Ce programme visait à faire adopter dans les ménages de nouveaux comportements en matière de traitement des maladies diarrhéiques à savoir l'utilisation de la SRO et les solutions maisons recommandées (solution de sucre blanc et du sel cuisine). Les résultats de l'EDS-MICS 2011-2012 et de l'enquête MICS 2016 montrent que dans l'ensemble le pourcentage des enfants diarrhéiques qui ont reçu une thérapie de la réhydratation par voie orale (TRO) est passé de 22% à 56,4% de 2012 à 2016. Cependant, le pourcentage des enfants n'ayant reçu aucun traitement ou médicament est passé de 27% en 2012 et à un peu plus de 20% en 2016. La prise en charge des enfants diarrhéiques par la thérapie de la réhydratation orale en Côte d'Ivoire connaît certes une évolution significative mais le nombre encore élevé des enfants qui ne reçoivent aucun traitement pendant les épisodes de diarrhées, est un problème qui mérite une attention particulière pour la principale raison que ces enfants courent le risque élevé de malnutrition et de mortalité.

Au regard de tout ce qui précède, la question à laquelle cette étude tente d'apporter les éléments de réponse est de savoir :

Quels sont les facteurs individuels et contextuels qui influencent le recours à la thérapie de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de cinq ans en Côte d'Ivoire ? L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les facteurs individuels et contextuels du recours à la thérapie de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire.

Approches explicatives du recours de la TRO

L'amélioration de la santé de la population notamment celle des enfants est un indicateur majeur qui permet aux gouvernements de mesurer leur niveau de développement. Ainsi pour mieux expliquer la prise en charge des maladies infantiles, plusieurs approches théoriques ont été développées. Il est question de présenter ces différentes approches développées au sujet du recours aux services de santé modernes dans le but d'identifier les facteurs susceptibles d'influencer la réhydratation des enfants diarrhéiques ou la thérapie de réhydratation par voie orale. Elles concernent aussi bien les caractéristiques des ménages et des individus que les structures de santé qui pourraient contribuer au recours de la TRO.

Approches communautaires

Cette approche donne des informations sur les disparités en matière de recours aux soins de santé. Elle est donc caractérisée par la région de résidence et le milieu de résidence. En effet, le contexte de résidence renseigne sur l'influence du milieu ou de la région où l'individu habite de façon permanente. Selon SAIDOU (2018), dans les localités où des centres de santé bénéficiant des ressources financières non liées à la performance, d'une autonomie de gestion, de la supervision et du suivi technique, c'est plutôt en milieu urbain que l'on note une augmentation importante de chance de recourir à une structure de santé moderne. Pour cet auteur, les impacts observés concernant le recours soins de santé moderne relativement faibles en milieu rural par rapport au milieu urbain pourraient s'expliquer entre autres par l'augmentation du personnel soignant qualifié pour la consultation des enfants en milieu urbain, aussi du fait certainement de la stabilité du personnel affecté suite à l'amélioration du cadre de travail dans les centres de santé traités.

Approches économiques

Cette approche considère la consultation comme la rencontre entre une offre et une demande thérapeutique, les caractéristiques de l'offre de soins ont été analysées comme les principaux déterminants des comportements de santé. Le choix thérapeutique est alors conçu comme avant tout dépendant de la perception du rapport entre le coût et le bénéfice des différents traitements

(FRANCKEL, 2004). Dans cette perspective, l'explication des comportements en matière de santé repose sur les choix qui sont conditionnés par les contraintes économiques. Par ailleurs selon CARINE BAXERRES et al. (2010), quel que soit le statut économique des familles, l'organisation sociale et la répartition des tâches entraînent une plus grande proximité de la mère vis-à-vis des enfants de bas âge. Ainsi dans les ménages à revenus faibles, les femmes sont de plus en plus nombreuses à assumer les dépenses sanitaires des enfants. Les facteurs économiques influencent la santé des enfants au travers du statut économique de la femme, qui détermine la possibilité de celle-ci à recourir aux services de soins de santé. En outre selon ces mêmes auteurs, la déshydratation engendre des coûts substantiels et en dehors de ses conséquences cliniques individuelles, elle représente donc un problème de santé publique majeur de par son impact économique. La réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques pourrait ainsi être associée aux ressources économiques des ménages et aux revenus des mères.

Approches socioculturelles

« Si les cultures produisent des effets différents sur la santé, c'est qu'elles attribuent des valeurs différentes à la survie » (UNESCO, 1999, p372)

La culture est un ensemble d'idées, de coutumes et de comportements que partage un peuple ou une société donnée, elle est donc en constante évolution. Toutefois la culture a une vaste influence sur la santé. En effet, elle colore la perception de la santé, de la maladie et de la mort, les croyances sur les causes des maladies, les approches envers la promotion de la santé, l'expérience et l'expression de la maladie et de la douleur, les lieux où les patients se tournent pour obtenir de l'aide et le type de traitement que les patients préfèrent, le degré de compréhension et d'adhésion aux choix thérapeutiques recommandés par les dispensateurs de soins qui ne partagent pas leurs croyances culturelles (MAUREEN, 2018). En matière de santé, il y a une diversité de perceptions et de prévention d'une société à l'autre. En effet, certaines habitudes alimentaires et pratiques thérapeutiques peuvent paraître saines dans certaines sociétés données par contre dans d'autres elles correspondent à des interdits (SAIDOU, 2009). D'une façon générale, les comportements des individus sont dictés par les croyances, les perceptions, les normes et les valeurs socioculturelles. Ainsi les facteurs tels que la religion et le niveau d'instruction de la mère pourraient mieux expliquer les comportements des mères en matière de santé curative des enfants notamment le recours à la TRO.

Approches sociodémographiques

Le recours aux soins de santé en général et à la thérapie de réhydratation par voie orale en particulier, est déterminé par certains caractéristiques sociodémographiques. Parmi les facteurs prédominants, le sexe et l'âge ont souvent un impact important sur la décision de consulter ou non le choix d'un type de recours (RICHARD, 2001). En effet, les caractéristiques des individus tels que l'âge, le sexe ainsi que de leur ménage définissent l'environnement dans lequel l'affection diarrhéique chez l'enfant de moins de cinq ans survient et est perçue. Ces caractéristiques ont donc une influence sur le recours ou non aux soins curatifs notamment la thérapie de réhydratation par voie orale en cas de diarrhée chez l'enfant.

Méthodologique

Source des données

Dans cette étude, les données sont issues de l'enquête par grappes à indicateurs multiples 2016 (MICS-2016). Cette enquête a été initiée par l'Etat de Côte d'Ivoire et réalisée par l'Institut National de la Statistique (INS) en collaboration avec le Fond des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF). C'est la cinquième du genre après celles réalisées en 1996, 2000, 2006 et 2011-2012. La réussite de l'enquête MICS 2016 est le fruit d'une collaboration technique entre l'INS et l'UNICEF. Le Gouvernement ivoirien et l'UNICEF (partenaire principal) en ont financé la réalisation, avec l'appui du Fonds Mondial de lutte contre le VIH-sida, le Paludisme, et la Tuberculose, de l'Agence Française de Développement (AFD), du Programme conjoint UNICEF-OMS de suivi des données de l'eau, de l'hygiène et de l'assainissement, et de l'UNFPA.

L'objectif principal que visait cette enquête est de fournir des informations récentes et détaillées pour l'évaluation de la situation des enfants et des femmes en Côte d'Ivoire permettant de suivre les progrès accomplis dans la réalisation des objectifs du Plan d'action d'un Monde Digne des Enfants (MDE) et d'autres objectifs fixés au plan international et d'évaluer les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et de suivre les Objectifs du Développement Durable (ODD). L'enquête a été réalisée au moyen d'un sondage probabiliste aréolaire à deux degrés. Au premier degré, 512 zones de dénombrement (ZD) ont été tirées parmi les 23484 du dernier RGPH qui renfermait en 2014 une population de 22 671 331 habitants. Ces zones tirées ont été visitées afin de dénombrer les ménages qui y vivent et actualiser la cartographie. Ainsi, au second degré, 25 ménages ont été tirés dans chacune de ces ZD-échantillons.

La population cible est constituée des enfants de moins de cinq ans ayant fait une diarrhée les deux semaines précédant l'enquête. Cette étude s'intéresse à un échantillon de taille 1359 enfants diarrhéiques de moins de

cinq ans captés par l'enquête MICS de 2016 sur un total de 9094 enfants de moins de cinq ans enquêtés.

Les variables

La variable dépendante de cette étude est la « réhydratation par voie orale », elle permet de mesurer la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans à travers la proportion de ces enfants qui ont fait la diarrhée. Par ailleurs dans cette étude, la TRO est prise comme traitement de référence appréhendé ici par l'utilisation de la SRO ou de la SMR chez les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. Il s'agit donc de savoir si l'enfant lors d'un épisode diarrhéique a été réhydraté par voie orale soit par un sachet des SRO, soit par une SMR. C'est une variable dichotomique qui a les modalités « 1 » si l'enfant souffrant de la diarrhée a été réhydraté et « 0 » sinon. Elle est construite à partir des questions relatives à la prise en charge de la diarrhée du questionnaire « enfant ».

Variables au niveau individuel

Pour cette analyse, ces variables sont les caractéristiques liées à l'enfant diarrhéique, à la mère et au ménage susceptibles d'influencer la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. Ces variables sont : Niu de vie du ménage, Exposition de la mère aux médias, Niveau d'instruction de la mère, Parité atteinte de la mère, Age de la mère, Religion de la mère, Age de l'enfant, Sexe de l'enfant, Rang de naissance de l'enfant.

Variables au niveau de la communauté

Ces variables font référence à la région et au milieu de résidence dans lesquels vivent les enfants diarrhéiques. La proportion des femmes sans niveau d'instruction dans la communauté, le degré de fragmentation ethnique et le degré de modernité culturelle sont aussi des variables relatives à la communauté.

Analyse

Les méthodes d'analyse utilisées dans le cadre de cette étude tiennent compte d'une part des approches descriptives (analyse bi variée et multivariée) qui permettent de décrire les données et d'autre part des approches explicatives qui permettent à l'aide de la régression logistique multiniveau de cerner les facteurs explicatifs contextuels et individuels de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans.

L'analyse descriptive bi variée permet de vérifier l'association entre la variable dépendante et chacune des variables indépendantes. Elle permet de s'assurer au préalable que les variables explicatives retenues pour l'analyse,

ont effectivement, chacune, un effet sur la variable dépendante. Les tableaux croisés et les statistiques du Chi-deux rattachées à chaque tableau, permettent de mettre en évidence les associations entre les variables deux à deux pour faire ressortir les variables qui sont significativement associées à la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. Dans le cadre de cette étude, le seuil de significativité retenu est 5%, ainsi lorsque la probabilité associée au chi-deux est inférieure au seuil de significativité retenu, on conclut que les deux variables sont associées, et dans le cas contraire elles seront considérées comme indépendantes.

Au niveau de l'analyse descriptive multivariée Ainsi, étant donné la nature des variables mobilisées dans cette étude, une analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) sera effectuée pour dégager le profil des enfants réhydratés par voie orale pendant l'épisode diarrhéique. La proximité et l'opposition des modalités permettront la classification des groupes d'enfants suivant les axes factoriels. Enfin l'analyse explicative multivariée permet de prendre en compte simultanément plusieurs variables explicatives dans l'analyse aux fins d'évaluer les effets nets de chaque variable. Pour ce faire, nous allons recourir à une régression logistique multiniveau.

Modélisation de l'analyse logistique multiniveau

Dans le cadre de cette étude, la régression logistique multiniveau renvoie à la spécification de quatre (4) modèles. Cette démarche nous permettra d'expliquer l'influence de l'environnement sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. A cet effet, deux niveaux d'analyse ont été retenus : le niveau macro (niveau 2) correspondant à la grappe et le niveau micro (niveau 1) faisant référence au ménage et à l'individu.

- **Modèle vide ou modèle de décomposition de la variance (M0)**

Le modèle vide n'intègre aucune variable explicative et correspond à une simple décomposition de la variance totale du phénomène étudié en une part de variance intergroupes et une part de variance intragroupe. En outre ce modèle fournit une information très importante sur la répartition de la variance entre les différents niveaux de l'analyse. Il servira de référence dans la suite des analyses. Le coefficient de corrélation intra-classe (ICC) permet de voir la ressemblance entre les enfants appartenant à un groupe donné. Son équation s'écrit :

Le modèle est résumé par les équations suivantes :

Au niveau 1 (Individuel)

$$\text{logit}(Y_{ij}) = \ln \frac{P(Y_{ij} = 1)}{1 - P(Y_{ij} = 1)} = \beta_{0j} + e_{ij}$$

Avec $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$; σ_e^2 la variance intra-groupe; e_{ij} le résidu de l'individu i de la communauté j ; Y_{ij} désigne la réhydratation par voie orale de l'individu i (l'enfant) appartenant à la communauté j et β_{0j} la moyenne de la communauté j .

L'indice i désigne les observations de niveau 1 et j celles de niveau 2.

Niveau 2 (Communauté)

$$\text{logit}(Y_{ij}) = \ln \frac{P(Y_{ij} = 1)}{1 - P(Y_{ij} = 1)} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$$

Avec $\mu_{0j} \sim (0, \sigma_{\mu_0}^2)$; $\sigma_{\mu_0}^2$ la variance intergroupe.

Et γ_{00} la moyenne pour l'ensemble des communautés; μ_{0j} le résidu pour la communauté j .

Le modèle composite est :

$$\text{logit}(Y_{ij}) = \ln \frac{P(Y_{ij}=1)}{1-P(Y_{ij}=1)} = \gamma_{00} + \mu_{0j} + e_{ij} \quad (1)$$

Avec γ_{00} la moyenne générale de Y constituant la partie fixe et μ_{0j} et e_{ij} constituent les termes d'erreur de la partie aléatoire (ou stochastique).

- **Modèle individuel M1**

Le modèle M1 inclut uniquement les variables explicatives au niveau individuel et au niveau du ménage qui sont combinées X_{ij} dans le but d'influencer sur la variation de réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques. Ce modèle, tout comme le modèle suivant permet de réduire les variances résiduelles du modèle vide. De ce fait, il s'agit de déterminer si la variance au niveau de chaque groupe est due à sa composition. Son équation est la suivant :

$$\text{logit}(Y_{ij}) = \gamma_{00} + \sum_{n=1}^N a_{ij} X_{ij} + \mu_{0j} + e_{ij} \quad (2)$$

Avec γ_{00} la moyenne générale de Y constituant la partie fixe μ_{0j} et e_{ij} constituent les termes d'erreur de la partie aléatoire (ou stochastique).

- **Modèle communautaire (M2)**

Le modèle M2 rajoute uniquement les variables liées aux caractéristiques communautaires ou contextuelles W_j , afin de dégager l'effet fixe de ces variables sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques. Son équation s'écrit comme suit:

$$\mathit{logit}(Y_{ij}) = y_{00} + \sum_{p=1}^n c_p W_{pi} + \mu_{0j} + e_{ij} \quad (3)$$

Avec y_{00} la moyenne générale de Y constituant la partie fixe et μ_{0j} et e_{ij} constituent les termes d'erreur de la partie aléatoire (ou stochastique).

- **Modèle complet (M3)**

Le modèle M3 prend en compte toutes les variables de l'étude dans un même modèle. Il permet de dégager les facteurs qui sont associés à la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques.

Son équation est la suivante :

$$\mathit{logit}(Y_{ij}) = y_{00} + \sum_{n=1}^N a_{ij} X_{ij} + \sum_{p=1}^n c_p W_{pi} + \mu_{0j} + e_{ij} \quad (4)$$

Avec y_{00} la moyenne générale de Y constituant la partie fixe et μ_{0j} et e_{ij} constituent les termes d'erreur de la partie aléatoire (ou stochastique).

La régression logistique multiniveau produit des résultats qui s'interprètent en termes de variation des variances relatives au phénomène. Le modèle vide donne une variance intercommunautaire et une variance intracommunautaire. Dans le reste des modèles, la réduction des variances par rapport à celles du modèle vide (M0) explique l'effet des variables de chaque niveau sur l'explication du phénomène. Par ailleurs, le modèle vide permet de réduire les variances résiduelles. Celles-ci réduites expriment la part de l'homogénéité non observée ou de la variance inexplicée par les variables introduites à travers ces proportions. Cependant, pour l'ensemble des modèles, le coefficient de corrélation intragroupe entre deux enfants diarrhéiques i et i' d'une même communauté j sera calculé.

En outre, la régression logistique estime la probabilité de réalisation des événements. Dans le cas de cette étude où il y a deux niveaux d'analyse, elle fournit les coefficients de régression α et β à partir desquels on calcule les Odds Ratios (OR) encore appelés rapports des chances ($\exp(\alpha)$, $\exp(\beta)$).

Pour mieux interpréter les résultats, nous ferons recours aux Odds ratios. En effet un Odds ratio inférieur à 1 dans une catégorie indique que les individus appartenant à cette catégorie ont (1-Odds ratio) % moins de risque de subir l'événement étudié par rapport au groupe de référence. Lorsqu'il est supérieur à 1, l'on dira que les individus de cette catégorie ont (Odds ratio) fois plus de risque de connaître l'événement étudié par rapport au groupe de référence.

Résultats

Analyse descriptive multivariée

L'analyse multivariée a permis de dresser le profil des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans réhydratés par voie orale en Côte d'Ivoire

par le biais de l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM). Ainsi Il ressort de que les enfants diarrhéiques de moins de 5 ans réhydratés par voie orale sont les enfants vivant en milieu urbain, dans les régions du « Sud sans Abidjan » ou dans la ville d'Abidjan et dans les communautés à faible proportion des femmes sans niveau d'instruction et à faible degré de modernité culturelle. Ces enfants vivent dans les ménages riches. Les mères de ces enfants sont exposées aux médias, ont un niveau d'instruction « primaire » ou « secondaire et plus » et sont de religion chrétienne. Cependant les enfants de moins de cinq ans souffrant de la diarrhée qui n'ont pas été réhydratés par voie orale, vivent dans la région du Nord, en milieu rural et dans les ménages pauvres. Ces enfants résidents dans les communautés où la proportion des mères sans instruction est élevée, à degré de modernité culturelle « élevé » ou « moyen ». Les mères de ces enfants, n'ont aucun niveau d'instruction, ne sont pas exposées aux médias et elles sont de religion musulmane ou des « autres religions ».

Analyse explicative multivariée

Modèles multiniveaux

Modèle vide (M0) ou modèle de la décomposition de la variance

Le modèle vide est un modèle qui ne contient que la variable dépendante et sert de référence aux autres modèles. Il permet donc d'examiner d'une part l'influence des facteurs communautaires sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans et d'estimer d'autre part le degré de ressemblance des individus au sein d'une même communauté.

Les résultats du modèle vide du tableau ci-après montrent que la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq en Côte d'Ivoire varie significativement au seuil de 1% en fonction des communautés. En effet la variation de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques attribuable à la communauté est de 42,15%. Par ailleurs, le coefficient de corrélation intra-groupe qui mesure le degré de corrélation ou d'homogénéité c'est-à-dire la ressemblance entre les enfants appartenant à un groupe (c'est-à-dire à une même grappe) donné, vaut 42,15% entre deux enfants diarrhéiques i et i' appartenant à une même communauté. Quant à la variance intergroupe, elle vaut 2,4. Au regard de ce qui précède, le comportement des enfants en matière de réhydratation par voie orale est relativement corrélé dans une même communauté.

Modèle (M1) : Effets des caractéristiques individuelles sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans

Par l'introduction des variables des caractéristiques individuelles relatives aux ménages, aux mères et aux enfants dans le modèle vide (M0), le

modèle M1 est obtenu ainsi que la statistique de Wald. Cette statistique indique que le modèle explique significativement la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques au seuil de 1% (Wald $\chi^2(19) = 43,45$; $P < 0,0011$) (cf tableau ci-après). Cette statistique montre aussi qu'au moins une des variables des caractéristiques individuelles introduites dans le modèle M0 expliquent la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire.

Par ailleurs, les variables individuelles introduites expliquent 12,08% ($\frac{2,4-2,14}{2,4} * 100$) de l'hétérogénéité non observée au niveau communautaire. En d'autres termes, les caractéristiques individuelles des ménages, des mères et des enfants contribuent à réduire un peu plus de 12% la variance non expliquée de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans relative à la communauté par rapport au modèle M0. En outre, dans la partie fixe du modèle M1, les variables indépendantes mobilisées au niveau individuel significatives dans l'explication de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans sont le niveau d'instruction de la mère, le sexe de l'enfant et le niveau de vie du ménage.

Modèle (M2): Effets des caractéristiques communautaires sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans

L'introduction des variables relatives aux caractéristiques communautaires dans le modèle vide montre que ces variables expliquent significativement au seuil de 1% la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans (Wald $\chi^2(9) = 41,8$; $p < 0,0000$) (cf tableau), ce qui montre qu'au moins une des variables introduites dans le modèle explique le phénomène. Dans la partie aléatoire du modèle, le tableau 5.4 montre que les variables relatives aux caractéristiques communautaires réduisent de 21,25% ($\frac{2,4-1,89}{2,4} * 100$) l'hétérogénéité non observée au niveau communautaire.

Dans la partie fixe du modèle M2 sur les cinq variables qui y sont introduites, deux sont significatives au seuil de 5% dans l'explication de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire (Cf tableau). Il s'agit des variables région de résidence et milieu de résidence.

Modèle complet (M3) : Effets des caractéristiques individuelles et communautaires sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de 5 ans

Le modèle M3 permet d'identifier les facteurs explicatifs au niveau contextuel et individuel de la réhydratation par voie orale des enfants

diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. En introduisant toutes les variables de tous les niveaux dans le modèle M0, le modèle M3 est significatif au seuil de 1% dans l'explication de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire (Wald $\chi^2(28) = 59,46$, $P < 0,0005$) (cf tableau).

En outre, dans la partie aléatoire, le tableau 5.5 montre que les variables du niveau individuel et communautaire introduites dans le modèle M0 réduisent de 13,75% ($\frac{2,4-2,07}{2,4} * 100$) l'hétérogénéité non observée au niveau communautaire.

Facteurs explicatifs de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans

Influence des facteurs contextuels sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire

Le modèle complet montre que, la région de résidence influence significativement au seuil de 5% la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. En effet, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans qui vivent dans la ville d'Abidjan ont 4,19 % de chance d'être réhydratés par voie orale que ceux qui vivent dans la région du Nord. Il faut noter qu'il n'y a pas de différence significative entre les enfants diarrhéiques de moins de 5 ans vivant dans les autres régions restantes et ceux de la région du nord en matière de réhydratation par voie orale.

Quant au milieu de résidence, il influence au seuil de 5% la réhydratation par voie orale des enfants de moins de cinq ans. Toutes choses égales par ailleurs, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans vivant en milieu urbain ont 2,17 fois plus de chance d'être réhydratés par voie orale que leurs confrères du milieu rural (cf tableau).

Influence des facteurs individuels sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire

Le sexe de l'enfant influence significativement au seuil de 1% la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. En effet, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans de sexe féminin ont 1,6 fois plus de chance d'être réhydratés par voie orale que ceux de sexe masculin. S'agissant du niveau d'instruction de la mère, il influence significativement au seuil de 10% la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. En effet, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans des mères de niveau d'instruction « primaire » ont 1,5 fois plus de chance d'être réhydratés par voie orale que ceux des mères sans niveau d'instruction. Cependant il n'y a pas de différence significative entre les enfants diarrhéiques

des mères de niveau « secondaire et plus » et ceux des mères sans niveau en matière de réhydratation par voie orale.

Tableau 1. Effets nets (Odds ratios) des variables indépendantes sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans.

Variables /modalités	Modèle 0	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
Partie fixe				
Constance	5,30***	2,67***	3,42***	2,54***
Caractéristiques individuelles				
Age de l'enfant				
0 an		0,738ns		0,711ns
1 ans		Réf		Réf
2 ans		1,076ns		1,057ns
3 ans		1,228ns		1,200ns
4 ans		0,791ns		0,770ns
Sexe de l'enfant				
Masculin		Réf		Réf
Féminin		1,566**		1,604***
Rang de l'enfant				
rang 1		1,311ns		1,350ns
rang 2-3		Réf		Réf
rang 4-6		1,354ns		1,408ns
rang 7et plus		1,577ns		1,518ns
Age de la mère				
15-24 ans		0,717ns		0,701ns
25-34 ans		Réf		Réf
35 ans et plus		0,696ns		0,671ns
Niveau d'instruction de la mère				
Aucun niveau		Réf		Réf
Primaire		1,607**		1,505*
Secondaire et plus		1,427ns		1,213ns
Parité de la mère				
1 enfant		1,119ns		1,128ns
2 à 4 enfants		Réf		Réf
5 enfants ou plus		1,110ns		1,101ns
Exposition de la mère aux médias				
Non exposé		0,788ns		0,835ns
Exposé		Réf		Réf
Religion de la mère				
Chrétienne		0,991ns		1,014ns
Musulmanne		Réf		Réf
Autres religions		1,230ns		1,351ns
Niveau de vie du ménage				
Pauvre		Réf		Réf
Moyen		1,124ns		0,926ns
Riche		2,862***		1,205ns
Caractéristiques Communautaires				
Région résidence				
Nord			Réf	Réf

Sud sans Abidjan			1,630ns	1,623ns
Centre			0,632ns	0,695ns
Ouest			0,574ns	0,549ns
Ville d'Abidjan			4.734***	4.189**
Milieu de Résidence				
Urbain			2,050**	2,169**
Rural			Réf	Réf
Proportion des mères sans niveau d'instruction dans la communauté				
Faible			1,127ns	1,133ns
Elevé			Réf	Réf
Degré de fragmentation ethnique				
Faiblement hétérogène			Réf	Réf
Fortement hétérogène			0,864ns	0,773ns
Variables / Modalités	Modèle M0	Modèle M1	Modèle M2	Modèle M3
Degré de modernité culturelle				
faible			1,444ns	1,194ns
moyen			Réf	Réf
Eleve			1,094ns	1,129ns
Partie aléatoire				
var(_cons[grappes])	10,995***	8,209***	6,620***	7,936***
Variance intercommunautaire	0,42***	0,39***	0,36***	0,39***
chi2 de Wald		43,45***	41,8***	59,46***

Source : Exploitation des données de l'enquête MICS 2016

*** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$; ns 'non significatif', Réf 'modalité de référence'

Discussion des résultats

Dans cette section, il sera question de donner des explications contextuelles des résultats de cette étude et de les confronter à certains travaux antérieurs en lien avec notre étude. A cet effet, la discussion va s'appuyer sur les éléments de contexte ivoiriens ainsi que la revue de la littérature présentés plus haut.

Sexe de l'enfant

Le sexe de l'enfant a une influence significative sur la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. En effet, les enfants diarrhéiques de sexe féminin ont plus de chance d'être réhydratés par voie orale que leurs confrères de sexe masculin. Ce résultat se trouve fortifié par certains auteurs comme AGNES et al. (1999) dans santé de la mère et de l'enfant : exemples de pays africains et MOHAMED (2015) dans prise en charge de la diarrhée à domicile chez les enfants de 0 à 59 mois dans l'aire de sante de Yirimadio où ils font ressortir que les enfants de sexe féminin ont significativement plus de chances de recevoir un soins de santé que leur confères de sexe Masculin. Cependant ce résultat s'oppose à ceux de certains auteurs comme (GBENYON et LOCOH, 1989) CALDWELL (1986) justifiant que les parents accordent plus d'attention notamment en matière

recours aux soins de santé aux garçons qui seront plus tard les premiers responsables de la sécurité, du bien-être familial et les garants des vieux jours des parents, contrairement aux jeunes filles qui, à l'âge adulte ne contribueront que faiblement aux revenus du ménage

Ces résultats pourraient s'expliquer par les campagnes de promotion des droits de la femme principalement l'élimination de toutes les formes de discrimination à l'égard des femmes notamment à l'égard des jeune filles conformément aux engagements pris en l'occurrence la ratification de la CEDEF¹ en 1995 (MPFFE², 2015).

Niveau d'instruction de la mère

Le niveau d'instruction de la mère influence significativement la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. En effet, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans des mères de niveau d'instruction primaire ont plus de chance d'être réhydratés par voie orale que ceux des mères qui n'ont aucun niveau d'instruction. Cependant il n'y a pas de différence significative dans la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques des mères de niveau d'instruction « secondaire et plus » et ceux des mères sans niveau d'instruction. Ce résultat corrobore les résultats de certains auteurs comme SAGNA (2006) dans « éducation de la mère et recours aux soins de santé maternelle et infantile au Burkina Faso », WOUMBE (2012) dans « niveaux et tendance de la non réhydratation orale des enfants diarrhéiques de moins de trois ans au Cameroun entre 1991 et 2004 ».

En Côte d'Ivoire avec le pourcentage d'instruits encore moins élevé chez les femmes, généralement les mères de niveau d'instruction « primaire » sont « mères au foyer » ou elles exercent leurs propres activités, avec leur ouverture sur la modernité notamment sur les soins de santé modernes, elles disposent d'assez de temps pour prendre soins de leurs enfants souffrant de la diarrhée.

Niveau de vie du ménage

Le niveau de vie du ménage n'influence pas la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. Ce résultat corrobore celui de SORO (2021) justifiant que le niveau de vie du ménage n'est pas un facteur déterminant de la non-vaccination des enfants en 2011. Cependant ce résultat va l'encontre de ceux trouvés par certains auteurs comme WOUMBE (2012) et ADAM (2002), qui stipulent que le niveau de vie du ménage influence les soins de santé moderne notamment les soins de santé infantiles.

¹ Convention relative à l'élimination de toutes les Formes de Discriminations à l'Egard des Femmes

² Ministère de la Promotion de la Femme et la Famille et de L'Enfant

Le résultat de cette étude pourrait s'expliquer par la gratuité de soins. En effet, l'Etat ivoirien a pris une mesure exceptionnelle selon laquelle les soins de santé étaient totalement gratuits juste après la crise postélectorale en 2011 dans les services sanitaires publics afin de soulager les populations des conditions de vie difficiles du moment, notamment la paupérisation (OMS, 2015). Elle s'est plus tard muée en gratuité dite sélective ou ciblée à partir de février 2012 en ciblant notamment les femmes enceintes (pour les accouchements et ses complications, la césarienne, la consultation prénatale et le bilan prénatal), les enfants de moins de cinq (prise en charge des affections courantes).

Il faut aussi noter qu'au niveau individuel, les variables telles que l'**âge de l'enfant**, le **Rang de l'enfant**, l'**Age de la mère**, la **Parité atteinte par la mère**, l'**Exposition de la mère aux médias** et la **Religion de la mère** n'influencent pas la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire

Région de résidence

La région de résidence influence significativement la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans. En effet, les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans vivant dans la ville d'Abidjan ont plus de chance d'être réhydratés par voie orale que ceux vivant dans la région du Nord. Toutefois, il n'y a pas de différence entre les enfants diarrhéiques de moins de cinq ans vivant dans les autres régions et dans la région du Nord en matière de réhydratation par voie orale. Ce résultat confirme l'hypothèse H1 selon laquelle : « les enfants diarrhéiques qui vivent dans la ville d'Abidjan ont plus chance d'être réhydratés par voie orale que ceux des autres régions ».

Ce résultat se trouve fortifier par les résultats de certains auteurs comme BANGRE (2005), BAYI (2008) et NANA (2017), mettant en exergue l'influence de la région de résidence sur l'offre des soins de santé.

En Côte d'Ivoire, la ville d'Abidjan est la région sanitaire la plus développée du pays en termes d'infrastructure sanitaire ce qui favorise une disponibilité de l'offre des soins, qui pourrait expliquer la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq dans cette région sanitaire. En effet, le ratio de médecin-population à Abidjan estimé à 2,1 médecins pour 10000 habitants, est au-delà de la norme prévue par l'OMS (1 médecin pour 10000 habitants). Le ratio infirmier population est de 1 infirmier pour 5000 habitant (MSHP, 2018). A cela s'ajoute le fait que près de 40% du personnel sanitaire réside dans le district autonome d'Abidjan (MSPH, 2015). En revanche, la région du Nord est caractérisée par un déficit en infrastructures sanitaires et en personnels de santé, ne diffère pas des autres régions en dehors d'Abidjan. En effet, cette région fait partie des régions qui enregistrent un faible ratio médecin-population (0,3 médecin pour 10000 habitants). Aussi, en 2015, 29% de la population vivait encore à plus de 15

Km d'un centre de santé, cette situation est plus catastrophique dans la région du Nord (MSHP, 2015).

Milieu de résidence

Le milieu de résidence influence significativement la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. Toute chose égale par ailleurs, les enfants diarrhéiques du milieu urbain ont plus de chance de d'être réhydratés par voie orale. Par ailleurs, ce résultat corrobore les résultats de certains auteurs comme GARENNE (2010), HARPHAM (2009), DOUBA A. et al. (2015) justifiant que les enfants qui vivent en milieu urbain bénéficient d'un environnement sanitaire relativement plus favorable que ceux du milieu rural.

Selon le contexte ivoirien, le milieu rural comme tout milieu rural des pays en voie de développement souffre encore d'indisponibilité de centre de santé. Selon MSHP (2015), 29% de la population vivait encore à plus de 15 Km d'un centre de santé, cette situation est plus visible dans le milieu rural, obligeant parfois la population rurale à marcher sur des dizaines de kilomètres pour se faire consulter par un personnel de la santé. A cela s'ajoute la pauvreté grandissante en milieu rural. En effet, le taux de pauvreté estimé à 56,8% en milieu rural selon INS (2015), c'est-à-dire une personne sur deux vivant en zone rurale est pauvre, pourrait constituer un frein pour la population qui y vive à recourir aux soins de santé en général et à la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques.

En outre, la population rurale en Côte d'Ivoire avec un taux d'instruction faible, est ancrée en général dans les traditions selon les peuples, qui l'amènent le plus souvent à recourir à la médecine traditionnelle au détriment de la médecine moderne notamment à la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques. En revanche, en milieu urbain, il y a non seulement une disponibilité de centre de santé mais aussi la population qui y vive, est plus instruite et a une large ouverture sur la modernité, ce qui la prédispose au recours aux soins de santé infantile notamment la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques. Cependant au niveau communautaire, les variables telles que la proportion des mères sans niveau d'instruction dans la communauté, le **Degré de fragmentation ethnique** et le **degré de modernité culturelle** n'influencent pas la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire.

Limite de l'étude

Malgré ces résultats obtenus, cette étude présente quelques limites qu'il convient de souligner. Les variables contextuelles construites au niveau de la grappe par agrégation des variables individuelles présentent des limites. En effet, les grappes sont créées pour les besoins de l'échantillonnage

statistique, en général, à partir des zones de dénombrement des recensements de la population. Il est donc possible qu'elles ne soient pas convenables pour détecter la variation de la réhydratation orale entre les communautés car elles ne représentent pas forcément la réalité socioéconomique ou socioculturelle des différentes communautés. Ce qui pourrait créer un biais d'homogénéité entre les enfants diarrhéiques. En outre, la faible de l'échantillon (1359 individus) peut entraîner des problèmes d'estimation des effets groupes. Toutefois, les limites susmentionnées ne peuvent mettre en cause les résultats de cette étude.

Conclusion

L'objectif général de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance des caractéristiques individuelles et contextuelles de la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire, ceci afin de permettre au gouvernement ivoirien de mieux orienter les stratégies de lutte contre les maladies diarrhéiques. L'analyse explicatif avec le modèle logistique multiniveau a permis d'identifier les facteurs qui contribuent plus à la réhydratation par voie orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en Côte d'Ivoire. Il s'agit donc au niveau individuel du niveau d'instruction de la mère et sexe de l'enfant et au niveau contextuel de la région de résidence et du milieu de résidence.

. Au regard de ces résultats nous pouvons formuler quelques recommandations au plan politique et scientifique comme suit :

Au plan politique, nous recommandons au gouvernement à travers le ministère de la santé et de l'hygiène publique d'intensifier les campagnes de lutte contre les maladies diarrhéiques chez l'enfant de moins de cinq ans par la promotion de la thérapie de réhydratation orale (SRO et les liquides recommandées maisons) auprès de la population du milieu rural surtout dans la région du Nord. Aussi mettre en place des politiques de constructions et d'équipement des centres santé dans les milieux ruraux et dans la région du Nord qui pourront aider à améliorer le nombre de consultation en pédiatrie de façon générale et l'utilisation de la thérapie de réhydratation orale des enfants diarrhéiques de moins de cinq ans en particulier.

Par ailleurs, nous recommandons au ministère de l'éducation d'accentuer les programmations d'alphabétisation initiées par l'UNESCO dans les zones rurales et dans la région du Nord pour permettre aux mères habitant ces zones non seulement d'avoir une ouverture sur la modernité mais aussi sur les soins de santé en générale et en particulier sur la thérapie de réhydratation par voie orale.

Aussi nous recommandons à l'état à travers le ministère de la promotion de la femme, de la famille et de l'enfant de d'intensifier les campagnes de sensibilisation pour l'élimination de toutes les formes de

discrimination non seulement à l'égard de la jeune fille mais aussi à l'égard du jeune garçon concernant la prise en charge en matière de soin de santé curatif notamment la réhydratation par voie orale.

References:

1. ADAM Wagstaff (2002), « Pauvreté et inégalités dans le secteur de la santé », Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé Recueil d'articles N° 7, p 97-105.
2. AGNES Guillaume, ADJAMAGBO et KOFFI N'guessan (1999), Santé de la mère et de l'enfant: exemples africains, Collection Colloques et séminaires, 167 p.
3. BANGRE H. (2005). Facteurs explicatifs du recours thérapeutique en cas de paludisme chez les enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso, Mémoire DESSD en démographie, université de Yaoundé II Soa IFORD, 95p + annexe.
4. BAXERRES Carine et LE HESRAN Jean-Yves (2010), « Les difficultés du recours aux soins pour traiter le paludisme en milieu rural Sénégalais », Revue Tiers Monde, 2010/2 n° 202, p149 -165.
5. BAYI Sylvie (2008), Les facteurs explicatifs de la prise en charge des maladies diarrhéiques des enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso, mémoire de DESSD en démographie, Université de Yaoundé ii Soa, IFORD, 99 p + annexes.
6. FRANCKEL Aurelien (2004), Les comportements de recours aux soins en milieu rural au Sénégal : le cas des enfants fébriles à Niakhar, thèse de doctorat en Démographie, UNIVERSITE PARIS X – NANTERRE, 371 p + annexe.
7. JODELET Denise (2019), « culture et pratiques de santé, nouvelle revue de psychosociologie » 2006/1 n° 1 | p 219 – 239.
8. LOCOH T. et GBENYON K. (1989), « Les différences de mortalité entre garçons et filles », in Mortalité et sociétés en Afrique au sud du Sahara. Ed par Pison G., Van de Walle et Sala-Diakanda. Paris, INED, PUF, 1989, pp. 221-244
9. MOHAMED (2015) « prise en charge de la diarrhée à domicile chez les enfants de 0 à 59 mois dans l'aire de sante de Yirimadio »
10. RICHARD Jean-Luc (2001), Accès et recours aux soins de santé dans la sous-préfecture d'Ouessè (Bénin), thèse de géographie de santé, Université de Neuchâtel, 1049 p + annexe
11. SAGNA Marguerite (2006), Education de la mère et recours aux soins de santé maternelle et infantile au Burkina Faso, mémoire de de maître ès sciences en démographie, université de Montréal, 76 p

12. SAIDOU Hamadou (2018), « Recours thérapeutiques en cas de paludisme : impact d'une réforme de l'offre de soins de santé au Cameroun » STATECO N°112 p 3-21.
13. SORO Kassoum (2021), Tendances de la non-vaccination des enfants de 12 à 23 mois en Côte d'Ivoire : une approche multiniveau, mémoire de master en démographie, université de Yaoundé II Soa, IFORD, 135 p + annexes
14. WOUUMBE Helene Mireille Gneche (2012), Niveaux et tendances de la non réhydratation orale des enfants diarrhéiques de moins de trois ans au Cameroun entre 1991 et 2004, mémoire de master en démographie, université de Yaoundé ii Soa, IFORD, 139 p + annexes

Connaissance, Attitude et Pratique des Médecins de Toamasina I Sur la Prévention du Cancer du Col de l'Utérus

Niaina Ezra Randriamanovontsoa

Chef de clinique en Oncologie médicale,
Faculté de Médecine de Toamasina, Madagascar

Hanta Rasataharifetra

Maitre de conférences, Faculté de Médecine de Toamasina, Madagascar

Andriatompoina Felanarivo Razafindraibe

Ancien interne qualifiant en Gynécologie et Obstétrique, Faculté de
Médecine de Toamasina, Madagascar

Tahino Niaina Andriarivony

Interne qualifiant en Chirurgie générale,
Faculté de Médecine de Antananarivo, Madagascar

Florine Rafaramino

Professeur émérite, Faculté de Médecine Antananarivo, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p444](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p444)

Submitted: 09 August 2022
Accepted: 27 February 2023
Published: 28 February 2023

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

Cite As:

Randriamanovontsoa N.E., Rasataharifetra H., Razafindraibe A.F., Andriarivony T.N. & Rafaramino F. (2023). *Connaissance, Attitude et Pratique des Médecins de Toamasina I Sur la Prévention du Cancer du Col de l'Utérus*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 444. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p444>

Résumé

Introduction: L'objectif de cette étude vise à décrire la connaissance, l'attitude et la pratique des médecins de de Toamasina I sur la prévention du cancer du col utérin. Méthodes: Il s'agissait d'une enquête transversale descriptive du 1er Novembre 2020 au 31 Janvier 2021. La connaissance ou la pratique était supposée suffisante si 75% ou plus des médecins trouvent la bonne réponse à la question posée. Cette étude a obtenu l'autorisation des chefs hiérarchiques ainsi que le consentement des participants. Résultats : L'âge médian des 74 participants se situait à 40 ans. Ils étaient médecins généralistes, pratiquant à moins de 10ans, exerçant dans un centre public respectivement : 71,60% ; 45,90% ; 63,50%. Ils savaient dans 98,6% que l'HPV favorise le développement de cancer du col utérin. Les enquêtés ont

indiqué dans 82,40% que le vaccin anti-HPV existe. Ils avaient donné deux réponses justes aux moyens de dépistage dans 78,10%. Ils estimaient dans 93,20% que le cancer du col peut être guéri s'il est découvert précocement. La proposition d'un dépistage aux femmes cibles, la prescription de frottis cervico-utérin et la pratique de l'IVA étaient évaluées respectivement : 93,20% ; 48,70% ; 25,70%. Discussion: Ces médecins avaient de bonnes connaissances mais ils manquaient de pratique probablement à cause de plateau technique insuffisante. Ces résultats ne reflètent pas la réalité des médecins malgaches. Conclusion: Les médecins possédaient des connaissances relativement suffisantes mais la mise en pratique était encore insuffisante. La formation post universitaire et la mise en place d'un plateau technique adéquat sont nécessaires.

Mots-clés: Cancer du col utérin, connaissance, malgache, médecin, pratique

Knowledge, Attitude and Practice of the Doctors in the Toamasina I on Cervical Cancer Prevention

Niaina Ezra Randriamanovontsoa

Chef de clinique en Oncologie médicale,
Faculté de Médecine de Toamasina, Madagascar

Hanta Rasataharifetra

Maitre de conférences, Faculté de Médecine de Toamasina, Madagascar

Andriatompoina Felanarivo Razafindraibe

Ancien interne qualifiant en Gynécologie et Obstétrique, Faculté de
Médecine de Toamasina, Madagascar

Tahino Niaina Andriarivony

Interne qualifiant en Chirurgie générale,
Faculté de Médecine de Antananarivo, Madagascar

Florine Rafaramino

Professeur émérite, Faculté de Médecine Antananarivo, Madagascar

Abstract

Introduction: The objective of this study is to describe the knowledge, attitude and practice of doctors in Toamasina I on cervical cancer prevention. Methods: This was a descriptive cross-sectional survey from 1 November 2020 to 31 January 2021. Knowledge or practice was assumed to be sufficient if 75% or more of the doctors found the correct answer to the question asked. This study obtained the permission of the line managers and the consent of the participants. Results: The median age of the 74 participants was 40 years.

They were general practitioners, practising within 10 years, working in a public centre respectively: 71.60%; 45.90%; 63.50%. They knew in 98.6% that HPV promotes the development of cervical cancer. The respondents indicated in 82.40% that the anti-HPV vaccine exists. They gave two correct answers to the means of screening in 78.10%. In 93.20% of cases, they considered that cervical cancer can be cured if it is discovered early. The proposal of screening to target women, the prescription of cervical smear and the practice of VIA were evaluated respectively: 93.20%; 48.70%; 25.70%. Discussion : These doctors had good knowledge but lacked practice, probably due to insufficient technical equipment. These results do not reflect the reality of Malagasy doctors. Conclusion: The doctors had relatively sufficient knowledge but the practical application was still insufficient. Postgraduate training and the establishment of an adequate technical platform are necessary.

Keywords: Cervical cancer, knowledge, malagasy, doctor-practice

Introduction

Le cancer du col de l'utérus tient le quatrième rang selon la fréquence chez la femme dans le monde d'après le GLOBOCAN 2020. On estime 604 000 nouveaux cas durant cette année dont plus de la moitié était décédés. La majorité de cas est retrouvée dans les pays en voie de développement notamment l'Afrique Subsaharienne (Sung S. et al, 2021). A Madagascar ce cancer devient le premier cancer le plus fréquent et le plus meurtrier en 2020 (Madagascar- Global Cancer Observatory 2020). Une grande partie de cancer du col de l'utérus peut être prévenue grâce à la lutte contre les facteurs de risque, la vaccination et au dépistage. Les médecins qui voient les patientes en première consultation peuvent contribuer considérablement à la sensibilisation, l'information et la motivation des femmes aux moyens de prévention. Pour que tout médecin soit un acteur efficace dans ce plan stratégique du cancer du col de l'utérus, il doit posséder des connaissances adéquates concernant ce sujet. Aucune étude n'a rapporté la connaissance et la pratique des médecins malagasy vis-à-vis de la prévention du cancer du col de l'utérus.

Ce travail avait pour objectif de décrire les connaissances, l'attitude et la pratique des médecins de la ville de Toamasina I sur la prévention de cancer

Méthodes

Une étude transversale descriptive a été menée dans la ville de Toamasina I, commune urbaine dans la région Atsinanana sur la côte Est de Madagascar du 1^{er} Novembre 2020 au 31 Janvier 2021. Il s'agissait d'une étude exhaustive auprès des médecins qui font la consultation des femmes exerçant dans cette ville ayant accepté de répondre à l'enquête, exceptés les

dentistes, les chirurgiens de la tête et du cou. Les variables étudiées incluaient les caractéristiques socio-professionnelles des médecins (âge, genre, religion, statuts professionnel, ancienneté, lieu d'exercice actuel), les connaissances sur les facteurs de risque et le dépistage du cancer du col utérin, l'attitude et la pratique sur la prévention du cancer du col utérin. Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire auto-administré.

La Direction Régionale de la Santé Publique Atsinanana, le Médecin Inspecteur de Toamasina I, les Chefs d'Etablissements publics ou privés ont donné l'autorisation avant la réalisation de cette enquête. Les médecins ont été informés des objectifs de l'enquête, et leur consentement oral a été obtenu avant l'administration du questionnaire. Par ailleurs, tout au long de l'étude, l'anonymat et le respect de la confidentialité des données ont été assurés par l'attribution d'un numéro à chaque fiche d'enquête.

Résultats

Parmi les 86 médecins recensés dans la ville de Toamasina I, 74 ont accepté de participer à l'enquête donnant un taux de participation à 86,04%. Le genre masculin représentait 52,70%. L'âge médian situait à 40 ans avec 27 et 63 ans respectivement le plus jeune et le plus âgé. Les médecins se disaient chrétiens dans 95,90%. Ces médecins sont repartis dans des différents centres de santé dont 63,50% (centres hospitaliers universitaires et centres de santé de base) dans les centres publics. Selon le grade professionnel, 71,60% répondaient être médecins généralistes. Ils exerçaient à moins de 10 ans dans 45,90%. Le tableau 1 montre les caractéristiques socio-démographiques de ces médecins.

Tableau 1. Caractéristiques socio-professionnels des médecins

Caractéristiques socio-professionnels	N (%)
Genre	
Masculin	39 (52,70)
Féminin	35 (47,30)
Age (ans)	
≤ 29	5 (6,80)
30 – 39	32 (43,20)
40 – 49	12 (16,20)
50 – 59	20 (27,00)
≥ 60	5 (6,80)
Religion	
Chrétien	71 (95,90)
Musulman	3 (4,10)
Grade professionnel	
Généraliste	54 (71,60)
Spécialiste	18 (24,30)
En cours de spécialisation	3 (4,10)
Années d'exercice (ans)	
< 10	34 (45,90)

10 – 19	21(28,40)
20 – 29	15 (20,30)
30 – 39	4 (5,40)
Lieu d'exercice	
Centre de santé de base	12 (16,20)
Centre hospitalier universitaire	35 (47,30)
Clinique privée	13 (17,60)
Médecin de société	10 (13,50)
Cabinet médical	4 (5,40)

Les médecins savaient dans 98,6% que l'HPV favorise le développement de cancer du col utérin. Ils ont choisi la bonne réponse dans 71,60% concernant le mode de transmission de ce virus. Parmi les 5 co-facteurs proposés, 54,10% des médecins ont trouvé 4 à 5 réponses vraies.

Dans 95,90% les enquêtés ont indiqué que le cancer de col est accessible à la prévention. Ils ont mentionné la vraie réponse pour l'existence des vaccins anti-HPV, le moment opportun de l'administration et la nécessité de dépistage pour les femmes vaccinées respectivement : 82,40% ; 70,30% ; 85,10%.

Les médecins ont répondu deux réponses justes de moyens de dépistage dans 78,10% des cas. La connaissance des médecins par rapport au frottis cervico-utérin, la tranche d'âge et le rythme pour ce dépistage est évaluée respectivement à : 63,50% ; 82,40% et 33,80%. Les 33,80% des médecins ont déclaré que l'Inspection Visuelle à l'acide Acétique (IVA) est le moyen de dépistage de masse selon la politique nationale malagasy de la lutte contre le cancer du col utérin. Parmi les enquêtés, 93,20% estimaient que le cancer du col utérin peut être guéri s'il est découvert au stade précoce.

Ces résultats de l'enquête concernant la connaissance des médecins sur les facteurs de risque et la prévention du cancer du col utérin sont figurés sur le tableau 2.

Tableau 2. Connaissances des médecins sur les facteurs de risque et la prévention du cancer du col utérin

Variables	N (%)
Infection à HPV favorise le développement du cancer du col utérin	
Oui	73 (98,6)
Non	0 (0,0)
Sans réponse	1 (1,4)
Mode de transmission de l'HPV	
Vrai	53 (71,60)
Faux	21 (28,40)
Choix des facteurs de risque parmi les 5 proposés	
4 – 5 réponses	40 (54,10)
2 – 3 réponses	24 (32,40)
1 réponse	10 (13,50)
Cancer du col utérin est une maladie accessible à la prévention	
Oui	71 (95,90)
Non	3 (4,10)
Existence de vaccin pour prévenir le cancer du col utérin	
Oui	61 (82,40)
Non	13 (17,60)
Moment opportun pour l'administration du vaccin anti-HPV	
Vrai	52 (70,30)
Faux	22 (29,70)
Nécessité de dépistage pour les femmes vaccinées	
Oui	63 (85,10)
Non	7 (9,50)
Sans réponse	4 (5,40)
Moyens de dépistage : au moins deux	
1 réponse juste	16 (21,90)
2 ou plus réponses justes	57 (78,10)
Moyen de dépistage le plus recommandé	
Vrai	47 (63,50)
Faux	16 (21,70)
Sans réponses	11 (14,90)
Rythme de dépistage par frottis cervico-utérin	
Vrai	25 (33,80)
Faux	49 (66,20)
Moyen de dépistage selon la politique nationale	
Vrai	25 (33,80)
Faux	35 (47,30)
Sans réponses	14 (18,90)
Tranche d'âge recommandée pour le dépistage	
Vrai	61 (82,40)
Faux	13 (17,60)
Guérison possible du cancer du col utérin au stade précoce	
Vrai	69 (93,20)
Faux	5 (6,80)

Les enquêtés répondaient qu'ils sont favorables à la lutte contre l'infection sexuellement transmissibles (97,30%), qu'ils aient confiance à l'efficacité de la vaccination anti-HPV (81,10%), et que l'inspection à l'acide acétique ne pouvait pas remplacer le frottis cervico-utérin (71,60%). Les médecins interrogés voulaient participer à la formation sur la prévention du cancer du col utérin dans 90,50% des cas. Dans leur pratique, 58,10% proposaient aux femmes de 25 à 65 ans un moyen de dépistage du cancer du col utérin dont le frottis cervico-utérin était le plus proposé : 48,70%. Plus d'un quart de médecins avaient pratiqué l'inspection à l'acide acétique. Le tableau 3 contient les détails de l'attitude et de la pratique des médecins.

Tableau 3. Attitude et pratique des médecins pour la prévention du cancer du col utérin

Variable	N (%)
Favorable aux sensibilisations pour la lutte contre les IST	
Oui	72 (97,30)
Non	2 (2,70)
Efficacité du vaccin anti-HPV contre le cancer du col utérin	
Sans réponse	5 (6,80)
Oui	60 (81,10)
Non	9 (12,20)
Inspection visuelle peut remplacer le frottis cervico-utérin ?	
Oui	15 (20,30)
Non	53 (71,60)
Sans réponse	6 (8,10)
Participation à la sensibilisation ou au dépistage	
Oui	20 (27,00)
Non	51 (68,90)
Sans réponse	3 (4,10)
Volonté de participer à la formation sur la prévention	
Oui	67 (90,50)
Non	7 (9,50)
Proposition de dépistage pour toute femme de 25 à 65 ans	
Oui	43 (58,10)
Non	30 (40,50)
Sans réponse	1 (1,40)
Méthode de dépistage prescrit d'habitude	
Frottis cervico-utérin	36 (48,70)
Inspection visuelle à l'acide acétique	13 (17,60)
Inspection visuelle au Lugol	4 (5,40)
Sans réponse	21 (28,40)
Pratique de l'inspection visuelle à l'acide acétique	
Oui	19 (25,70)
Non	52 (70,30)
Sans réponse	3 (4,10)

Discussion

Caractéristiques socio-professionnelles des médecins

Les médecins exerçant dans la ville de Toamasina étaient relativement jeunes, l'âge moyen est à 40ans. Les jeunes médecins peuvent avoir de bonne connaissance, mais ils manquent de mise pratique et d'expérience. Dans une étude menée par McCarey C et al (2011) au Cameroun, les étudiants en médecine et les médecins avaient des connaissances comparables concernant l'HPV et la vaccination pourtant les questions pratiques les différenciaient. Mutyaba T et al (2006) ont rapporté dans leur étude que 87% des étudiants en fin de leur étude n'avaient jamais effectué un prélèvement par frottis cervico-utérin et 56% n'avaient pratiqué d'un examen au spéculum. Par contre, les jeunes praticiens peuvent apporter des avantages à la santé publique d'après le travail de Bednarczyk A.R. et al (2013) en Géorgie où les femmes jeunes préfèrent discuter leurs activités sexuelles avec les jeunes médecins. Dans notre étude, Quarante-six pourcent des médecins enquêtés exerçaient à moins de 10 ans. Ce résultat confirme la moyenne d'âge jeune des médecins. L'expérience des enquêtés est supérieure par rapport à celle d'une étude burundaise qui avait un médian d'expérience de 2 ans (Ndizeye Z. et al 2018). Une étude faite en Arabie Saoudite a rapporté un résultat avec 66% de médecins ayant une pratique de moins de 10 ans (Almazroua S. et al 2020). Par contre une étude réalisée à Fès a montré un résultat comparable à notre résultat, plus de la moitié des médecins exercent plus de 10 ans (El Fakir S. et al 2013). Les années d'exercice auraient un impact sur la connaissance et la pratique de ces médecins.

Plus de la moitié des médecins était généralistes travaillant dans les centres de santé publique. De nombreuses études ont montré que les médecins généralistes peuvent contribuer efficacement à la sensibilisation, l'information et la motivation des femmes vis-à-vis du dépistage (Austoker J.1994) (Van Hal G. et al 1999). Ils sont la portée de soins de la population car ils voient en premier les femmes, ils peuvent faciliter l'accessibilité des femmes au dépistage du cancer du col utérin. Une étude locale a rapporté que la majorité des personnels de santé travaillait aussi dans les centres de santé publique (81,58%) (Razafy M.N. 2018). Ces résultats témoignent que les établissements sanitaires publics occupent une place importante pour le dépistage. En effet, la formation continue doit cibler principalement les médecins généralistes fonctionnaires en premier lieu. Néanmoins les médecins travaillant dans les secteurs privés ne peuvent pas être exclus car ils représentent aussi une partie non négligeable dans la prise en charge de la santé de la population.

Connaissances des médecins

Dans cette étude, 98,60 % des médecins savaient que l'infection à HPV favorise le développement du cancer du col utérin. Ils ont donné de bonne réponse par rapport au mode de transmission de ce virus et les co-facteurs qui augmentent le risque de la persistante de l'infection virale respectivement : 71,60% et 54,10%. La connaissance du facteur de risque principal est élevée aux autres études marocaines (21%) et mexicaines (79%) (Nani S. et al 2018) (Aldrich T. et al 2004).

Concernant la vaccination, les participants ont mentionné que le vaccin anti-HPV existe, ils ont trouvé l'âge idéal d'administration de ce vaccin. L'étude de Swapnajaswanth M. et al (2014) en Inde a rapporté que 37,4% des professionnels de santé avaient une bonne connaissance sur la vaccination, un résultat proche de l'étude à Parakou Benin, seul 38,8% savaient l'existence de ce vaccin (Obossou. A.A.A.et al 2021). Cette bonne connaissance des médecins pouvait être expliquée par le fait qu'une campagne de vaccination a été réalisée dans le district, pour savoir l'acceptation de la population en 2013, même si le vaccin anti-HPV n'est pas encore de routine dans le pays. Les médecins garderaient des notions dont ils ont reçu pendant cette campagne. La connaissance de frottis cervico-utérin comme moyen de dépistage, de la tranche d'âge des femmes indiquées pour faire ce test était évaluée à 63,50% et 82,40%. Pourtant la connaissance du rythme de dépistage selon les recommandations de l'OMS était basse : 33,80%. Nos résultats sont supérieurs aux études marocaines et ougandaises où les auteurs ont trouvé respectivement 47,5% et 39% (Berraho M. et al 2013) (Mutyaba T et al 2006). Le ministère de la santé publique a proposé l'inspection visuelle à l'acide acétique comme dépistage de masse mais seulement 33,80% des enquêtés ont connu cette proposition. L'absence de stratégie nationale claire et pérenne de la lutte contre le cancer du col utérin ainsi que l'insuffisance de la vulgarisation des recommandations ministérielles peuvent expliquer cette donnée.

Attitudes et pratiques

Les réponses sur les questions posées montrent que les médecins étaient favorables de toute prévention du cancer du col utérin. Ils répondaient que le vaccin anti-HPV permet de prévenir la majorité de cancer du col utérin. Cette conviction est largement supérieure au résultat trouvé en Burundi (55%) (Ndizeye Z. et al 2018).La réponse des participants reflète leur bonne connaissance et la volonté d'améliorer beaucoup plus leur connaissance et leur pratique sur la prévention du cancer du col utérin. Par contre l'attitude des participants divergeait sur les moyens de dépistage. Plus de la moitié proposait le frottis cervico-utérin et 23% pour l'inspection à l'acide acétique comme moyen de dépistage. Dans l'étude de Berraho M. et al (2013) 84,4% des médecins proposaient le frottis cervico-utérin à leurs patientes. Cette

différence peut être expliquée par l'absence de frottis cervico-utérin et la disponibilité de l'inspection visuelle au site d'étude. Les médecins ont répondu que l'un ne peut pas remplacer l'autre mais la méthode par inspection visuelle est une option à défaut du frottis cervico-utérin. Le test à l'HPV n'existait pas dans tout le pays au moment de l'étude.

La pratique de ces médecins sur la prévention du cancer du col utérin demeure insuffisante. La prescription de frottis cervico-utérin et du test à l'acide acétique par l'inspection visuelle était évaluée à 48,7% et 17,6%. Seuls 25,7% de ces médecins avaient déjà pratiqué l'inspection visuelle à l'acide acétique. Avant cette étude la réalisation de vaccin anti-HPV n'existait pas encore dans la région. La prescription médicale des moyens de dépistage du cancer du col utérin varie d'une étude à une autre. Au Bénin le frottis cervico-utérin était prescrit seulement par 14,3% (Obossou. A.A.A. et al 2021), contre 84,4% des médecins marocains au Fès (El Fakir S. et al 2013). Même si l'inspection visuelle à l'acide acétique est une méthode simple, moins coûteuse et recommandée par le ministère de la santé publique, la pratique reste insuffisante. Les médecins pourraient manquer de formation ou les femmes ne sont pas sensibilisées à faire ce dépistage. Le faible taux de participation des médecins au dépistage du cancer du col utérin dans notre étude témoigne l'absence de la politique nationale sur la prévention du cancer du col utérin dans le pays. La sensibilisation et le dépistage du cancer du col utérin ne sont pas encore figurés parmi les activités quotidiennes des médecins surtout ceux qui travaillent dans les centres de santé de base.

Conclusion

Cette enquête menée auprès des médecins dans une ville de la région Est de Madagascar a permis de trouver que les praticiens sont jeunes, relativement expérimentés, majoritairement exerçant dans les centres de santé publique. Ils avaient une connaissance suffisante sur les facteurs de risque et la prévention, mais insuffisante sur le dépistage du cancer du col utérin. Leur attitude était bonne pour la lutte contre l'HPV et la volonté à la formation sur la prévention de ce cancer. La pratique sur la sensibilisation et le dépistage étaient insuffisants. Cette étude montre la nécessité des formations continues et post universitaires sur la prévention du cancer du col utérin. La théorie reste une bonne connaissance pour les médecins si le plateau technique est défavorable. Ces résultats se limitent à la ville où l'étude a été réalisée, au plus peuvent être extrapolés dans la Région Est.

Conflit d'intérêt: Aucun conflit d'intérêt à déclarer.

References:

1. Aldrich T., Becker D., Garcia S.G., Lara D., (2004). Mexican physicians' knowledge and attitudes about the human papillomavirus and cervical cancer: a national survey. *Sexually Transmitted Infections*, 81(2), 135–141. doi: 10.1136/sti.2003.008557.
2. Almazroua S., Saddika B., Jradi H., (2020). Knowledge, attitudes, and practices of Saudi physicians regarding cervical cancer and the human papilloma virus vaccine. *Journal of Infection and Public Health* 13(4); 584–590. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.09.002>.
3. Austoker J., (1994). Cancer Prevention in Primary Care: Screening for cervical cancer. *British Medical Journal*, 309(6949), 241-248.
4. Bednarczyk R.A., Butsashvili M., Kamkamidze G., Kajaia M., Louise-Anne McNutt LA., (2013). Attitudes and knowledge of Georgian physicians regarding cervical cancer prevention, 2010. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 121(3), 224–228. doi:10.1016/j.ijgo.2013.01.016.
5. Berraho M., El Fakir S., Abda N., Mathoulin-Pelissier S., Nejari C., (2013). Connaissances et pratiques des médecins vis-à-vis du cancer du col de l'utérus et de l'infection HPV à Fès. *Santé Publique*, 25(3), 351- 357. doi 10.3917/spub.253.0351.
6. El Fakir S., Abda N., Najdi A., Bendahou K., Obtel M., Berraho M., Nejari C., (2013). Pratiques des médecins généralistes des centres de santé de la Préfecture de Fès vis-à-vis du dépistage du cancer. *Santé Publique*, 25(5), 685-691. doi 10.3917/spub.135.0685.
7. Madagascar- Global Cancer Observatory (2020). <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/450-madagascar-fact-sheets.pdf>. [Consulté le 17 mai 2021].
8. McCarey C, David P ,Pierre M, Michel B, Anderson S, Patrick P., (2011). Awareness of HPV and cervical cancer prevention among Cameroonian healthcare workers. *Biomedical Central Women's Health*, 11(45), 1-7.
9. Mutyaba T., Mmiro F.A., Weiderpass E. (2006). Knowledge, attitudes and practices on cervical cancer screening among the medical workers of Mulago Hospital, Uganda. *Biomédical Central Medical Education*, 6:13. doi:10.1186/1472-6920-6-13.
10. Nani S., Hassoune S., Benallal M., Kissi D., Maarouf A., (2018). Connaissances des médecins généralistes marocains de la province de Béni Mellal sur le cancer du col de l'utérus et son dépistage.

- EasternMediterraneanHealth Journal, 24(12), 1135–1145.
<https://doi.org/10.26719/2018.24.12.1135>.
11. Ndizeye Z., Broeck D.V., Vermandere H, Bogers J.P., Van Geertruyden J.P., (2018). Knowledge and practices of generalpractitioners at district hospitalstowards cervical cancer prevention in Burundi, 2015: a cross-sectionalstudy. *Globalization and Health* 14(4); 1-8. doi10.1186/s12992-018-0321-5
 12. Obossou. A.A.A., Aboubakar M., Ogoudjobi M., Atade S.R., Vodouhe M.V., Dagan N. HounkponouAhouingnan F.M.N., Salifou K. & Perrin R.X., (2021). Connaissances, Attitudes Et Pratiques En Matiere De Cancer Du Col De L’uterus (Ccu) Chez Les Professionnels De Sante A Parakou Au Benin En 2016. *European Scientific Journal*, 17(25), 290. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p290>.
 13. RAZAFY M.N., (2018). Connaissance-Attitude et Pratique du personnel de santé sur le cancer du col utérin dans la commune urbaine de Maroantsetra. Thèse malagasy en ligne, médecine humaine 128p. <http://biblio.univ-antananarivo.mg> [consulté le 07 mars 2022].
 14. Sung S., Ferlay J., Siegel R.L., Laversanne M., Soerjomataram I., DMV J. A., Bray F.(2021). Global Cancer Statistics2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 2021;0:1-41. doi: 10.3322/caac.21660.
 15. Swapnajaswanth M., Suman, G. ; Suryanarayana, S.P., Murthy N.S., (2014). Perception and practices on screening and vaccination for carcinomacervixamongfemalehealthcareprofessional in tertiary care hospitals in Bangalore, India. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15 (15), 6095-6098. <http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.15.6095>.
 16. Van Hal G., Matthyssen M., Thibaut A., Weyler J., (1999). Can Flemishwomen in semi-rural areas bemotivated to attend organizedbreast cancer screening?. *Revue D'epidemiologie et de Santé Publique*, 47(2), 119-127.



La Dynamique du Système Socio-écologique dans la Concession Forestière des Communautés Locales de la Rivière Mbali en République Démocratique du Congo: Implication pour la Conservation du Bonobo (*Pan Paniscus*)

Valentin Omasombo Wotoko

Doctorant en biologie de la conservation, Département de Biologie,
Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa XI,
Responsable de la conservation et de la foresterie communautaire, ONG
Mbou-Mon-Tour (MMT), République Démocratique du Congo

Jean Malekani

Professeur au Département de Biologie, Faculté des Sciences,
Université de Kinshasa, Kinshasa XI

Julien Punga

Professeur au Département de Biologie, Faculté des Sciences,
Université de Kinshasa, Kinshasa XI

Jean-Philippe Cherel

Ingénieur de recherche en traitement d'images/SIG, Département de
Géographie-Aménagement, Université Paul Valéry, Montpellier-France

Jean-Christophe Bokika

Président du Comité Exécutif de l'ONG Mbou-Mon-Tour (MMT),
République Démocratique du Congo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n6p456](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p456)

Submitted: 10 June 2022

Accepted: 27 February 2023

Published: 28 February 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Wotoko V.O., Malekani J., Punga J., Cherel J. & Bokika J. (2022). *La Dynamique du Système Socio-écologique dans la Concession Forestière des Communautés Locales de la Rivière Mbali en République Démocratique du Congo: Implication pour la Conservation du Bonobo (*Pan Paniscus*)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 456.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p456>

Résumé

Cette étude a porté sur l'analyse de la dynamique socio-écologique de la Concession Forestière des Communautés Locales de la Rivière Mbali et ses implications sur la conservation du bonobo. L'objectif est de dégager la

problématique générale de la conservation du bonobo à travers l'évaluation de la socio-démographie des ménages et l'examen des modes d'utilisation des terres et d'extraction des ressources. L'observation participative, les interviews sur questionnaire ouvert, des entretiens informels et les focus group ont été utilisés pour collecter les données. Les résultats de l'étude montrent que les communautés locales de la concession forestière sont intimement liées à la forêt qu'elles partagent avec le bonobo. Elles en extraient les ressources naturelles, tant pour l'autoconsommation que pour leur économie. Dans cette zone, la chasse aux bonobos est interdite par un tabou alimentaire. L'agriculture itinérante sur brûlis et la collecte des produits forestiers non ligneux sont les principales activités de subsistance et sources de revenus. Avec une population locale en augmentation (la taille de ménage est de l'ordre 7 personnes), toutes ces activités peuvent avoir un impact très négatif sur les populations de bonobos si elles ne sont pas menées d'une manière durable.

Mots-clés: Socio-ecological system, local community, forest concession, Conservation, Bonobo

The Dynamics of the Socio-ecological System of the Forest Concession of the Local Communities of the Mbali River: Implications for Bonobo (*Pan Paniscus*) Conservation

Valentin Omasombo Wotoko

Doctorant en biologie de la conservation, Département de Biologie,
Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa XI,
Responsable de la conservation et de la foresterie communautaire, ONG
Mbou-Mon-Tour (MMT), République Démocratique du Congo

Jean Malekani

Professeur au Département de Biologie, Faculté des Sciences,
Université de Kinshasa, Kinshasa XI

Julien Punga

Professeur au Département de Biologie, Faculté des Sciences,
Université de Kinshasa, Kinshasa XI

Jean-Philippe Cherel

Ingénieur de recherche en traitement d'images/SIG, Département de
Géographie-Aménagement, Université Paul Valéry, Montpellier-France

Jean-Christophe Bokika

Président du Comité Exécutif de l'ONG Mbou-Mon-Tour (MMT),
République Démocratique du Congo

Abstract

The disturbance of the environment is at the origin of the destruction of the habitats, it contributes to the loss of the biodiversity and is one of the causes of the change of the flora in a locality. It therefore leads to the transformation of plant associations. The main objective of this study is to research the plant associations in the Banco National Park following village plantations and silvicultural trials due to the search for a methodology specific to African silviculture. To do this, the phytosociological characterization of the former treatment sites and the forest reserve was carried out. The method used is that of synusial phytosociology. The 91 surveys (82 in the former silvicultural treatment sites and 9 in the forest reserve) made it possible to identify 337 species of plants divided into 65 families and 268 genera. The dendrogram resulting from the ascending hierarchical classification of the readings revealed three syntaxa, two of which essentially consist of the readings of the old treatment sites and one of the readings of the forest reserve. No syntaxon contains all the characteristic species of the *Turraeantho-Heisterietum* association. However, in two syntaxa, the proportion of characteristic species of this association is greater than 50%. 70.59% in the

syntaxon to *Tarrietia utilis* and *Cola heterophylla* (syntaxon from secondary forests), 52.94% in the syntaxon to *Cola chlamydantha* and *Drypetes chevalieri* (syntaxon from the forest reserve). While in the *Dacryodes klaineana* and *Pleiocarpa mutica* syntaxon (secondary forest syntaxon), 41% of these characteristic species were recorded. Species characteristic of other forest formations are also poorly represented in the syntaxa (less than 40%). It therefore emerges from this study that Banco National Park remains a forest with *Turraeanthus africanus* and *Heisteria parvifolia*.

Keywords: Socio-ecological system, local community, forest concession, Conservation, Bonobo

1. Introduction

Les systèmes socio-écologiques sont des systèmes cohérents d'écosystèmes et de communautés humaines interdépendants et en interaction réciproque (Walker et al, 2004). Ils sont tributaires d'un environnement économique, écologique et social caractérisé à la fois par des évolutions permanentes et par de profondes incertitudes (Bousset, 2012). Le concept de système socio-écologique a été créé pour traduire le fait que les interactions sociales et écologiques sont liées et qu'il est donc nécessaire de les aborder en même temps pour comprendre et éventuellement gérer le système qu'elles forment (Costanza et al, 1993).

La conversion des milieux naturels qui peut avoir des effets négatifs comme positifs sur la continuité de la présence de la faune locale est au centre des défis de la conservation de la biodiversité. Les traits spécifiques à chaque espèce tels que l'abondance, la mobilité et les niches alimentaires sont importants pour déterminer les réactions de cette espèce à toute perturbation externe (Ellis et Ramankutty, 2008). Alors que depuis des centaines de milliers d'années, les humains et les autres primates se partagent des habitats répartis aujourd'hui entre dans 90 pays d'Amérique, d'Afrique et d'Asie (Hill, 2002), il a été évalué en 2017 que plus de la moitié des espèces de primates sont aujourd'hui menacées par les activités anthropiques (Estrada et al, 2017). La demande toujours plus importante par l'homme moderne de ressources naturelles a transformé une grande partie des derniers habitats des grands singes en « biomes anthropogéniques » (UICN, 2019). Sur le continent africain, alors que la superficie forestière a encore diminué de 9% entre 1990 et 2005 en raison des activités anthropiques (FAO, 2007), 175 espèces de primates sont encore recensées (Grubb, 2003). Parmi toutes ces espèces se distinguent deux genres de grands singes emblématiques du continent : le genre *Pan*, qui comprend le chimpanzé commun (*P. troglodytes*) et le bonobo (*P. paniscus*) et *Gorilla*, qui comprend le gorille oriental (*G. beringei*) et occidental (*G. gorilla*). Ces quatre espèces sont particulièrement vulnérables

en raison de leur faible taux de reproduction, de leur grande taille, de leur caractère social, de leur sensibilité aux maladies transmises par les humains et de l'intérêt qu'elles suscitent pour la chasse (Miles et al, 2009). De fait, sur la liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), le bonobo et le chimpanzé sont classés « En danger d'extinction » et les gorilles occidentaux et orientaux « En danger critique d'extinction » (Humle et al, 2016 ; Fruth et al, 2016 ; Maisels et al, 2018 ; Plumptre et al, 2019). Il devient donc plus qu'urgent, pour la survie future des grands singes africains, de développer des méthodes de gestion de conservation qui concilient la conservation des primates et l'intérêt des communautés locales (Andrade et Rhodes, 2012). D'après ces auteurs (Humle et al, 2016 ; Fruth et al, 2016 ; Maisels et al, 2018 ; Plumptre et al, 2019), le meilleur moyen pour rallier les populations locales aux stratégies de conservation est d'inclure ces populations locales dans les prises de décisions et dans la gestion de programme de conservation.

La République Démocratique du Congo (RDC) possède une diversité biologique exceptionnelle qui fait d'elle l'un des 18 pays de méga diversité à l'échelle mondiale (Mittermeier et al, 2007 ; Doumenge et al, 2015). De nombreuses aires de protection (parcs et réserves naturelles) y ont été créées au fil des années afin de préserver un aussi riche patrimoine naturel (figure 1)

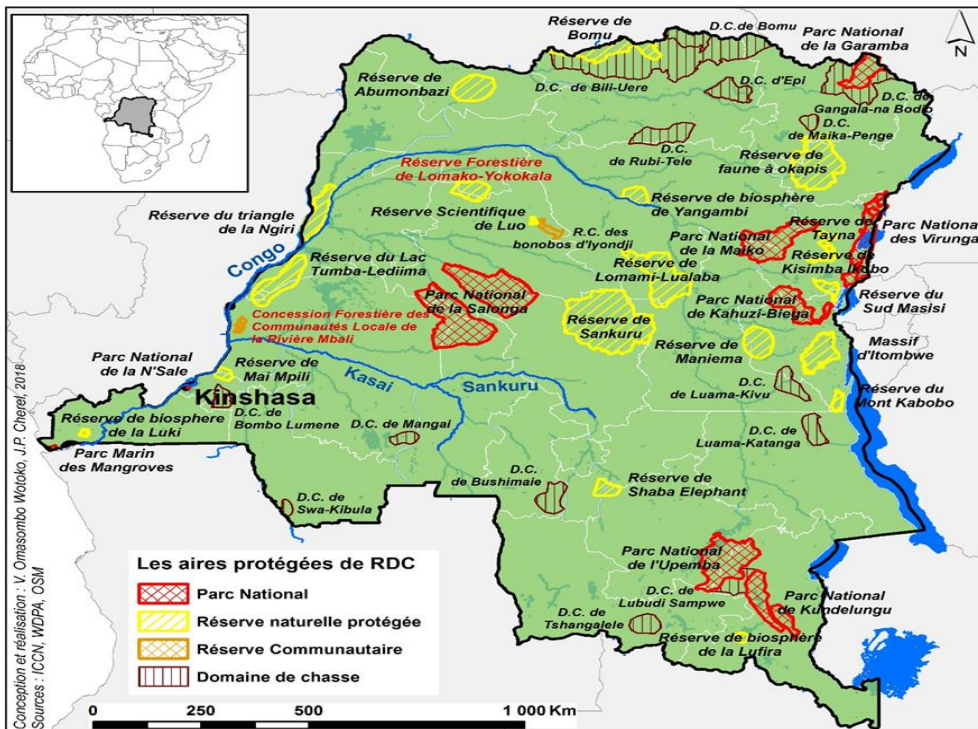


Figure 1. Les aires protégées de la RDC (Source : ICCN, WDPA, OSM, 2015)

Le pays abrite notamment 3 des 4 espèces de grands singes précédemment citées : le chimpanzé commun, le bonobo et le gorille de l'Est (MEDD, 2016), le bonobo étant même endémique de la seule République Démocratique Congo (RDC pour la suite) puisqu'on ne le retrouve que dans des écosystèmes de forêt-savane situés entre le fleuve Congo au nord et les rivières Kasai et Sankuru au sud. Pour favoriser la sauvegarde de cette espèce en danger d'extinction, plusieurs aires protégées ont vu le jour, dont notamment le parc national de Salonga (36 000 km²) et la réserve naturelle de Sankuru. (30 570 km²) sont au premier rang au regard de leurs superficies.

Le territoire de Bolobo en Province de Mai-Ndombe est situé à environ 300Km au nord de Kinshasa la capitale de la République Démocratique du Congo (RDC) à la frontière avec le Congo-Brazzaville (MMT, 2015). Les écosystèmes de cette zone sont du type mosaïque forêt-savane (Inogwabini et al, 2013). Ce territoire est riche en biodiversité et abrite d'importantes populations du Bonobo (Inogwabini et al, 2013). Le Bonobo (*Pan paniscus*) est un grand singe endémique de la République Démocratique du Congo inscrit sur la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN/SSN comme une espèce en danger (UICN et ICCN, 2012). Il est totalement protégé par les lois congolaises et bénéficie d'une protection locale dans le territoire de Bolobo grâce à une loi coutumière qui leur assure une protection vis à vis des populations autochtones Téké. Par contre, ces bonobos sont actuellement menacés à la suite de l'arrivée des sociétés d'élevage et d'exploitation forestière comme SAF-BOIS (Omasombo et al, 2022a).

Les populations de bonobos de cette zone sont principalement menacées par la déforestation et la dégradation de leurs habitats, par la chasse, ainsi que par les épidémies qui les déciment parfois (UICN et ICCN, 2012). La croissance démographique, la pauvreté et l'instabilité politique de la RDC ne pouvant qu'accentuer ces menaces. Toutefois, cette espèce a pu se maintenir jusqu'ici dans un écosystème de mosaïque forêt-savane du groupement Mbee-Nkuru de la chefferie-secteur des Batékés-nord grâce à un tabou alimentaire qui lui assure une protection vis à vis des populations autochtones Tékés-nord (Omasombo et al, 2022b). Dans ce groupement le bonobo est en effet considéré dans la région comme un proche parent, un humain qui aurait fui en forêt il y a longtemps pour échapper à ses créanciers, la loi coutumière faisant d'un débiteur insolvable l'esclave de son créancier. Sa consommation est donc un tabou alimentaire chez les Batékés car il ne saurait être question de manger la chair d'un parent.

A la recherche d'initiatives basées sur la nature pour assurer la sécurisation foncière de leurs terroirs forestiers et lutter à la fois contre la pauvreté et la perte de la biodiversité, les communautés locales du groupement Mbee-Nkuru étaient conscientes de l'intérêt de préserver formellement leur patrimoine naturel et culturel représenté par le bonobo. Elles ont, à cet effet

décidé d'agir et se sont mobilisées pour valoriser la présence des bonobos sur leur territoire comme un moteur de développement socio-économique local à travers le développement de l'écotourisme. Ainsi, en se basant sur l'article 22 du code forestier, ces communautés locales ont demandé et obtenu de l'État congolais la création d'une Concession Forestière des Communautés Locales dénommée: « Concession Forestière des Communautés locales de la Rivière Mbali » (en sigle la CFCL-RM). Il est à signaler ici qu'il s'agissait des premières forêts communautaires de RDC concernant un projet de conservation communautaire de la biodiversité et non d'exploitation artisanale du bois, comme cela est souvent le cas pour la création des forêts communautaires. La concession Forestières des Communautés Locales de la rivière Mbali (CFCL-RM) est une aire de conservation communautaire de dimension beaucoup plus modeste (500 km²) située dans le territoire de Bolobo (d'où dérive le mot bonobo) à environ 300 km au nord de la capitale Kinshasa dans la province de Mai-Ndombe. Elle constitue néanmoins une initiative très intéressante de développement durable et inclusif construit autour de la sauvegarde des bonobos en s'appuyant notamment sur la richesse écologique et touristique que constitue les populations de bonobos qui y subsistent et qu'il s'agit dès lors de préserver.

La promotion d'un développement local porté par la conservation et la valorisation (notamment par l'écotourisme) de la présence des bonobos semble donc ici constituer un véritable objectif permettant tout à la fois de lutter contre la pauvreté et la perte de la biodiversité. Dans ce contexte, la définition d'une stratégie de développement durable du terroir et le choix des actions à mener pour susciter l'intérêt et l'adhésion de la population locale, comme celle du gouvernement, au-delà des coutumes et des lois existantes, semblent être la seule voie rationnelle pour une conservation réussie. Le développement d'un plan de conservation des populations de bonobos qui soit écologiquement durable, économiquement viable et sociologiquement acceptable ne peut cependant être conçu sans analyse du système socio-écologique dans lequel le bonobo se trouve partie prenante. Et pourtant dans la CFCL, la méconnaissance de l'importance en termes de la dynamique socio-écologique de la zone pourrait constituer un obstacle majeur pour le développement et à la mise en œuvre de la stratégie de conservation efficace de cette espèce dans ce socio écosystème. A cet effet, nous supposons que la compréhension claire de la dynamique du système socio écologique du milieu permettrait de formuler des règles et mesures collectives de gestion de la CFCL-RM.

Cette étude vise ici à analyser la situation sociodémographique de la population des communautés villageoises et les différents modes d'utilisation des terres et d'extraction des ressources dans la CFCL-RM. Ceci, afin d'évaluer leurs impacts sur la conservation du bonobo. Les résultats obtenus

permettront de constituer une base de données pour une gestion durable de cette espèce dans cette aire de conservation communautaire. A noter bien évidemment que la prise en compte de la dynamique de la population de bonobo est également primordiale, la méconnaissance des paramètres tels que la densité, l'abondance et la distribution des bonobos pouvant constituer un obstacle majeur pour le développement et à la mise en œuvre de cette stratégie de conservation. C'est pourquoi un suivi de ces populations est mené en parallèle pour nous permettre de comprendre toutes les dimensions de ce projet de développement et de conservation.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

Cette étude a été réalisée dans la Concession Forestière des Communautés Locales de la Rivière Mbali (CFCL-RM). La CFCL-RM est une aire de conservation communautaire d'une superficie de 500 km² située entre les latitudes -2,46506 et -2,33667 et les longitudes 16,28110 et 16,27334, dans le Groupement Mbe-Nkuru, chefferie des Batéké Nord, territoire de Bolobo, province de Mai-Ndombe en République Démocratique du Congo. Elle regroupe les terroirs des communautés des villages de Bodzuna, Embirima, Mbee, Mpelu, Makaa et Nkala (figure 2). Du point de vue écologique, la CFCL-RM recouvre une mosaïque de forêt-savane (40 % de savane herbacé-arbustive et 60 % de forêt tropicale humide comprenant des forêts inondables et de terre ferme) et est riche en biodiversité. Elle abrite une importante population des bonobos estimée à 1, 51 individus/km², soit environ 755 individus dans l'ensemble de la CFCL-RM (Omasombo et al, 2022). A l'exception des ressortissants des autres provinces qui sont venus s'installer dans la zone à travers des sociétés d'exploitation forestière et la Société des Grands Élevages Ndama en Afrique Centrale (SOGENAC) la principale tribu qui habite la CFCL-RM est la tribu Téké (Papy, 1999). Dans l'ensemble, environ 5000 personnes regroupées dans 697 ménages vivent et dépendent directement des ressources naturelles de la CFCL-RM (cfr Zone de Santé de Bolobo).

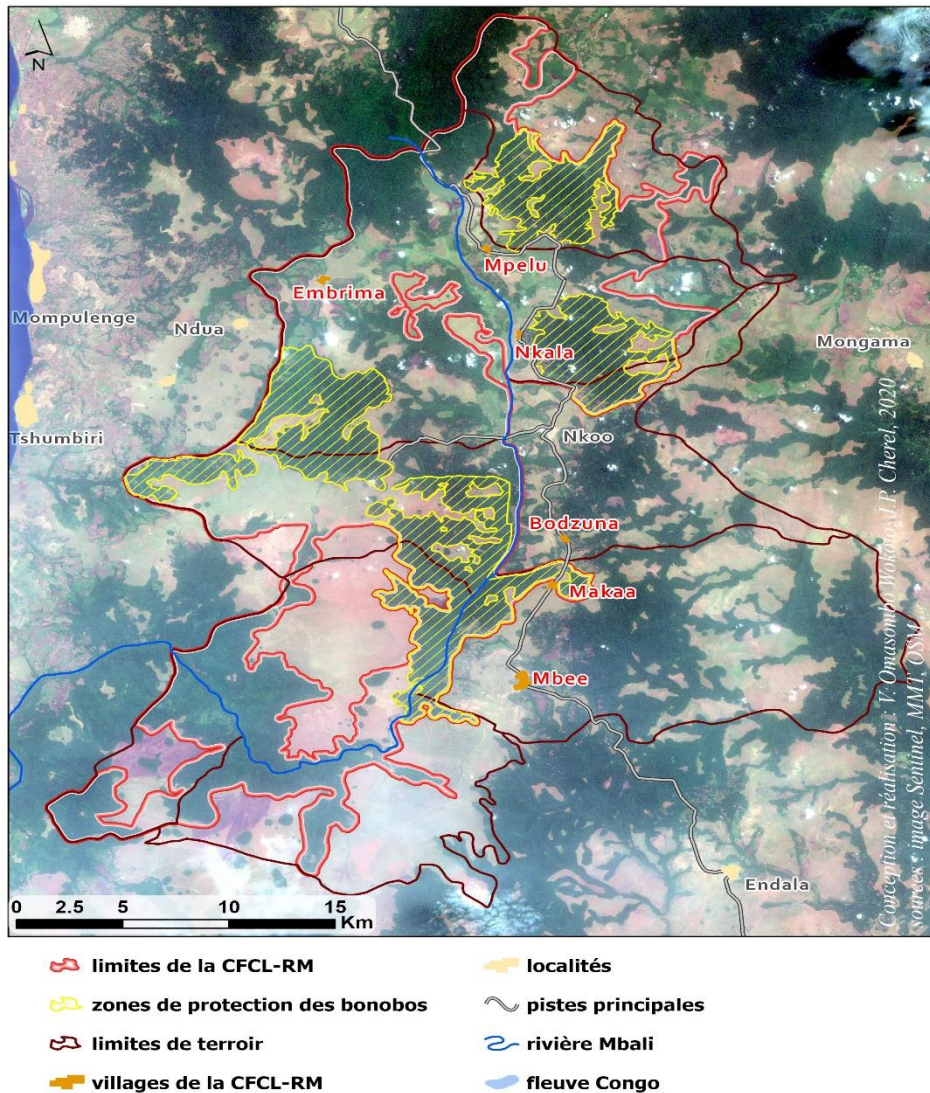


Figure n°2. Environnement et extension de la CFCL-RM

2.2. Collecte de données

L'approche de l'ethnoécologie qui s'intéresse à l'analyse holistique des sociétés (Anadón, 2006) a servi à analyser la dynamique du système socio-écologique dans la CFCL-RM pour appréhender le lien entre conservation du bonobo, population présente sur le territoire et développement local. Une enquête par questionnaire conçue pour évaluer les activités socioéconomiques et les moyens de subsistance des ménages a été menée dans les 6 villages de la CFCL-RM. Un total de 25 questions axées sur la démographie des villages, les modes d'utilisation des terres et d'extraction des ressources étaient été utilisées dans le but de dégager les enjeux, les contraintes et les opportunités

à prendre en compte dans la dynamique de la conservation des bonobos. Des entretiens ont été menés avec des chefs de ménage (homme ou femme), même si d'autres membres du ménage pouvaient contribuer aux réponses lorsqu'ils étaient présents. Avant chaque entretien, afin d'obtenir le Consentement Libre, Informé et Préalable (CLIP) qui était requis, l'équipe de recherche avait pris soin d'expliquer au répondant l'importance de l'étude, que l'entretien était nominal, que les réponses seraient examinées de manière strictement confidentielle et qu'elles ne seraient exploitées qu'à des fins scientifiques. Chaque répondant était aussi informé que le questionnaire serait soumis en langue locale « Kiteké » et que le choix du lieu et de l'heure de l'entretien lui revenait. Le questionnaire a donc été administré à un échantillon de chefs de ménages, du 7 juin au 11 Août 2015, la durée moyenne de chaque entretien étant de 45 minutes. Chaque répondant a eu la possibilité de donner plus d'une réponse à chacune de question et il pouvait être complété par les membres de sa famille.

Selon le registre de recensement de la zone de santé de Tshumbiri de 2014 (cfr. zone de santé de Bolobo), les villages qui ont cédé leurs terroirs pour la création de CFCL-RM comptent 697 ménages, un ménage étant défini comme «un groupe de personnes vivant dans une seule maison, ou plusieurs maisons sur une même parcelle, et ayant en commun les mêmes provisions alimentaires et autres modes de vie » (Kideghesho et al, 2007). L'unité de référence dans l'étude étant le village et l'unité d'échantillonnage, le ménage, en s'inspirant du modèle de FAO (1992), l'enquête a porté sur un échantillon de 120 ménages parmi les 697 décomptés. Un échantillonnage aléatoire simple consistant à choisir les ménages au hasard a été utilisé.

Quelques techniques de collecte des données qualitatives, dont le groupe de discussion et les observations participatives, ont également été utilisées pour compléter les données recueillies. Six groupes de discussion, un par village regroupant les différentes catégories socioprofessionnelles ont ainsi été interviewés, dont les agriculteurs, les éleveurs, les artisans, les leaders locaux et religieux, les agents de développement, les enseignants, les représentantes de groupements féminins, etc. Ces groupes de discussion ont permis d'obtenir des informations supplémentaires par des recoupements avec les informations issues de l'enquête par questionnaire (Geoffrion, 2009).

2.3. Traitement des données

Les informations obtenues à partir du questionnaire d'enquête ont été compilées sous forme d'un fichier Excel afin d'être analysées à l'aide du logiciel « Statistiques Pour les Sciences Sociales » (SPSS, version 20). A partir des données quantitatives, les statistiques descriptives obtenues ont été utilisées pour générer les moyennes, les médianes et les modes nécessaires à des fins de comparaison. Le test du Chi-carré a été utilisé pour la

compréhension de la significativité des résultats de recherche, le degré de significativité étant établi pour $P < 0.05$. Les données qualitatives ont fait pour leur part l'objet d'une analyse de contenu thématique en se référant aux écrits de Paillé et Mucchielli (2003). La thématisation continue qui permet de disposer de l'ensemble des informations recueillies en thèmes centraux, en sous-thèmes et en verbatims a été adoptée.

La quantité d'informations recueillies a permis un bon degré de triangulation, un moyen de garantir des résultats aussi exacts que possible en vérifiant les informations par recoupement avec différents outils de collecte de données (FAO, 2002). La pertinence de cette approche réside dans le fait qu'elle privilégie la perception que les individus ont de leurs ressources, mais qu'elle accorde aussi une place importante au chercheur au moment de l'analyse des données (Poisson, 1990).

3. Résultats

3.1. Caractéristiques sociodémographiques des répondants

Les caractéristiques des composantes sociodémographiques de tous les répondants des 6 communautés locales sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des composantes sociodémographiques des répondants

Socio-démographie et profil des ménages	Modalités	valeurs	
		N	%
Genre	Féminin	41	35
	Masculin	79	65
Âge	21-30	23	19
	31-40	27	23
	41-50	23	19
	51-Plus	47	39
Statut marital	Marié	95	79
	Célibataire	8	7
	Divorcé	2	2
	Veuf	15	12
Nombre d'enfants	0-2	29	24
	3-5	41	34
	6-8	34	28
	9-11	15	13
	12-Plus	1	1
Niveau d'éducation	Primaire	93	77
	Secondaire +Bac	27	23
Statut au village	Autochtone	88	73
	Allochtone	32	27
Durée dans le village (année)	1-10	2	2
	11-20	15	12
	21-30	23	19

	31-40	24	20
	41-50	18	15
	51-Plus	38	32

N = fréquence absolue et % = pourcentage

Cent-vingt répondants répartis dans les 6 villages de la CFCL-RM ont été donc interviewés en raison de 20 personnes par village. Il ressort d'une première analyse que :

les femmes représentent 35% des chefs de ménage répondant au questionnaire,

plus de 3/4 des répondants interrogés (77%) ont reçu une éducation formelle, correspondant pour la plupart à un niveau primaire et que plus de 3/4 (79%) sont mariés,

environ 1/4 de la population de la CFCL-RM (26,7%) est constituée d'allochtones, le tiers des personnes interrogées (42%) ayant passé plus de 50 ans dans la zone.

La moyenne, la médiane, le maxima et le minima des variables âge, nombre des personnes par ménage, nombre d'enfants par ménage et durée dans le village des répondants sont décrits dans le tableau 2.

Tableau 2. Statistiques descriptives des répondants

Variables	Moyenne	Médiane	Minima	Maxima
Age des répondants (année)	46,67	43	25	87
Nombre d'enfants par ménage	4,83	5	0	12
Nombre de personnes par ménage	7	5	1	16
Durée dans le village (année)	50,42	49	6	87

Ce tableau montre que l'âge moyen de personnes interviewées est 46,67 ans (médiane = 43 ans, minima = 25 ans et maxima = 87 ans) ; le nombre moyen d'enfants par ménage est de 4,83 (médiane = 5, minima = 0 et maxima = 12), le nombre moyen de personnes par ménage étant typiquement de 7 personnes dans la CFCL-RM (5 enfants, plus le père et la mère) et la durée moyenne des interviewés dans les villages est 50,42 (médiane = 49, minima = 6 et maxima = 87)

3.2. Les modes d'utilisation des terres

L'agriculture, la chasse, l'élevage, la pêche et la collecte des produits forestiers non ligneux (PFNL) constituent les différents modes d'utilisation des terres (tableau 3)

\

Tableau 3. Répartition des ménages (répondants) en fonction des modes d'utilisation des terres

Modes d'utilisation des terres	Effectif des ménages	
	N	%
Agriculture	120	100
PFNL	87	72,5
Chasse	60	50
Elevage	54	45
Pêche	44	36,5

De ce tableau, il ressort que l'agriculture et la collecte des PFNL sont les principaux modes d'exploitation des ressources naturelles dans la CFCL-RM. Ces deux activités occupent à plein temps plus de 85% de la population, ceci pouvant constituer un élément explicatif de l'attachement de la population locale à son terroir.

Le tableau 4 indique les différents modes d'utilisation des terroirs, les modes d'extraction des ressources, les principales ressources cultivées ou extraites et leurs importances dans les ménages.

Tableau 4 : Modes d'utilisation des terroirs et d'extraction des ressources, principales ressources cultivées ou extraites et importances relatives pour les ménages

Mode d'utilisation des terroirs par ordre d'importance	Modes de culture ou d'extraction des ressources par ordre d'importance	Principales ressources cultivées ou extraites par ordre d'importance	Pourcentage des ressources cultivées ou extraites pour l'autoconsommation	Pourcentage des ressources cultivées pour la vente
Agriculture	Culture sur brûlis	Manioc, banane, maïs, arachide et riz	65%	35%
Collecte des PFNL	Ramassage, abattage d'arbres, escalade des arbres	Bois de chauffe, fruit, champignon, chenille et miel	50,83%	49,17%
Élevage	Divagation	Poule, chèvre, canard, vache, porc et mouton	29%	71%
Pêche	Écopage, pêche à ligne, à l'hameçon, barrage, pêche à filet et intoxication des rivières	Clarias, tilapia et autres petits poissons d'eau douce	94%	6%
Chasse	Câble métallique, fil nylon, filet traditionnel, arme à feu et flèche empoisonnée	Antilope, sanglier, petit singe, buffle, bonobo et autres	80%	20%

3.2.1. L'agriculture sur brûlis

La culture itinérante sur brûlis est la principale caractéristique du système de culture pratiqué dans la CFCL-RM. C'est un système traditionnel qui consiste en l'établissement des cultures sur les surfaces après abattage et incendie de la couverture végétale puis abandon des parcelles après épuisement de la fertilité naturelle. Après trois années de culture, les conditions normales de jachère supposent que la terre soit laissée au repos pendant entre 5 à 8 ans. La photo 1 illustre la pratique de l'agriculture sur itinérante sur brûlis.



Photo 1. Agriculture itinérante sur brûlis comme mode d'utilisation de la terre

Les systèmes de culture sont caractérisés par des techniques culturales manuelles, une gamme très variée de plantes cultivées et une succession de cultures basée sur un calendrier bimodal. Les espaces de culture se retrouvent dans tous les différents types d'habitats à l'exception des forêts périodiquement inondées et des forêts à Uapaca. Les principales cultures pratiquées ici sont l'arachide, la banane plantain, le maïs et le manioc. Ces cultures sont utilisées pour l'autoconsommation (50,83%) et la vente (49,17%). La vente de ces produits sert entre autres à payer les frais de scolarité des enfants, les produits manufacturés et les soins médicaux.

3.2.2. La chasse

La chasse est pratiquée par moins de 50% des ménages enquêtés (41%, N=32). Différentes techniques sont utilisées pour chasser : les armes à feu, les pièges à câble métallique ou en nylon et le tir à l'arc avec des flèches empoisonnées ou non. Les principales espèces ou les principaux groupes d'espèces chassées sont : le buffle, le sanglier, les petits singes, les antilopes et d'autres petits mammifères et les reptiles. Toutefois, les résultats de

l'enquête ont révélé que quelques individus (1% de la population allochtone) chassent le bonobo. Ces incriminées le font en utilisant des flèches empoisonnées (pas de bruit) de peur d'être détectés et d'être ensuite traduits en justice par la population autochtone qui protège cette espèce par une loi coutumière. Selon les répondants, 80% des produits de la chasse sont destinés à l'autoconsommation.

3.2.3. L'élevage

L'élevage est pratiqué par plus de la moitié des ménages (61%, N= 72). Les principales espèces élevées sont les poules, les chèvres, les canards, les vaches, les porcs et les moutons. La population autochtone pratique l'élevage pour l'autoconsommation (76%, N= 91), le reste (24%, N= 29) étant destiné aux échanges. De même, 57% de la population allochtone pratique l'élevage pour les mêmes objectifs mais avec des proportions différentes (38% pour autoconsommation et 62% pour le commerce).

3.2.4. La pêche

La pêche est pratiquée sous toutes ses formes : écopage, pêche à ligne, à l'hameçon, au filet, rivières barrées ou empoisonnées. Elle est moins pratiquée dans la CFCL-RM et presque exclusivement pour l'autoconsommation.

3.2.5. La collectes des produits forestiers non ligneux et les autres activités

La collecte des produits forestiers non ligneux (PFNL) s'étend sur toutes les périodes de l'année et elle est exercée par toutes les catégories de la population (autochtone et allochtone). En dehors du bois de chauffe et des différents produits utilisés pour les soins de santé traditionnels, les champignons, les chenilles, les fruits et le miel sont utilisés par 100% de la population, tant pour l'autoconsommation que pour le commerce. Le ramassage, l'abattage d'arbres et l'escalade sur les arbres sont les principales techniques utilisées pour la collecte des fruits, des chenilles et du miel. L'approvisionnement en bois de chauffe par les ménages est illustré dans la photo 2.



Photo 2. La provision en bois de chauffe d'un ménage du village de Nkala

3.3. Relation cause-effet entre les variables sociodémographiques et les modes d'utilisation des terres et des ressources sur la conservation du Bonobo

Les différents variables socioéconomiques et les modes d'utilisation des terres et de la biodiversité et de ses produits ont ou pas des impacts sur la conservation de bonobo. Le test statistique de Chi-carré indique que les variables genre ($\chi^2 = 3.95$; $p < 0.10$); âge ($\chi^2 = 4.62$; $p < 0.05$); statut dans le village ($\chi^2 = 11.45$; $p < 0.05$); et nombre d'enfants ($\chi^2 = 9.42$; $p < 0.05$) ont statiquement un impact négatif sur la conservation de bonobo. Tandis que les variables statut marital ($\chi^2 = 9.24$; $p > 0.10$); niveau d'éducation ($\chi^2 = 3.98$; $p > 0.10$); et durée dans le village ($\chi^2 = 9.22$; $p > 0.10$) n'ont pas un impact significatif sur la conservation de bonobo. Autrement dit, les variables genre, âge, statut dans le village et nombre d'enfants entraînent une utilisation accrue de la biodiversité et de ses produits avec comme conséquence une influence négative sur la conservation de bonobo contrairement aux variables durée dans le village, statut marital et niveau d'éducation (tableau 5).

Tableau 5. Relation entre l'impact des différents variables sur la conservation de bonobo

Socio-démographie et profil des ménages	Modalités	Impact négatif	Pas d'impact	Chi-carré	Degré de liberté	P-value
Genre	Féminin	12	29	4,148*	1	0,035
	Masculin	49	30			
Âge	21-30	15	8	3,976*	3	0,086
	31-40	16	11			
	41-50	14	9			
	51-Plus	18	29			
Statut marital	Marié	48	47	0.49ns	3	0.698
	Célibataire	4	3			
	Divorcé	0	2			
	Veuf	7	8			
Nombre d'enfants	0-2	13	16	8.92*	4	0.051
	3-5	22	17			
	6-8	19	14			
	9-11	13	87			
	12-Plus	1	0			
Niveau d'éducation	Primaire	54	39	3.98ns	1	0.409
	Secondaire +Bac	16	11			
Statut au village	Autochtone	31	57	11.45*	1	0,0512
	Allochtone	14	18			
Durée dans le village (année)	1-10	2	0	9.22 ns	1	0.961
	11-20	8	7			
	21-30	11	12			
	31-40	12	12			
	41-50	7	11			
	51-Plus	16	22			

*Significatif à 5% de probabilité; ns = non significatif.

4. Discussions

Influences de la socio-démographie et profils des ménages sur la conservation du bonobo

Dans ces milieux marqués par la pauvreté des populations et où s'affrontent une biodiversité à préserver et des activités anthropiques consommatrices d'espace et d'espèces, la sensibilité à la sauvegarde de la faune et de la flore dépend d'un large éventail de variables sociodémographiques et de leurs importances. La taille des ménages, l'âge, le sexe, le statut d'origine (natif, immigré) et le niveau d'éducation (primaire ou post primaire) ont une grande influence sur la prise en compte de l'intérêt que peut représenter la sauvegarde d'une ressource, d'un animal, ici les bonobos, comme cela a été décrit dans le cas des gorilles (Ndeloh et al., 2013).

La taille des ménages est en moyenne de 7 personnes dans la CFCL-RM. Cette donnée a un effet négatif sur la conservation des bonobos car les grandes familles sont très dépendantes des ressources forestières, tant pour la satisfaction de leurs besoins de base que pour leurs économies. Ces familles nombreuses ont besoin de cultiver de grandes parcelles et de collecter plus de produits forestiers non ligneux, ce qui les conduit à participer davantage à la destruction ou à la dégradation de l'habitat, plutôt qu'à la chasse, pour assurer leur subsistance. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Hedge et Enters (2000) et Nepal et Weber (1995). Ainsi, pour maintenir la présence du bonobo dans son milieu naturel, il est important de limiter ou de réduire la dépendance des populations locales aux ressources forestières. Cela peut être réalisé en offrant des incitations acceptables et/ou des moyens de subsistance alternatifs (Balint, 2006) telles que le développement de l'agro écologie et l'agroforesterie, l'introduction en savane des cultures vivrières et maraichères prisées dans les villes et cités environnantes, le développement de l'élevage et de la pisciculture ainsi que de l'apiculture et en encourageant la participation communautaire à la conservation (Illukpitiya et Yanagida, 2010 ; Brown et al, 2008). Bien que les réussites de ces approches soient rares, la promotion de moyens de subsistance alternatifs peut être très efficace pour réduire la dépendance forestière, particulièrement dans les zones où la conversion d'habitat n'est pas la principale forme de perturbation (DeFries et al, 2007). Dans cette optique, il est important d'étudier la possibilité d'emplois basés sur la forêt, tels que l'apiculture qui a été développée et promue largement comme alternative à la chasse et à la collecte de PFNL au Cameroun (Ndeloh et al., 2013) et l'élevage de sangliers à la ferme qui peut être utile, tant pour l'autoconsommation que pour le commerce de la viande de brousse, surtout dans l'écosystème de mosaïque forêt-savane de la CFCL-RM. Il y a donc une urgence à mettre en place des mesures ciblées pour s'assurer tout à la fois de la sauvegarde des bonobos et de la réduction de la pauvreté des populations locales.

La variable âge a montré un effet négatif sur la conservation des bonobos chez la tranche d'âge 21 à 50 ans. Cette couche de la population active, par manque d'opportunités économiques et d'alternatives à l'utilisation des ressources forestières se rabat sur les ressources forestières en détruisant de grandes étendues de forêts pour l'agriculture commerciale et en pratiquant la chasse commerciale et illégale pour subvenir à ses besoins de base. Même protégés, les bonobos sont parfois la cible de cette chasse interdite. Cette même observation a été faite par Andre et Platteau (1998) qui ont noté qu'au Rwanda, les jeunes ménages sont souvent dans une pauvreté absolue en raison d'un nombre limité d'opportunités d'activités économiques. La population plus âgée (plus de 50 ans) manifeste par contre une plus grande sensibilité à l'utilisation durable des ressources naturelles et à la protection des bonobos car elle reste attachée aux coutumes et aux traditions qui jouent de fait un grand rôle dans la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité.

Le niveau d'éducation semble bien confirmer son influence sur la prise de conscience de la nécessité de protéger les bonobos. Il ressort en effet des résultats des enquêtes que la population jeune, entre 20 et 50 ans, ayant atteint ou non le niveau d'étude primaire, ne perçoit pas vraiment l'importance de la conservation des bonobos et de la biodiversité. Elle est surtout préoccupée par une envie de vivre la « modernité » tout en étant dépourvue de perspectives par manque d'emplois qualifiés ou d'emploi ouvrier dû à un déficit d'investissement dans leurs territoires. A contrario, les jeunes possédant un niveau d'éducation égal ou supérieur au grade de baccalauréat manifestent une attitude positive en faveur de la conservation du bonobo. De fait, comme le rapportent Mehta and Heinen (2001), ce sont bien les personnes les moins éduquées, comme les personnes les plus âgées quand elles ne sont pas attachées aux coutumes et aux traditions, qui manifestent un désintérêt pour la conservation car le niveau d'acceptation d'une aire protégée est corrélé proportionnellement au niveau d'éducation. Cette étude a aussi révélé que si les femmes jouent un rôle majeur dans l'utilisation des ressources du milieu naturel leur impact est moins négatif que celui des hommes dont les activités plus destructrices (abattage des arbres, chasse, pêche, ...) impactent beaucoup plus les milieux.

Le fait d'être autochtone ou allochtone à la région a également une grande influence sur l'utilisation des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité. Il a été ainsi constaté que ce sont les populations autochtones qui exercent le plus la chasse et les autres activités commerciales au détriment de la biodiversité et des bonobos. Dans la CFCL-RM, où les bonobos sont protégés par les lois (coutumière et moderne), une seule personne de la population autochtone interrogée (1,1 %) chasse les bonobos alors que 6,3% de la population allochtone avoue les chasser dans cette même zone.

Les tabous ont encore de fait une grande influence sur la préservation des espèces (Infeld, 2001 ; Marcus, 2001). Certaines espèces de primates et leurs habitats sauvages sont ainsi protégés par les communautés locales qui les considèrent comme faisant partie intégrante d'un même système socio-écologique (Straede et Helles, 2000). Le colobe noir et blanc (*Colobus polykomos*) et le singe monacal (*Cercopithecus campbelli*) sont par exemple protégés par les communautés locales des groupes ethniques Boabeng et Fiema au Ghana par obéissance aux tabous traditionnels (Fargey, 1992). Le babouin (*Papio spp*), le singe patas (*Erythrocebus patas*), le chimpanzé (*Pan troglodytes*) et le gorille de la rivière Cross (*Gorilla gorilla diehli*) sont eux aussi localement protégés par des tabous traditionnels (Osemeobo, 1994). Dans la CFCL-RM, les populations des bonobos sont a priori protégés, comme indiqué ci par un tabou alimentaire des batékés, selon lequel le bonobo est un parent ayant fui dans la forêt.

Les personnes allochtones ne sont pas sensibles aux interdits locaux, à ces tabous. Venues souvent s'installer dans une région étrangère, elles ne voient dans le milieu naturel local et la biodiversité qu'une assurance-vie et une matière première offrant des opportunités alimentaires, économiques et commerciales. L'installation des allochtones augmenterait donc de manière significative l'utilisation des ressources, avec comme conséquences la dégradation et la destruction des milieux et l'appauvrissement de la biodiversité. Notons par contre que bien souvent les autochtones manifestent une attitude négative face à la conservation car cela restreint leurs droits sur les ressources (Newmark et collaborateurs (1993).

Influence des modes d'utilisation des terres

Cette partie analyse la résilience et la vulnérabilité du système socio-écologique constituées par les populations locales et le bonobo et ce au travers des modes de vie des populations locales. Toute la population de la CFCL-RM pratique l'agriculture, exploite les PFNL et 62% de cette population pratiquent l'élevage et la chasse respectivement. L'ensemble de ces modes d'extraction des ressources et d'utilisation des terres montre combien les populations locales de cette zone de fait très dépendantes des ressources forestières pour assurer l'autoconsommation et pour générer des revenus. Ces résultats sont en conformité avec ceux trouvés par Van Vliet (2010).

Les principales menaces pour la survie des grands singes sont la perte, la dégradation et la fragmentation de leurs habitats. Elles sont engendrées entre autre par la déforestation et l'extension des terres agricoles. La culture itinérante sur brûlis est la caractéristique principale du système de cultures pratiqué dans la CFCL-RM et elle occupe à plein temps ou à temps partiel presque toute la population. Ce type d'agriculture constitue une menace forte sur la survie des bonobos car elle a la forte capacité d'engendrer la perte, la dégradation et la fragmentation de l'habitat surtout dans les zones où elle

coïncide avec les habitats favorables à la construction des nids chez les bonobos. Selon Junker et collègues (2012), les effets des activités humaines et particulièrement de l'agriculture ne sont pas instantanés sur la survie des grands singes car la diminution de leur population ne devient évidente que dans les années qui suivent. Pour arriver à mieux protéger les bonobos de la mosaïque de forêt savane de la CFCL-RM, il serait nécessaire de conduire une planification des défrichements agricoles et surtout de réorienter l'agriculture de la forêt vers les savanes comme elle a été jadis pratiquée avant l'arrivée de la société d'élevage SOGENAC. Cette dernière, pour avoir des zones de pâturage, a en effet poussé la population à déplacer l'agriculture de la savane vers la forêt en assurant que la celle-ci était plus riche que la savane. Les projets en cours dans la CFCL-RM encouragent cependant le développement d'une agriculture durable recentrée sur les savanes. On y promeut la culture des légumineuses (arachide, haricot, soja), lesquelles enrichissent le sol et permettent à la population d'augmenter ses revenus tout en réduisant progressivement sa dépendance à la forêt.

La chasse, une activité de subsistance et économique caractéristique des populations de l'Afrique centrale, est pratiquée par 25% de la population de la CFCL-RM (66% pour la subsistance et 34% pour le commerce). Les principales méthodes de chasse utilisées dans la CFCL-RM sont la chasse au piège métallique ou en nylon, l'utilisation d'armes à feu ou d'arcs, avec des flèches empoisonnées ou pas. Toutes ces méthodes de chasse semblent être non durables. Selon Bennett (2002) et Fa et collaborateurs (1995), ces méthodes de chasse non durable et une réglementation non adaptée et très peu respectée constituent des menaces pour la faune en générale et les bonobos en particulier. Les principales espèces chassées dans la CFCL-RM sont les antilopes, les buffles, les sangliers, les petits singes et dans une moindre mesure les bonobos. Même s'ils ne sont pas directement visés, des méthodes de chasse comme l'utilisation de pièges à câble métallique constituent une réelle menace. Cela peut conduire à l'amputation d'un membre pour se défaire du piège ou même à la mort de l'animal.

En Afrique, la consommation du gibier sauvage reste importante. Fa et collègues l'ont estimée en 2004 à 1,4 millions de tonnes par an pour un chiffre d'affaire pouvant atteindre 1,4 milliards de dollars US, en considérant un prix moyen de 3,5 dollars/kg. Bien que la chasse commerciale soit accusée de surexploiter la faune, d'avoir un impact négatif sur la biodiversité et les ressources forestières et de faire naître des risques importants d'apparition de maladies émergentes, elle contribue énormément à fournir des protéines aux populations de l'Afrique centrale, quel que soit le milieu, urbain ou rural (Fargeot, 2013). Selon Courrier international (2020), on estime qu'entre cinq et six millions de tonnes de viande de brousse sont consommées chaque année en Afrique centrale, soit à peu près la moitié de la production de bœuf

du Brésil ». Dans le bassin du Congo, la consommation de la viande des animaux sauvages représente 4 à 5 millions de tonnes par an selon la FAO, soit l'équivalent de la moitié de la production bovine de l'Union européenne (Equal time (2020)). Ceci étant, interdire la chasse ne constituerait que le déclenchement d'une « guerre larvée », pas seulement avec la population locale qui est liée à cette pratique par les habitudes alimentaires et les cultures et traditions, mais aussi avec les différents acteurs impliqués dans les chaînes de valeurs de cette activité. De fait, pour arriver à lutter contre les impacts négatifs de la chasse comme surexploitation des ressources et menaces sur le bonobo dans la CFCL-RM en particulier et dans l'aire de répartition du bonobo en général, il serait nécessaire de développer de nouvelles politiques de gestion adaptative de la faune sur la base de terroirs villageois. L'Etat se recadrant par exemple sur ses fonctions régaliennes d'organisation de la sécurité alimentaire globale de la population, les scientifiques initiant des études sur la biologie des espèces sauvages, l'opportunité de leur domestication et leur prise en compte dans les cultures et traditions alimentaires des populations locales.

En République Démocratique du Congo, les produits forestiers non ligneux sont nombreux, comprenant les plantes médicinales, alimentaires et cosmétiques ainsi que le gibier. Ils échappent le plus souvent aux statistiques nationales et contribuent dans une large mesure au commerce illicite transfrontalier (MEDD, 2016). Les PFNL constituent de fait une source importante de subsistance et de revenus, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire. Une partie de ces produits sert à l'autoconsommation et une autre est destinée à la vente sur les marchés locaux, urbains, voire internationaux, apportant ainsi des revenus financiers appréciables qui permettent de résoudre certains problèmes liés à l'amélioration des conditions de vie (Toirambe, 2005). Sur le marché central de Kikwit (Bandundu, RDC), Ndoye et Awono (2005) ont pu évaluer à 14,2 tonnes la vente de chenilles pendant huit mois pour une valeur marchande de près de 18000 dollars US. Dans la Réserve de Biosphère de Luki au Sud-ouest de Kinshasa, Toirambe (2005) avait confirmé l'existence d'une véritable entreprise cynégétique dans cette réserve et ses environs, avec 16 points de vente de gibier comptant un effectif de 83 vendeurs (tous des hommes) dont l'âge variait de 20 à 45 ans. Le revenu moyen par vendeur et par semaine était évalué à 16,14 dollars, soit 64,56 dollars/mois/vendeur.

Au sujet de la contribution des PFNL à l'économie des ménages et à la sécurité alimentaire, Biloso et Lejoly (2006) notent que dans les communes urbano-rurales de Kinshasa, la contribution du commerce des feuilles de *Gnetum africanum* au revenu mensuel d'un ménage demeure la source principale avec une recette moyenne de 275 dollars, suivie des frondes de *Pteridium centrali-africanum* (166,70 dollars par mois et par ménage), des

feuilles de *Dracaena camerooniana* (75,55 dollars/mois/ménage), des tubercules de *Dioscorea praehensilis* (71 dollars/mois/ménage) et des feuilles de *Psophocarpus scandens* (58,75 dollars /mois/ménage).

Dans la CFCL-RM, l'exploitation des PFNL est faite par toute la population. En dehors du gibier qui a été débattu dans la rubrique chasse, les principaux PFNL exploités dans la CFCL-RM sont les chenilles et les champignons. Bien que ces deux PFNL participent largement à l'alimentation de la population locale, leur commerce constitue une source importante de revenus pour les populations de cette zone, notamment sur les marchés de Kinshasa, sans négliger les marchés transfrontaliers de Ngabenge et de Tshumbiri entre les deux Congo. Il est à noter que les différentes méthodes de collectes de ces PFNL peuvent mettre également en danger la conservation des bonobos. Par exemple, la méthode d'abattage des arbres présente le risque de non seulement abattre les arbres alimentaires et/ou de nidification des bonobos mais aussi de fragmenter leur habitat, conduisant ainsi à un changement de comportement de l'espèce. Pour éviter la perte de ces importantes ressources pour les bonobos, il est souhaitable que les collecteurs des PFNL utilisent des méthodes qui ne détruisent pas l'entièreté de ces ressources (Ingram and Schure, 2010).

Le *Gnetum africanum*, dont la feuille est très prisée comme légume par la population de Kinshasa et de ses environs comme nous l'avons vu, reste encore très abondant dans les forêts de la CFCL-RM. Bien que la population locale n'ait pas l'habitude de consommer cette plante, la pénurie et l'augmentation galopante de son prix dans les grands centres de consommation environnants (Kinshasa et Brazzaville notamment) pourront conduire à sa commercialisation et sa surexploitation dans un avenir proche. Toutefois, lorsque l'exploitation des PFNL est faite dans un souci de durabilité, les PFNL peuvent contribuer aux objectifs de conservation de la biodiversité et renforcer la survie des communautés locales et le développement économique local (Michon and de Foresta, 1997). Ainsi, l'exploitation raisonnée des PFNL paraît constituer une option plus financièrement viable à long-terme que d'autres types d'utilisation des terroirs plus destructifs telle que l'exploitation forestière (Arnold and Ruiz Pérez, 2001). Dans la CFCL-RM, l'exploitation actuelle des PFNL semble être durable dans le temps. Cependant, la croissance démographique de la population de l'Afrique centrale devrait continuer à augmenter la demande en PFNL et ainsi conduire à une augmentation de la pression sur les ressources naturelles avec les conséquences négatives que l'on a évoquées sur la conservation du bonobo.

Enfin, l'élevage constitue le dernier volet de l'utilisation des ressources naturelles par les populations locales. Il est exercé comme une activité d'appoint pratiquée par au moins 50% de la population de la CFCL-

RM, particulièrement les cultivateurs. Les principales espèces élevées sont : mouton, chèvre, vache, poule et canard, utilisées dans diverses circonstances. Ces animaux servent notamment à combler les déficits en protéines animales en saison où les produits de la chasse sont rares. Leur vente permet également de régler certains problèmes financiers qui se posent en urgence, notamment le paiement des soins médicaux ou les études des enfants. Ils répondent aussi à d'autres besoins culturels et traditionnels, comme par exemple lors du mariage d'un membre de la famille et l'accueil d'un visiteur. L'élevage ne constitue donc pas une véritable menace pour la conservation des bonobos vivant dans la CFCL-RM en dépit de la transmission des maladies entre la faune sauvage et la faune domestique. Le développement de l'élevage pourrait bien constituer de ce fait une bonne alternative pour contrebalancer les menaces qui pèsent sur le milieu et la faune s'il est bien contrôlé.

Conclusion

Dans le souci de favoriser l'émergence d'une stratégie de conservation efficace du bonobo dans la CFCL-RM au travers de programmes optimisés de sauvegarde de cette espèce menacée, une analyse de la dynamique socio-écologique basée sur la socio-démographie des ménages, des modes d'utilisation des terres et d'extraction des ressources a été réalisée. Les résultats de l'étude ont montré une population caractérisée par des ménages ayant une taille importante (de l'ordre 7 personnes par ménage), ce qui conduit à une pression anthropique importante sur son milieu. Ces ménages sont intimement liés à la forêt qu'elles partagent avec le bonobo et dont elles extraient la plus grande majorité de leurs ressources, tant pour l'autoconsommation que pour leurs échanges et leurs besoins en revenus.

L'agriculture itinérante sur brûlis et l'extraction des produits forestiers non ligneux constituent les principales activités de subsistance et économique de la région. Le manque d'alternatives économiques, le déplacement non contrôlé des populations, la prolifération des modes d'utilisation de terre et d'extraction des ressources non durables et le non prise en compte de cultures et traditions dans la zone représentent une réelle menace sur la conservation du bonobo sur ce territoire. De même, dans le cadre de la chasse, la loi moderne et un interdit alimentaire (loi coutumière) sont censés protéger le bonobo de toute prédation. Mais la population allochtone est loin de respecter les lois, ce qui constitue une autre grave menace pour les bonobos. Pour assurer une protection de cette espèce qui soit efficace et effective dans cette zone de conservation communautaire, cette étude recommande d'intégrer la conservation du bonobo dans toutes les activités des ménages, ceci au travers du développement des normes et des règles de gestion à appliquer localement. Elles devraient non seulement favoriser la participation communautaire à la conservation et à la promotion de moyens de subsistance alternatifs pour

réduire la dépendance forestière, mais aussi faire bénéficier ces communautés protectrices des habitats des bonobos des financements liés aux projets de lutte contre le changement climatique.

References:

1. Anadón, M. 2006. La recherche dite qualitative: de la dynamique de son évolution aux acquis indéniables et aux questionnements présents. *Recherches qualitative* 26 (1): 5-31.
2. Andrade, G. S. M., & Rhodes, J. R. (2012). Protected areas and local communities: An inevitable partnership toward successful conservation strategies? *Ecology and Society*, 17(4), 1-16. doi:10.5751/ES-05216-170414
3. Andre, C., and J.P. Platteau (1998). Land relations under unbearable stress: Rwanda caught in the Malthusian trap. *Journal of Economic Behavior & Organization* 34:1-47.
4. Arnold, J. E. M., and Perez, M. R. (2001). Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics*, 39(3), 437-447, doi:10.1016/s0921-8009(01)00236-1.
5. Balint, P. J. (2006). Improving community-based conservation near protected areas: the importance of development variables. *Environ Manage*, 38(1), 137-148, doi:10.1007/s00267-005-0100-y.
6. Bennett, E. L. (2002). Is there a link between wild meat and food security? *Conservation Biology*, 16(3), 590-592, doi:10.1046/j.1523-1739.2002.01637.x.
7. Biloso, M., & Lejoly, J. (2006). Etude de l'exploitation et du marché des produits forestiers non ligneux à Kinshasa, *Tropicultura*, 24 (3) 183-188.
8. Bousset, L. (2012). Travail d'ébauche interdisciplinaire : peut-on parler simplement d'un processus complexe ? *Nat. Sci. Soc.*, 20(4), 448-454.
9. Brown, M., Bonis-Charancle, J. M., Mogba, Z., Sundararajan, R., and Warne, R. (2008). Linking the Community Options Analysis and Investment Toolkit (COAIT), Consensys® and Payment for Environmental Services (PES): A Model to Promote Sustainability in African Gorilla Conservation. In *Conservation in the 21st Century: Gorillas as a Case Study* (pp. 205-227): Springer.
10. Costanza, R, L. Wainger, C. Folke, and K.-G. Maler. (1993). Modeling complex ecological economic systems. *Bio-Science* 43:545-555.
11. DeFries, R., Hansen, A., Turner, B., Reid, R., and Liu, J. (2007). Land use change around protected areas: management to balance human

- needs and ecological function. *Ecological Applications*, 17(4), 1031-1038.
12. Doumenge C., Palla F., Scholte P., Hiol Hiol F. & Larzillière A. (Eds.), (2015). *Aires protégées d'Afrique centrale – État 2015*. OFAC, Kinshasa, République Démocratique du Congo et Yaoundé, Cameroun : 256 p.
 13. Ellis, E. & Ramankutty, N. (2008). Putting people in the map: Biomes of the world. *Frontiers in Ecology and Environment* 6:439–447.
 14. Estrada, A., Garber, P. A., Rylands, A. B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Di Fiore, A., Nekaris, K. A.-I., Nijman, V., Heymann, E. W. & Lambert, J. E. (2017) Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science advances*, vol. 3, n.1, 16p.
 15. Fa, J. E., Juste, J., Delval, J. P., and Castroviejo, J. (1995). Impact of market hunting on mammal species in Equatorial-guinea. *Conservation Biology*, 9(5), 1107-1115, doi:10.1046/j.1523-1739.1995.951107.x.
 16. Fa, J. E., Peres, C. A., and Meeuwig, J. (2002). Bushmeat exploitation in tropical forests: an intercontinental comparison. *Conservation Biology*, 16(1), 232-237, doi:10.1046/j.1523-1739.2002.00275.x.
 17. FAO (1992). *La boîte à outils de la communauté. Diagnostic, suivi et évaluation participatifs en foresterie communautaire: Concept, méthodes et outils*. Rome, Italie, 169 p.
 18. FAO (2007) *State of the World's Forest 2007*. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, 157p.
 19. FAO. (2002). *Programme d'analyse socioéconomique selon le genre : guide d'application niveau terrain*. Rome, Italie, 118 p.
 20. Fargeot, C. (2013). *La chasse commerciale en Afrique Centrale: une menace pour la biodiversité ou une activité économique durable? Le cas de la République Centre Africaine*. Thèse de doctorat. Université Paul Valérie. 821p.
 21. Fargey, P. J. (1992). Boabeng–Fiema Monkey Sanctuary—an example of traditional conservation in Ghana. *Oryx*, vol. 26, no.3, p. 151-156.
 22. Fruth, B., Hickey, J.R., André, C., Furuichi, T., Hart, J., Hart, T., Kuehl, H., Maisels, F., Nackoney, J., Reinartz, G., Sop, T., Thompson, J. & Williamson, E.A. (2016). *Pan paniscus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T15932A17964305.en> (Page consultée le 9 décembre 2019).
 23. Geoffrion, P. (2009). Le groupe de discussion. In: *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données*, Gautier, B. 5e édition. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada, pp. 391-414.
 24. Grubb, P., Butynski, T. M., Oates, J. F., Bearder, S. K., Disotell, T. R., Groves, C. P., & Struhsaker, T. T. (2003). Assessment of the diversity

- of African primates. *International Journal of Primatology*, vol. 24, no.6, p. 1301-1357.
25. Hedge, R. and T. Enters (2000). Forest products and household economy: a case study from Mudumalai Wildlife Sanctuary, Southern India. *Environmental Conservation* 27:250-259.
 26. Hill, C. M. (2002) Primate Conservation and local communities—ethical issues and debates. *American Anthropologist*, vol. 104, n°4, p. 1184-1194.
 27. Humle, T., Maisels, F., Oates, J.F., Plumptre, A. & Williamson, E.A. (2016) Pan troglodytes (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2016 <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T15933A17964454.en> (Page consultée le 9 décembre 2019).
 28. Illukpitiya, P., and Yanagida, J. F. (2010). Farming vs forests: Trade-off between agriculture and the extraction of non-timber forest products. *Ecological Economics*, 69 (10), 1952-1963, doi:10.1016/j.ecolecon.2010.05.007.
 29. Infeld, M. (2001). Cultural values: a forgotten strategy for building community support for protected areas in Africa. *Conservation Biology*. Volume 15: 800 – 802.
 30. Ingram, V., and Schure, J. (2010). Review of Non Timber Forest Products (NTFPs) in Central Africa: Cameroon. Yaoundé, Cameroon.
 31. Inogwabini B, Albert Bankanza Nzala and Jean Christophe Bokika (2013). People and Bonobos in the Southern Lake Tumba Landscape, Democratic Republic of Congo. *American Journal of Human Ecology*. Vol. 2, No. 2, 2013, 44-53. DOI: 10.11634/216796221302309
 32. Junker J., Blake S., Boesch C., Campbell G., Toit L.d., Duvall C., Ekobo A., Etoga G., Galat-Luong A., Gamys J., Ganas-Swaray J., Gatti S., Ghiurghi A., Granier N., Hart J., Head J., Herbinger I., Hicks T.C., Huijbregts B., Imong I.S., Kuempel N., Lahm S., Lindsell J., Maisels F., McLennan M., Martinez L., Morgan B., Morgan D., Mulindahabi F., Mundry R., N'Goran K.P., Normand E., Ntongho A., Okon D.T., Petre C.-A., Plumptre A., Rainey H., Regnaut S., Sanz C., Stokes E., Tondossama A., Tranquilli S., Sunderland-Groves J., Walsh P., Warren Y., Williamson E.A., Kuehl H.S. and Bode M. (2012). Recent decline in suitable environmental conditions for African great apes. *Diversity and Distributions* 18:1077-1091.
 33. Kideghesho JR, Røskaft E, Kaltenborn BP (2007). Factors influencing conservation attitudes of local people in Western Serengeti, Tanzania. *Biodivers Conserv* 16: 2213–2230.
 34. Maisels, F., Bergl, R.A. & Williamson, E.A. (2018). Gorilla gorilla. The IUCN Red List of Threatened Species 2018.

- <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T9404A136250858.en> (Page consultée le 9 décembre 2019).
35. Marcus, R.R. (2001). Seeing the forest for the trees: integrated conservation and development projects and local perceptions of conservation in Madagascar. *Human Ecology*. Volume 29: 381 – 397.
 36. MEDD. (2016). Stratégie et plan d'action nationaux de la biodiversité (2016-2020), Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Développement Durable de la République Démocratique du Congo; 91p. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/Cng169379.pdf>
 37. Mehta JN, Heinen JT (2001). Does community-based conservation shape favorable attitudes among locals? An empirical study from Nepal. *Environ Manage* 28(2):165–177
 38. Michon, G., and De Foresta, H. (1997). Agroforests: pre-domestication of forest trees or true domestication of forest ecosystems? *NJAS wageningen journal of life sciences*, 45(4), 451-462.
 39. Miles, L., Caldecott, J. & Nellemann, C. (2009) Les défis de la survie des grands singes. In Caldecott, J., & Miles, L., *Atlas mondial des grands singes et de leur conservation* (p. 239-266). Paris, UNESCO Paris
 40. Mittermeier, R. A., Ratsimbazafy, J., Rylands, A. B and al (2007) 'Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates, 2006–2008', *Primate Conservation*, 22, 1–40.
 41. MMT (2015). Document stratégique de Mbou-Mon-Tour. 26p
 42. Ndeloh Etiendem, Tagg N, Hens L, Pereboom Z (2013). Impact of human activities on Cross River gorilla (*Gorilla gorilla diehli*) habitats in the Mawambi Hills, southwest Cameroon. *Endangered Species Research* (doi: 10.3354/esr00492)
 43. Ndoye, O., Awono, A. (2005). The markets of Non Timber Forest Products in the provinces of Equateur and Bandundu. Rapport inédit de CIFOR, Cameroun. 56 p.
 44. Nepal SK, Weber K (1995). A buffer zone for biodiversity conservation: viability of the concept in Nepal's Royal Chitwan national park. *Environmental Conservation* 21:333–341
 45. Newmark, W. D., N. L. Leonard, H. I. Sariko, and D.-G. M. Gamassa (1993). Conservation attitudes of local people living adjacent to five protected areas in Tanzania. *Biological Conservation* 63:177-183.
 46. Omasombo Wotoko V., Malekani J., Mbangi N., Cherel J.P., & Bokika J.C. (2022a). Evaluation De L'abondance Et La Distribution Du Bonobo (*Pan Paniscus*) Dans La Concession Forestière Des Communautés Locales De La Rivière Mbali *European Scientific Journal*, ESJ, 18 (17), 178. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p178>

47. Omasombo V., J.C. Bokika, J. Malekani, J.P. Cherel, J. Punga, (2022b). Local Ecological Knowledge: A Tool for the Conservation of an Endangered Species? The Example of the Bonobo (*Pan paniscus*). *African Primates* 16: 31-44 (2022)
48. Osemeobo, G.J. (1994). The role of folklore in environmental conservation: evidence from Edo state, Nigeria. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. Volume 1: 48-55.
49. Paillé, P. et Mucchielli, A. (2003). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Armand Colin, Paris, France, 275 p.
50. Plumptre, A., Robbins, M.M. & Williamson, E.A. (2019). Gorilla beringei. The IUCN Red List of Threatened Species 2019 <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20191.RLTS>. (Page consultée le 9 décembre 2019).
51. Poisson, Y. (1990). *La recherche qualitative en éducation*. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada. 174 p.
52. Straede, S. & Helles, F. (2000). Park-people conflict resolution in Royal Chitwan National Park, Nepal: buying time at high cost? *Environmental Conservation*. 27, 368–381
53. Toirambe Bamoninga, B. (2005). Place des produits forestiers non ligneux dans l'aménagement durable de la Réserve de Biosphère de Luki en République Démocratique du Congo. Mémoire DEA, Faculté universitaire de sciences agronomiques de Gembloux, 114p.
54. UICN (2019.) IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/> (Page consultée le 9 décembre 2019)
55. UICN et ICCN (2012). Bonobo (*Pan paniscus*): Stratégie de Conservation 2012–2022. Gland, Suisse: Groupe de spécialistes des primates de la CSE/UICN & Institut Congolais pour la Conservation de la Nature. 68 pp.
56. Van Vliet, N. (2010). Participatory vulnerability assessment in the context of conservation and development projects: a case study of local communities in Southwest Cameroon. *Ecology and Society*, 15(2), 6.
57. Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A., (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems, *Ecology and Society*, 9, 2, 5 (<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>).