

European Scientific Journal, *ESJ*

December 2021

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

December 2021 edition vol. 17, No. 43

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)

About the Journal

The “European Scientific Journal”, ESJ is a peer-reviewed and open access journal, which publishes research articles and literature reviews in English, French or Spanish. This monthly issued publication of the European Scientific Institute, ESI embraces a wide range of academic disciplines. Submissions in the area of social sciences, humanities, life sciences, medical and natural sciences are welcome.

Founded in 2010, on European soil, ESJ strives to become a venue for academic attainments from all around the globe. On its way to scientifically sound publications, it connects reviewers and authors from different countries and academic titles, providing knowledge transfer and sharing of best practices. In the past 10 years over 28.000 researchers have published their papers with ESJ.

ESJ supports the researchers in overcoming contemporary barriers. Our effort is to provide decency through a realistic amount of publication charges; Fairness by cutting the timeframe for reviewer selection and first decision; Agility through permanent communication with the authors and reviewers; professionalism through a constant promotion of academic ethics and international impact through support of open science and interdisciplinary research.

Sincerely,

Jovan Shopovski, PhD

European Scientific Journal (ESJ)

Managing Editor

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

Vayia Karaïskou,
Open University of Cyprus

Robert Szucs,
Szolnok University College, 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

Daniel Barredo,
University Laica Eloy Alfaro de Manabi, Ecuador

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Jowati binti Juhary,
National Defense University of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia

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

Nguyen Thi Hoai Phuong,
Ho Chi Minh City University of Law, Vietnam

Chaudhry Zahid Javid,
Taif University, Saudi Arabia

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Gloria Esteban de la Rosa,
University of Jaen, Spain

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

Naheed Vaida,
University of Kashmir, India

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Michele Minor-Corriveau,
Laurantian University, Canada

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Mariangela Giusti,
University of Milan - Bicocca, Italy

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Ziad Said,
College of the North Atlantic, Qatar

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

Mona Kassem,
National Research Centre, Egypt

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Thomas Fenzl,
Alps-Adria University of Klagenfurt, Austria

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Stefanos Spaneas,
University of Nicosia, Cyprus

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Wei Hao,
Beijing Normal University, China

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Nishan Rafi Havandjian,
California Polytechnic State University, USA

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Kevin B. O'Connor,
McGill University, Canada

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Nawab Ali Khan,
Aligarh Muslim University, India

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

Arfan Yousaf,
Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University, Pakistan

Bianca Gioia Marino,
University of Naples Federico II, Italy

Franko Milost,
Faculty of Management, Koper, Slovenia

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

Daniel Velasco,
Chicago School of Professional Psychology, USA

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

Oihab Allal-Cherif,
KEDGE Business School, France

Izabela Dembinska,
University of Szczecin, Poland

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

Alicia Marchant Rivera,
University of Malaga, Spain

Lucia D'Ambrosi,
University of Macerata, Italy

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglanis,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Francesco Lenci,
Institute of Biophysics, Italy

Hafiz Muhammad Iqbal,
University of the Punjab, Pakistan

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

Asma Zaidi,
Kansas City University of Medicine and Biosciences, 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

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

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

Horst Hanke,
Technical University Darmstadt, Germany

Elpiniki I. Papageorgiou,
Technological Educational Institute of Central Greece, Greece

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

Irina Matijosaitiene,
Kaunas University of Technology, Lithuania

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

Andre Ozer,
University of Liege, Belgium

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

Mohsen Hanif,
Kharazmi University, Iran

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Salem Marzougui,
ElKef, Tunisia

Tunjica Petrusevic,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

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

Cosmin Stefan Dogaru,
University of Bucharest, Romania

Tiffany T. Boury,
Franciscan University of Steubenville, USA

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Jawed Iqbal,
National University of Sciences & Technology, Pakistan

Tanzer Celikturk,
Pamukkale University, Turkey

Ruth Erika Lerchster,
Alpen-Adria University Klagenfurt, Austria

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,
G. D'Annunzio" University of Pescara, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Murtaz Kvirkvaia,
Grigol Robakidze University, Georgia

Enrique Jerez Abajo,
University of Zaragoza, Spain

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

Efthymios Papatzikis,
Canadian University, Dubai, UAE

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

Hilal YIildirir Keser,
Bursa Technical University, Turkey

Miriam Agreda Montoro,
University of La Rioja, Spain

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

Sayeeduzzafar Qazi,
University of Science and Technology, Saudi Arabia

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

Manuel Ramon Gonzalez Herrera,
The Autonomous University of Ciudad Juarez, Mexico

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

Armando Carteni,
University of Naples Federico II, Italy

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

Noralv Veggeland,
Inland Norway Univ. of Applied Sciences, Norway

Leila Ghudushauri,
Tbilisi State University, Georgia

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Kira Trostina,
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

Marek Semela,
Brno University of Technology, Czech Republic

Marie-Noelle Albert,
University of Quebec at Rimouski, Canada

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Virginia Pulcini,
University of Torino, Italy

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

Iveta Reinholde,
University of Latvia, Latvia

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

Claudio Fabian Guevara,
University of Guadalajara, Mexico

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

Aysegul Ozbebek Tunc,
Istanbul University, Turkey

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

Mary Kathryn Mc Vey,
Franciscan University of Steubenville, USA

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

Eugenio D'Angelo,
Pegaso Telematic University, Italy

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

Komina Amevoin,
University of Lome, Togo

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

Jorge Wozniak,
National University of Tres de Febrero, Argentina

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

Judit Sole Resina,
Autonomous University of Barcelona, Spain

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Angeles Aguilera Velasco,
University of Guadalajara, Mexico

Rachid Hsissou,
Ibn Tofail University, Morocco

Svetlana Melentijevic,
Complutense University of Madrid, Spain

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 Politécnica de Chimborazo, Ecuador

T.M.S.P.K. Thennakoon,
University of Sri Jayewardenepura, 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 Yehualashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
University of Moulay Ismail, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Milad Reda Qelliny,
Minia University, Egypt

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Mohammadreza Hadizadeh,
Central State University, USAa

Mushtaq Ismael Hasan,
Thi-Qar University, Iraq

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

Abdelaaziz El Bakkali,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Ouedraogo François de Charles,
Joseph Ki-Zerbo University, Burkina Faso

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
University Abdelmalek Saadi, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islamabad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Nishant Agrawal,
Nirma University, India

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Alaa Abdulhady Jaber,
University of Technology, Iraq

Asli Cazorla Milla,
Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

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

Idriss M'bouka Milandou Auguste Williams,
Marien Ngouabi University, Congo

Elsa Kristo,
University of Tirana, Albania

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Bashar H. Malkawi,
University of Sharjah, UAE

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Ousmane Tanor Dieng,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Ozgun Muhittin Esen,
Istanbul University, Turkey

Saif Ur Rehman,
PMAS-Arid Agriculture University, Pakistan

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,
Kalbis Institute, 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

Dimitrios Belias,
University of Thessaly, Greece

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

Youssef Babakhouya,
Inje University, South Korea

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

Nawaz Ahmad,
Institute of Business Management, Pakistan

Varij Nayan,
Central Institute for Research on Buffaloes, India

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

Jonida Lesha,
University of Tirana, Albania

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

Hanif Qureshi,
University of Cincinnati, USA

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

Zayde Ayvaz,
Canakkale Onsekiz Mart University, Turkey

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

Leonid Nakov,
“Ss. Cyril and Methodius University”, Republic of Macedonia

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

Table of Contents:

**Dynamique D'occupation Du Sol Et Diversité Floristique De La Forêt
Classée De La Palé (Côte d'Ivoire).....1**

Pagadjovongo Adama Silue

Dramane Soro

Konan Edouard Kouassi

Dodiomon Soro

**Sites D'eau Sacrés Et Conservation De La Biodiversité : Cas Des Paysages
D'eau De La Région De Ziguinchor (Sénégal).....18**

Mamadou Lamine Sané

Claudette Soumbane Diatta

Barnabé Ephrem A. Diémé

**Cas D'une Fausse Fracture De La Verge Par Rupture De La Veine
Dorsale Profonde Au Centre Hospitalo-Universitaire Departemental -
Oueme Plateau De Porto Novo, Benin.....50**

Ngaguene Juvénal

Natchagande Gilles

Muhindo Valimungighe Moïse

Soumanou Fouad

Bori Moussa

Lawani Ismaël

Yevi Dodji Magloire Ines

Hodonou Fred

Agounkpe Michel Michael

Dossou Francis Moïse Djidenou

Avakoudjo Josué Georges Dejinnin

**Effets De L'extrait Aqueux Du Moringa Oleifera Sur L'abondance Des
Oocystes De Protozoaires Intestinaux Des eaux Usées D'origine
Hospitalière À Yaoundé-Camerou.....58**

Tsomene Namekong Pierre

AJeagah Gideon Aghaindum

Fotseu Kouam. Arnold

Asi Quiggle Atud

Okoa Amougou Thérèse Nadège

Kapso Tchouakep Mireille

**Déterminants Socio-Économiques De L'adoption Des Technologies Agro
Écologiques De Productions Agricoles Dans Le Département De Mayahi
Au Niger.....73**

Mahamane Moctar Rabe

Ibrahim Baoua

Rabo Issaka Salissou

**Effects of Different Seeds Pretreatments on the Germination of Five Local
Trees: Four From The Fabaceae Family and One From the
Bombacacea.....89**

Yélemou Barthelemy

Tyano Abdoulaye

Koala Jonas

Zongo Rebecca Rebecca

**Extraction Et Caractérisation Physico-Chimique D'un Sel Végétal À
Partir De La Cendre Du Palmier À Huile Du Nord Du Togo.....102**

Moursalou Koriko

Sanonka Tchegueni

Fouad Alassani

Koffi Agbegnigan Degbe

Gado Tchangbedji

**Estimation Des Concentrations Et Cartographie De La Dynamique Des
Polluants Atmospheriques Particulaires Dans La Ville D'abidjan.....116**

N'Guessan Bi Vami Hermann

Lazile Stephanie

Loukou Jerome André

Saley Mahaman Bachir

Kouadio Affian

**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.....134**

Amani Abdou

Karim Saley

Mahamane Ali

Ichaou Aboubacar

**Coexistence D'un Lymphome Lymphocytaire Et D'une Leucémie
Myéloïde Chronique: A Propos De Deux Observations Au Togo.....158**

Padaro Essohana

Magnang Hèzouwè

Layibo Yao

Kueviakoe Irénée

Mawussi Koffi

Vovor Ahoefa

The Technology Development and Management of Smart Manufacturing System: A Review On Theoretical and Technological Perspectives.....170

Md. Al-Amin

Md. Tanjim Hossain

Md. Jahidul Islam

Paleoenvironments and Hydrocarbon Potential of Upper Cretaceous Shales in Agbabu-1 Well, Dahomey Basin – Insight from Geochemistry and Foraminifera Paleontology.....194

Adekeye Olabisi Adeleye

Ogundipe Olumide

Adeoye James Adejimi

Adeyilola Adedoyin

Samuel Olukayode

Akande Samuel Olusegun

Woody Species Composition, Diversity And Structure of Vegetation of Peri-Urban Park in Leo, Burkina Faso.....218

Ganaba Souleymane

Semdé Kadidia

Kagambèga Wenemi François

Dao Moussa

**Etude Comparative De La Rentabilité Des Systèmes De Pompage Solaire
Et Thermique Sur Le Périmètre Irrigué De Soumarana Au Niger.....246**

Illiassou Naroua

Abdoulkadri Laouali

Souley Issaka

Maman Rachid Salissou Issoufou

Hassoumi Djibo

**Caractérisation De La Diversité, De La Structure Des Tailles Et Du Stress
Écologique Au Niveau Du Peuplement Des Poissons Sur Le Fleuve
Bandama (Côte d'Ivoire, Afrique De l'Ouest).....260**

Kien Kouassi Brahiman

Ndiaye Awa

Aboua Benié Rose Danielle

**Estimation Of The Value Of Goods And Services Produced By Protected
Areas: Case Of The Ndock Sare Community Forest In Senegal.....282**

Mamadou Ndiaye

Saboury Ndiaye

Sérigne Modou Sarr

Malick Diouf



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Dynamique D'occupation Du Sol Et Diversité Floristique De La Forêt Classée De La Palé (Côte d'Ivoire)

Pagadjovongo Adama Silue, Assistant

Dramane Soro, Maître-Assistant

Université Péléforo Gbon Coulibaly, Unité de Formation et de Recherches des Sciences Biologiques, Korhogo / Côte d'Ivoire

Konan Edouard Kouassi, Maître de Conférences

Dodiomon Soro, Professeur Titulaire

Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherches de Biosciences, Abidjan / Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p1](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p1)

Submitted: 24 July 2021

Accepted: 14 October 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Adama Silue P., Soro D., Kouassi E.K., & Soro D., (2021). *Dynamique D'occupation Du Sol Et Diversité Floristique De La Forêt Classée De La Palé (Côte d'Ivoire)* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p1>

Résumé

Les forêts classées du Nord de la Côte d'Ivoire connaissent un phénomène d'anthropisation accrue, notamment à la faveur de la crise sociopolitique de 2002 à 2011. A cela, s'ajoute l'effet des changements climatiques qui ont des conséquences sur la qualité de la biodiversité. Cette étude recherche, à travers l'analyse de paramètres floristiques et de la dynamique d'occupation du sol, des informations scientifiques fiables devant guider les orientations d'aménagement d'une forêt classée située dans la Région de la Bagoué, au Nord-Ouest du pays. L'étude de la dynamique de la couverture végétale de la Forêt classée est réalisée à travers une analyse diachronique des images satellitaires Landsat ETM de janvier 2002 et ETM + de mars 2016. L'appréciation des paramètres floristiques est basée sur l'interprétation des données d'inventaire floristique. Les résultats cartographiques montrent une régression des formations boisées passant de 81,75 % en 2002 à 71,19 % en 2016, soit un taux de régression annuel de 0,7 %. Concernant l'étude floristique, au total 281 espèces végétales, réparties entre 210 genres et rangées dans 71 familles, ont été inventoriées dans la forêt

classée. Par cette flore, 18 espèces ont présenté un statut particulier, preuve de la valeur de conservation de cette formation végétale. Ce résultat pourrait servir pour la mise en place d'une forêt classée dans la Région de la Bagoué en Côte d'Ivoire.

Mots clés: Biodiversité, Espèces À Statut Particulier, Images Satellitaires, Couverture Végétale, Région De La Bagoué

Land-Use Dynamics And Floristic Diversity Of Palé Classified Forest In Côte d'Ivoire

Pagadjovongo Adama Silue, Assistant

Dramane Soro, Maître-Assistant

Université Péléforo Gbon Coulibaly, Unité de Formation et de Recherches des Sciences Biologiques, Korhogo / Côte d'Ivoire

Konan Edouard Kouassi, Maître de Conférences

Dodiomon Soro, Professeur Titulaire

Université Félix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherches de Biosciences, Abidjan / Côte d'Ivoire

Abstract

The classified forests of the north of Ivory Coast are experiencing an increased anthropization phenomenon, in particular thanks to the socio-political crisis from 2002 to 2011. In addition to this is the effect of climate change that has consequences on the quality of biodiversity. This paper focuses on the analysis of floristic parameters, the dynamics of land use, and reliable scientific information to guide the development orientations of a classified forest located in the Bagoué Region in the North-West. The study of the dynamics of the vegetation cover of the classified forest was carried out through a diachronic analysis of the Landsat ETM images of January 2002 and ETM + of March 2016. The appreciation of the floristic parameters is based on the interpretation of the floristic inventory data. The cartographic results show a regression of woodlands from 81.75% in 2002 to 71.19% in 2016, i.e., an annual rate of decline of 0.7%. Concerning the floristic study, a total of 281 plant species, divided between 210 genera and arranged in 71 families, were inventoried in the classified forest. Through this flora, 18 species presented a special status, which is a proof of the conservation value of this plant formation. This result could be used for the establishment of a classified forest in Bagoué Region of Côte d'Ivoire.

Keywords: Biodiversity, Special-Status Species, Satellite Images, Plant Cover, Bagoué Region

Introduction

En Afrique occidentale, de nombreux auteurs (Hien *et al.*, 2002 ; Grégoire & Simonetti, 2010) soutiennent que les formes dominantes de perturbations de la structure et de la physionomie de la végétation au sein des aires protégées sont les feux de végétation, le pâturage, l'agriculture itinérante sur brûlis et l'irrégularité de la pluviométrie.

En Côte d'Ivoire, cette régression du couvert forestier s'explique par l'option d'une économie basée sur la valorisation des ressources naturelles et l'agriculture dont les prémisses ont été posées à l'ère coloniale et qui s'est perpétuée après l'accession du pays à l'indépendance en 1960 (Léonard & Ibo, 1994 ; Balac, 2000). Face à cette forte déforestation les pouvoirs publics ont érigé certaines zones en forêts classées dans le but de freiner la dynamique de dégradation et d'exploitations abusives des forêts et de la biodiversité. En effet, les forêts classées, comme c'est le cas des réserves naturelles et les parcs nationaux, sont censées représenter des zones de conservation privilégiées de la flore et de la faune (Tankoano, 2012). Malheureusement, nombreuses sont les forêts classées qui ont subi et subissent encore une forte pression anthropique (exploitation agricoles, infrastructures socioéconomiques, activité agricole, etc.). A ces contraintes anthropiques, il faut ajouter les effets des changements climatiques globaux (les sécheresses récurrentes, les déficits pluviométriques, le réchauffement).

C'est le cas des forêts classées situées au Nord du pays, qui ont été soustraites du contrôle de l'Etat à la faveur de la crise politico-militaire de 2002 à 2010. Devant une problématique aussi complexe, l'observation des mutations du paysage forestier au cours du temps s'impose afin d'estimer la nature de l'évolution des processus naturels et anthropiques pour une gestion durable des ressources naturelles (Inoussa *et al.*, 2011). Ainsi, après la fin de la crise en 2011, il serait bon de faire un état des lieux afin d'actualiser les données tant sur les surfaces forestières restantes que sur la structure de la végétation et sa composition floristique. Ces informations sont en effet, indispensables pour susciter un intérêt auprès des décideurs et bailleurs de fonds quant à la réhabilitation des espaces dégradés. C'est pour répondre à cette préoccupation qu'a été initiée la présente étude sur la forêt classée de la Palé, dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. L'hypothèse de cette étude est que les infiltrations humaines liées à l'absence de l'autorité de l'Etat et combinées aux variabilités climatiques ont produits des changements sur le couvert végétal dans la forêt classée de la Palé.

L'objectif général est donc de faire l'état des lieux sur la végétation et la flore, en vue de fournir des données scientifiques utiles à l'aménagement de

cette forêt classée. De façon spécifique, il s'agit d'abord de cartographier et d'analyser la dynamique d'occupation de sol de la forêt classée de la Palé en 2002 et en 2016, ces deux dates correspondent, respectivement, au début de la crise politico-militaire et à la reprise en main de la forêt classée par l'Etat ; de caractériser la flore générale de la forêt classée. Ces informations sont nécessaires aux orientations d'aménagement de gestion durable de cette aire protégée menacée par la pression anthropique.

Materiel Et Methodes

Description de la zone d'étude

Incluse dans une vaste zone agropastorale, la forêt classée de la Palé couvre une superficie de 25040 ha. Elle se localise dans le centre de la Région de la Bagoué entre 9°50' et 9°35' de latitude Nord et entre 6°45' et 4°35' de longitude Ouest (Figure 1). La zone est caractérisée par un climat de type soudanien avec une longue saison sèche de novembre à mai et une courte saison des pluies de juin à octobre. La pluviométrie annuelle oscille entre 1000 et 1400 mm en moyenne. La végétation est celle des secteurs subsoudanais et soudanais telle que décrite par Kouamé *et al.* (2010). Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 25°C et 31°C. Le relief est caractérisé par son plan horizontal fait de plaines et de plateaux dont la monotonie est rompue, par endroits, par l'apparition de chaînes de collines ou de dômes rocheux qui varient entre 400 et 600 m d'altitude. Au niveau pédologique, Les sols comprennent, les lithosols (4 p.c.), les vertisols (39 p.c.) et les sols ferrugineux (57 p.c.) selon Beaudou et Sayol (1980). Le potentiel hydrographique de la forêt classée repose essentiellement sur la rivière Palé, qui est un affluent du fleuve Bagoué, et d'autres petites rivières et marigots temporaires.

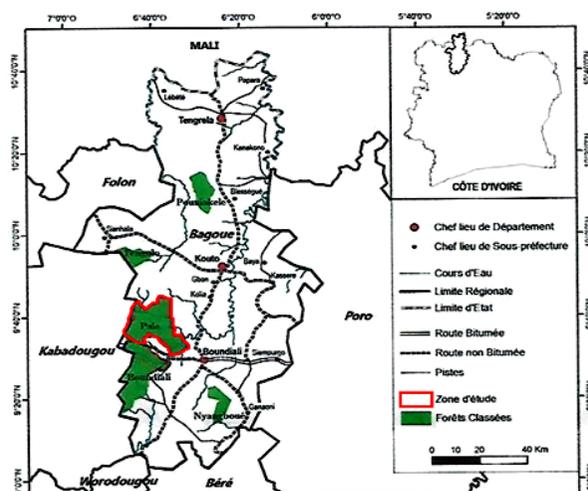


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Collecte des données Données satellitaires

L'étude de la dynamique spatiale de la végétation de la forêt classée de la Palé est basée sur l'interprétation d'images satellitaires par une analyse diachronique des images de deux périodes différentes. Les images satellitaires utilisées sont celles de Landsat ETM du 27 janvier 2002 scène 198-53 et Landsat ETM+ du 30 mars scène 198-53. L'image de 2002 a été choisie afin de déterminer la situation de l'occupation du sol peu avant le déclenchement de la crise politico-militaire en 2002. L'image de 2016 correspond à la période de reprise en main de la forêt classée de la Palé par l'administration forestière (SODEFOR). Un GPS (Global Positioning System) a été utilisé pour localiser les points d'échantillonnage pour la reconnaissance et le contrôle de terrain.

Inventaires floristiques

Une combinaison de méthodes d'échantillonnage a été mise en œuvre pour l'inventaire de la flore de la forêt classée de la Palé. Il s'agit de relevés de surface et de relevés itinérants. Le relevé de surface a été réalisé dans 10 parcelles de 1 ha (100 m x 100 m), subdivisées chacune en des placettes de 100 m² (10 m x 10 m). Cette méthode d'inventaire avec des placettes de 100 m² comme unité d'échantillonnage a été déjà utilisée par de nombreux auteurs dans des études floristiques (Kouassi, 2007 ; Tiébré *et al.*, 2016). 10 placettes ont été choisies, au hasard, par tirage au sort sans remise. Dans chacune de ces placettes, la présence des végétaux supérieures a été noté, sans tenir compte de leur abondance, ni de leur taille, ni de leur stade phénologique. Le positionnement des parcelles d'inventaires s'est fait à partir des points choisis, arbitrairement, sur la carte de la forêt classée et réparties de façon homogène sur la superficie de ladite forêt. Les inventaires itinérants ont été réalisés entre deux parcelles, le long des pistes et des cours d'eaux, etc. Cette méthode a permis de récolter de nouveaux spécimens de plantes. La liste floristique finale de la forêt classée a été établie avec les espèces issues des relevés itinérants et de surface.

Analyse et traitement des données

La cartographie a été réalisée suivant trois étapes : le prétraitement des images après leur acquisition, la classification des types d'occupation de sol, la validation des types d'occupation de sol et la réalisation des cartes d'occupation de sol. Le prétraitement d'image a débuté par la correction radiométrique puisque la correction géométrique n'a pas été nécessaire, les images étant déjà géoréférencées. La correction radiométrique a consisté à normaliser l'image selon les propriétés du capteur Landsat 7 ETM+, de convertir les valeurs numériques des images en valeurs de réflectance selon les paramètres du capteur Landsat 7 ETM+ et de minimiser l'impact des

conditions no-surfaciques sur les valeurs de l'image de 2002. L'image obtenue étant en niveau gris, il a fallu utiliser la composition colorée pour produire une image couleur à partir de la combinaison de trois bandes spectrales, relatives aux trois couleurs primaires, rouge, vert et bleu (Enonzan, 2010). Les compositions colorées utilisées pour mieux discriminer les types de végétations sont ETM+ 5-4-3. Elles ont permis de sélectionner les sites à visiter, l'orientation sur le terrain, les parcelles d'entraînement pour la réalisation des classifications et les parcelles de contrôle pour l'évaluation des classifications.

Une classification a été effectuée par la méthode des K-Means (classification par les Nuées Dynamiques) pour regrouper les classes d'occupation du sol présentant les mêmes valeurs radiométriques (Bonn & Rochon, 1993). Elle aboutit à la discrimination d'un nombre de classes élevées qui offre la possibilité de fusionner ultérieurement suivant différents thèmes (forêts, savanes, cultures etc.). En fin, des sites préalablement identifiés sur les images de 2002 et de 2016 ont été visités à partir de leurs coordonnées géographiques. Au total 14 points ont été visités. De façon globale, il s'agit des îlots de forêts, des savanes, des espaces cultivés et d'affleurement granitiques. La caractérisation de la flore a été faite d'abord à travers la détermination du nombre d'espèces, de genres, de familles et des types morphologiques (arbres ou arbuste, liane et herbe). Ces paramètres, ont permis d'avoir une idée globale de la richesse floristique, de la composition floristique et des espèces à statut particulier de la forêt classée. La richesse floristique est définie comme étant le nombre d'espèces recensées sur un territoire donné (Aké-Assi, 1984). La composition floristique renvoie aux caractéristiques de la flore étudiée. Il s'agit notamment de préciser : les familles, les genres, les types biologiques, les affinités chorologiques, et les spécialisations. Les travaux de Aké-Assi (2001, 2002) ont servi de base à l'établissement de ces listes. La valeur de la forêt classée pour la conservation de la biodiversité a été analysée à travers la détermination des espèces dites à statut particulier. Il s'agit d'identifier les espèces endémiques ivoiriennes (GCi), les endémiques des forêts de la Haute Guinée (HG), ou du bloc forestier ouest-africain (GCW), sur la base des listes d'espèces préétablies par Aké-Assi (1984 ; 2001 ; 2002), Holmgren *et al.* (2004). A ces espèces endémiques, a été ajoutée les listes des espèces rares ou menacées d'extinction de la flore ivoirienne selon l'UICN (2015) et des espèces à valeur commerciale.

Resultats

Vérification de la classification dirigée

La discrimination entre les classes thématiques (unités d'occupation des sols), obtenue à partir des matrices de confusions (Tableaux 1 et 2), donne pour chacune des classifications des précisions globales variant de 93,89% à

95,23% et des valeurs du coefficient Kappa élevés avec 0,92 et 0,93 respectivement pour les images 2016 et 2002. Les valeurs en gras dans la diagonale des tableaux correspondent pour chaque type d'occupation, aux taux de pixels bien classés, c'est-à-dire les taux de pixels d'une classe effectivement affectée à celle-ci par la méthode de classification utilisée. On remarque que toutes les classes sont bien discriminées tant pour l'image de 2002 (précision $\geq 91,67\%$) que pour l'image de 2016 (précision $\geq 89,33\%$). Cependant, on note quelques confusions entre les classes dont les plus élevées existent, en 2016, entre forêt claire et savane arborée (10,77) et entre complexe forêt dense sèche/forêt galerie et forêt claire (5,88%). En ce qui concerne la classification de l'image de 2001 (Tableau 1), les confusions les plus importantes ont été enregistrées entre affleurements granitiques et savane arborée.

Tableau 1. Matrice de Confusion de l'image Landsat ETM 2002 de la forêt classée de la Palé

	Forêt dense sèche/forêt galerie	Forêt claire	Savane arborée	Affleurements granitiques
Forêt dense sèche/forêt galerie	100	3,16	0	0
Forêt claire	0	94,74	2,78	0
Savane arborée	0	2,11	91,67	1,3
Affleurements granitiques	0	0	5,56	98,7
Totaux	100	100	100	100

Précision globale = 93,89 p.c. ; Coefficient Kappa = 92,09 p.c.

Tableau 2. Matrice de Confusion de l'image Landsat ETM+ 2016 de la forêt classée de la Palé

	Affleurements granitiques	Savane arborée	Zone de cultures	Forêt dense sèche/Forêt galerie	Forêt claire
Affleurements granitiques	94,83	0	0	0	0
Savane arborée	3,69	100	0,45	1,47	10,77
Champs	0	0	99,55	0	0
Forêt dense sèche/Forêt galerie	1,48	0	0	92,65	0
Forêt claire	0	0	0	5,88	89,23
Totaux	100	100	100	100	100

Précision globale = 95,23 p.c. ; Coefficient Kappa = 93,43 p.c.

Etat d'occupation du sol en 2002 et 2016

La classification dirigée des images satellitaires a permis de produire la carte de l'occupation de sol pour 2002 (Figure 2a) et pour 2016 (Figure 2b). Sur la carte 2002, la végétation de la forêt classée de la Palé est dominée par la forêt claire avec 7935,18 ha, soit 31,69% et le complexe forêt dense

sèche/forêt galerie avec 6878,49 ha, soit 27,47%. Les affleurements granitiques sont la classe d'occupation la moins représentée avec 4552,27 ha, soit 18,18%. On note une absence des zones de cultures sèches sur la carte d'occupation du sol de la forêt.

Sur la carte d'occupation de sol de 2016, la forêt claire, avec 8158,03 ha, soit 32,58%, domine toujours la végétation de la forêt. Suivent les affleurements granitiques avec 6422,76 ha, soit 25,65% et les savanes arborées avec 4950,41 ha, soit 19,77% et les forêts denses sèches/forêts galeries avec 4702,51 ha, soit 18,78%. Les zones de cultures apparues en 2016, constituent la classe d'occupation la moins représentée avec 806,29 ha, soit 3,22% et sont localisées au nord de la forêt classée.

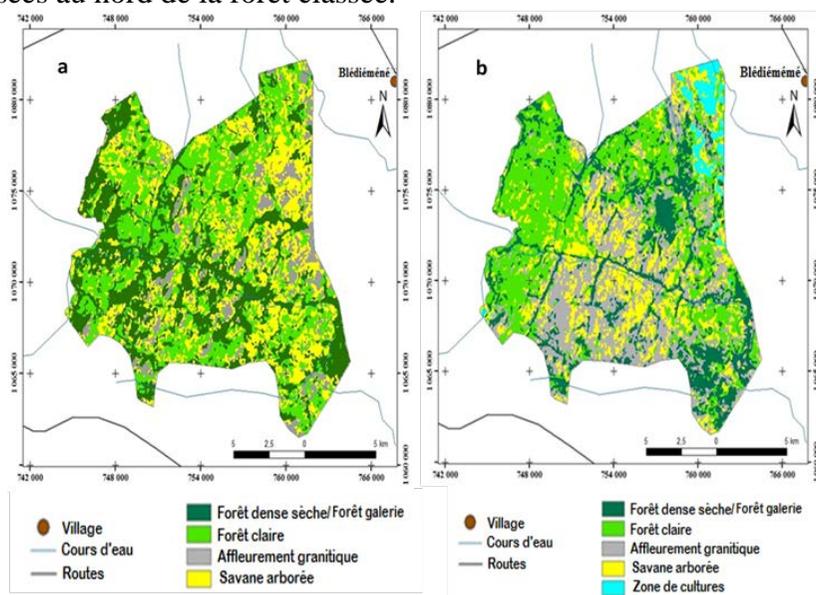


Figure 2. Carte des types d'occupation de sol de la forêt classées de la Palé à partir de l'image Landsat ETM de 2002 (a) et de l'image Landsat ETM+ de 2016 (b)

Dynamique des classes d'occupation du sol entre 2002 et 2016

Les résultats cartographiques et statistiques obtenus permettent de mettre en exergue la dynamique des classes d'occupation du sol entre 2002 et 2016 (Figure 3). On note d'une part une régression du complexe forêt dense sèche/forêt galerie qui passe de 6878,49 ha à 4702,51 ha, soit une perte de 145,06 ha/an. On remarque que la savane arborée a également diminué en superficie, passant de 5674,06 ha à 4950,41 ha, soit un taux de 2,93% de la surface de la forêt classée. D'autre part, on observe une augmentation des superficies occupées par la forêt claire entre 2002 et 2016. La forêt claire a gagné 222,85 ha entre 2002 et 2016, soit un taux d'évolution de 0,91% sur la période d'étude. On constate aussi une augmentation de la classe des affleurements granitiques de 1870,49 ha, soit une augmentation de 124,70

ha/an et une apparition de zones de cultures de 3,22% en 2016. On constate dès lors des changements dans la structure de l'occupation du sol dans la forêt classée de la Palé durant la période de 2002 à 2016. L'analyse du vecteur de changement montre que 15,03% de la forêt a connu une évolution positive (augmentation de la radiométrie) et, 17,56%, une évolution négative (baisse de la radiométrie). On observe, par ailleurs, que 67,41% de la forêt sont restés stable de 2002 à 2016 (Figure 4).

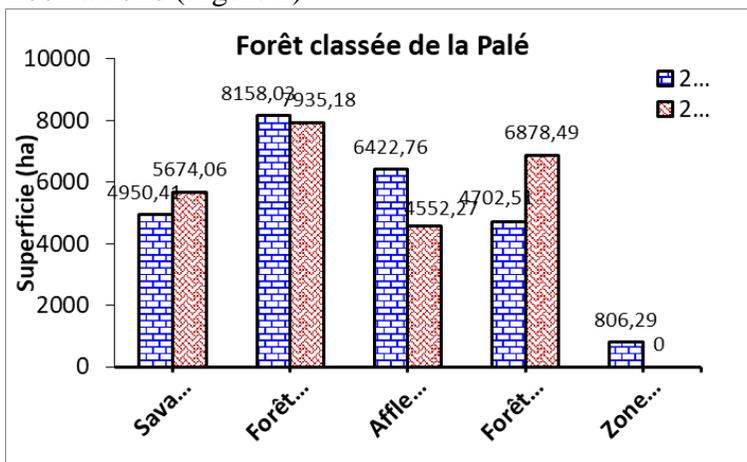


Figure 3. Dynamiques d'occupation du sol dans la forêt classée de la Palé en 2002 et en 2016

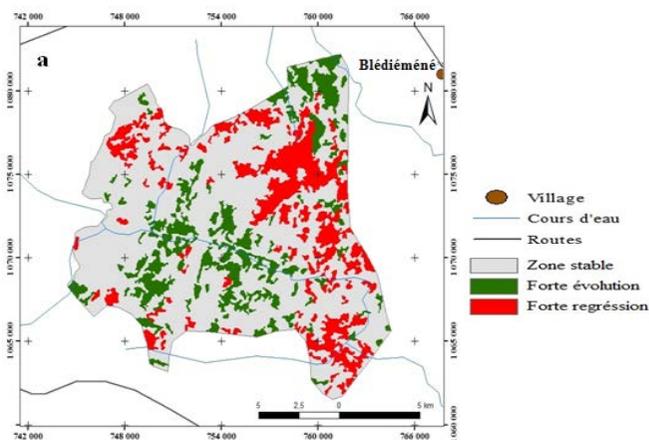


Figure 4. Dynamique de la végétation des forêts classées de la Palé entre 2002 et 2016

Caractérisation de la flore Richesse et composition floristiques

L'inventaire itinérant et de relevé de surface, a permis de dénombrer 281 espèces réparties entre 210 genres rangés dans 71 familles. Les familles dominantes, par ordre décroissant du nombre d'espèces, sont les Fabaceae (59

espèces), les Poaceae (17 espèces), les Rubiaceae (14 espèces), les Malvaceae (12 espèces), et les Phyllanthaceae (11 espèces) (Figure 5).

L'analyse de la richesse floristique des Angiospermes dans la forêt classée met en évidence la prépondérance des Dicotylédones avec 223 espèces (79,36 p.c.) réparties entre 163 genres regroupés au sein de 55 familles. Les Monocotylédones regroupent 56 espèces (19,93 p.c.) réparties entre 45 genres que partagent 14 familles. Les Ptéridophytes sont faiblement représentées par deux espèces (0,70 p.c.), deux genres et deux familles (Tableau 3).

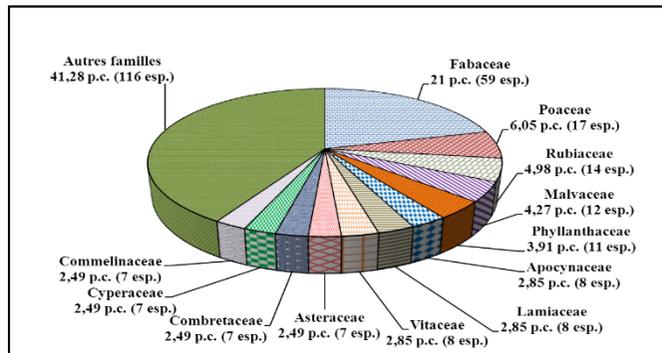


Figure 4. Spectre des familles dominantes de la flore de la forêt classée de la Palé

Tableau 3. Répartition des espèces inventoriées dans les deux forêts classées en taxons supérieurs

	Dicotylédones	Monocotylédones	Ptéridophytes	Total
Nombre d'espèces	223	56	2	281
Taux (p.c.)	79,36	19,93	0,71	100
Nombre de genres	163	45	2	210
Taux (p.c.)	77,62	21,43	0,95	100
Nombre de familles	55	14	2	71
Taux (p.c.)	77,47	19,72	2,82	100

Diversité des types biologiques

Les spectres biologiques des espèces inventoriées (Figure 5) mettent en évidence une nette dominance des Phanérophytes avec 197 espèces, soit 70,10 p.c. du total des espèces. Les Chaméphytes, les Epiphytes et les Hydrophytes sont les types biologiques les moins représentés avec, respectivement, 4 espèces (42 p.c.), 5 espèces (1,77 p.c.) et 1 espèce (0,35 p.c.). Parmi les Phanérophytes, 4 espèces, soit 1,43 p.c. de l'effectif total, appartiennent à la strate haute (hauteur supérieure à 32 m) ; mais ce sont les microphanérophytes qui dominent avec 96 espèces, soit 30,47 p.c., suivi des nanophanérophytes avec 74 espèces, soit 23,49 p.c. et des mésophanérophytes avec 24 espèces, soit 7,61 p.c.

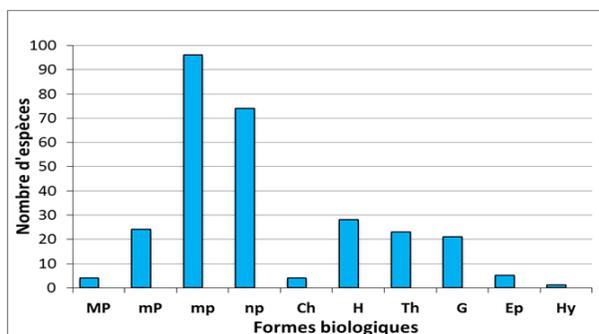


Figure 5. Spectre des types biologiques de la flore de la forêt classée de la Palé

Espèces à statut particulier

Au total 16 espèces ont été identifiées comme espèces à statut particulier dans la zone d'étude (Tableau 4). Parmi ces espèces, quatre espèces sont signalés comme endémiques des forêts de la Haute Guinée. Il s'agit de *Ficus ottoniifolia*, *Scadoxus multiflorus*, *Sherbournia calycina*, et *Tricalysia faranahensis*. Il a été comptabilisé 9 espèces rares ou menacées d'extinction selon l'UICN. Elles sont de la classe des espèces vulnérables pour 3 d'entre elles. Ce sont *Afzelia africana*, *Khaya senegalensis* et *Vitellaria paradoxa*. Ces espèces appartiennent à la classe des taxons dont le risque d'extinction est toujours croissant. Dans cette forêt, 3 espèces sont considérées comme rares ou menacées d'extinction de la flore ivoirienne selon les listes de Aké-Assi (1998). Ce sont : *Aubrevillea platycarpa*, *Ensete livingstonianum* et *Syzygium guineense* var. *macrocarpum*.

Tableau 4. Espèces à statut particulier rencontrées dans la forêt classée de la Palé

Espèces récoltées	Espèces UICN	Espèces Haute-Guinée	Espèces Aké-Assi
<i>Afzelia africana</i> Sm.	VU		
<i>Aubrevillea platycarpa</i>			+
<i>Detarium microcarpum</i>	LC		
<i>Ensete livingstonianum</i>			+
<i>Ficus ottoniifolia</i>		+	
<i>Isoberlinia doka</i>	LC		
<i>Khaya senegalensis</i>	VU		
<i>Panicum repens</i> Linn.	LC		
<i>Paspalum scobiculatum</i> var. <i>scobiculatum</i>	LC		
<i>Raphia sudanica</i>	DD		
<i>Scadoxus multiflorus</i>		+	
<i>Sherbournia calycina</i>		+	
<i>Syzygium guineense</i> var. <i>macrocarpum</i>			+
<i>Tacca leontopetaloides</i>	LC		
<i>Tricalysia faranahensis</i>		+	
<i>Vitellaria paradoxa</i>	VU		
Total	09	4	3

Discussion

Vérification De La Classification Dirigée

Les classifications dirigées ont permis d'obtenir des précisions cartographiques satisfaisantes pour les deux images (précisions > 90. En effet, selon Pontius (2000), une étude d'occupation du sol peut être validée si le taux de classification global est supérieur ou égal à 50 p.c. Des résultats similaires ont été obtenus par Koné *et al.* (2007), dans une étude menée dans la forêt classée du Mont Korhogo situé en milieu de savane soudanienne, en Côte d'Ivoire. Cependant, des confusions, bien que mineurs, ont été enregistrées entre certaines classes d'occupation du sol. Ces confusions sont dues à des réponses spectrales similaires pour certaines formations végétales (Diallo *et al.*, 2011 ; Tankoano *et al.*, 2015). En effet, les savanes arborées et les savanes arbustives sont des formations mixtes qui ne sont pas toujours bien différenciées (N'guessan *et al.*, 2003 ; Tankoano, 2012). De même les cultures, les friches et les savanes herbeuses sont composées d'espèces appartenant souvent aux mêmes types biomorphologiques qui peuvent présenter les mêmes signatures spectrales.

Dynamique des classes d'occupation du sol entre 2002 et 2016

L'analyse de la dynamique d'occupation du sol entre 2002 et 2016 montre que les formations boisées (forêts denses sèches/forêts galeries, forêts claires et les savanes arborées) sont en régression. Les causes de la régression des formations boisées, en Afrique de l'Ouest, sont connues. Kokou *et al.* (2006) ont montré qu'elles sont d'origine anthropique (feux de brousse, agriculture, surpâturage, exploitation forestière). Ces activités anthropiques, comme facteur important dans la dynamique régressive des formations végétales en zone soudanienne, ont été déjà soulignées par de nombreux auteurs comme Bamba *et al.* (2008), Adjonou *et al.* (2010), Inoussa *et al.* (2011) et Tankoano (2012) évoquent l'assèchement du climat ces dernières années. La forêt classée de la Palé est soumise à un climat à une seule saison pluvieuse qui est souvent marquée par des épisodes de sécheresses accentuées observées généralement en Afrique de l'Ouest (Ardoin, 2004 ; Ozer *et al.*, 2010).

Ces périodes de déficit hydrique favorisent l'action des feux de brousse qui contribuent ainsi à dégrader la couverture ligneuse (Koné *et al.*, 2007). Cette hypothèse paraît plausible dans la mesure où on constate une augmentation des classes des affleurements granitiques et des savanes arbustives. L'occupation agricole de la forêt classée peut être appréciée par l'apparition de zones de cultures au détriment de la végétation en 2016. Cette apparition est une observation très importante car elle permet de situer la période des activités agricoles dans cette forêt mais aussi de mesurer l'impact de l'absence de l'administration forestière, due à la crise sociopolitique, au Nord de la Côte d'Ivoire, entre 2002 et 2012.

Caractérisation de la flore

Les inventaires botaniques réalisés permettent d'établir une première ébauche de catalogue floristique de cette forêt. Les 281 espèces recensées témoignent de la richesse floristique de ce site. Cette richesse floristique est supérieure à celle obtenue par Tiébré *et al.* (2016) en zone soudanienne dans la localité de Korhogo (243 espèces), mais plus faible que celle obtenue par Ouattara *et al.* (2006), dans la zone soudanienne dans le Nord-Ouest (429 espèces), de la Côte d'Ivoire. Il s'agit de zones de savanes géomorphologiquement similaires ou plus humides que le secteur nord-soudanien. En effet, Selon Kouassi (2007), l'humidité constitue l'un des facteurs déterminants pour la diversité floristique.

Les familles botaniques dominantes sont les Fabaceae *lato sensu*, les Poaceae et les Rubiaceae. Cette situation est analogue à celle observée par Ouédraogo (2008) et Adjonou *et al.* (2009). L'explication de ces observations résiderait au niveau de la pression du pâturage qui peut modifier la composition floristique originelle la forêt classée. Les Ptéridophytes sont faiblement représentées dans la forêt classée de la Palé, avec seulement 3 espèces. Cette rareté des Ptéridophytes pourrait s'expliquer par la faible humidité de cette forêt soudanienne. En effet, selon Adou *et al.* (2016) et Aké Assi (2001), la forêt dense constitue le biotope favorable pour le développement de la majorité des fougères. Le nombre important de phanérophytes, obtenu dans cette étude est due, sans doute, au caractère forestier de la végétation de la forêt classée ou sans doute le résultat de leur régénération vivace par bourgeon, qui constitue un mode de régénération quantitative important dans la végétation originelle (Catinot, 1994 ; Koulibaly, 2008). L'abondance des microphanérophytes, révèle une prépondérance des formations arbustives dans la forêt classée, car les formations boisées ont connu une régression sous l'action conjuguée des Hommes et des fluctuations climatiques.

En ce qui concerne le cortège des espèces à statut particulier, les résultats montrent que ces espèces sont faiblement représentées dans la forêt étudiée. Ouattara *et al.* (2016) ont obtenu des résultats similaires dans la zone soudanienne du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Ces auteurs attribuent cette faible représentativité de ces espèces particulières aux perturbations de la végétation, causées par les activités anthropiques ou à la faible pluviométrie de la zone (Kouassi, 2007). Cependant, ces espèces constituent des éléments importants dans la conservation de leur biodiversité (Adou Yao, 2005).

Conclusion

L'étude, réalisé dans la forêt classée de la Palé, a révélé de fortes modifications du paysage de la forêt classée de la Palé. Les formations boisées ont connu une régression, entre 2002 et 2016, entraînant ainsi une

modification profonde dans la structure spatiale de la forêt. Les causes majeures de cette perte des formations boisées peuvent être les défrichements agricoles, les feux de brousse et les activités pastorales.

Concernant l'étude floristique, elle a permis de mettre en évidence une richesse spécifique intéressante (281 espèces). Les résultats montrent que les inventaires restent le seul outil efficace pour l'évaluation et la valorisation des ressources naturelles. Les 18 espèces à statut particulier identifiées témoignent de la valeur pour la conservation de la forêt classée.

Ces résultats constituent une première étape dans l'établissement d'une base de données sur la flore et la végétation des forêts classées de la Région de la Bagoué. Son approfondissement et son extension permettront de réactualiser la carte bioclimatique et d'amorcer la rédaction de la flore des forêts classées du Nord de la Côte d'Ivoire.

References:

1. Adjonou, K., Bellefontaine, R., & Kokou, K. (2009). Les forêts claires du Parc National Oti-Kéran au Nord-Togo: structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20(1) : 1-10. DOI : 10.1684/sec.2009.0211
2. Adou Yao, C. Y. (2005). Pratiques paysannes et dynamiques de la biodiversité dans la forêt classée de Monogaga (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat unique, Département Hommes Natures et Société, Université MNHN, Paris, France, 233 p.
3. Adou, D. M. L., Ipou, I. J., & Adou Yao, Y. C. (2016). Répartition écologique des Ptéridophytes dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(1) : 320-330. DOI : 10.4314/ijbcs.v4i1.54242
4. Aké Assi, L. (1984). La flore de la Côte d'Ivoire : étude descriptive et biogéographique, avec quelques notes ethnobotaniques. Tome I, II, III. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1205 p.
5. Aké Assi, L. (2001). Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. Conservatoire et Jard. Bot., Genève, Switzerland, *Boissiera*, 57 : 1-396.
6. Aké Assi, L. (2002). Flore de la Côte d'Ivoire 2, catalogue, systématique, biogéographie et écologie.
7. Ardoin, B. S. (2004). Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de l'Université de Montpellier II, France, 330 p.
8. Balac, R. (2000). Les économies pionnières prédatrices du milieu forestier : le cas de l'économie de plantation en Côte d'Ivoire. *Travaux de la Société d'Écologie Humaine*, pp. 429-438.

9. Bamba, I., Mama, A., Neuba, D. F. R., Koffi, K. J., Traoré, D., Visser, M., Sissin, B., Lejoly, J. & Bogaert, J. (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo). *Sciences et Nature*, 5(1) : 49-60. DOI : 10.4314/scinat.v5i1.42151
10. Bonn, F. & Rochon, G. (1993). Précis de télédétection : principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec. Sainte-Foy., Canada, 485 p.
11. Catinot, R. (1994). Aménager les savanes boisées africaines. Un tel objectif semble désormais à notre portée. *Bois et Forêts des Tropiques*, 241 : 53-67. DOI : <https://doi.org/10.19182/bft1994.241.a19812>
12. Diallo, H., Barnba, I., Barina, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Marna, A., Vranken, I., Maïga, 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). *Sécheresse*, 22(3) : 97-107. DOI : <http://hdl.handle.net/2268/106573>
13. Enonzan, F. B. (2010). Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : cas des forêts classées de Dogo-Ketou au Bénin. Mémoire de fin d'études, Obafemi Awolowo University Campus, Nigéria. 89 p.
14. Grégoire, J. M. & Simonetti, D. (2010). Interannual changes of fire activity in the Protected area of the SUN (Sustainable use of natural vegetation in West Africa) Network and other Parks and Reserves of the West and Central Africa Region derived from MODIS observations. *Ecological Status and Change by Remote Sensing*, 2(2): 446-463. DOI : <https://doi.org/10.3390/rs2020446>
15. Hahn-Hadjali, K. (1998). Les groupements végétaux des savanes du Sud- Est du Burkina Faso (l'Afrique de l'Ouest). - Études sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants, 3 : 3-79.
16. Hien, M., Boussim, J., & Guinko, S. (2002). L'utilisation de *Burkea africana* Hook. (Caesalpiniaceae) par les populations d'éléphants *Loxodonta africana* (Blumen) Bach. dans le Ranch de Gibier de Nazinga (Burkina Faso). *Annales de Botanique de l'Afrique de l'Ouest*, 2 : 25-35.
17. Holmgren, M., Poorter, L., Siegel, A., Bongers, F., Buitelaar, M., Chatelain, C., Gauthier, L., Hawthorne, W. D., Helmink, A. T. F., Jongkind, C. C. H., Os-Breijer, H. J., Weirenga, J. J. & Van Zoest, A. R. (2004). Ecological profiles of rare and endemic species. In : *Biodiversity of West African forests, an Ecological Atlas of Woody plant Species*, CABI Publishing, Cambridge, pp. 101-389.

18. Inoussa, M. M., Mahamane, A., Mbow, C., Saadou, M. & Yvonne, B. (2011). Dynamique spatiotemporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest). *Sécheresse*, 22(2) : 108-116.
DOI : <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=24247762>
19. Kokou, K., Atato, A., Bellefontaine, R., Kokutse, A. D. & Caballé, G. (2006). Diversité des forêts denses sèches du Togo. *Revue d'Ecologie*, 61(3) : 225-246. DOI : <http://hdl.handle.net/2042/55682>
20. Koné, M., Aman, A., Yao, A. C., Coulibaly, L. & N'Guessan, K. E. (2007). Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne en Côte d'Ivoire. *Revue Télédétection*, 7(1-2-3-4) : 433-446.
21. Kouamé, N. F. (1998). Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3^{ème} Cycle, UFR Biosciences, Université Cocody- Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p.
22. Kouassi, K. E. (2007). Flore de la forêt classée de la Haut-Dodo, dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Etude de quelques espèces commerciales : cas de *Garcinia afzelii* (Clusiaceae), des rotins (palmiers lianes) des genres *Calamus*, *Eremospatha* et *Laccosperma* (Arecaceae). Thèse de Doctorat., UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 279 p.
23. Koulibaly, A.V. (2008). Caractéristique de la végétation et dynamique de la régénération, sous l'influence de l'utilisation des terres, dans des mosaïques forêts-savanes, des Régions de la Réserve de Lamto et du Parc National de la Comoé, en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 137 p.
24. Léonard, E. & Ibo, J. G. (1994). Appropriation et gestion de la rente forestière en Côte d'Ivoire. *Politique Africaine* 53 : 25-36.
25. Lykke, A.M. (2000). Local perception of vegetation change and priorities for conservation of woody savanna vegetation in Senegal. *Journal of Environmental Management*, 59: 107-120.
26. N'guessan, E., Behan, M. F. & Blasco, F. (2003). Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, 3(5) : 443-456.
27. Ouattara, D., Kouamé, D., Tiebré, M. S., Cissé, A. & N'Guessan, K. E. (2016). Diversité floristique et usages des plantes dans la zone soudanienne du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31 : 4815-4830.
DOI : <https://www.academia.edu/42807156/>

28. Ouédraogo, M. (2008). Les ripicoles forestières de la Réserve de la Biosphère de la Mare aux Hippopotames du Burkina Faso : caractéristiques, dynamique et ethnobotanique. Thèse de Doctorat de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 262 p.
29. Ouôba, P., Boussim, J. & Guinko, S. (2006). Le potentiel fruitier de la forêt classée de Niangoloko au Burkina Faso. *Fruits*, 61 : 71-81.
30. Ozer, P., Hountondji, Y. C., Niang, A. J., Karimoune, S., Manzo, O. L. & Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographie de Liège*, 54 : 69-84. DOI : <https://popups.uliege.be/443/0770-7576/index.php?id=942>.
31. Pontius Jr., R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and remote Sensing*, 66(8) : 1011-1016. DOI : <http://worldcat.org/issn/00991112>
32. Tankoano, B. (2012). Suivi diachronique de la couverture ligneuse dans la forêt classée de Koulbi à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG). Mémoire IDR, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 94 p.
33. Tankoano, B., Hien, M., Dibi, N. H., Sanon, Z., Yameogo, J. T. & Somda, I. (2015). Dynamique spatio-temporelle des savanes boisées de la forêt classée de Tiogo au Burkina Faso *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4) : 1983-2000. DOI : 10.4314/ijbcs.v9i4.23
34. Tente, B., & Sinsin, B. (2002). Diversité et structure des formations arborescentes du secteur Perma-Toucountouna dans la chaîne de l'Atacora (Bénin). *Études sur la Flore et la Végétation du Burkina Faso*, 6 : 31-42.
35. Thiombiano, A. (1996). Contribution à l'étude des Combretaceae dans les formations végétales de la région Est du Burkina Faso. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 220 p.
36. Tiébré, M. S., Ouattara, D., Vroh, B. T. A., Gnagbo, A. & N'Guessan, K. E. (2016). Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 102 : 9699-9707. DOI : 10.4314/jab.v102i1.4
37. UICN (2015). UICN Red List of Threatened Species. Version 201 5.1. <www.iucnredlist.org>.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Sites D'eau Sacrés Et Conservation De La Biodiversité : Cas Des Paysages D'eau De La Région De Ziguinchor (Sénégal)

Mamadou Lamine Sané,

Doctorant à l'Ecole Doctorale Etudes sur l'Homme et la Société,
Département d'Histoire, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

Claudette Soumbane Diatta,

Département de Géographie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

Barnabé Ephrem A. Diémé,

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement
(LaSTEE), Ecole Polytechnique de Thiès, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p18](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p18)

Submitted: 29 September 2021

Accepted: 13 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Lamine Sané M., Soumbane Diatta C., & Ephrem A.D.B., (2021). *Sites d'eau sacrés et conservation de la biodiversité : cas des paysages d'eau de la région de Ziguinchor (Sénégal)* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 18.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p18>

Résumé

La région de Ziguinchor, située au sud du Sénégal, est entièrement comprise dans la Basse Casamance. Peuplée essentiellement par des Ajamaat, cette région se caractérise au plan géographique par une prédominance des paysages de l'eau qui lui donnent l'image d'un territoire « amphibie ». Cet environnement aquatique dominé par le fleuve Casamance d'où se détachent de nombreux bolong est aussi constitué de mangroves, de bas-fonds et de multitudes de mares qui leurs sont associées. Les populations ajamaat tirent ainsi une part essentielle de leurs ressources dans ce milieu. Toutefois, au-delà de son aspect nourricier, l'environnement aquatique occupe une place importante dans les croyances traditionnelles ajamaat. Considérés comme sanctuaires de nombreux êtres qui peuplent l'univers religieux ajamaat, les paysages de l'eau de la Basse Casamance sont des espaces sacrés dont l'accès est soumis à des interdictions. Cet aspect traduit l'apport des croyances dans la préservation de la biodiversité.

Mots clés: Ajamaat, Basse Casamance, paysages de l'eau, sacré, croyances

Sacred Water Sites And Biodiversity Conservation: The Case Of The Water Landscapes Of The Ziguinchor Region (Senegal)

Mamadou Lamine Sané,

Doctorant à l'Ecole Doctorale Etudes sur l'Homme et la Société,
Département d'Histoire, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

Claudette Soumbane Diatta,

Département de Géographie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

Barnabé Ephrem A. Diémé,

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement
(LaSTEE), Ecole Polytechnique de Thiès, Sénégal

Abstract

The region of Ziguinchor, located in the south of Senegal, is entirely within Lower Casamance. Populated mainly by Ajamaat, this region is characterized geographically by a predominance of water landscapes that give it the image of an "amphibious" territory. This aquatic environment dominated by the Casamance River from which many bolongs stand out is also made up of mangroves, shallows and multitudes of ponds associated with them. The ajamaat populations thus draw an essential part of their resources from this environment. However, beyond its nourishing aspect, the aquatic environment occupies an important place in the traditional ajamaat beliefs. Considered as sanctuaries for many beings who populate the religious universe ajamaat, the water landscapes of Lower Casamance are sacred spaces whose access is subject to prohibitions. This aspect reflects the contribution of beliefs in the preservation of biodiversity.

Keywords: Ajamaat, Lower Casamance, Water Landscapes, Sacred, Beliefs

Introduction

Chaque société humaine demeure très largement tributaire du cadre de vie dans lequel elle puise la quasi-totalité de ses ressources. C'est pourquoi des relations particulières lient les sociétés au milieu naturel qui les entoure. A ce propos, Oyono et al. (2012, p.12) soulignent qu'en « *Afrique Sub-saharienne les rapports entre les sociétés humaines et l'environnement naturel sont le reflet d'une véritable homologie tissée par l'histoire, la géographie, les représentations du monde et les modes d'organisation sociale* ». Cette situation peut se lire dans les rapports entre l'homme et son milieu physique en Basse Casamance. Région « amphibie », située au cœur des « rivières du sud », la Basse Casamance est en majorité peuplée par les

Diolas encore appelés *Ajamaat*. Cet ethnonyme est usité par les populations pour désigner leur appartenance ethnique. En fait, le terme Diola, plus répandu, serait une attribution des autres groupes ethniques, notamment les Mandingues dans le contexte de violence qui avait marqué le contact des différents groupes en Sénégambie méridionale (Bassène, 2011 ; Diédiou, 2011).

Les Bainouk ou *Bañun*, confinés aujourd'hui dans une trentaine de village autour de Ziguinchor et de Bignona, constitueraient cependant le peuplement le plus ancien de la Casamance. En effet, ils occupaient un vaste territoire au XVI^e siècle, qui s'étendait de la rivière Cacheu en Guinée Bissau au marigot de Bintang (Gambie) (Linares, 1992). Mais leur prépondérance serait par la suite remise en question par les *Ajamaat*. Ces derniers auraient peuplé la Basse Casamance à partir des migrations venues du Sud (Pélissier, 1966 ; Baum, 1999). Ils ont d'abord peuplé le Huluf et le Esulalu sur la rive sud avant d'atteindre la rive nord (du fleuve Casamance) pour peupler le Jugut, le Karone et le Fogy (Thomas, 1960). Jusqu'au XIX^e siècle, ces deux groupes constituaient la totalité de la population de la Basse Casamance (Pélissier P. 1966). Le dernier groupe dont la présence est assez remarquable au nord-ouest de la région est celui des Mandingues. Leur présence en Sénégambie serait antérieure au XIII^e siècle. Par la suite, ils vont fonder à partir du XVII^e siècle, le puissant royaume du Kaabu ou Gabou qui atteint son apogée au XVIII^e siècle (Niane, 1989). Leur installation en Basse Casamance est assez tardive. Ce n'est qu'à partir du XIX^e siècle, que de petits groupes longeant la frontière de Gambie pénétrèrent jusqu'aux environs de la côte (Pélissier, 1966). Ils constituent aujourd'hui une frange importante du Fogy Diabancounda et du Narang où ils cohabitent avec les *Ajamaat*.

Les *Ajamaat* sont tributaires des ressources naturelles tirées des milieux aquatiques. Ces derniers, composés de nombreux bolong rattachés au fleuve Casamance, de mares contigües aux rizières, de forêts de palétuviers, du littoral atlantique ont, depuis les époques de peuplement, constitué un intérêt vital pour ces populations. Mais, au-delà de cette importance économique, les paysages de l'eau en Basse Casamance se particularisent aussi par la sacralité qui les entoure. En effet, dans les représentations collectives, un point d'eau naturel, demeure rarement sans constituer un lieu de résidence des puissances surnaturelles qui peuplent l'univers religieux *ajamaat*. Les mânes des ancêtres, les êtres totémiques ainsi que divers génies qui peuplent le monde invisible ont pour habitacle privilégié, le milieu aquatique.

De ce fait, les mythes, les croyances associées à ces espaces, de même que les interdits qui régissent leur accès, ont constitué un moyen efficace de conservation de la biodiversité. Aujourd'hui, la Basse Casamance, à l'instar

des autres régions d'Afrique occidentale, a connu à partir du XIX^e siècle de profondes mutations culturelles dues à la pénétration coloniale et des religions dites révélées. Ce qui, inévitablement, a favorisé la désacralisation d'un grand nombre des paysages de l'eau et une altération des moyens traditionnels de conservation. La particularité ici, est le fait que les populations locales ont intégré certaines croyances populaires parvenues avec l'islamisation dans la sacralité des sites d'eau. Cette situation donna lieu à un véritable syncrétisme dans le rapport avec ces sites mais permet néanmoins d'inscrire leur préservation dans la longue durée.

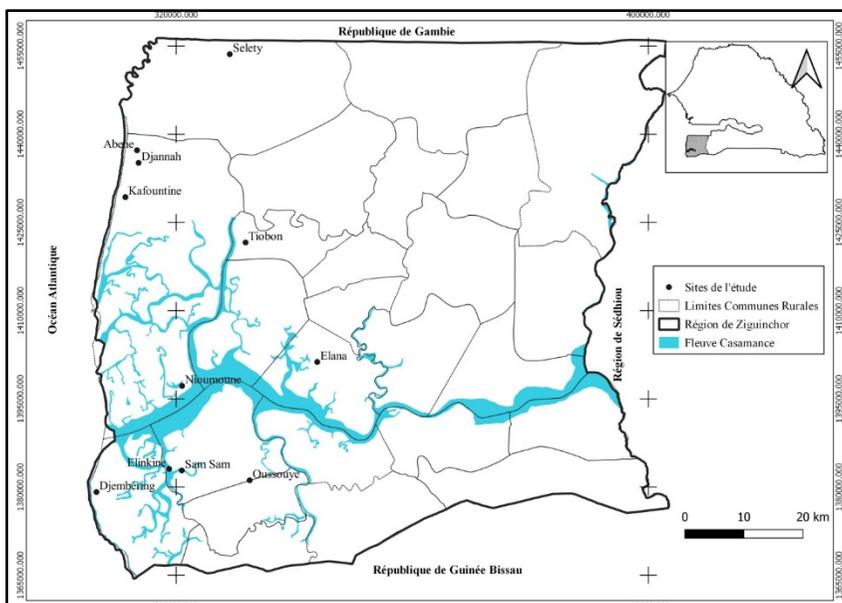
Les travaux réalisés dans la zone d'étude sur les rapports entre croyances traditionnelles et paysages de l'eau (Fall et *al.*, 2011 ; Oyono et *al.*, 2012 ; Diatta et *al.*, 2017 ; 2018 ; 2020) n'ont pas intégré l'aspect diachronique des représentations collectives sur les paysages d'eau en milieu *ajamaat* d'où l'intérêt de ce thème dans l'analyse des croyances et pratiques traditionnelles qui concourent à la sauvegarde de la biodiversité.

Cette étude est basée sur l'hypothèse selon laquelle, les représentations collectives des sociétés traditionnelles participent à la préservation de la biodiversité en dépit de l'avènement des religions étrangères (islam et christianisme) et des pressions anthropiques. Il s'agit de voir ici comment l'histoire peut aider à étudier les pratiques culturelles et culturelles qui ont favorisé la préservation de l'environnement. A ce propos, la théorie de la génétique culturelle qui, à travers la globalité antérieure nous permet d'interroger les mémoires sur le contexte de l'initiative et de la création des méthodes de gestion de la biodiversité (Haenens 1989 cité par Sanou, 2003) est empruntée.

L'objectif assigné à cette étude est dans une première phase de revisiter les rapports entre les hommes et leur milieu proche, pour comprendre le processus qui a conduit à la nécessité de préserver la nature, particulièrement les paysages de l'eau. Enfin, mettre en exergue les éléments qui ont favorisé le maintien dans la longue durée de ces rapports privilégiés entre l'homme et la nature dans la société *ajamaat*.

1. Lieu de l'étude

Les paysages de l'eau ayant fait l'objet de cette étude concernent essentiellement le territoire de la Basse Casamance qui s'étend de l'océan Atlantique au Soungrougrou. Administrativement, la Basse Casamance correspond à la région de Ziguinchor. Elle est constituée par les départements d'Oussouye, de Ziguinchor et de Bignona.



Carte 1 : Carte de situation

La population de la Basse Casamance, estimée à environ 641 253 habitants, est constituée par une diversité d'ethnies dont les *Ajamaat* (57,8%) qui cohabitent avec les Mandingue (11,1%), les Pulaars (10,5%), les Ouolofs (3,9%), les Manjacques (3,5%), les Balantes (2,9%), les Mancagnes (2,4%), les Sérères (2,7%), etc. (ANSD/SRPSZ, 2015).

La région est très plate et s'intègre dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Elle est constituée de bas plateaux s'élevant à l'est et l'ouest du méridien de Bignona par des plateaux. Ces derniers surplombent les vallées peu encaissées qui s'ouvrent vers le fleuve ou l'Océan Atlantique. Vers l'embouchure, les bas-fonds cèdent la place à un paysage amphibie qui s'étend jusqu'à la dune côtière. Cette partie se caractérise par la présence des alluvions récentes au sein desquelles se rencontrent deux formations essentielles, d'une part des cordons de sable, d'autre part des plaines de vases couvertes de mangrove (Pélicier, 1966).

Le climat de la région est caractérisé par l'alternance d'une saison sèche (octobre-mai) et d'une saison humide (juin-septembre). La pluviométrie est supérieure à 1 000 mm/an. L'hydrographie est marquée par la présence du fleuve Casamance auquel la région doit son histoire, son toponyme et ses principales ressources. Ce bras de mer est une rivière inverse qui coule d'ouest en est sur plus de 350 km (Diédhiou, 2001). Il est rattaché à un ensemble de marigots ou chenaux faisant des paysages d'eau un des éléments les plus caractéristiques de son milieu naturel et un patrimoine naturel et culturel remarquable pour les *Ajamaat*.

1. Démarche méthodologique

La méthodologie suivie pour la réalisation du travail comporte deux phases, la documentation et la collecte des données qualitatives.

La phase de la documentation a consisté à consulter des archives historiques, des travaux universitaires et ouvrages sur la question des croyances traditionnelles développées par les sociétés autour des sites sacrés. Ces sources documentaires ont permis de faire l'état des lieux sur la question mais aussi d'orienter les guides d'entretien portant sur les savoirs et pratiques endogènes en rapport avec la préservation de l'environnement.

La collecte des données a principalement été faite au moyen d'un guide d'entretien et d'un questionnaire. La technique de « boule de neige » a été appliquée. Elle consiste à trouver un premier interlocuteur qui a conduit à un autre et ainsi de suite. Elle est appliquée à deux cibles principales :

- les personnes ressources : elles désignent les personnes disposant de suffisamment d'informations pour témoigner des pratiques traditionnelles et de leur évolution dans le temps. Il s'agit de chefs coutumiers, de dignitaires religieux et de patriarches dépositaires d'une certaine connaissance de la tradition. Après chaque entretien, la personne interviewée en désigne une autre avec qui le même travail est effectué.
- Les chefs de ménage : ils sont aussi associés à ce travail car constituant une source d'information non négligeable. En réalité, si les pratiques collectives tendent à disparaître, les familles conservent des résidus de celles-ci. Ainsi, un questionnaire leur a été soumis sous forme d'entretien individuel. Le but est de recueillir des informations afin de déceler la persistance ou non des pratiques traditionnelles locales. Les entretiens avec les chefs de ménages sont arrêtés dès constat du retour des mêmes réponses.

A la fin du processus, le comptage du nombre de personnes touché a été effectué et les résultats de celui-ci sont inscrits dans le tableau 1 par localité. Au total, 103 chefs de ménage et 44 personnes ressources sont interviewés dans le cadre de ce travail.

Le choix des villages est fondé sur l'existence de sites d'eau sacrés, leur répartition spatiale et des groupes linguistiques *Ajamaat* sans tenir compte de l'état de conservation des sites, du type de croyance (animistes, musulmanes), de leur activité ou abandon. Ainsi, sur la rive droite précisément au nord de la région de Basse Casamance, cinq villages ont été enquêtés à savoir Kafountine et Diannah situés dans le Fogny Diabancounda, Niomoune dans le Bliss-Kassa, Tiobon et Elana dans le Blouf. Sur la rive gauche (sud), six villages que sont Oussouye appartenant à la zone Kassa ou royaume du

Houlouf, Sam Sam, Elinkine et Kagnoute (Esulalu), Djembéring (Diwat) et Séléky localisé dans le Bandial ou *Mof Evvi*¹ ont été sélectionnés.

En plus des informations recueillies, les séjours sur le terrain d'enquête ont également permis d'effectuer des observations directes sur des faits et des pratiques en rapport avec la problématique de recherche.

Tableau 1 : Echantillonnage de la population enquêtée dans les villages de l'étude

Localités/Villages	Entretiens avec :	
	Chefs de ménage	Personnes ressources
Kafountine	10	3
Diannah	15	7
Niomoune	10	5
Tiobon	15	5
Elana	15	6
Oussouye	10	3
Sam-sam	5	3
Elinkine	10	3
Djembéring	8	6
Séléky	5	3
Totaux	103	44

Source : Sané et al. 2021

2. Résultats

2.1. Typologie des paysages d'eau sacrés de la Basse Casamance

Les milieux aquatiques sont une composante essentielle de la géographie physique de la Basse Casamance et constituent une partie importante du patrimoine matériel et immatériel du peuple *ajamaat*. L'étude a permis d'inventorier plusieurs sites d'eau sacrés dans les différentes entités *ajamaat* de l'étude que sont le Fogny Diabancounda, le Bliss-Kassa, le Blouf, le Royaume du Houlouf, le Esulalu, la zone Diwat et le Bandial ou *Mof Evvi*. Ces sites se distinguent en fonction de leur spécificité (figure 1).

¹ Le *Mof Evvi* traduit littéralement par la « terre du roi » en langue *ajamaat* est un territoire bien structuré improprement appelé par les auteurs royaume du Bandial. Le Bandial en fait est un des six villages composant cette entité dont le nom traditionnel par lequel le désignent ses habitants est *Esukuring* « villages des rivières ».

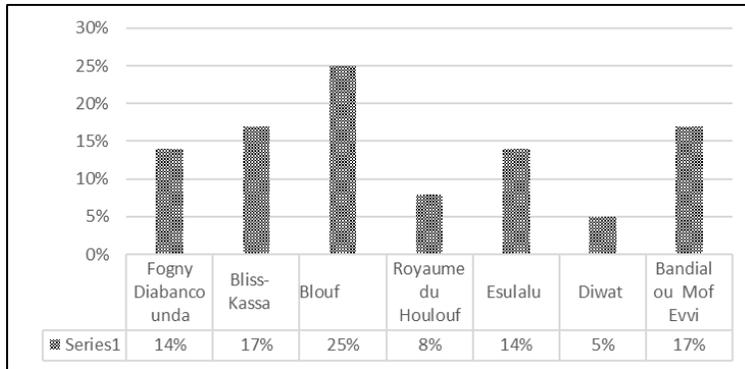


Figure 1 : Répartition des sites d'eau en fonction des entités traditionnelle *ajamaat*
(Source : Sané et al. 2021)

La diversité des sites d'eau répertoriés rend difficile l'adoption d'un seul critère pour établir une typologie précise. C'est pourquoi une classification fondée sur les types de pratiques a été adoptée. Ainsi, quatre (04) types de sites d'eau sacrés se distinguent assez facilement : les sites d'eau animistes, les sites d'eau musulmans, les sites synchrétiques et sites abritant des djinns.

2.1.1. Les sites d'eau liés à la religion traditionnelle *ajamaat* :

Ce sont les plus répandues dans la zone et témoignent du dynamisme récent des pratiques traditionnelles. Ils se rapportent à ceux qui servent aux pratiques traditionnelles locales et sont constitués par des mares ou des bolong. On dénombre 23 sites d'eau sacrés strictement liés aux pratiques locales et animistes, répartis ainsi :

- 01 mare appelée *foumodje* en langue *ajamaat* considérée comme la demeure exclusive des mânes des ancêtres. Ce sont des points d'eau qui servent de pont entre la communauté et l'au-delà, celui de ses ancêtres. C'est pourquoi, ils requièrent une attention particulière de la part des populations *ajamaat* ;
- 13 mares et *bolong* abritant des totems (animaux) et dont l'exploitation des ressources est soumise à des régulations d'accès ou d'usage. ;
- 07 mares abritant indifféremment des totems, des génies, des mânes ancestrales et des lieux de rites culturels ;
- 02 mares et bolong abritant exclusivement un fétiche

Tableau 2 : Sites d'eau liés aux pratiques animistes

Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
<i>Aroughy</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure mânes des	Rite d'invocation pour la pluie	Accès défendu aux femmes en menstrues ou	Tiobon

Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
		ancêtres, lieu de rite		accouchées récentes	
<i>Colan</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure mânes des ancêtres, lieu de rite	Rites initiatiques	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Tiobon
<i>Djignilou</i>	Mare	Usage domestique séculaire, présence de totems	Rites initiatiques	Interdit de tuer les animaux vivant dans la mare	Mlomp Blouf
<i>Kounankine</i>	Bolong	Abris de totem	X	Interdit de tuer les animaux vivant dans la mare	Mlomp Blouf
<i>Kadieel</i>	Mare + Forêt	Usage domestique séculaire, demeure des mânes des ancêtres, présence de génie titulaire et de totems	Rite d'invocation aux mânes, au génie et rite d'initiation	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Elana
<i>Ehouwa-assom</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure mânes des ancêtres, lieu de rite	Rites initiatiques	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Niomoune
<i>Kadiegue-ajamaat</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure mânes des ancêtres, lieu de rite	Rite d'invocation pour la pluie	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Niomoune

Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
<i>Outingue</i>	Bolong+ mangrove	Présence du fétiche Eniomounay	Rite d'invocation du fétiche	Protection mystique des ressources assurée par le fétiche Eniomounay	Niomoune
<i>Hounak Keumeuk</i>	Bolong+ mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Niomoune
<i>Gnanguabitou</i>	Bolong+ mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Niomoune
<i>Diahébéne</i>	Bolong+ mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Niomoune
<i>Guarem Bakène</i>	Mare	Usage domestique séculaire, abris de totems	Rites de la royauté du <i>Mofavi</i>	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Séléky
<i>Djiousounguah oh</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure des mânes des ancêtres	Rites d'initiation, lieu de réunion des sages	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Séléky
<i>Esoungar</i>	Mare	Usage domestique séculaire, présence de fétiche	Rites d'invocation au fétiche <i>Batseumile</i> de Djouloungène	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Séléky
<i>Fièques</i>	Bolong+ mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Séléky
<i>Yeumeuh</i>	Bolong+ mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Séléky

Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
<i>Ewourouye</i> ou Gaora	Bolong+mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Séléky
<i>Manel</i>	Mare	Usage domestique séculaire, abris de totems	Eau servant de libation au fétiche de pluie <i>Kassarah</i>	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Oussouye
<i>Diakokom</i>	Mare	Usage domestique séculaire, se trouve dans une rizière consacrée au fétiche Dianande	Rizière réservée au fétiche Dianande	Accès défendu aux femmes sauf pour le repiquage du riz	Oussouye
<i>Etébrémouk</i>	Mare	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Oussouye
<i>Kassyssil</i>	Mare	Usage domestique séculaire, demeure des mânes des ancêtres, présence de génie titulaire	Rite d'invocation pour la pluie	Accès défendu aux femmes en menstrues ou accouchées récentes	Kagnoute
<i>Hono</i>	Bolong+mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Kagnoute
<i>Katéhintémengh</i>	Bolong+mangrove	Abris de totems	X	Protection des animaux vivant dans la mare	Kagnoute

(Source : Sané et al. 2021)

Il convient de retenir que les sites d'eau abritant des totems (animaux) sont les plus répandus (57%). Ils sont suivis par les sites où l'on trouve à la fois les mânes des ancêtres, un génie ou des totems ou pratiques rituelles (30%) et les sites avec un fétiche (13%) (Figure 2).

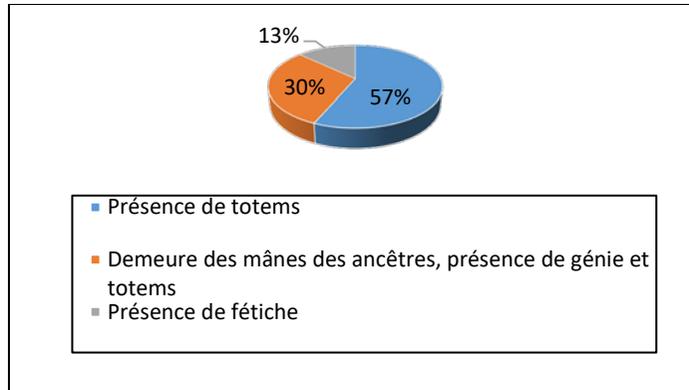


Figure 2 : Classification des sites liés aux pratiques animistes (Source : Sané et al. 2021)

2.1.2. Les sites d'eau liés aux pratiques musulmanes :

Il existe 4 sites d'eau sacrés dédiés aux pratiques musulmanes (tableau 3) et situés au nord de la zone d'étude. Il s'agit de la grotte de Boucotte-Diola, le puits d'El Hadj Omar à Elinkine, le puits *Kegne kegne Diameng* à Kafountine, la mare sacrée *Dioulikaye* à Sam Sam. L'existence de ces sites est liée au passage d'un érudit musulman. Ils font l'objet d'un pèlerinage de plus en plus intense. La bonne conservation de ces sites tranche le plus souvent avec la dégradation du proche environnement. Ces paysages d'eau sont composés de mares, de puits et de certains bolong. Les fidèles viennent y prendre des bains rituels pour conjurer le mauvais sort.

2.1.3. Les sites syncrétiques

Ils témoignent d'une transition entre les croyances traditionnelles locales et musulmanes. Ils sont constitués par les mêmes objets géographiques (puits, mares, bolong). Les sites de cet ordre sont les mares sacrées de *Barator* à Elana, *Nissaan* à Diembéring (tableau 3). En effet, l'eau de ces sites qui jadis servait dans les pratiques culturelles animistes a également été utilisée par le marabout pour s'abreuver et faire ses ablutions. Depuis, ces anciens sanctuaires animistes sont devenus un lieu de pèlerinage pour les musulmans de la zone.

Tableau 3 : Sites d'eau liés aux pratiques musulmanes et syncrétiques

Sites musulmans	Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
	<i>Kegne kegne Diameng</i>	Puits+ forêt	Lieu de passage d'El Hadj Omar Tall	Lieu de prière et de formulation des vœux	Défense de couper les arbres	Kafountine

	<i>Dioulikaye</i>	Mare+ forêt	Lieu de séjour d'El Hadj Omar	Utilisation de l'eau pour des bains, des ablutions et lieu de prière	Défense de couper les arbres du site	Sam Sam
	<i>Teen-El Hadj Omar</i>	Puits	Existence liée à El Hadj Omar Tall	Utilisation de l'eau pour des bains, des ablutions et lieu de prière	X	Elinkine
	<i>Dioulikaye Izima</i>	Grotte littorale	Lieu de séjours d'El Hadj Omar	Lieu de prière et de formulation des vœux	X	Boucotte-Diola
Sites syncrétiques	<i>Barotor</i>	Mare	Usage domestique séculaire, passage d'El Hadj Omar Tall	Lieu de rite en rapport avec l'initiation ; lieu de prière et de formulation de vœux	X	Elana
	<i>Nissaan ou Ekolong El Hadj Omar</i>	Mare	Usage domestique séculaire et rituel, lieu de séjours d'El Hadj Omar	Utilisation de l'eau pour des bains, des ablutions, et lieu de dépôt d'offrande	X	Djembéring

(Source : Sané et al. 2021)

2.1.4. Les abris de génie ou djinn :

Ils constituent un autre aspect du paysage des sites d'eau sacrés de la zone d'étude. Ils sont au nombre de sept et se retrouvent dans le Fogny Diabancounda et la zone Blouf (Tableau 4). La crainte de ces puissances surnaturelles entraîne des attitudes d'évitement vis-à-vis de ces endroits et limite par la même le prélèvement de la ressource.

Tableau 4 : Résidence de génie ou djinn

Sites d'eau sacrée	Type de paysage	Raison de la sacralité	Pratiques exécutées	Interdits	Villages
<i>Soukoutoukala</i>	Bolong+ mangrove	Présence d'un génie tutélaire	Sacrifice humaine (abandonné)	Protection mystique des ressources par le génie	Diannah
<i>Dialomkoto</i>	Mare+ forêt	Présence d'un génie tutélaire	Rite d'invocation au génie	Accès défendu sauf pour la famille dépositaire (Diabang)	Diannah
<i>Doundala</i>	Mare+ forêt	Présence d'un génie tutélaire	X	Protection mystique des ressources par le génie	Diannah
<i>Djinabantang</i>	Puits+ forêt	Présence de djinn	Pratiques initiatiques, lieu de réunion des hommes et d'invocation du génie	Accès défendu aux femmes/défense de couper les arbres	Kafountine
<i>Doumbali</i>	Bolong	Présence de djinn	Lieu de pêche	Aucun	Tiobon
<i>Erongol</i>	Bolong	Présence de djinn	Lieu de pêche	Aucun	Tiobon
<i>Fussabe</i>	Bolong	Présence de djinn	Lieu de pêche	Aucun	Tiobon

Suivant la classification établie ci-dessous, les sites liés à la religion traditionnelle *ajamaat* restent majoritaires avec 64% des sites (tableau 5). Ce pourcentage élevé de sites animistes révèle l'enracinement encore tenace des communautés dans les coutumes ancestrales surtout dans la partie sud de la région de Basse Casamance correspondant aux entités Houlof, Bliss-Kassa, Esulalu, Diwat et Bandial. Les sites d'eau abritant les djinns représentent 19% des sites sacrés et rend compte de la vivacité de la croyance aux esprits. Par contre, les ceux liés aux pratiques musulmanes arrivent en 3^e position et témoignent de la forte pénétration des valeurs islamiques. D'ailleurs, certains sites animistes sont transformés en lieu de pèlerinage ou de dévotion à un érudit musulman. Les sites syncrétiques constituent 6% des sites d'eau sacrés. La plupart sont en transition ou en voie d'abandon.

Tableau 5 : Typologie des sites d'eau sacralisés de la zone d'étude

Types de sites	Score	%
Les sites d'eau liés aux pratiques animistes	23	64
Les sites d'eau liés aux pratiques musulmanes	4	11
Les sites d'eau mixte syncrétiques (entre pratiques musulmanes et animistes)	2	6
Résidence de génie ou djinn	7	19
Total	36	100

(Source : Sané et al. 2021)

2.2.Stratégies endogènes de protection et de préservation des paysages d'eau sacrés et de la biodiversité

La protection et la gestion d'un certain nombre de paysages d'eau ont été, semble-t-il, une préoccupation majeure des *Ajamaat*. Ces lieux espaces d'eau sacralisés étaient et sont encore aujourd'hui pour la plupart régis par de nombreuses restrictions relatives à l'accès et l'exploitation des ressources. La limitation de l'accès de certains espaces à une catégorie de personnes notamment les non-initiés ou femmes encore en procréation, l'interdiction de prélèvement des ressources (coupe de bois, cueillette des huîtres, pêche, chasse d'animaux) sont entre autres des stratégies pour protéger ces sites d'eau sacrés. La violation des interdits qui entoure ces espaces peut donner lieu à des sanctions maléfiques de la part des puissances invisibles qui les protègent. Ainsi, ces interdits divers dont l'existence semble être liée aux croyances traditionnelles (culte des ancêtres, protection des totems, présence de fétiches ou de génies), peuvent aussi être compris comme un moyen de protection de ces espaces.

2.2.1. Paysages d'eau considérés comme résidence des ancêtres et des esprits des morts

Les sites d'eau qui apparaissent comme des *fukin* ou demeure des mânes des ancêtres (Thomas L.V. 1959) sont pour l'essentiel, constitués de mares. Ces points d'eau étaient jadis utilisés par la population pour l'approvisionnement en eau. Mais ils demeurent sacrés dans de nombreux cas. Les ancêtres qui sont censés y demeurer sont des intermédiaires incontournables entre les divinités secondaires et la communauté. En général, chaque communauté ou lignage a un site considéré comme son *fukin*. Ces sites sont le plus souvent protégés par des interdits tels que l'accès aux femmes en période de menstruation.

Tableau 4 : Les mares abritant des rites dédiés aux mânes des ancêtres

Mares	Localités
<i>Kadiégue ajamaat</i>	Niomoune
<i>Ehouwa-Esoom</i>	Niomoune
<i>Kadieel</i>	Elana
<i>Colan</i>	Tiobon

Mares	Localités
<i>Aroughy</i>	Tiobon
<i>Kassyssil</i>	Kagnoute
<i>Djioussoungouapoh</i>	Séléky

(Source : Sané et al. 2021)

Par ailleurs, les cours d'eau (bolong et fleuve) et les forêts de palétuviers apparaissent dans l'imaginaire *ajamaat* comme étant protégés par les esprits de l'eau *koummhāl* (*āmmhāl* au singulier). Les *koummhāl*, esprits des morts, apparaissent comme maîtres des cours d'eau. Selon les croyances religieuses, ces esprits perçus comme des démons, protègent contre certaines pratiques abusives. En général, quand la pirogue d'un pêcheur chavire et que toute sa prise se déverse dans l'eau, on pense que ce fait découle de l'agissement des *koummhāl*. Ainsi l'existence de ces esprits dans les croyances *ajamaat* explique la crainte qu'inspirent les cours d'eau et le souci de ne pas susciter leur réaction négative en exploitant les ressources de façon incontrôlée.

2.2.2. Paysages d'eau servant d'habitat aux totems

Ils sont les plus nombreux et sont constitués de mares et de bolong (dont huit bolong et cinq mares). A noter que certains points considérés comme demeures des mânes abritent en même temps des totems. La croyance qui existe à leur égard se fonde sur la protection des doubles totémiques qui au-delà, est une protection des membres de la communauté.

Concernant les mares, elles peuvent constituer des abris pour les crocodiles, des varans, des serpents, des silures, etc. Parmi ces mares, il y a *Manel* à Oussouye qui abrite des totems (varan) de la famille Diatta d'Oussouye. L'on raconte qu'autrefois, la mare de *Manel* ne tarissait pas même en saison sèche. De nos jours, lorsqu'elle tarit, du vin de palme y est versé en offrande avant de la recréer. Le but de ce don est de demander aux totems de s'éloigner pour qu'ils ne soient pas touchés. La mare sacrée *Guarem Bakène* à Séléky abrite les totems de la famille Bassène. Elle sert aussi de point d'approvisionnement en eau. Son accès est interdit aux femmes en période de menstrues de même que celles qui viennent d'accoucher. Pour ces dernières, l'interdit n'est levé que lorsque l'enfant commence à pousser des dents. Il est en outre interdit d'y plonger un récipient en plastique ou d'y descendre avec des chaussures. Plusieurs autres mares considérées comme abris des totems ont été répertoriées dans la zone d'étude. Il s'agit entre autres du *Kalamaho* et du *Djignilou* à Mlomp, du *Kadieel* à Elana, du *Djioussoungouapoh* et de *l'Esoungar* à Séléky, de *l'Etébrémouk* à Oussouye, etc.

Lorsque qu'il s'agit d'un bolong ou d'une rivière servant d'habitat aux totems, les interdits visent en général la pêche et la cueillette des huîtres. C'est le cas par exemple à Niomoune avec les bolong de *Hounak Keumeuk*, *Gnanguabitou* et *Diahébène*.



Photo 1 ; Mare sacrée de Manel abritant des totems reptiliens (Oussouye) (Source : Sané et al., 2021)

2.2.3. Paysages de l'eau protégés par un fétiche ou un génie tutélaire
A Niomoune, l'unique bolong *Eniomounaye* qui permet d'accéder à l'île à partir du fleuve Casamance est placé sous une protection mystique. En effet, dès l'entrée, le fétiche *Eniomounaye* (l'un des plus puissants et les plus craints dans la zone) qui sert d'hydronyme au bolong est implanté à gauche. Il semble que compte tenu de l'éloignement du village par rapport à ce site, les populations avaient le souci de protéger le village et les ressources du bolong (poissons, huitres, forêt de palétuviers...). Dans une société *ajamaat* où la croyance à ces puissances surhumaines reste vivace, la crainte qu'elles inspirent constitue un moyen de dissuasion efficace usité pour la protection de certains milieux.



Photo 2 : Photo 2 : Boekin Eniomounay, bolong Niomoune (Source : Sané, 2018)

Quant à la mare *Diakokom* à Oussouye, elle est située dans une rizière sacrée appartenant au fétiche *Dianande*. Ce *boekin* protecteur d'Oussouye et de ses rizières est considéré comme l'un des plus puissants du royaume Huluf (Girard G.1969). Cette sacralité de la mare et de la rizière liée au *boekin Dianande* est

la cause de l'interdiction de son accès aux femmes sauf pour la période de repiquage du riz dans ladite rizière. L'avantage écologique d'un tel site est le fait que tous les reptiles qui y élisent domicile sont épargnés par crainte d'offenser ce puissant *boekin*.



Photo 3 : Mare sacrée Diakokom située dans une rizière consacrée au boekin Dianande(Source : Sané, 2018)

Pour certains paysages de l'eau, des mythes ont été développés à propos du génie qu'ils abriteraient et qui suscite la crainte d'y pénétrer et exploiter des ressources. Parmi ces espaces, on peut citer le bolong de *Sounkoutoukala* à Diannah. Ce *bolong* qui a une disposition presque parallèle à la côte atlantique, est un passage obligé pour accéder à l'océan. Selon les croyances populaires, il constitue la demeure d'un génie qui se manifeste sous forme d'un *miniyang-ba* « gros serpent ». Dans le passé, ce génie exigeait le sacrifice d'une jeune fille pour permettre le passage du bolong aux femmes qui partaient au ramassage des moules. C'est de ce sacrifice que vient l'hydronyme de *Sounkoutoukala*, qui signifie « fille pubère » dans la langue Mandingue. Le bolong, de même que la petite forêt qu'il traverse constituent un endroit très craint par la population à cause de la présence de ce génie. Ce qui confère au site un caractère intégré à l'approche traditionnelle de conservation de la biodiversité. La preuve est que le site abrite de nombreux reptiles comme les crocodiles, les serpents, les varans, etc. qui sont considérés comme protégés par le génie. On raconte dans le village « *qu'un jeune du nom de Balla Moussa Bodian, s'adonnait à la chasse des crocodiles. Mais il tomba gravement malade et sa maladie fut interprétée comme relevant d'une sanction du génie du Sounkoutoukala. Aujourd'hui, il a cessé toute activité de chasse de ces crocodiles* » (M T homme de 45ans). Cette version des faits a d'ailleurs été confirmé par l'intéressé lui-même



Photo 4 : Bolong de Sounkoutoukala à Diannah (Source : Sané et al. 2019)

Dans ce même village de Diannah, il y a la petite forêt de *Dialomkoto* située à proximité du *bolong de Djindème* ou *Diannah bolong*. Selon la tradition locale, c'est aux alentours de cette forêt que se seraient installés les ancêtres du clan des Diabang. Le site qui abrite une source d'eau qui se déversait dans le *Diannah Bolong* est la demeure d'un génie propriétaire des lieux. Les ancêtres des Diabang ont scellé un pacte avec ce génie pour résider dans le village. Seuls les membres de ladite famille, dépositaires des lieux, peuvent accéder librement à la forêt. Les autres personnes étrangères à cette famille devraient toujours être accompagnées par un de ses membres pour accéder à la forêt et faire des prélèvements (coupe ou chasse). Le génie qui apparaît sous forme d'un gros serpent protège le village des malheurs éventuels. C'est pourquoi en cas de conflit avec un autre village, les sages hommes et femmes s'y rendent pour demander sa protection. Il s'agit d'un site très craint et protégé par peur de ne pas rompre le pacte ancestral scellé avec le génie et attirer des malheurs au village. Ainsi, malgré l'encrage de l'islam dans ce village et la pression foncière liée à l'implantation des vergers d'agrumes, cet espace est épargné.



Photo 5 : Site de Dialomkoto (aménagement aux alentours, mais préservation de la forêt) (Source : Sané et al. 2019)



Photo 6 : Site de Diannah Bolong offrant une protection aux reptiles (Source : Sané et al. 2019)

Cette même croyance relative à un génie tutélaire ayant comme lieu de résidence un point d'eau est évoquée pour *Doundala*, un autre site à Diannah, *Kadieel* à Elana de même que *Kassyssil* à Kagnoute. Sur ces trois derniers sites, il existe de gros fromagers qui sont censés être la demeure du génie tutélaire des lieux. C'est pourquoi la sacralité du site concerne la mare et la végétation qui est aux alentours. Ainsi, pour *Kadieel* et *Kassyssil*, en plus des mânes des ancêtres sus mentionnés, les prières qui se font dans ces sites s'adressent en même temps au génie maître des lieux.

2.2.4. Paysages d'eau sacrnalisés liés aux croyances islamiques

Il s'agit dans un premier temps des sites considérés comme demeures des djinns. C'est le cas du puits de *Djinabantang* (ce terme signifie en mandingue « fromager des djinns ») à Kafountine, de *Doumbali* (« on n'y pénètre pas » en mandingue), de *Erngol*, et *Fussabe* endroits situés dans le bolong de Diouloulou vers Tiobon. L'accès et l'exploitation des ressources de ces sites qui sont pour l'essentiel des endroits spécifiques situés dans des bolong sont limités par la crainte des djinns qui y habitent.

Les autres points d'eau dont la sacralisation est liée aux croyances islamiques sont ceux en rapport avec le marabout El Hadj Omar Tall. En effet, dans le cadre de son djihad ce chef religieux musulman aurait effectué un périple qui l'a mené de la Gambie à la Guinée Bissau via la Basse Casamance et en longeant le littoral atlantique. Au cours de ce périple, le saint homme, qui vivait isolé, ne disposait pas d'eau pour ses ablutions. Il userait de son don mystique et surnaturel pour trouver de l'eau douce à côté du littoral ou des *bolongs*. Parmi ces points d'eau, il y a d'abord le puits de *kegne kegne Diameng* où il aurait séjourné en premier et qui se trouve à Kafountine au nord de la Basse Casamance à une trentaine de mètres de l'Océan atlantique. Le

terme *Kegne kegne Diameng* signifie la “mosquée de sable” en référence à l’environnement immédiat constitué de sable marin. Ce lieu accueille un pèlerinage annuel de de fidèles venant de différentes régions du Sénégal, de la Gambie et d’autres pays voisins. Il est formellement interdit de fouler le sol de ce lieu sacré avec des chaussures ou d’y jeter des ordures.



Photo 7 : Puits sacré de *Kegne kegne diameng* à Kafountine (Source : Sané et al., 2018)



Photo 8 ; Vue aérien du site sacré de *Kegne kegne diameng* à Kafountine (Source : Sané et al., 2018)

Outre le puits de *Kegne kegne Diameng*, il y a celui d’Elinkine ainsi que les mares d’eau douce de Barotor à Elana, de Sam Sam et de Nyssaan à Djembéring.

En fait, la mare sacrée de *Barator* à Elana aurait servi à Hadj Omar pour ses ablutions durant son séjour dans cette localité. Ignorée par les populations, c’est après le départ du marabout que son identité serait connue. Depuis lors, le site est devenu un lieu de culte où les gens viennent prier pour s’attirer les

grâces divines. Des offrandes constituées de pièces d'argent, du lait caillé ou de galettes de riz y sont très souvent déposées par les visiteurs.



Photo 9 : Barotor, mare sacrée d'El Hadj Omar à Elana (Source: Sané et al., 2019)



Photo 10 : Pirogue de liaison Elana Ziguinchor portant un hydronyme de mare sacrée pour des fins de protection (Source : Sané et al., 2019)

Sur la rive gauche de la Casamance, on retrouve la source de Sam Sam située à une dizaine de mètres de *Oubaloum bolong*. Cette source se trouve à l'intérieur d'une forêt qui est protégée. Le puits Elinkine, est quant à lui situé au niveau de l'embarcadère. Tout comme à Sam Sam, le marabout se serait arrêté sur ce lieu pour faire ses ablutions. Ce qui explique la présence de ce puits d'eau douce près d'un bolong dont les eaux sont salées.

Le saint-homme aurait par la suite continué son périple pour atterrir à Djembéring où il campa près d'une mare qui existait déjà et qui servait de lieu d'approvisionnement en eau pour la population. Les femmes qui partaient puiser l'eau de la mare le virent et lui apportèrent à manger durant tout son séjour. La mare est devenue depuis lors un lieu d'attraction où les gens

viennent prier, déposer des offrandes et même prendre un bain purificateur pour bénéficier des bénédictions du saint homme.

De Djembéring, El Hadj Omar Tall poursuivit sa route vers le Sud et séjourna à Boucotte-Djembéring dans une grotte située sur le littoral et obtenait de l'eau pour ses ablutions dans une roche aujourd'hui envahit par la mer. Ce site, très protégé, devenu aussi un lieu de pèlerinage pour les fidèles serait le dernier endroit où séjourna le dignitaire musulman avant de partir pour la Guinée Bissau (Photo 11 et 12).



Photo 11 : Mare sacrée d'El Hadj Omar à Djembéring (Source : Sané et al., 2019)



Photo 12 : Mare sacrée d'El Hadj Omar à Sam Sam (Source : Sané et al. 2019)



Photo 13 : Grotte sacré d'El Hadj Omar Tall à Boucotte-Djembéring située en face de la mer (Source : Sané et al. 2019)

Avec le passage du marabout, l'eau de ces sites est devenue bénite et les vœux formulés à ces endroits se réalisent. Il faut toutefois noter que dans certains sites comme *Barotor* à Elana et *Nyssan* à Djembéring, existaient déjà avant le passage d'El Hadj Omar et abritaient même des rites. *Barotor* est un passage obligé pour les futurs initiés avant d'entrer dans le bois sacré. *Nyssan* est une mare dont l'eau était utilisée pour la purification des veuves dans le cadre des rites de deuil chez les *ajamaat Diwat*. Ce qui dénote une fois de plus le déplacement du sacré opéré par les *ajamaat* pour continuer à préserver les paysages d'eau sacrés

3. Discussion

La religion traditionnelle *ajamaat*, à l'instar de la plupart des religions négro-africaines, place le milieu naturel au centre de la préoccupation des hommes. L'importance de ce milieu dans la vision du monde des *ajamaat* explique le caractère sacré de nombreux sites notamment dans l'environnement aquatique. Cet aspect confère une fonction écologique à cette religion traditionnelle en ce sens qu'elle régleme l'accès et la gestion de bon nombre des paysages de l'eau en Basse Casamance. En effet, la protection à la fois humaine et mystique dont bénéficient ces sites, les transforme en sanctuaires pour de nombreuses espèces animales et végétales rares ou absentes dans les milieux non protégés (Butare 2003 ; Diatta *et al.* 2017). Ce rapport, empreint de respect et de crainte entre l'homme et l'environnement aquatique, a pu s'inscrire dans la longue durée à travers un syncrétisme entre les croyances locales et islamiques. Le syncrétisme religieux en milieu *ajamaat* est d'ailleurs à l'image de la société sénégalaise et africaine de façon générale (Quéchon, 1971 ; Diallo, 2009² ; Tabard, 2010). Tabard (2010, p. 193) écrit à ce sujet que « *l'islam a trouvé, à travers les siècles, une identité spéciale qui fait qu'un Sénégalais ou un Malien musulman vit pleinement sa religion, tout en étant imprégné de sa culture négro-africaine* ». C'est également le cas pour le chrétien qui ne perd pas totalement sa culture « *d'Homme et d'Africain* » en recevant le baptême. Cela veut dire tout simplement que le baptême, « *rite d'entrée dans l'Église conduit à parler d'une double identité ou d'une double appartenance : un africain baptisé appartient à la religion catholique tout en restant bien souvent profondément marqué, dans son identité, par sa culture africaine, voire par sa religion traditionnelle* » (Tabard 2010, p. 192). En outre, pour parler comme Diallo (2009), ce qui est vrai pour l'islam l'est aussi pour le christianisme, car ils sont tous deux incultures dans les valeurs culturelles sénégalaises.

² Diallo Amadou, « Syncrétisme et subversion religieuse dans Guelwaar de Sembène Ousmane », *Ethiopiennes* n°82. Littérature, philosophie, art et pluralisme, 1er semestre 2009. Article publié sur <http://ethiopiennes.refer.sn>

Le type de point d'eau qui, dès le départ, entra dans les préoccupations des premières communautés *ajamaat* fut sans doute la mare (*foumodje*), qui a servi de lieu d'approvisionnement en eau dans le passé. En effet, dans ce milieu « amphibie », caractérisé par la présence de mares, de sources d'eau potable ou des affleurements de nappe phréatique, il semble que les populations ne foraient pas de puits mais se servaient de ces mares pour leurs besoins quotidiens en eau. Les traditions recueillies dans la zone d'étude rapportent que les premiers occupants et fondateurs desdits villages s'étaient installés autour des mares pour s'assurer de la disponibilité de l'eau en toute saison. Ceci prouve la préoccupation première qui prédomine dans toute idée d'installation d'une communauté humaine sur un espace, celle de disposer de l'eau qui est une source de vie. Toutefois, en plus de cette fonction de maintenir la vie, l'eau représente aussi un moyen de purification. Cette représentation symbolique de la ressource eau à proprement parlé se rencontre en Egypte pharaonique et dans les traditions négro-africaines les plus anciennes (Bonhême, 1995 ; Talkeu-Tounouga, 2000). Ainsi, il convient vraisemblablement de remarquer que dans l'Egypte ancienne « *l'édification d'un temple qui a pour modèle l'émergence du monde hors des eaux, prend en compte la proximité de l'eau voire le contact de l'édifice avec l'élément liquide, qu'il s'agisse du fleuve par son canal ou encore des eaux phréatiques ressenties comme celles du Noun, l'océan primordiale* » (Bonhême, 1995, pp.130-131). Ces lacs sacratisés servaient de lieux de purification des prêtres avant leur entrée dans le temple selon Bonhême (1995).

Par ailleurs, au-delà de sa fonction fondamentale pour la vie, l'eau symbolise la fécondité chez les Dogons du Mali ou est utilisée pour la bénédiction par le Bamileke du Cameroun (Talkeu-Tounouga, 2000). Chez ce même peuple Bamileke, Assipolo et Ndonko (2012) signalent l'importance de l'eau dans la pratique de l'ordalie, rite dans lequel il faut en réalité comprendre le cours d'eau avec toutes ses composantes. L'ordalie est une « *Épreuve judiciaire employée au Moyen Âge pour établir l'innocence ou la culpabilité de l'accusé* » (Assipolo et Ndonko, 2012, p. 4).

En milieu *ajamaat* la sacralisation des points d'eau serait donc, dans un premier temps, liée à cette fonction importante de survie au cours des périodes antérieures. Dans la religion *ajamaat*, le contact avec la souillure du sang des menstrues est *gnei-gnei*³ (« interdit ») notamment pour les hommes. C'est pourquoi, pendant la période de leur menstruation, les femmes doivent s'abstenir de toute forme d'action qui les mettrait en contact avec la communauté, et observer des interdits comme celui lié à l'accès aux mares *foumodje* (Diatta, 2018). Ceci pour éviter de souiller ce point d'eau dont

³ *Gnei-gnei* ou *ñiñi* selon les dialectes diola marque le sacré ou l'interdit. Il fait référence à quelque chose qui est taboue ou prohibée

l'utilité est publique. Chez certaines sociétés négro-africaines où le puits a joué un rôle identique à la mare chez les *Ajamaat*, on lui confère la même sacralité. Chez les Tanalana du Madagascar, les *vovon-draza*, puits creusés par les ancêtres et leurs alentours ne doivent en aucun cas être souillées, car ils abritent des rituels et les locaux y puisent de l'eau (Tahirindraza, 2015).

Chez les *Ajamaat*, le respect voué à certains points d'eau est aussi lié au fait qu'ils soient considérés comme demeures privilégiés des mânes des ancêtres et des puissances surnaturelles. En effet, à l'image de la plupart des religions traditionnelles d'Afrique noire, le monde de l'au-delà *ajamaat* se localise au fond des eaux (Holas B., 1954 cité par Journet 1976 ; Zahan, 1956. Selon Journet (1976 ; p.99) « *cette eau, d'obédience chthonienne est celle qui relie le monde des ancêtres aux vivants, c'est un monde de pénombre où se tiennent aussi les "ahuwa" [c'est-à-dire l'âme d'un ancêtre sur le point de se réincarner]* ». C'est en rapport avec cette croyance, qu'en Basse Casamance beaucoup de points d'eau sont considérés comme des *fukin* (Diédhiou, 2001). Or les ancêtres qui sont censé y demeurer sont sollicités par leurs descendants pour porter leurs offrandes et intercéder en leur faveur auprès des puissances religieuses (Thomas, 1967). C'est pourquoi ils jouent une fonction culturelle en abritant des rites de pluie comme à Niomoune, Tiobon où la pratique existe encore. Par ailleurs au cours des cérémonies d'initiation, les futurs initiés effectuent un bain purificateur dans ces sites d'eau qui sont un passage obligé avant de rejoindre le bois sacré (Thomas, 1959 ; 1965). L'initiation étant un moment de formation, le rituel autour de ces points d'eau peut apparaître comme un moyen d'imprimer dans la conscience de ces jeunes l'importance de ces sites dans la pérennisation de la tradition du village. A ce propos, Diatta et al. (2017) sont d'avis que ces sites constituent de véritables lieux de préservation des secrets et pratiques multiséculaires.

Il faut toutefois souligner que les lieux de résidence des mânes des ancêtres des *ajamaat* sont surtout localisés dans les mares. Les cours d'eau (bolong et fleuve) et les forêts de palétuviers sont investis par d'autres esprits des morts à savoir les *koummhāl* (*āmmhāl* au singulier) (Thomas, 1959 ; Id. 1967 ; Pognant, 1997 ; Baum, 1999 ; Diabone, 2010 ; Diédhiou, 2011). La crainte qu'ils inspirent chez l'*ajamaat* oblige ce dernier à ne pas se considérer « maître exclusif » des cours d'eau et de leurs ressources. Le souci de ne pas provoquer la réaction négative de ces esprits est toujours présent chez les pêcheurs et les cueilleuses d'huître. La croyance relative à cet esprit ne subsiste cependant que dans les îles du Bliss-Kassa et dans le Huluf et l'Esulalu sur la rive sud. Dans le Blouf et le Fogny, les représentations collectives ne font pas allusion à ces esprits de l'eau. Outre les mânes des ancêtres et les esprits des morts (*koummhāl*), on a le système totémique *ajamaat* qui concourt à la préservation de la biodiversité en Basse Casamance. En effet, contrairement au totem clanique connu chez la plupart des sociétés

africaines (Butare, 2003), chez les *ajamaat*, la notion d'*ɛwūm* (*siwuum* au pluriel) fait référence au double animal qu'est censé avoir chaque individu. Le destin de l'homme étant solidaire à celui de son *ɛwūm*, ils sont malades ensemble, la mort de l'un entraîne fatalement la mort de l'autre (Thomas, 1959 ; Journet-Diallo, 1998). Il se trouve que chez les *ajamaat*, l'essentiel des animaux qui incarnent cette fonction de *ɛwūm* sont des êtres aquatiques : le crocodile (*yōn*), le requin (*punyog*), le poisson-scie (*kahlum*), l'hippopotame (*ɛkāw* ou *ɛrindaay*), le lamantin (*baliilaab*), le varan (*ebalass*), etc. (Journet-Diallo, 1998, Diatta et al. 2017). Or, l'habitat naturel de ces totems, alter ego des humains, reste le milieu aquatique notamment le fleuve, les bolong et les mares. C'est pourquoi les rapports entre l'*ajamaat* et le milieu aquatique sont empreints d'attention. Ce milieu qui apparaît comme un « deuxième monde » auquel dépend la vie des membres de la communauté est à protéger pour la sécurité et le bien-être commun. Certes, les *siwuum* aquatiques notamment ceux appartenant aux enfants et incapables de se protéger, résident habituellement au fond du marigot ou de la rivière (Diédhiou, 2011), mais, il arrive que certains s'éloignent de ces fonds marins et se retrouvent à la merci des filets de pêche. Ils peuvent aussi être effrayés par le bruit du moteur ou bien se retrouver dans un lieu où se récoltent des huitres. Ainsi, en pêchant dans ces endroits ou en y cueillant les huitres, les totems pourraient être capturés, blessés accidentellement (Diatta et al. 2017). D'où les interdits qui frappent les activités de pêche et de cueillette d'huitres dans certains bolong de Basse Casamance (Fall et al., 2011).

Par ailleurs, dans l'imaginaire collectif *ajamaat*, on pense que la pérennité de l'eau dans les points d'eau abritant les totems serait liée à la présence de ces êtres mystiques. C'est pourquoi si leur quiétude est perturbée jusqu'à provoquer leur départ d'une résidence habituelle, les conséquences seront désastreuses pour la communauté. En effet, non seulement les points d'eau qui leur servaient d'habitable s'assèchent mais leur départ de ces demeures naturelles protégées par la coutume, les expose à la menace des chasseurs et pêcheurs de même qu'à certains phénomènes destructeurs de la biodiversité comme les feux de brousses.

De nombreux sites sont également vus comme étant des demeures de génies. Dans la cosmogonie traditionnelle comme dans la pensée islamique, ces êtres surnaturels existent. En revanche, dans la pensée islamique, ces êtres surnaturels sont connus sous le nom de djinns. Le Coran en fait allusion dans l'une de ses sourates (Coran 51:56). C'est ainsi qu'avec l'islamisation de la Casamance à partir du XIXe siècle, il va apparaître des sites d'eau identifiés comme étant la demeure de ces êtres. Ces derniers sont des créatures de Dieu qui forment une sorte d'humanité parallèle et invisible et dotés de pouvoirs supérieurs (Diatta, 2018). L'on remarquera que ces sites d'eau peuplés et protégés par les djinns sont localisés dans des provinces plus islamisées

comme le Fogny diabancouna et le Blouf. Ce qui dénote qu'en dépit de leur islamisation, les populations n'ont pas voulu rompre les rapports empreints de respect et de craintes vis-à-vis de ces sites d'eau qui représentent leur identité communautaire. Elles ont donc trouvé un moyen de conserver ces rapports en faisant cohabiter les anciens esprits et génies aux djinns ou bien en les substituant par ces derniers. Diédhiou (2001) conforte cette idée en affirmant que dans les zones islamisées du Fogny et du Blouf, les populations ont comparu les fétiches ou *ukiin* (singulier : *boekin*) aux djinns par une sorte de déplacement du sacré.

Chez d'autres sociétés négro-africaines, on relève ce même phénomène dans les rapports au milieu naturel. Ainsi chez les Lébou, Dumez et Ka (2000) expliquent qu'au cours de leurs enquêtes, les qualificatifs *rab* (esprits ancestraux) et *djinné* sont indistinctement utilisés par leurs interlocuteurs pour désigner les différents génies du panthéon lébou. Ainsi dans notre zone d'étude, l'un des exemples les plus illustratifs de ce fait est le site de la mare sacrée de *Kadieel* à Elana. Habité par une population à moitié islamisée, les traditions de ce village évoquent la présence d'un djinn qui a élu domicile sur un grand fromager qui surplombe le site. On rapporte que du haut de ce fromager, provient une lumière pendant certaines nuits de vendredi que les pêcheurs aperçoivent à partir du bolong d'Elana. Nous pensons par conséquent que le fait que ce site d'eau soit parmi les mieux protégés dans les parages, malgré la disparition de la mare traditionnelle, soit lié à cette sorte de syncrétisme qu'il symbolise. De nombreux autres sites d'eau de la partie nord de notre zone d'étude doivent leur protection à la présence des djinns.

Par ailleurs, outre ces paysages d'eau protégés par des djinns, il y a ceux dont la sacralité est liée à la présence de fétiche et d'autres au séjour du grand chef religieux musulman El Hadj Omar Tall. La sacralité qui entourent ces sites font que nombre d'entre eux sont sujets à des prohibitions qui contribuent à leur préservation. Le cas du site de *Kegne kegne Diameng* aux croyances islamiques constitue un exemple patent. Les nombreux arbres se trouvant dans l'enceinte dudit lieu sacré sont interdits à toute exploitation en dépit de sa proximité avec le quai de pêche de Kafountine, principale cause de destruction des forêts dans la zone pour le fumage du poisson (Diatta, 2018). Il semble donc que la sacralisation des paysages d'eau et leur protection est un fait caractéristique de la civilisation *Ajamaat*. Cette conception vis-à-vis du milieu aquatique trouve son origine dans les croyances de ce peuple. Ainsi, malgré l'évolution notée dans ces croyances avec l'adoption de nouvelles religions, les sociétés locales ont réussi à préserver les rapports privilégiés avec la nature. D'ailleurs, les croyances et mythes développés autour des paysages d'eau en font des milieux privilégiés de ponte et de refuge pour certaines espèces aquatiques de la zone (Gadou, 2003 ; Diatta et al., 2017).

4. Conclusion

La religion traditionnelle *ajamaat*, comme toutes les croyances religieuses, place l'eau au centre de la vie sociale. Ayant peuplé un espace qualifié d'« amphibie » à cause de ses paysages d'eau, les *ajamaat* ont en même temps forgé une culture attachée à cet environnement aquatique. Demeure privilégiée des mânes des ancêtres, des animaux doubles totémiques et de certaines puissances invisibles de l'univers religieux *ajamaat*, ces paysages d'eau constituent un fondement de l'identité culturelle de cette population. Ainsi, les liens de sacralité qui unissent le *ajamaat* à ces paysages d'eau ont fait que leur préservation a toujours constitué une préoccupation pour la société. Milieux naturels abritant de nombreuses espèces à la fois végétales et animales, les interdits traditionnels et la crainte mystique développée autour de certains sites d'eau contribuent grandement à la protection de la biodiversité. Il faut toutefois souligner que des phénomènes liés la dégradation des conditions climatiques dont les effets sont très visibles sur certains d'entre eux, de même que la pression foncière actuelle, constituent des menaces sur la préservation de cet environnement. Il s'y ajoute les mutations socioculturelles liées à l'adoption des religions étrangères (Islam et Christianisme) qui se traduisent par une banalisation des interdits coutumiers relatifs à la protection des sites sacrés traditionnels. Ce qui peut conduire à un désintéressement progressif de la communauté exposant ainsi les ressources naturelles à une exploitation anarchique. Pourtant l'exemple des sites d'eau sacrés liés au passage d'El Hadj Omar Tall nous renseigne que les croyances traditionnelles *ajamaat* ne sont pas restées immuables au cours de l'histoire. L'étude a montré qu'il existe un syncrétisme entre la une religion traditionnelle *ajamaat* et l'islam à travers la sacralité qui leur est conférée. Ce qui a pu favoriser une certaine permanence dans la protection et la préservation de biodiversité autour de plusieurs de ces espaces d'eau.

References :

1. ANSD/SRPSZ (Service Régional des Pêches et de la Surveillance de Ziguinchor). (2015). « *Situation économique et sociale régionale 2013* », 126 pages
2. Assipolo L. et Ndonko P. (2012). L'eau dans la pratique de l'ordalie : une lecture anthropologique et (socio)linguistique1, *Psycause n°61*, Lyon, Mario Mella Édition, pp. 37-41.
3. Bassène P.Ch. A. (2011). *Histoire authentique de la Casamance. Le pays Ajamaat, influences adventives, entraves des institutions traditionnelles et manifestation de l'Etat dans la colonie française du Sénégal C.-1500 –C.1947*, Toulouse, La Brochure/Injé Ajamaat.
4. Barry B. (1988). *La Sénégambie du XVe au XIXe siècle. Traite négrière, Islam et conquête coloniale*, Paris, L'Harmattan.

5. Baum R.M. (1999). *Shrines of the Slave Trade. Diola religion and society in precolonial Sénégambia*, New York, Oxford, Oxford University Press.
6. Bertrand-Bocandé E. (1849). « Notes sur la Guinée Portugaise ou Sénégambie méridionale », in *Bulletin de la Société de Géographie*, tome 11, n°65-66, pp. 265-350
7. Cormier-Salem M-C. (1992). *Gestion et évolution des espaces aquatiques : la Casamance*, ORSTOM, Collection Etudes et thèses Paris.
8. Dumez R. et Ka M. (2000). « *TERRITOIRE ASSIÉGÉ YOFF. Un village lébou dans la banlieue de Dakar* ». Collection Dossiers régions côtières et petites îles 7. Ed. UNESCO 2000.CNRS – Programme Environnement Université Cheikh Anta Diop de Dakar – Chaire UNESCO. 81 pages. *Site web*: <http://www.unesco.org/csi/pub/papers2/yoff.htm>, téléchargé le 01/04/2020
9. Diabone C. (2010). Les ressources foncières et forestières et le développement en Casamance : regard de l'anthropologie du développement sur l'agglomération de Houlouf, Mémoire de maîtrise en de l'Université Laval/Québec, département d'anthropologie, faculté des sciences sociales, 140 pages.
10. Diatta C.S., Diouf M., Karibuhoye C. et Sow A.A. (2017). « Sites naturels sacrés et conservation des ressources marines et côtières en milieu traditionnel diola (Sénégal) », *Revue d'ethnoécologie* [En ligne], 11|2017, mis en ligne le 03 juillet 2017, consulté le 03 juillet 2017. URL: <http://ethnoecologie.revues.org/2900>
11. Diatta C.S. (2018). « Savoirs locaux et modes traditionnels de gestion des ressources naturelles marines et côtières en Basse-Casamance : perspectives de leur intégration dans le système conventionnel ». Thèse de doctorat unique. Spécialité : Géographie, option Environnement. UCAD/Dakar.
12. Diédhiou L. (2001). « Projets de développement et représentations sociales en Basse Casamance : le DERBAC et le PROGES », Thèse Ph.D en sociologie, Faculté des études supérieures, Université de Montréal, 399p.
13. Diédhiou P. (2011). *L'identité jóola en question. La bataille idéologique du MFDC pour l'indépendance*, Paris Karthala, 404 p.
14. Djigo A. (2001). « Patrimoine culturel et Naturel de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum, (RBDS) : Etude de quelques croyances, pratiques traditionnelles et stratégies de protection » Mémoire de D.E.A., UCAD.

15. FALL R. (2013). « Le Saalum de la fin du XVe siècle au milieu du XIXe siècle. Populations, espace et histoire », Thèse de Doctorat d'Etat es Lettres, UCAD, FLASH, Département d'Histoire, 606 pages
16. Fall S.M., Diouf M. & Badiane S.D. (2011). *Identification et Caractérisation des Sites Naturels Sacrés Côtiers et Marins en Afrique de l'Ouest. Cas du Sénégal*, 39 pages
17. Gadou D.M. (2003). « Préservation de la biodiversité : les réponses des religions africaines », in *Pratiques culturelles, la sauvegarde et la conservation de la biodiversité en Afrique de l'Ouest et du Centre*, CRDI/Zoom Editions, pp.47-67
18. Girard J. (1969). *Genèse du pouvoir charismatique en Basse Casamance*, Dakar, IFAN
19. Journet O. (1976). « Rôles et statuts des femmes dans la société diola (Basse Casamance) ». Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Lyon II, 521 pages
20. Journet-Diallo O. (1998). « Un monde diffracté. Théories joola du double animal », *Systèmes de pensée en Afrique noire*, 15 |, 203-230, accès : <https://span.revues.org/1598>. HTML visité le 15 février 2015.
21. Journet-Diallo O. (2007). *Les créances de la terre. Chroniques du pays jamaat (Joola de Guinée- Bissau) : avant-propos et introduction*. Bibliothèque de l'Ecole des Hautes Etudes. Les créances de la terre. Chroniques du pays jamaat (Joola de Guinée-Bissau), Brepols, Turnhout, pp 9-52, collection des sciences religieuses, n° 134 : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00686115>
22. Linares O.F. (1992). *Power, prayer and production: the Jola of Casamance, Senegal*, Cambridge University Press, 258 pages
23. Oyono P.R., Fall S.M., Karibuhoye C. S., Said A.R., Sidibeh L., Sow M. (2012). *Les Sites Naturels Sacrés de l'Ecorégion Côtière et Marine Ouest-Africaine. Une Exploration et des Options de Reconnaissance Institutionnelle*. FIBA, Dakar, 52 pages
24. Péliissier P. (1966). *Les paysans du Sénégal, Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance, Fabrègue St Yrieux*.
25. Pognant T. (1997). « Eau et êtres aquatiques sacrés en Gambie », Thèse de doctorat nouveau régime en anthropologie, Université René Descartes-Paris V, Faculté des Sciences Humaines et Sociales Sorbonne, Département de Sciences Sociales 362.
26. Pont-Humbert C. (1995). *Dictionnaire des symboles, des rites et des croyances*, Editions Jean-Claude Lattès, 438p.

27. Quéchon M. (1971). « Réflexions sur certains aspects du syncrétisme dans l'islam ouest-africain », in *Cahiers d'Etudes Africaines*, Vol. 11, Cahier 42, pp. 206-230. URL: <http://www.jstor.com/stable/4391111>
28. Tabard R. (2010). « Religions et cultures traditionnelles africaines », *Revue des sciences religieuses*, 84, n° 2, pp. 191-205. URL : <http://journals.openedition.org/rsr/346>; DOI : <https://doi.org/10.4000/rsr.346>
29. Tahirindraza H. (2015). *Les tabous au service de la conservation durable de l'espace Tanalana, sud-ouest de Madagascar*, Université de Toliara, Madagascar, 7p
30. Talkeu-Tounouga C. (2000). La fonction symbolique de l'eau en Afrique noire : Une approche culturelle de l'eau, *Présence Africaine Editions*, Nouvelle série, No. 161/162, pp. 33-47. URL: <https://www.jstor.org/stable/24352085>
31. Thomas L.V. (1959). *Les Diola. Analyse fonctionnelle sur une population locale de Basse Casamance*, IFAN-Dakar
32. Thomas L.V. (1960). « Esquisse sur les mouvements de populations et les contacts socio-culturels en pays Diola (Basse Casamance) », in *Bulletin de l'IFAN*, T.XXII, sèr. B, n°3-4, 1960, pp.486-508, pp.488-490; Ch. Roche, op.cit., p.31
33. Thomas L.V. (1965). « Bukut chez les Diola-Niomoun », in *Notes africaines*, n°108, Octobre 1965, p.97-11
34. Thomas L.V. (1967). « La place des morts dans la société africaine traditionnelle : le culte des ancêtres », in *Notes africaines*, n° 113, Janvier, pp. 1-6
35. Zahan D. (1970). *Religion, spiritualité et pensées en Africaines*, Paris, Payot

Cas D'une Fausse Fracture De La Verge Par Rupture De La Veine Dorsale Profonde Au Centre Hospitalo-Universitaire Departemental -Oueme Plateau De Porto Novo, Benin

Ngaguene Juvénal,

Médecin Résident en Urologie-Andrologie à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du Centre Hospitalo Universitaire Hubert Koutoukou Maga , faculté des sciences de la santé Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Natchagande Gilles,

Chirurgien Urologue praticien au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo

Muhindo Valimungighe Moïse,

Médecin Résident en chirurgie générale, Faculté des Sciences de la Santé - Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin - Faculté de Médecine de l'Université Catholique du Graben-Butembo, RDC

Soumanou Fouad,

Chirurgien Urologue praticien au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo

Bori Moussa,

Médecin Résident en Urologie-Andrologie à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du Centre Hospitalo Universitaire Hubert Koutoukou Maga , faculté des sciences de la santé Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Lawani Ismaël,

Chirurgien Général et viscéral au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo, Maître Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Yevi Dodji Magloire Ines,

Chirurgien Urologue à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Maitre-Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi

Hodonou Fred,

Chirurgien Urologue à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Maitre-Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi

Agoukpe Michel Michael,

Chirurgien Urologue praticien à la clinique universitaire d'urologie
Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de
Cotonou

Dossou Francis Moïse Djidenou,

Chef de service de chirurgie générale au centre hospitalo-universitaire
départemental Ouémé Plateau, Porto novo, Professeur Titulaire de CAMES à
la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi,
Benin

Avakoudjo Josué Georges Dejinnin,

Chef de service à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre
hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Professeur
Titulaire de CAMES à la faculté des sciences de la santé de Cotonou,
Université d'Abomey Calavi et Président de la société Béninoise d'Urologie,
Benin

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p50](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p50)

Submitted: 11 September 2021

Accepted: 06 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Juvéna N., Gilles N., Moïse V.M., Fouad S., Moussa B., Ismaël L., Ines M.D.Y., Fred H. Michael M.A., Djidenou M.F.D., & Dejinnin A.J.G., (2021). *Cas D'une Fausse Fracture De La Verge Par Rupture De La Veine Dorsale Profonde Au Centre Hospitalo-Universitaire Departemental -Oueme Plateau De Porto Novo, Benin* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 50.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p50>

Résumé

Introduction : Les traumatismes du pénis intéressant le réseau vasculaire sont rarement rapportés dans la littérature. La rupture de la veine profonde du pénis est une urgence urologique dont la clinique peut simuler une fracture de la verge.

Nous rapportons un cas de rupture de la veine profonde du pénis survenue lors d'un faux pas de coït.

Patient et Méthodes : Il s'est agi d'un patient âgé de 26 ans présentant une tuméfaction de tout le pénis précédée d'une douleur minime et d'une détumescence progressive survenue au décours d'un coït. L'exploration chirurgicale a mis en évidence une lésion incomplète de la veine dorsale profonde et qui a été réparée.

Conclusion : La rupture de la veine dorsale profonde est rare et peut simuler une fracture des corps érectiles. . L'exploration chirurgicale reste un

moyen diagnostique et thérapeutique accessible.

Mots clés: Fausse Fracture De La Verge, Rupture Veine Dorsale Profonde, Chirurgie

Case of False Fracture of The Penis by Rupture of the Deep Dorsal Vein at the Departmental University Hospital -Oueme Plateau Of Porto Novo, Benin

Ngaguene Juvénal,

Médecin Résident en Urologie-Andrologie à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du Centre Hospitalo Universitaire Hubert Koutoukou Maga , faculté des sciences de la santé Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Natchagande Gilles,

Chirurgien Urologue praticien au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo

Muhindo Valimungighe Moïse,

Médecin Résident en chirurgie générale, Faculté des Sciences de la Santé - Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin - Faculté de Médecine de l'Université Catholique du Graben-Butembo, RDC

Soumanou Fouad,

Chirurgien Urologue praticien au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo

Bori Moussa,

Médecin Résident en Urologie-Andrologie à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du Centre Hospitalo Universitaire Hubert Koutoukou Maga , faculté des sciences de la santé Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Lawani Ismaël,

Chirurgien Général et viscéral au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo, Maître Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Yevi Dodji Magloire Ines,

Chirurgien Urologue à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Maître-Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi

Hodonou Fred,

Chirurgien Urologue à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Maitre-Assistant à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi

Agoukpe Michel Michael,

Chirurgien Urologue praticien à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou

Dossou Francis Moïse Djidenou,

Chef de service de chirurgie générale au centre hospitalo-universitaire départemental Ouémé Plateau, Porto novo, Professeur Titulaire de CAMES à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi, Benin

Avakoudjo Josué Georges Dejinnin,

Chef de service à la clinique universitaire d'urologie Andrologie du centre hospitalo-universitaire Hubert Koutoukou Maga de Cotonou, Professeur Titulaire de CAMES à la faculté des sciences de la santé de Cotonou, Université d'Abomey Calavi et Président de la société Béninoise d'Urologie, Benin

Abstract

Introduction: Penile trauma involving the vascular network is rarely reported in this paper. The rupture of the deep vein of the penis is a urological emergency which can simulate a fracture of the penis. A case of rupture of the deep vein of the penis is reported, which occurred during a false coitus.

Patient and Methods: The case study was a 26-year-old patient with swelling of the entire penis. This was preceded by minimal pain and progressive detumescence during coitus. Surgical exploration revealed an incomplete lesion of the deep dorsal vein, which was repaired.

Conclusion: Rupture of the deep dorsal vein is rare and may simulate a fracture of the erectile bodies. Surgical exploration remains an accessible diagnostic and therapeutic means.

Keywords: Ajamaat, Lower Casamance, Water Landscapes, Sacred, Beliefs

Introduction

Les lésions traumatiques de la verge sont diverses (Caner et al., 2011) La fracture de la verge est l'entité la plus connue même si elle est rare. Elle regroupe essentiellement les lésions des corps érectiles associées ou non à des lésions de l'urètre(référence). Cependant les traumatismes peuvent intéresser le réseau vasculaire. Ces types de lésions sont rarement rapportés dans la

littérature. Il peut s'agir d'une atteinte de la veine dorsale superficielle (Koifman et al., 2010), de la veine dorsale profonde (Polo et al., 2000), de l'artère dorsale et des saignements de dartos non spécifiques (Shah et al., 2003). La rupture de la veine profonde du pénis est une urgence urologique dont la clinique peut simuler une fracture de la verge. Les auteurs rapportent un cas de rupture de la veine profonde du pénis faussement pris pour une rupture de la verge survenue lors d'un faux pas de coït.

Observation

Il s'est agi d'un patient âgé de 26 ans, reçu en consultation 10 heures après un rapport sexuel au décours duquel il aurait fait un faux pas de coït. Il aurait heurté le pubis de sa partenaire avec son gland. Il s'en était suivi une tuméfaction de tout le pénis précédé d'une douleur minime et d'une détumescence progressive. On notait à l'examen, un pénis en état de flaccidité ayant un << aspect d'aubergine >> de façon symétrique sans ecchymose (Photo 1). La palpation des corps caverneux n'avait pas retrouvé de défaut. Une fracture probable de la verge a été évoquée devant ce tableau de pénis aigu. L'exploration chirurgicale par une incision coronale suivie de dégantage avait permis de mettre en évidence après ouverture du fascia de BUCK en regard de l'hématome médian et dorsal, une rupture incomplète de la veine dorsale profonde (Photo 2). pour laquelle Il a été procédé à une suture-réparation en conservant la perméabilité de la veine.. Un test d'érection avait été réalisé avant la fermeture cutanée. Le patient a été mis sous anticoagulant et Cyprotérone (Androcur* cp) 50mg/12h.

Les suites opératoires immédiates ont été simples. Il a été noté une bonne érection (photo 3) et une détumescence normale à un mois après l'intervention. La reprise des activités sexuelles aurait été effective et satisfaisante 45 jours après l'opération.



Photo 1 : Pénis en aubergine

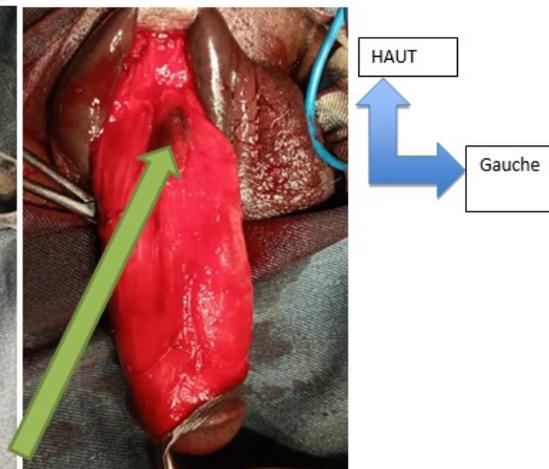


Photo 2: siège de la rupture (Fleche verte)



Photo 3 : pénis en érection à J45 post-opératoire

Discussion

Les blessures au pénis sont rares en raison de leur situation anatomique sur le corps et de leur mobilité (Godec et al., 1988). On retrouve au premier plan les lésions des corps érectiles associées ou non à des lésions de l'urètre, et au second plan les lésions vasculaires. Toutefois, les mêmes causes sont retrouvées dans les deux situations; il s'agit essentiellement d'un faux pas de coït le plus souvent en position missionnaire, comme c'était le cas chez notre patient. D'autres causes ont été évoquées telles que les manœuvres intempestives, chute du lit sur le pénis en érection (Koifman et al., 2010; Kurkar et al., 2014). Le mécanisme de survenue de ces lésions est multiple. Ce pendant chez les sujets jeunes, la vigueur lors des rapports sexuels est un facteur non négligeable. Une série égyptienne portant sur les fractures de la veine dorsale, avait rapporté une tranche d'âge de 23 à 45 ans (une moyenne de 33 ans) (Kurkar et al., 2014). Il s'agit d'une tranche d'âge qui correspondait à celui de notre patient. Notre patient avait consulté 10 heures après le traumatisme. En égypte, le délai médian de consultation est de 4 heures après le traumatisme avec un intervalle de 2 à 32 heures (Kurkar et al., 2014).

Tous les patients pris en charge dans ce délai avaient des suites opératoires favorables comme chez notre patient.

La présentation clinique de la rupture de la veine dorsale profonde peut simuler un tableau de fracture des corps érectiles. Il n'existe pas de signes cliniques spécifiques à la rupture de la veine dorsale profonde retrouvés dans la littérature. Les signes cliniques présentés par notre patient étaient décrits par certains auteurs comme étant des arguments en faveur non seulement des lésions traumatiques qui intéressent la veine dorsale superficielle, la veine dorsale profonde mais aussi des saignements du dartos non spécifiques (Koifman et al., 2010; Shah et al., 2003).

L'importance de l'œdème et/ou de l'hématome surtout lorsque le patient se présente tardivement, peut entraîner une incertitude préopératoire comme c'était le cas chez notre patient. L'apport de l'imagerie (l'échographie doppler du pénis, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomodensitométrie), dans la mise en évidence du site de la lésion et pourrait guider l'intervention chirurgicale (Sanda et al., 2006; Mahapatra et al., 2015). Ces examens paracliniques, très contributifs dans les formes frustes, ne doivent en aucun cas retarder la prise en charge chirurgicale surtout dans des contextes où l'accessibilité à ces examens posent des difficultés. La chirurgie dans ces conditions constitue donc un moyen diagnostique et thérapeutique. En absence d'imagerie préopératoire, l'abord chirurgical électif de la lésion ne peut être réalisé. L'abord sous coronal avec déshabillage de la verge offre dans ce cas une meilleure vue exploratrice de l'hématome (Coffin et al., 2017). La situation anatomique intra faciale de la veine dorsale profonde peut expliquer la maîtrise de l'hématome (Al-Shaiji et al., 2009).

En postopératoire, certaines drogues sont conseillées pour inhiber les érections. L'association acétate de ciproterone 200 mg/24 heures et diazépam 10 mg/24 heures semble être la plus efficace (Prunet et al., 1996). Alors que certaines études soulignent les effets secondaires et leur efficacité aléatoire (Al-Shaiji et al., 2009). Chez notre patient, une maîtrise de l'érection a été obtenue avec uniquement la ciproterone.

Conclusion

La rupture de la veine dorsale profonde est rare et peut simuler une fracture des corps érectiles dans un contexte d'urgence. L'exploration chirurgicale reste un moyen diagnostique et thérapeutique lorsque l'accessibilité à l'imagerie pose problème. L'évolution est le plus souvent favorable après une prise en charge chirurgicale.

Contribution des auteurs

Tous les auteurs ont contribué de la conception jusqu'à la soumission de l'article

Confits d'intérêt

Aucun conflit n'a été déclaré par les auteurs

References:

1. Al-Shaiji, TF., Amann, J., & Brock, GB. (2009). Fractured penis: diagnosis and management. *J Sex Med* 6:3231–40.
2. Baran, C., Topsakal, M., Kavukcu, E., & Karadeniz (2011). Superficialdorsal vein rupture imitating penile fracture. *Korean J Urol*,52(4): 293-4 doi : 10.4111/kju.2011.52.4.293.
3. Coffin, G., Méria, P., & Desgrandcham, F. (2017). Traumatismes des organes génitaux externes. EMC, Chap 80 P8-13.
4. Godec, CJ., Reiser, R., & Logush, AZ. (1988). The erect penis injury prone organ. *J Trauma*; 28: 124-6.
5. Koifman, L., Barros, R., Júnior, RA., Cavalcanti, AG., & Favorito, LA. (2010). Penile fracture: diagnosis, treatment and outcomes of 150 patients. *Urology*;76: 1488- 92.
6. Kurkar, A., Ahmad A.E., Hazem O. (2014). Fausse fracture du pénis: pathologie différente mais similaire présentation clinique et prise en charge. *Annales d'urologie* . Vol 6 , P123.
7. Mahapatra, RS., Kundu, AK., & Pal, DK. (2015). Fracture du pénis: notre Expérience dans un hôpital de soins tertiaires. *World J Mens Health.*; 33: 95-102.
8. Polo, HE., Garrigós, MJ., Ruiz, PM., Tendero, TP., & Marcos, SM. (2000). Hématome pénien causée par une rupture de la veine dorsale profonde pendant les rapports sexuels. *Arch Esp Urol*; 53: 473 - 5.
9. Prunet, D. & Bouchot, O. (1996). Penile injuries. *Prog Urol* ; 6:987–93.
10. Shah, DK., Paul, EM., Meyersfield, SA., & Schoor, RA. (2003). False fracture of the penis. *Urologie*; 61: 125- 9.
11. Sanda, GO., Heyns, CF., Soumana, A., & Rachid, S. (2006). Fracture du pénis un examen de la gestion. *Niger J Surg Res* 8 (3–4): 116–8.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Effets De L'extrait Aqueux Du Moringa Oleifera Sur L'abondance Des Oocystes De Protozoaires Intestinaux Des eaux Usées D'origine Hospitalière À Yaoundé-Cameroun

*Tsomene Namekong Pierre,
Ajeegah Gideon Aghaindum,
Fotseu Kouam. Arnold,
Asi Quiggle Atud,
Okoa Amougou Thérèse Nadège,*

Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire
d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des Sciences, Université de
Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Kapso Tchouakep Mireille,

Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes Animaux, Unité de
Biologie Humaine et Santé, Faculté des Sciences, Université de
Douala, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p58](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p58)

Submitted: 02 November 2021

Accepted: 09 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Pierre N.T., Aghaindum G.A., Arnold K.F., Atud Q.A., Nadège O.A.T., & Mireille T.K., *Effets De L'extrait Aqueux Du Moringa Oleifera Sur L'abondance Des Oocystes De Protozoaires Intestinaux Des, Usées D'origine Hospitalière À Yaoundé-Cameroun* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 58.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p58>

Résumé

L'accès à l'eau potable demeure une très grande préoccupation en Afrique sub-saharienne, plus particulièrement dans les agglomérations où les populations sont confrontées à la pollution, l'insuffisance d'hygiène d'assainissement et au manque de méthodes appropriées de traitement à l'échelle familiale. De ce fait, l'intégration de procédés biologiques de traitement des eaux pourrait être une alternative durable dans l'amélioration de la qualité des eaux de boisson et des eaux déversées dans l'environnement après usage. La présente étude menée de juin 2019 à avril 2020 porte sur l'optimisation de l'efficacité des feuilles de Moringa oleifera dans le traitement des eaux usées d'origine hospitalière. Ces eaux ont été traitées avec différentes concentrations (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L et

600mg/l) de l'extrait aqueux de *Moringa oleifera*. Le suivi des paramètres physicochimiques et parasitologiques à différents temps de décantation a permis de déterminer les conditions optimales et d'évaluer l'efficacité des traitements. Il en ressort qu'en fonction des caractéristiques des eaux, les temps de décantation compris entre 24-36 h sont apparus suffisants pour éliminer la presque totalité des matières en suspension et des colloïdes. Pour le même temps de décantation, l'abattement parasitologique était en moyenne de l'ordre de 99 % pour *Isospora* spp, 94 % pour *Cryptosporidium* spp, 98 % pour *Cyclospora* spp et 96 % pour les oocystes de *Sarcocystis* spp. Au cours du traitement, la baisse de certains paramètres physicochimiques tels que la réduction des teneurs en matières organique biodégradables exprimée par l'oxydabilité et la hausse d'autres paramètres comme le pH, la conductivité électrique et des Solide Totaux Dissout ont facilité la réduction des parasites durant le traitement. Ces résultats indiquent qu'en fonction des concentrations initiales, le traitement des eaux brutes avec l'extrait aqueux des feuillettes de *Moringa oleifera* améliore considérablement la qualité des eaux.

Mots clés: *Moringa Oleifera*, Eaux Usées Hospitalières, Traitement, Oocystes De Protozoaires

Effects of Aqueous *Moringa Oleifera* Extract on the Abundance of Intestinal Protozoan Oocysts in Hospital Wastewater in Yaoundé-Cameroon

*Tsomene Namekong Pierre,
Ajeegah Gideon Aghaindum,
Fotseu Kouam. Arnold,
Asi Quiggle Atud,*

Okoa Amougou Thérèse Nadège,

Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire
d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des Sciences, Université de
Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Kapso Tchouakep Mireille,

Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes Animaux, Unité de
Biologie Humaine et Santé, Faculté des Sciences, Université de
Douala, Cameroun

Abstract

Access to safe drinking water remains a major concern in sub-Saharan Africa, especially in urban areas where people are confronted with pollution, poor hygiene, inadequate sanitation and lack of appropriate treatment methods

at the household level. Therefore, the integration of biological water treatment processes could be a sustainable alternative in improving the quality of drinking water and water discharged into the environment after use. The present study conducted from June 2019 to April 2020 focuses on optimising the efficiency of *Moringa oleifera* leaves in the treatment of hospital wastewater. These waters were treated with different concentrations (100mg/l, 200mg/l, 300mg/l, 400mg/l, 500mg/L and 600mg/l) of the aqueous extract of *Moringa oleifera*. The monitoring of physico-chemical and parasitological parameters at different decantation times made it possible to determine the optimal conditions and to evaluate the effectiveness of the treatments. The results showed that, depending on the characteristics of the water, settling times between 24-36 hours appeared to be sufficient to eliminate almost all the suspended matter and colloids. For the same settling time, parasitological removal was on average around 99% for *Isospora* spp, 94% for *Cryptosporidium* spp, 98% for *Cyclospora* spp and 96% for *Sarcocystis* spp oocysts. During the treatment the decrease values of some physicochemical parameters such as the reduction of biodegradable organic matter content expressed by oxidability and the increase of other parameters such as pH, electrical conductivity and Total Dissolved Solids facilitated the reduction of parasites during the treatment. These results indicate that, depending on the initial concentrations, treatment of raw water with the aqueous extract of *Moringa oleifera* leaflets significantly improves water quality.

Keywords: *Moringa Oleifera*, Hospital Wastewater, Treatment, Protozoan Oocyst

Introduction

Le développement socio-économique conjugué à la croissance démographique engendre l'augmentation des besoins en eau qui se traduit par l'utilisation excessive des ressources en eau et par la production et le rejet d'un important volume d'eaux usées dans les milieux récepteurs (Teofilović, 2013) constituant ainsi une réelle menace pour l'environnement et la survie sur terre. Il est urgent de mieux traiter ces eaux afin de pouvoir les réutiliser pour d'autres fin comme dans l'agriculture (OMS,1989). Face aux effets souvent mal connus des désinfectants chimiques pour le traitement des eaux dans le monde, les difficultés liées au traitement des eaux usées hospitalières qui contiennent des nombreux agents pathogènes tels les champignons, les bactéries, les virus à l'exemple du corona virus qui représente une très grande menace pour l'humanité (Amoah *et al.* 2020) et des protozoaires (Oocystes) qui sont très résistants dans l'environnement et sont à l'origine de la résurgence de nombreuses maladies.

De nombreux travaux effectués dans le monde ont déjà démontrés l'efficacité de l'extrait du *Moringa oleifera* sur la réduction de la charge bactérienne dans l'eau (Millogo-Koné *et al* ;2010). Cependant très peu de travaux ont déjà été faits sur l'évaluation des effets de cette plante sur les formes de disséminations des protozoaires intestinaux en Afrique centrale or ces derniers sont très résistants. Aux États-Unis, l'estimation des oocystes totaux retrouvés dans les eaux de surface impose les niveaux d'enlèvement et de désinfection aux traiteurs d'eaux. Les coûts additionnels attribués aux ajustements de traitement ont été estimés entre 92 à 133 millions de dollars par année (USEPA, 2005).

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de l'extrait aqueux du *moringa oleifera* sur l'abondance des Oocystes de protozoaires intestinaux contenus dans les eaux usées d'origine hospitalières à Yaoundé, Cameroun. Plus précisément il s'est agi de mesurer les paramètres physicochimiques de ces eaux avant et après le traitement, d'isoler et d'identifier les Oocystes présents dans ces eaux avant et après chaque traitement et évaluer le taux d'abattement après chaque traitement

D) Matériels et Méthodes

Sur le site, les échantillons d'eau ont été collectés en triplicata dans des flacons stériles de 20L puis conservés à 4 °C dans des glacières et rapidement transportés au laboratoire pour les traitements et analyses selon les recommandations de Rodier *et al* (2009). L'efficacité des traitements a été évaluée en comparant les caractéristiques des échantillons traités à celles des échantillons non traités et aux normes de référence de l'OMS (1989) pour les eaux environnementales et des eaux de boisson.

I.1-Description du site d'étude

Le site d'étude est situé directement derrière l'hôpital général de Yaoundé où sont déversés les effluents du dit hôpital. Il a pour coordonnées géographiques 3°52'382'' N et 011° 30'421''E, et d'altitude 756 m. Ces eaux se déversent directement dans la nature.

I.2-Préparation

Les feuilles de *M.oleifera* récoltées ont été séchées puis broyées selon la technique décrite par Folkard et Sutherland (2002). La poudre fine obtenue a été utilisée pour la préparation de la solution mère de coagulant de *Moringa oleifera*. Pour cela, 100 g de poudre de feuilles ont été dilués dans 200ml d'eau distillée stérilisée et le mélange a été agité durant une heure afin d'extraire le coagulant, ce mélange a ensuite été filtré à travers un filtre de 100µl de maille. Le filtrat obtenu est séché pendant 24H à l'étuve entre 35-45°C, et l'extrait obtenus a été utilisé pour traiter des eaux.

I.3-Traitement des échantillons d'eaux

Au laboratoire, les échantillons ont été traités en triplicata avec des concentrations croissantes de l'extrait de *Moringa oleifera* afin de pouvoir déterminer les doses adéquates en fonction des caractéristiques des différents échantillons. Pour réaliser le jar-test, 500 mL de chaque échantillon d'eau ont été introduits dans des béchers d'un flocculateur à commande électrique à six postes (FC6S Jar-Test velp Scientifca) suivi de l'ajout des différents volumes de l'extrait. L'agitation des eaux après introduction du coagulant s'est faite en deux phases : une agitation rapide à 150 tours/min pendant cinq minutes et une agitation lente à 45 tours/min pendant 15 minutes. Ainsi six concentrations ont été choisies après plusieurs essais. Il s'agit de 100mg/l noté C1, 200mg/l noté C2, 300mg/l noté C3, 400mg/l noté C4, 500mg/l noté C5, 600mg/l et le témoin noté Te ou C0. Après les échantillons sont laissés pendant 24 à 34 heures à température ambiante au laboratoire, ce temps correspondant au temps de contact. En suite 5ml sont prélevés et introduits dans les tubes pour centrifugation suivie de l'observation au microscope optique.

I.3.Caractéristiques physicochimiques des échantillons d'eaux

Les caractéristiques physicochimiques des échantillons d'eaux brutes ont été déterminées. Les paramètres physicochimiques de potabilité des eaux de boisson ciblés ont été la turbidité, le pH, les concentrations en nitrate, phosphate, azote ammoniacal, l'alcalinité, la matière organique et les matières en suspension. Tous ces paramètres ont été mesurés avant, puis 24 heures après traitement pour tous les échantillons afin de déterminer les conditions optimales et les facteurs influençant le traitement. Les autres paramètres ont été déterminés aux conditions optimales afin d'évaluer l'effet des traitements sur la composition physicochimique des eaux.

Le pH et les TDS ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA modèle 9839 ; et la température avec un thermomètre à alcool.

Les dosages des concentrations en couleur et MES ont été réalisés par la méthode de spectrophotométrie avec le spectrophotomètre Lange Hach DR 2010, selon les méthodes 8051, 8039, 8507 respectivement pour l'azote ammoniacal, nitrate et phosphate du manuel des spectrophotomètres DR (2000, 2010).

L'oxydabilité a été mesurée par volumétrie. Dans un erlenmeyer de 500 ml ont été introduits 200 ml d'échantillon d'eau brute, puis 2 ml de carbonate monosodique et l'ensemble a été porté à ébullition sur une plaque chauffante. Dès le début de l'ébullition, 20 ml de KMnO_4 N/80 ont été ajoutés.

Dix (10) minutes après le début de l'ébullition, l'erenmeyer a été refroidi à l'eau courante, puis 5 ml de H₂SO₄ à 25% et 20 ml de sel de Mohr y ont été ajoutés successivement. L'échantillon décoloré a ensuite été titré au KMnO₄ N/80 jusqu'à obtention d'une couleur rose persistante. L'échantillon témoin est préparé dans les mêmes conditions, mais avec de l'eau distillée. L'oxydabilité exprimée en mg/l de O₂ s'obtient par la formule ci-dessous :

$$\text{Oxydabilité (mg/l de O)} = \frac{(q - q^0)}{2} \times 3,95$$

Avec q= descente burette de l'échantillon et q₀= descente burette témoin

I.4- Caractérisation microbiologique des eaux

Les Oocystes de parasites ont été concentrés et dénombrés au microscope optique suivant les méthodes recommandées par l'OMS (2019).

I.4.1-Méthode de sédimentation

Après homogénéisation du culot, 5ml de l'échantillon (témoins et tests) sont prélevés et introduits dans un tube à essai. Le mélange obtenu est porté à la centrifugation à 1500 tours/min pendant 5 min à l'aide d'une centrifugeuse. Après quoi le surnageant est rejeté et le culot est prélevé goutte par goutte et observé au microscope optique après ajout du colorant vital.

I.4.2-Coloration de Ziehl-Nielsen modifiée

Pour la coloration de Ziehl-Nielsen modifiée. Une solution de sulfate de zinc à 33 % (densité spécifique de 1,18) qui permet la flottaison est ajoutée à 5 mL de culot contenu dans des tubes à essai pour favoriser la flottaison des organismes, l'ensemble est centrifugé à 500 trs/min pendant 10 minutes. Le surnageant est prélevé à l'aide d'une micropipette et posé sur des lames porte-objets. Après fixation au méthanol et coloration à la fuchsine basique, la lame est rincée à l'eau puis à l'acide sulfurique 2 %. Ensuite, une contre-coloration au vert de malachite est réalisée suivi du rinçage à l'eau avant séchage à l'air.

I.4.3-Identification et dénombrement des kystes et des Oocystes

Les Oocystes ont été identifiés à l'aide des planches de l'OMS (1994, 2019). Les mesures des dimensions ont été faites grâce au micromètre que porte l'un des oculaires du microscope. un nombre (X) d'oocystes parasites a été trouvé dans 11 d'échantillon en utilisant la formule suivante (Ajeegah *et al.*, 2010 et Ajeegah *et al* 2014) :

$$X = \frac{y \cdot V_x}{V_y}$$

Avec : V_x= volume du culot dans 11 d'échantillon, V_y= volume du culot utilisé pour observation, y= nombre de kystes observés dans V_y.

Pour évaluer l'effet des désinfectants sur les différents oocystes, le taux d'abattement a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'abattement(\%)} = \frac{\text{Nombre d'oocystes avant traitement} - \text{Nombre d'oocystes après traitement}}{\text{Nombre d'oocystes avant traitement}} \times 100$$

II) Résultats et discussions

II.1 Echantillon brute

L'eau utilisée pour cette étude à un pH proche de la neutralité (entre 7 et 7,2). Une conductivité électrique, une Couleur, des MES ainsi que les TDS élevés. Ceci serait lié à leur origine (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du coagulant et des eaux brutes

Conductivité électrique (µS /cm)	MES (mg/l)	Couleur (PICo)	Oxydabilité (mg d'O ₂ /l)	pH (U.C)	TDS (mg/l)
1913	1080	4380	14,22	7,02	955

II.2 Effet du traitement sur les paramètres physico-chimiques des eaux

Le traitement de l'échantillon a entraîné une baisse des concentrations de matières organiques, de la Couleur et des matières en suspension. Le test de corrélation entre la Couleur et celle des MES a montré que ces paramètres suivent une tendance significativement positive. Les corrélations (r) obtenues sont de 0,577 pour la Couleur et les MES, 0,893 pour la conductivité électrique et les TDS (Tableau 4). Les concentrations initiales en matières organiques et MES étant très élevées pour cet échantillon, la coagulation-floculation a entraîné également leur sédimentation. Il ressort ainsi que les taux de matières organiques et MES influencent l'efficacité du traitement.

La figure 1 présente les résultats de l'analyse de variance des concentrations de la Couleur, MES et des TDS des eaux déterminées avant et aux conditions optimales de traitement. La figure 2 présente les résultats de l'analyse de variance des concentrations de l'oxydabilité, conductivité électrique et pH. Il en ressort que le traitement a un effet très significatif sur tous les paramètres ciblés (p<0,0001). Une baisse très significative des concentrations MES, de l'Oxydabilité et la Couleur a été observée pour tous les échantillons, contre une augmentation de celles de la conductivité électrique et des TDS.

Avant et après chaque traitement, les variations du pH enregistrées sont comprises respectivement entre 1,2-1,5 unité pH (figure 2C). Ainsi, la composition chimique des eaux évolue peu après traitement au M. oleifera (Folkard, 1997). Ceci est en parfait accord avec nos résultats qui indiquent que le traitement influe peu sur le pH de l'eau dont la variation n'est pas statistiquement significative. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Kabore *et al* (2013) dans les eaux usées du Boukina Faso.

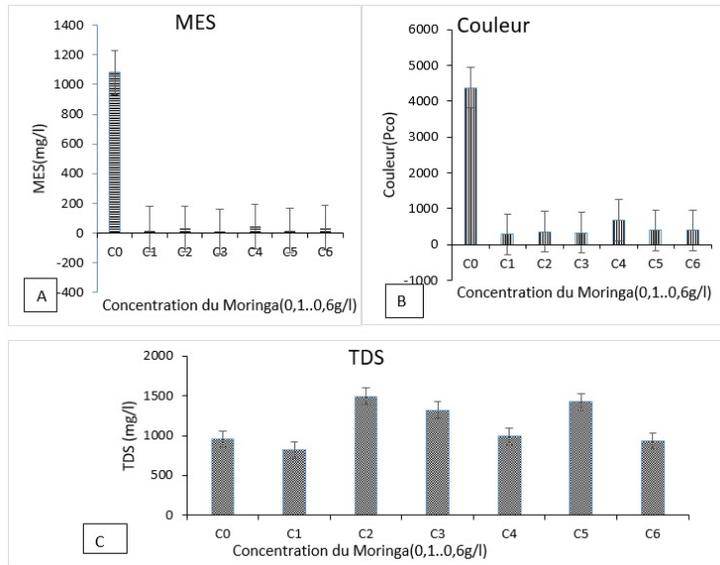


Figure 1: Evolution de la variation des MES (A), de la Couleur (B) et des TDS (C) en fonction de la concentration du moringa (C0 = témoin, C1 = 100mg/l, C2 = 200mg/l, C3 = 300mg/l, C4 = 400mg/l, C5 = 500mg/l et C6=600mg/l).

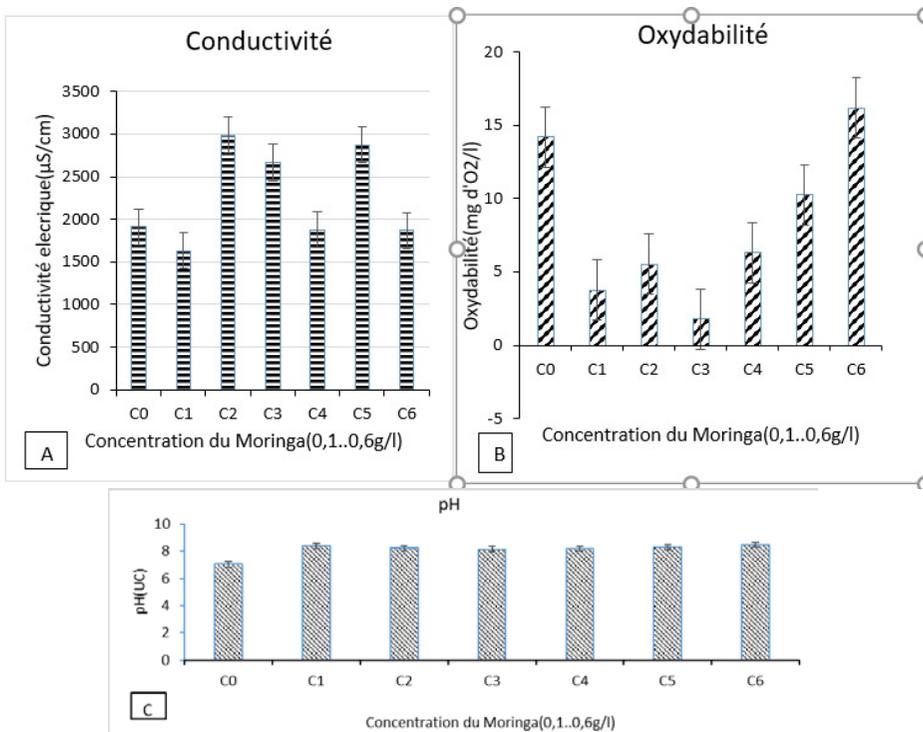


Figure 2 : Evolution de la Conductivité électrique (A), de l'Oxydabilité (B) et du pH (C) en fonction et de la concentration du moringa (C0=témoin, C1=100mg/l, C2=200mg/l, C3=300mg/l, C4=400mg/l, C5=500mg/l et C6=600mg/l)

La coagulation avec des feuillets de *M. oleifera* est basée sur l'adsorption et la neutralisation dans l'eau de particules chargées négativement (colloïdes) et de métaux par des charges positives des protéines actives (Vikashni et al., 2012). Ceci explique le taux d'abattement très élevé des MES (97,5%), de la Couleur(92%) et de l'Oxydabilité (55%) (Tableau2)

Le temps de décantation de 24heures a permis une élimination très significative des MES des eaux. Bien que des temps de décantation de 36 heures donnent les meilleures valeurs de turbidité, la qualité organoleptique des eaux est fortement affectée (odeur, goût, aspect) du fait de la présence de la matière organique des feuillets de *M. oleifera*. En accord avec nos résultats, Jahn (1988) a conseillé une décantation de 1-2 heures, afin d'éliminer les particules et les microorganismes résiduels en suspension.

Tableau 2 : Taux d'abattement des variables physicochimiques

Concentration	Oxydabilité (mg d'O ₂ /l)	Couleur (PtCo)	MES (mg/l)
C1	-13,92	93,5	97,5
C2	61,1	91,8	97,4
C3	73,41	92,37	98,9
C4	55,55	84,56	95,7
C5	27,76	90,93	98,5
C6	49,92	90,93	96,6

Les teneurs en parasites pathogènes d'origine fécale des eaux avant et après traitement au *M. oleifera* sont présentées par la **figure 3**. L'analyse parasitaire de surnageant des échantillons d'eau traités a montré une élimination très importante de tous les germes au bout de 24 heures de décantation.

II.2. Évolution des indicateurs Parasitologiques dans les échantillons d'eau en fonction du traitement au *Moringa oleifera*

L'efficacité du traitement sur les formes de dissémination des protozoaires parasites est fonction du degré de pollution initiale des eaux. De même, les abattements des oocystes sont fonction des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques initiales de l'eau brute et proportionnels à l'abattement de la turbidité (Bratby,2006). En effet, étant donné que les microorganismes sont rattachés aux particules en suspension, leur sédimentation entraîne également celle des microorganismes. Ces facteurs expliquent ainsi les déférences observées au niveau des abattements obtenus. Ainsi, plus la clarification est parfaite et la qualité microbiologique initiale acceptable, plus la qualité microbiologique de l'eau traitée est

meilleure (Kabore et al., 2013). Les abattements obtenus pour cet échantillon (Tableau 3) ont été en moyenne de l'ordre de 99 % pour *Isopora* spp, 94% pour *Cryptosporidium* spp, 98% pour *Cyclospora* spp et 96% pour *Sarcocystis* spp. Ces résultats seraient directement liés à la nature de la paroi de chaque oocyste. En effet *Cryptosporidium* est très abondant dans la nature et très résistant aux désinfectants par rapport à sa petite taille et à sa double paroi (Tsoméné et Ajeegah, 2020 ; Santé Canada, 2017) ; raison pour laquelle même à une concentration de 600 mg/l un abattement de 100% n'a pas été obtenu. *Isopora* se caractérise par une grande taille (25 à 35µm x 11 à 16µm) et trois formes dans l'environnement. La forme ovoïde immature a un sporoplaste, la forme ovoïde mature a deux sporoplastes et la forme ovoïde terminale dispose de deux sporoplastes également qui quittent le centre pour le pôle de la cellule (Ajeegah *et al.*, 2015). La nature de la forme caractérise la résistance ; raison pour laquelle un abattement de 100% a été obtenu à une concentration de 300mg/l.

Les oocystes de *Cyclospora* spp. sont circulaires avec une double paroi lisse, à l'intérieur de ceux-ci, se trouve un amas verdâtre appelé morula (Anses,2014). Leur taille varie de 7 à 10 µm ce qui les rend un peu plus résistants avec un taux d'abattement de 100% à une concentration de 500 mg/l. Les sporocystes de *Sarcocystis* spp. se présentent sous une forme ovoïde et contiennent des sporozoïtes. Leur coque est mince et leur taille fluctue entre 10 et 15 µm x 9 à 10µm (Asi *et al.*, 2021) d'où le taux max a été obtenu à partir de C6.

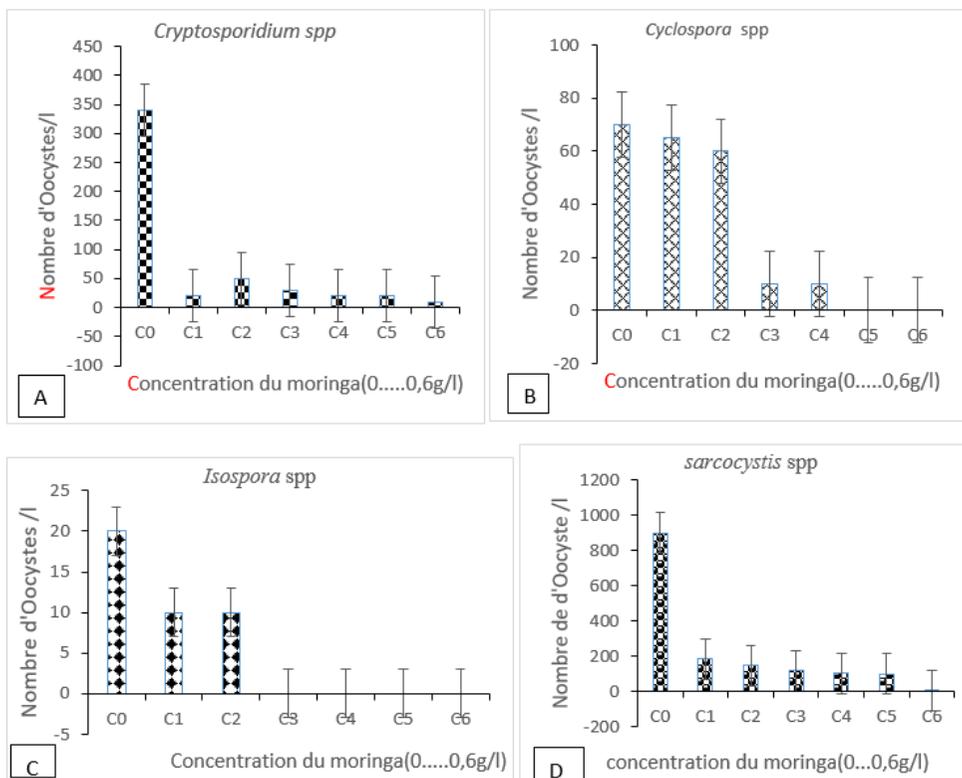


Figure 3: Evolution de la densité parasitaire en fonction de la concentration du moringa : *Cryptosporidium* spp (A), *Cyclospora* spp (B), *Isospora* spp (C) et *Sarcocystis* spp (D)

Tableau 3 : Taux d'abattement en % des différents oocystes

Concentration	<i>Cryptosporidium</i> spp	<i>Cyclospora</i> spp	<i>Isospora</i> spp	<i>Sarcocystis</i> spp
C1	85,3%	7,14%	50%	79,33%
C2	91,2%	14,28%	50%	83,5%
C3	91,2%	85,7%	100%	86,66%
C4	94,11%	85,7%	100%	88,22%
C5	94,4%	100%	100%	88,88%
C6	97%	100%	100%	98,8%

Tableau 4 : Corrélations entre les différents paramètres

	TDS	Conductivité	MES	Couleur	pH	Oxydabilité
TDS (mg/l)	1,000					
Conductivité (µS/cm)	0,893**	1,000				
MES (mg/l)	-0,321	-0,536	1,000			
Couleur (PICo)	0,036	-0,270	0,775*	1,000		

PH	-0,321	,071	- 0,214	-0,396	1,000	
Oxydabilité	-0,643	-0,679	0,286	0,126	0,286	1,000
Cryptosporidium spp	0,408	0,037	0,148	0,150	- 0,815*	-0,148
Cyclospora spp	-0,236	-0,473	0,364	-0,018	- 0,491	0,346
<i>Isospora</i> spp	-0,179	-0,418	0,418	0,060	- 0,299	0,478
<i>Sarcocystis</i> spp	-0,143	-0,393	0,214	-0,090	- 0,536	0,321

*= corrélation significative au seuil 5 %

**= corrélation significative au seuil 1 %

Les effets du *Moringa oleifera* ont été observés directement sur les oocystes durant cette étude. C'est à la suite de ces observations que ressort la confirmation selon laquelle, la molécule de **quercétine** serait responsable de la destruction des oocystes et agit premièrement au niveau de la surface constituée de Glycocalyx et de la double paroi riche en hydrocarbonates (Figure 4).

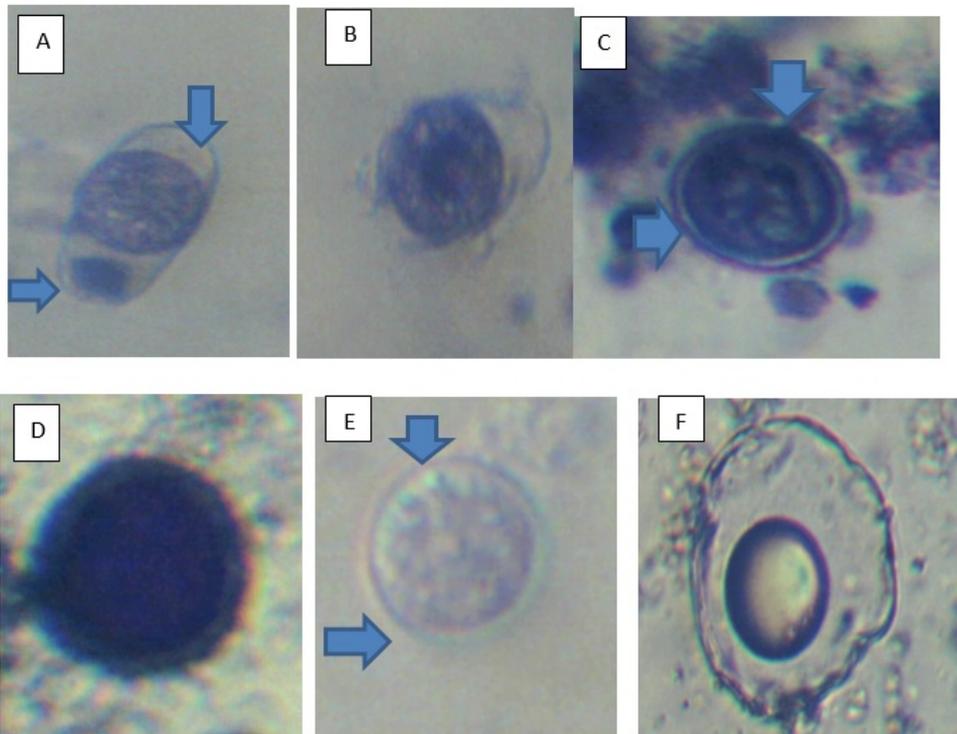


Figure 4 : Photos au microscope optique des oocystes avant et après le traitement (A et B =*Isospora* spp[30µm] ; C et D= *Cyclospora* spp [9µm]; E et F= *Cryptosporidium* spp[4µm])

Conclusion Et Recommandations

Dans ce travail, il était question d'étudier la mise en évidence des effets de l'extrait aqueux des feuillettes de *Moringa oleifera* sur l'abondance des formes de résistances des protozoaires intestinaux des eaux usées de l'Hôpital Général de Yaoundé. L'isolement et l'identification des différentes formes d'oocystes des protozoaires intestinaux a permis de recenser les espèces *Cryptosporidium* spp, *cyclospora* spp, *Isospora* spp et *sarcocystis* spp. Les méthodes simples et peu coûteuses de traitement des eaux sont un critère essentiel de la durabilité des processus dans les pays en développement. Les plantes utilisées pour la floculation doivent être faciles à produire, leur coagulant facile à doser, cultivables dans de nombreux pays et dans un espace réduit et ne doivent pas présenter de toxicité. Les feuilles de *Moringa oleifera* répondent très bien à ces caractéristiques. *Moringa oleifera* est cultivable particulièrement de façon intensive et est adaptée à la majorité des zones tropicales. L'efficacité des feuillettes est démontrée dans ce travail par la réduction des parasites dans l'échantillon d'eau brute, dont le traitement permet une nette amélioration de la qualité des eaux.

References:

1. Ajeegah G., Njine T., Bilong Bilong C., Foto Menbohan S., Wouafo N., Nola M., Di G., Huw S. 2010. Seasonal distribution of Enteric Opportunistic *Cryptosporidium* Spp. Oocysts and *Giardia* Spp. Cysts in a tropical water basin, Cameroon. *Water*, 2: 44-57.
2. Ajeegah G., Foto Menbohan S., Talom S., Ntwong M., Tombi J., Nola M., Njine T. 2014. Propriété Physico-chimique et dynamique d'abondance des formes de dissémination des helminthes intestinaux dans les eaux usées et de surface à Yaoundé (Cameroun). *European Journal of Scientific Research*, 120 p.
3. Ajeegah G., Karie M. 2015. Dynamique de l'abondance des oocystes d'*Isospora belli* dans un milieu aquatique en zone tropicale (Cameroun). *Journal of Microbiology Methods*, 88 : 61-155.
4. Anses (Agence nationale de Sécurité Sanitaire alimentation, environnement, travail). 2014. Caractéristiques et sources de *Cyclospora cayetanensis*; Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments Janvier 2014.
5. ASI. Q. Atud., Ajeegah. G. Aghaindum., Amougou. T.N. Okoa. 2021. Abundance Dynamic of Oocysts in the Groundwater of Mbankomo, a Sub-urban Area Yaounde: Physico-chemical Factors and Health Risk. *Société de pathologie exotique et Lavoisier SAS*. DOI 10.3166/bspe-2021-0155

6. Bratby J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. Seconde édition, IWA Publishing, Londres, 450 p.
7. Isaac Dennis Amoah., Sheena Kumari., Faizal Bux. 2020. Coronaviruses in wastewater processes: Source, fate and potential risks. *Environment International* 143 (2020) 105962
Foild n., H.P.S. Makkar et K. Becker. 2002. Potentiel du Moringa oleifera pour les besoins agricoles et industriels. Dans : Potentiel de Développement Pour Les Produits de Moringa. Acte de l'Atelier International de Dar es Salam Saint-Sauveur, Appora, Besse et Fuglie, 29 octobre-2 novembre 2001, Tanzanie, (Cd-Rom) MONTPELLIER (éditeur)
8. Folkard g. 1997. Te development of the Moringa oleifera and stenopetala tree to provide valuable products: coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil. Rapport à la Commission Européenne, Dg 12, projet de recherche N° TS3CT94-0309, période 1995-1997.
9. Kabore, A., Savadago, B., Rosillon, F., Straore, A. S. & Dianou, D. 2013. Optimisation de l'efficacité des graines de moringa oleifera dans le traitement des eaux de consommation en Afrique sub-saharienne : cas des eaux du Burkina Faso. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 26 (3), 209–220. <https://doi.org/10.7202/1018786ar>
10. Jahn s.a.A. 1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J. AWWA*, 80, 43-50.
11. Millogo-Koné H., Kini B. F., Yougbaré Z., Yaro M. B., Sawadogo M. 2010. Etudes de la phytochimie et de l'activité antimicrobienne in vitro des feuilles de Moringa oleifera (Moringaceae).
12. OMS, 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations a avisées sanitaires. Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Organisation Mondiale de la Santé, Rapport technique n°778, Genève.
13. OMS. 1994. Planches pour le diagnostic des parasites intestinaux. Genève, 29 p.
14. OMS. 2019. Bench Aids for the Diagnosis of Intestinal Parasites, 2nd Edition. Genève. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
15. Rodier J., Legube B., Merletet N., Brun R., Mialocq J-C., Leroy P., Houssin M., 2009. L'analyse de l'eau (Editions). Dunod, Paris, 9^e édition entièrement mise à jour. 1 -1579.

16. Santé Canada. 2017. Protozoaires entériques dans l'eau potable : *Giardia* et *Cryptosporidium* Document de consultation publique, 4p.
17. Teofilović V., Pavličević J., Bera O., Jovičić M., Budinski-Simendić J., Mészáros Szécsényi K., Aroguz A. 2013. The preparation and thermal properties of chitosan/bentonite composite beads. *Hem. ind.* 68 (6): 653–659.
18. Tsomene namekong Pierre and Ajeegah Gideon Aghaindum. 2020. Bio Evaluation of the Quality of Underground Water by the Intestinal Protozoan in an Equatorial Zone (Yaounde, Cameroon). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)* ISSN: 2509-0119. Vol. 23 No. 1, pp. 358-368
19. Vikashni N., M. Matakite., K. Kanayathu et S. Subramanium. 2012. Water purification using *Moringa oleifera* and other locally available seeds in Fiji for heavy metal removal. *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, 2, 125-129.

Déterminants Socio-Économiques De L'adoption Des Technologies Agro Écologiques De Productions Agricoles Dans Le Département De Mayahi Au Niger

Mahamane Moctar Rabe,
Université de Tahoua, Niger,

Ibrahim Baoua,
Université Dan Dicko DanKoulodo de Maradi, Niger,

Rabo Issaka Salissou
Cabinet Sahel bio de Maradi, Niger

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p73](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p73)

Submitted: 29 September 2021

Accepted: 24 November 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Rabe M.M. ,Baoua I.,& Salissou I. R.,(2021). *Déterminants Socio-Économiques De L'adoption Des Technologies Agro Écologiques De Productions Agricoles Dans Le Département De Mayahi Au Niger* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 73.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p73>

Résumé

Cette étude conduite dans le département de Mayahi, au Niger oriental, a pour objectif, d'identifier les facteurs influençant l'adoption des pratiques culturales de production du mil et du niébé et aussi celle de l'utilisation du bloc multi-nutritionnel. Ainsi, cent-vingt (120) chefs d'exploitation choisis aléatoirement ont été enquêtés sur l'utilisation des technologies de production diffusées au cours des trois dernières années. La régression logistique a permis de déterminer les corrélations entre les contextes et l'adoption des technologies. Ainsi, l'implication des producteurs dans les démonstrations a influencé positivement sur l'adoption des techniques d'application du compost ($P<0,001$), l'utilisation des variétés améliorées de mil et de niébé ($P<0,05$), des extraits aqueux des graines de Neem ($P<0,001$) et de la technologie de stockage hermétique des récoltes ($P<0,001$). Cependant, la proximité des villages du marché hebdomadaire a eu une corrélation négative avec l'utilisation du compost ($P<0,05$) ; alors que la proximité du village aux zones urbaines a influencé positivement l'achat des blocs multi nutritionnels densifiés et la pratique du défrichement amélioré ($P<0,001$). Par ailleurs, l'accès au crédit a influencé positivement sur l'achat des blocs multi

nutritionnels densifiés ($P < 0,05$) ; le contact avec les services de vulgarisation agricole public a été corrélé par l'utilisation de la technologie de lutte contre la chenille mineuse de l'épi du mil ($P < 0,05$). Ces résultats peuvent contribuer à orienter les acteurs de développement rural à mieux planifier les activités de diffusion et de promotion des nouvelles pratiques agronomiques.

Mots clés: Adoption, bloc multi-nutritionnel, Logit, Niébé, Mil, Niger, Afrique de l'Ouest

Determinants of Agroecological Technologies Adoption in Mayahi The Department, Niger

Mahamane Moctar Rabe,
Université de Tahoua, Niger,

Ibrahim Baoua,
Université Dan Dicko DanKoulodo de Maradi, Niger,

Rabo Issaka Salissou
Cabinet Sahel bio de Maradi, Niger

Abstract

The objective of this study is to identify the determinants of production technology's adoption of millet and cowpea as well as the densified multi-nutritional block in the department of Mayahi. One hundred and twenty (120) randomly selected farm managers were surveyed on the use of production technologies released over the past three years. Logistic regression was used to determine that were between contexts and technology adoption. Results showed that producers' participation in the demonstration, the adoption of compost application techniques, the use of improved varieties of millet and cowpea, aqueous extracts and neem seeds, and hermetic crop storage technology positively influenced. Similarly, results reveal that the proximity of villages to the weekly market had a negative correlation with the use of compost and the location of the village next to urban areas positively influenced the purchase of densified multi-nutritional blocks. Results also indicate that the practice of improved land clearing and access to credit positively influenced the purchase of densified blocks; while contact with public agricultural extension services was correlated with the use of millet ear leaf miner control technology. These findings could help to guide rural development agents to better plan activities for the dissemination and promotion of new agronomic practices.

Keywords: Adoption, Logit, Niébé, Mil, Niger

Introduction

En Afrique de l'Ouest, l'agriculture contribue pour 30% au PIB et emploie plus de 50% de la population active (Renard *et al.*, 2004). Ainsi, pour Jama & Gonzalo (2008), le développement agricole se trouve au cœur des stratégies de réduction de la pauvreté et de la sécurité alimentaire. Au Niger, les trois quart de la population vivent dans la partie Sud, soit 25% de la superficie du territoire. La principale source d'activité économique du pays est liée à la production agro-sylvo-pastorale. Ces activités occupent plus de 80% de la population active. En effet, elle représente près d'un quart du Produit Intérieur Brut (PIB) et emploie environ 70% de la population (Banque Mondiale, 2010). Le défi de l'agriculture nigérienne demeure celui d'augmenter la production pour répondre à la croissance des besoins alimentaires et aussi d'assurer des revenus des populations pour éliminer la pauvreté en milieu rural. Comme toutes les agricultures du monde, et à l'exception de quelques complexes agricoles et agro-industriels de type capitaliste, l'agriculture se pratique sur des petites exploitations agricoles familiales (EAF) sans recours à la mécanisation d'où son caractère archaïque et traditionnel. Les EAF jouent un rôle important dans la vie socio-économique des populations et constituent la principale source de subsistance (Barmo *et al.*, 2017). Cependant, cette agriculture se trouve confrontée à plusieurs contraintes dont la faible utilisation des variétés améliorées (Ibro & Bokar, 2001 ; Sani & Bagna, 2007) ; la pression croissante des insectes ravageurs ; la pauvreté des sols qui est l'une des plus importantes contraintes qui limitent le potentiel de l'agriculture (Serme *et al.*, 2015) et le faible encadrement des producteurs et l'inaccessibilité aux innovations agricoles (MAG-SDR. 2010).

Plusieurs stratégies ont été développées avec les producteurs par la mise en place des champs de démonstration de nouvelles technologies pour l'augmentation des rendements et des revenus. La présente étude a été conduite dans une grappe de vingt villages qui ont reçu un encadrement sur l'utilisation des technologies dites agro-écologiques dans la période 2014 – 2017 par le projet d'appui à la sécurité alimentaire par l'intensification agro-écologique dans le département de Mayahi. Il a été démontré des innovations pour la gestion de la fertilité des sols, la lutte contre les ennemis des cultures et l'alimentation animale tout en faisant abstraction à l'utilisation des engrais et pesticides chimiques qui sont des méthodes peu accessibles aux producteurs, mais aussi néfastes à l'environnement.

L'objectif principal de ce travail est de connaître les facteurs influençant l'adoption des pratiques culturelles de production du mil et du niébé mais aussi celle de l'utilisation du bloc multi-nutritionnel densifié dans le département de Mayahi.

1. Matériel Et Méthodes

1.1. Matériel

Zone de l'étude

Elle couvre les communes de Mayahi, Attantané, Sherkin haoussa et Tchaké dans le département de Mayahi qui est situé dans la partie Nord-Est de la région de Maradi. Il s'agit des villages dans lesquels le projet d'appui à la sécurité alimentaire par l'intensification agro-écologique intervient depuis 2014 pour la vulgarisation d'un paquet des technologies agro-écologiques (Semences améliorées, compost, RNA, zai, culture en bandes alternées, biopesticides, lutte biologique, sacs PICS) à travers la conduite des champs de démonstration. Ces activités s'étendent sur quatre communes (Sherkin Haoussa, Mayahi, Attantané, et Tchaké) avec 5 villages chacun, soit 20 villages au total. Le climat est de type sahélien avec une saison de pluie de juin à octobre et une saison sèche de novembre à mai. La pluviométrie moyenne annuelle calculée en 2015 est de 450 mm (MA, 2015). Les sols sont de type sablonneux et sablo-argileux. L'étude a concerné tout producteur cultivant le mil et le niébé et résidant dans le village de l'étude.

Echantillonnage

Les enquêtes ont concerné 6 des 20 villages, soit 30% des concernés par l'implantation du processus de champ de démonstration au cours des trois années d'exécution du projet (2014, 2015, 2016). Le choix de ces villages a été fait de façon aléatoire. Par village, 20 producteurs ont été enquêtés dont 10 ont été impliqués dans la mise en œuvre des technologies agro écologiques et les 10 autres étant des producteurs du village mais non directement concernés par les démonstrations. Au total, sur les 120 producteurs formés à travers les champs de démonstration, 60 ont été enquêtés de façon aléatoire, soit 50% de l'effectif des formés et 60 autres producteurs témoins ont été aussi choisis aléatoirement et ajoutés au formés.

Le questionnaire individuel a permis d'obtenir des données quantitatives et qualitatives sur les caractéristiques sociodémographiques des producteurs, les connaissances des technologies, leur décision d'adoption ou non de ces technologies. Ces données ont été collectées à travers l'application « KoBocollect » intégrée dans des tablettes. Le choix de cette application s'explique par son accès gratuit sur internet et sa facilité d'usage.

D'après Sherin *et al.* (2018), KoBoToolbox est une entrée des données en ligne gratuite et open source outil est développé par l'initiative humanitaire de Harvard avec le soutien de diverses organisations comme Brigham et Women's Hospital, USAID.

Technologies agro-écologiques

Il a été démontré au cours des 3 années (2014, 2015, 2016) avec un groupe de 20 producteurs par villages les technologies suivantes : le défrichement amélioré, le labour profond pour l'ameublissement du sol, l'apport de la fumure organique ou du compost pour le redressement de la fertilité du sol, le *Zai* pour limiter les pertes d'eau par ruissellement dans les champs, les biopesticides à base de graines de Neem pour la gestion des insectes ravageurs du niébé ; la lutte biologique avec les lâchers augmentant le parasitoïde de *Habrobracon hebetor* pour la lutte contre la mineuse de l'épi du mil, le sac PICS (Purdue Improved Cowpea Storage) pour la conservation sans pesticide du niébé et la fabrication des blocs multi nutritionnels densifiés pour la valorisation des résidus des cultures et l'amélioration de la production animale. Ces technologies constituent des variables dépendantes qui sont influencées par d'autres variables indépendantes de nature socio-économique. Selon Houndekon & Gogan (1996) plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer l'adoption d'une pratique agronomique. Ici, il est analysé des facteurs suivants : (1) le genre. Selon Dey (1981), les hommes ont plus accès à l'information et aux intrants comparativement aux femmes, ce qui accroît la probabilité d'adoption des technologies agricoles en leur faveur. Il est donc émis l'hypothèse que cette variable influence positivement la probabilité d'adopter une nouvelle technologie chez les producteurs ; (2) l'âge et ansexpag où l'expérience des producteurs en agriculture pourrait favoriser l'adoption des nouvelles technologies. Selon Adesina (1996), les paysans possédant une longue expérience ont le temps de pratiquer les technologies et de découvrir leur apport positif ; (3) l'éducation où le niveau d'instruction peut être une variable considérée comme déterminante dans l'adoption des technologies agricoles. Dans cette étude, est considéré comme instruit, tout individu qui a fréquenté une classe d'école formelle ou d'école informelle donc celui qui sait au moins lire ou écrire en français ou en anglais. Il accroît le sens de l'innovation, l'habileté et la facilité d'apprécier des nouvelles technologies (Adéoti *et al.*, 2002). Cette variable pourrait influencer positivement l'adoption de la technologie. La variable contaagri (4) permet d'estimer l'influence du contact avec les structures de recherche et de vulgarisation. L'approche participative est considérée comme un élément indispensable dans l'adoption des nouvelles technologies (Neuchâtel, 1995). Il est donc émis l'hypothèse qu'être apprenant dans un champ de démonstration pourrait influencer positivement la décision du producteur à adopter les technologies agricoles proposées. L'appartenance à une Organisation des Producteurs est une variable binaire qui prend la valeur 1 si le producteur est membre d'une OP et 0 dans le cas contraire. Tout membre d'une OP est informé et formé sur les nouvelles technologies ou innovations. L'hypothèse selon laquelle l'adhésion des producteurs à une OP influence l'adoption des technologies reste à vérifier. Le

problème de ressources financières est une réalité chez les petits producteurs donc l'accès au crédit favorise l'adoption de nouvelles technologies. La proximité du marché au village est une variable binaire qui mesure la distance du village au marché périodique le plus proche. Elle prend la valeur 1 pour les villages proches d'un marché périodique (<10km) et avec une route facilitant l'accès, et 0 pour les villages éloignés. La facilité d'accès au marché peut être un facteur influençant positivement l'adoption de nouvelles technologies agricoles (Sanginga *et al.*, 1999) car elle est susceptible d'améliorer la qualité du produit à vendre. Donc il y a lieu d'émettre l'hypothèse que cette variable pourrait influencer positivement l'adoption des techniques agricoles et des variétés améliorées.

1.2. Méthode d'analyse

Analyses statistiques

Des régressions logistiques ont été effectuées pour déterminer les facteurs qui influencent l'adoption des technologies.

Les modèles empirique et conceptuel

Le modèle Logit, souvent utilisé dans les études d'adoption des technologies comme celles de Adésina *et al.* (2000) et de Sale *et al.* (2014) a été retenu dans le cadre de cette étude. Il est expliqué à travers celui-ci des phénomènes dont les manifestations ne peuvent prendre que deux valeurs 0 et 1. Dans la littérature trois types de modèles sont principalement utilisés pour analyser la décision des producteurs à adopter une technologie agricole : les modèles de probabilité linéaire, de LOGIT et de PROBIT . Le premier modèle présente des inconvénients parce que la probabilité peut souvent dépasser 1. Les deux derniers modèles sont les plus couramment utilisés pour spécifier les relations entre la probabilité de choix et les variables déterminantes du choix (CIMMYT, 1993). Le LOGIT a l'avantage de faciliter l'interprétation des paramètres β associées aux variables explicatifs x_i (Amemiya, 1981). La fonction de répartition $F(w)$ correspond à la fonction logistique $\forall w \in \mathbb{R}$:

$$F(w) = \frac{e^w}{1 + e^w} = \frac{1}{1 + e^{-w}} \Delta(w)$$

Ce modèle définit la probabilité associée à l'événement $y_i = 1$, comme la valeur de la fonction de répartition de la loi logistique considérée au point x_i β :

$$P_i = \Delta(x_i \beta) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_i Z)}} \quad \forall i = 1 \dots N$$

Avec :

$W = \beta_0 + \beta_1 \text{COMMUNE} + \beta_2 \text{SEXE} + \beta_3 \text{AGE} + \beta_4 \text{SITUMAT} + \beta_5 \text{NIVINSTR}$
 $+ \beta_6 \text{APPOP} + \beta_7 \text{CONTACAGRI} + \beta_8 \text{ACCREDIT} + \beta_9 \text{DVILGVLE} + \beta_{10}$
 $\text{DMRCHPRCH} + \beta_{11} \text{FORMATION} + e_i$

Avec :

Où β_0 est le terme constant ; β_i les coefficients à estimer et e_i les termes d'erreur.

Le logiciel SPSS 20 a été utilisé pour les statistiques descriptives et les régressions économétriques. L'index de détermination des taux d'adoption est calculé par le rapport du nombre de producteurs utilisateurs de la pratique concernée sur le nombre total des enquêtés, rapporté à 100. Les taux d'adoption représentent ainsi les proportions des paysans utilisateurs de la pratique.

Tableau 1 : les variables et les effets attendus

Variables et codes	Description	Effets attendus
Variable dépendante		
ADOPTION	1 si oui, 0 si non	
Variable explicatives		
AGE :	Age de l'enquêté (en année)	+
SEXE :	1 homme ; 0 femme	±
SITUMAT	1 mariés ; 0 si non	
CHARG :	Nombre de personnes du ménage	+
NIVENSTR :	Niveau de d'instruction des répondants : 1 instruit ; 0 non instruit	+
CONTACAGRI	1 si le producteur a été apprenant CEP, et a bénéficié du soutien technique et 0 SI non	+
ACCREDIT :	Accès au crédit 1 oui, 0 non	±
APPOP	1 si membre, 0 si non	
DVILGVLE	1 pour les villages proches de la ville (<10km) et avec une route facilitant l'accès, et 0 pour les villages éloignés.	+
DMRCHPRCH	1 pour les villages proches d'un marché périodique (<10km) et avec une route facilitant l'accès, et 0 pour les villages enclavés.	+
FORMATION	1 si le producteur a été apprenant champ démonstration, et a bénéficié du soutien technique et 0 SI non	+

2. Résultats

2.1. Caractéristiques sociodémographiques des exploitants

Cette enquête a concerné un échantillon de 120 producteurs dont 66,7% d'hommes 33,3 % des femmes. Ils sont âgés de 30 à 65 ans avec une moyenne de $45,33 \pm 11,00$ ans. Quatre-vingt-quinze pourcent (95%) d'entre eux sont mariés avec une taille de famille moyenne de $12,4 \pm 5,5$ personnes à charge. Le nombre moyen d'actifs agricoles au sein des ménages est de $8,03 \pm 0,43$ personnes. Seulement 29,66% des enquêtés sont scolarisés dont 19,49% ont un niveau primaire et 10,17% un niveau secondaire. Aussi, 35,59% des producteurs sont alphabétisés en langue française mais 34,75% sont encore des

analphabètes. L'agriculture et l'élevage constituent leurs principales activités et 26% d'entre eux ont accès au crédit agricole

2.2. Taux d'adoption des technologies diffusées

Selon les communes, les taux d'adoption des technologies améliorées diffusées varient de 9,83 à 86,43% sans distinction des formés et des non formés (tableau 2). Les technologies à plus grand taux sont les variétés améliorées et la fumure organique. Pour les variétés améliorées, le mil (HKP) a un taux d'adoption plus important que le niébé (IT 90K 372-1-2).

Tableau 2 : Taux d'adoption des technologies améliorées de production du mil et du niébé dans quatre communes du département de Mayahi

Groupe de variables	Variables	Attantané	Mayahi	Sherkin Haoussa	Tchaké	%Moyen	χ^2 (2d.f)	Seuil
Variété améliorées	Mil(HKP)	90,00	89,66	93,33	72,73	86,43	4,39	ns
	Niébé(IT90)	85,00	79,31	81,67	81,82	81,95	0,25	ns
Gestion de la fertilité des sols	Fumure organique	95,00	86,21	81,67	81,82	86,18	2,21	ns
	Compost	40,00	44,83	45,00	36,36	41,55	0,40	ns
	Défrichement amélioré	40,00	55,17	31,67	45,45	43,07	4,65	ns
	Zai	10,00	20,69	13,33	27,27	17,82	2,38	ns
Gestion des ravageurs	Labour profond	5,00	6,90	18,33	9,09	9,83	3,84	ns
	Sacs PICS	55,00	51,72	53,33	63,64	55,92	0,48	ns
	Bio pesticide	55,00	27,59	36,67	54,55	43,45	4,98	ns
Aliment bétail	Lutte biologique	30,00	24,14	33,33	54,55	35,51	3,43	ns
	Achat BMND	70,00	62,07	37,29	54,55	55,98	8,78	**

(Enquête, 2016)

**p<0,05 ns : différence

non significative

Les taux d'adoption calculés par technologie ont varié de 10,1 à 95,71% pour les producteurs formés et entre 9,55 et 88% pour les non formés. Les ratios sont 0,95 à 3 fois plus élevés pour les 11 technologies recensées dans le cas des producteurs formés par rapport à ceux non formés. Ces différences sont significatives avec les variétés améliorées des deux spéculations, le compostage, le bio pesticide, la conservation du niébé avec le sac PICS et l'utilisation des sacs de lâcher pour la lutte contre la chenille mineuse de l'épi du mil (tableau 3).

Tableau 3 : Taux d'adoption des technologies améliorées de production du niébé et mil pour les producteurs formés et non formés à travers le champ de démonstration

Groupe	Variables	Non formés	Formés	%Moyen	χ^2 (2d.f)	seuil
Variétés améliorées	Mil(HKP)	77,15	95,71	86,43	6,19	**
	Niébé(IT90)	70,5	93,4	81,95	7,79	**
Gestion de la fertilité	Fumure organique	88,00	84,35	86,18	0,6	ns
	Compost	20,00	63,10	41,55	19	***
	Défrichement amélioré	42,13	44	43,07	0,57	ns
	Zai	15,63	20,00	17,82	2,18	ns
	Labour profond	09,55	10,1	9,83	0,4	ns
Gestion des ravageurs	Sacs PICS	31,00	80,84	55,82	20,16	***
	Biopesticide (Neem)	22,9	64,00	43,45	16,11	***
	Lutte biologique	22,02	49,00	35,51	4,3	**
Aliment bétail	Achat BMND	50,96	60,99	55,98	1,9	ns

(Enquête, 2016)

***p<0,001 **p<0,05 ns : différence non significative

2.3. Facteurs déterminant l'adoption des technologies

Il a été utilisé au total 11 facteurs susceptibles d'influencer l'adoption des technologies dans l'étude avec le modèle LOGIT, mais 6 de ces variables ont eu une influence significative sur l'adoption de certaines des technologies (Tableau 4) :

- l'appartenance à un champ de démonstration initié par le projet (Formation) a influencé positivement l'adoption des technologies suivantes par ordre d'importance : 1) L'application du compost, 2) l'utilisation de la variété améliorée du mil (HKP), 3) l'utilisation des Sacs PICS, 4) l'utilisation des extraits aqueux des graines de Neem et 5) l'utilisation de la variété améliorée du niébé (IT90K 372-1-2) ;
- la proximité des villages au marché a négativement influé sur l'utilisation du compost ;
- La proximité des villages au département de Mayahi a influencé positivement 1) l'achat des blocs multi nutritionnels densifiés (BMND) et 2) la pratique du défrichement amélioré ;
- l'accès au crédit (ACCREDIT) a donné une corrélation positive avec l'achat des blocs multi nutritionnels densifiés (BMND) ;
- le contact permanent avec la Direction Départementale de l'Agriculture (DDA) a influencé positivement l'utilisation des sacs de lâcher pour la lutte contre la chenille mineuse de l'épi du mil ; et puis

la situation matrimoniale autrement dit le mariage a influencé positivement, l'achat des BMND.

Tableau 4 : Résultat du modèle d'estimation des facteurs d'adoption des technologies améliorées

Variables	Mil(HKP)	Niébé (IT90)	Défrichement Amélioré	FO	Comp ost	Zai	Labour profond	Biopesticide (Neem)	Lutte biologique	Sacs PICS	Achat BMD
Comm	1,29	-0,06	0,17	-0,88	-0,43	-0,78	0,93	-0,78	-0,43	-0,60	-0,82
Sexe	0,08	-0,01	-0,15	0,66	-0,14	0,03	1,11	0,05	0,38	0,07	-0,44
Age	-0,52	-0,77	0,20	-0,09	-0,20	-0,63	0,22	-0,17	-0,20	-0,84	-0,38
Situmat	-19,44	-20,75	1,79	0,43	-0,20	-0,02	-0,81	-1,07	0,69	-0,81	2,65**
Nivinstr	-0,18	-0,39	0,02	0,53	0,22	-0,26	0,38	0,76	-0,34	0,67	-0,29
AppOP	1,64	0,13	0,97	0,38	0,12	0,23	0,32	-0,27	-0,51	0,42	0,94
ContactAgri	-0,42	1,18	-0,75	1,06	0,09	-0,61	0,70	1,14	1,87**	0,23	-1,43**
Accredit	-1,04	0,38	0,97	0,06	-0,02	-1,01	-0,58	-0,02	0,42	-0,39	1,11**
Dvilgvle	0,34	-0,82	2,08***	0,05	0,35	0,39	-1,28	-0,02	-0,28	0,24	2,53***
Dmrchprch	-0,17	0,63	-0,04	-0,18	-1,62**	-1,46	0,22	0,54	-0,01	-0,76	-0,50
Formation	1,85**	1,15**	-0,13	-0,88	1,93** *	1,24	0,62	1,66***	0,55	1,79***	0,24
Constant	20,03	21,44	-3,83	1,20	-0,30	-0,42	-3,44	-1,11	-2,64	0,57	-2,46

(Enquête, 16)

p<0,05 *p<0,001 ns : différence non significative

3. Discussion

A l'issue de cette étude, des renseignements sur l'adoption des technologies mise en œuvre depuis 2014 par le projet d'appui à la sécurité alimentaire par l'intensification agro-écologique dans le département de Mayahi ont été documentés.

En ce qui concerne les variétés améliorées du mil (HKP) et du niébé (IT 90K 372-1-2), le taux moyen d'adoption est respectivement de 82% et 70% pour les producteurs non formés puis 95,71 et 90% pour les formés. Il est bien constaté que le taux d'adoption de la variété améliorée du niébé est largement supérieur à celui enregistré par Rabé *et al.* (2017) qui ont trouvé un taux d'adoption de la variété IT 90K 372-1-2 de 55% chez les producteurs non formés et 67,3% dans le groupe des producteurs ayant participé aux CEP. Ce qui illustre une tendance similaire entre formation et adoption des variétés améliorées de mil et niébé. Le taux élevé d'adoption des variétés améliorées peut aussi s'expliquer par le potentiel de rendement de ces variétés (Dugje *et al.*, 2009 ; Saidou 2011). Cela confirme aussi les affirmations de Bellon *et al.*, (2006) qui ont avancé que les producteurs adoptent les variétés améliorées afin de maximiser les avantages des caractéristiques tels que le rendement, la résistance aux maladies. On constate par ailleurs que les taux d'adoption des variétés améliorées sont très élevés aussi bien chez les producteurs formés que chez les producteurs non formés. Autrement dit, les producteurs ont tendance à adopter les variétés du mil et du niébé dans le département de Mayahi. Selon une étude réalisée dans le département de Mayahi, le rendement de la variété HKP a été remarquable (1030 Kg/ha) [PASADEM & DRA, 2014]. Cela peut expliquer cet engouement des producteurs à son adoption.

Pour le redressement de la fertilité du sol, le compostage, la fumure organique et le *zaï* ont été proposés aux producteurs. En effet, la pauvreté des sols constitue une contrainte permanente en milieu paysan sahélien (Osbaïr, & Allan, 2003 ; Dutordoir, 2006). Mais le *zaï* (15,83%) et le compostage (43,33%) ont été les moins adoptés. Le taux d'adoption de ces technologies est par ordre respectif de 2 à 3 fois plus élevé dans le groupe des producteurs formés. En effet, les probabilités d'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols sont faibles si les producteurs n'en tirent pas un bénéfice à court terme (Zoungrana, 2004).

L'adoption des fertilisants (compost) est significativement influencée par la formation reçue dans les champs de démonstration. La pratique de compostage est l'une des technologies la plus développée dans les champs de démonstrations et cela explique les taux d'adoption plus élevés au niveau des producteurs adhérant aux processus.

L'accès aux ressources financières telles que le crédit explique l'achat des BMD. Ce résultat est similaire à celui de Sale *et al.* (2014) qui indiquent que l'accès au crédit est déterminant pour le choix d'une stratégie, car les producteurs ayant un accès facile aux crédits auront tendance à mieux adopter les nouvelles technologies.

Pour la lutte contre les ravageurs des cultures du niébé, il est noté un taux d'adoption du bio pesticide pour les producteurs formés 3 fois plus élevé que celui des non formés. Tout naturellement, l'acquisition d'informations nouvelles chez les producteurs justifie la différence du taux d'adoption du bio-pesticide. L'influence positive de la formation sur l'utilisation des méthodes alternatives non chimiques a été déjà démontrée par Djinadou *et al.* (2008) puis Rabé *et al.* (2017). Bien que l'expression de leur potentiel de rendement soit conditionnée par une bonne gestion des ravageurs (Oyewale *et al.*, 2014), le mil et le niébé sont des cultures bien adaptées aux sols sahéliens arides.

Le taux moyen d'adoption des biopesticides à base de graines de neem est de 39,17% pour les deux groupes de producteurs. Ce taux est nettement supérieur à celui enregistré par Adéoti *et al.* (2002) puis Rabé *et al.* (2017) dans la région de Maradi. Cette situation peut s'expliquer par le fait que le biopesticide proposé aux producteurs est un produit fini alors que pour les précédents le travail fastidieux de préparation de jus de grains de neem a été l'œuvre des concernés. Ce qui confirme encore les raisons de pénibilité liée à l'utilisation de cette technologie déjà évoquées par Adéoti *et al.* (2002).

En ce qui concerne l'achat des sacs de lâcher pour la lutte contre la mineuse de l'épi du mil, le taux d'adoption pour les producteurs formés est 2 fois plus élevé comparé aux non formés. Ce qui explique l'influence positive du champ de démonstration sur l'utilisation des méthodes alternatives non chimiques. Selon Khonje *et al.* (2014), pour les formations des producteurs, l'accès aux services de vulgarisation, la diffusion des informations sur le marché font parties des principaux facteurs déterminant l'adoption des technologies agricoles.

La pression démographique ainsi que l'irrégularité pluviométrique causée par la sécheresse récurrente au sahel ont entraîné, une dégradation des ressources naturelles. Des études faites dans le département de Maradi (Niger) par le CNEARC et la Faculté d'agronomie de Niamey ont permis de caractériser une dégradation des ressources arbustives et arborées et d'en analyser les conséquences sur les systèmes de production de la région. Pour faire face à cette rareté des ressources naturelles, il a été mis à la disposition des producteurs la technologie de défrichement améliorée. Cette pratique est déjà adoptée puis maîtrisée par 40% des producteurs toute catégorie confondue. Ce qui met en exergue un changement de comportement de la population cible dans la gestion des ressources. Ce changement est beaucoup plus senti au niveau des villages qui sont à proximité du département de

Mayahi. Il est donc à déduire que les enjeux de la dégradation des ressources naturelles sont plus perceptibles par les producteurs de ces contrées.

La formation et la sensibilisation des producteurs sur les sacs PICS ont été déterminantes dans l'adoption de cette technologie. Par contre, d'autres variables *a priori* pertinentes présentes dans le modèle n'ont pas eu d'effet significatif sur cette adoption. Il s'agit notamment de l'âge, du sexe, du statut matrimonial, du niveau d'instruction, et de l'appartenance à l'organisation des producteurs. Cette situation peut s'expliquer par l'intensité et la pertinence des formations mais aussi par la simplicité de la technologie.

Conclusion

Les facteurs déterminants l'adoption des technologies de production du mil, du niébé et de l'achat des blocs multi nutritionnels densifiés sont variables d'une technologie à une autre. La plupart de ces facteurs sont socio-économiques et techniques puis sont non seulement liés aux producteurs mais aussi à la non complexité des technologies.

Le processus de champ de démonstration a été significativement déterminant sur le taux d'utilisation des technologies diffusées. Les résultats de l'étude d'adoption des technologies agroécologiques diffusées par le canal de l'approche champ de démonstration ont permis de connaître les facteurs sur lesquels il faut se baser pour avoir un taux d'adoption acceptable.

Ces taux concernent l'utilisation des variétés améliorées, du compost, la gestion des ravageurs des cultures, la lutte biologique, l'utilisation des sacs PICS qui sont des éléments déterminants pour l'augmentation de la production.

En ce qui concerne les variétés améliorées, il est important de poursuivre la promotion d'autres variétés et le renforcement des réseaux de production des semences pour fournir aux producteurs un choix varié.

Le taux d'acheteurs des blocs multi nutritionnels densifiés (BMND) est lié à la proximité du lieu de vente, mais aussi à l'accès au crédit. Il semble important de développer le crédit et aussi de renforcer les réseaux de commercialisation des BMND. Il faut poursuivre la promotion d'autres technologies agro-écologiques avec l'approche champ de démonstration et le renforcement des réseaux de diffusion de ces technologies.

References:

1. Adesina, A. A., Mbila, D., Nkamleu, G. B., & Endamana, D. (2000). Econometric analysis of the determinants of adoption of alley farming by farmers in the forest zone of southwest Cameroon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80(3), 255–265.
2. Adeoti R, Coulibaly O., & M Tamo. (2002). Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé *Vigna unguiculata* en Afrique de l'Ouest. *Bull. Rech. Agron. Benin*, 36 ,18-26.
3. Banque Mondiale. (2010). Rapport annuel : bilan de l'exercice. 37pp. [http://siteresources.worldbank.org/EXTANNREP2010FRE/Ressources/Banque_mondiale.Rapport_annuel\(2010\).pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTANNREP2010FRE/Ressources/Banque_mondiale.Rapport_annuel(2010).pdf) Consulté le 27 décembre 2016
4. Barmo S., Amani A., Sitou L., Ichaou A., Ali M., & Mahamane S., (2017). Typologie des exploitations agricoles familiales : cas de la périphérie de la forêt protégée de Baban Rafi du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(3): 1096-1112, June 2017. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
5. Dey J. (1981). Gambian Women: unequal partners in rice development projects. *The Journal of Development Studies.* 17 (3), 143-151.
6. Djinadou KA, Coulibaly O., Agbo VA., & Adégbidi AA. (2008a). Genre et accès aux facteurs de production pour l'adoption des extraits aqueux de Neem (*Azadirachta indica*) au Bénin. *Les Cahiers de l'Economie Rurale*, 6 : 69-80.
7. Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Kamara A.Y., & H., Ajeigbe. (2009). Production du niébé en Afrique de l'Ouest : Guide du paysan. IITA, Ibadan, Nigeria. 20p.
8. Dutordoir CD. (2006). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de bio-ingénieur. Retrouvé le 18/11/2016 sur le web à l'adresse: https://www.jircas.affrc.go.jp/project/africa_dojo/Metadata/grad_research/03.pdf
9. Ibro G., & Bokar M. (2001). Transfert des nouvelles technologies dans le système de production des paysans au Niger. Etude de cas : adoption des variétés améliorées et de nouvelles techniques de production de la culture du niébé. Rapport soumis à l'IITA, projet PEDUNE, 17p. Retrouvé le 18/11/2016 à l'adresse http://www.fidafrique.net/IMG/pdf/Technology_adoption_Pronaf_Niger.pdf.
10. Jama B., & Gonzalo P. (2008). Agriculture in Africa: Strategies to Improve and Sustain Smallholder Production Systems. *Ann. N.Y. Acad. Sci. New York* 1136, 218–232
11. Khonje M, Manda J., & Alene AD, Kassie M.(2014). Analysis of Adoption and Impacts of Improved Maize Varieties in Eastern Zambia.

- World Development*, 66, 696-706. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.008>
12. .MAG-SDR. (2010). Etude sur la mise en place d'un dispositif intégré d'appui conseil pour le développement rural au Niger. Etude sur la mise en place d'un dispositif intégré d'appui conseil pour le développement rural au Niger. Secrétariat exécutif comité interministériel de pilotage de la stratégie de développement rural, 127p.
 13. MA. (2015). Résultats définitifs de la campagne agricole 2014 ; perspectives alimentaires 2014-2015 : Ministère de l'agriculture. Direction des statistiques. 32p. Retrouvé sur le web le 04/11/2016 à l'adresse : http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/Resultats_definitifs_Campagne_agricole_2014.pdf
 14. Oyewale RO, Bamaiyi LJ, Oparaeke AM., & Adamu R S. (2014). Evaluation of four insecticide formulations for the management of insect pests of cowpea, *Journal of Food Science and Technology*., 5(8), 180-188.
 15. Osbahr H., & Allan C. (2003). Indigenous knowledge of soil fertility management in southwest Niger. *Geoderma*, 111(3), 457-479. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00277-X9](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00277-X9).
 16. Rabé, M.M., Baoua I., Adeoti, R., Sitou, L., Amadou, L., & Pittendrigh, B., (2017). Les déterminants socioéconomiques de l'adoption des technologies améliorées de production du niébé diffusées par les champs écoles paysans dans les régions de Maradi et Zinder au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 744 -756. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.17>
 17. Rabé, M.M., Baoua, I.B., Sitou, L., & Amadou, L., (2017a). Champ école paysan, une approche participative pour l'amélioration du rendement du niébé : résultats d'expériences pilotes conduites dans les régions de Maradi et Zinder au Niger. *Agronomie Africaine*, 29(2), 1-9. DOI : <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/163178>
 18. Renard JF, Cheikh L, Knips V. (2004). L'élevage et l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest, Ministère des Affaires étrangères - FAO-CIRAD, 37p.
 19. Sermé I, Outtara K, Logah V, Taounda JB, Pale S, Quansah C., & Abaidoo R. (2015). Impact of tillage and fertility management options on selected soil physical properties and sorghum yield. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 9(3), 1154- 1170. doi : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.2>

20. Sanginga PC, Adesina AA, Manyong VM, Otite O., & Dashiell K E. (1999). Social impact of soybean in Nigeria's southern Guinea savanna. International Institute of Tropical Agriculture. 34 p. Retrouvé sur le web le 18/11/2016 à l'adresse : http://www.tropicalsoybean.com/sites/default/files/Social%20Impact%20Of%20Soybean%20In%20Nigeria%27S%20Southern%20Guinea%20Savanna_Sanginga%2C%201999.pdf
21. Sani R. M., & Bagna A. (2007). Adoption of improved seeds of millet and cowpea by farmers in Madarounfa district, Niger republic. *Continental Journal of Agricultural Economics* 1: 1 – 6. Saxena R. C. and E. L. Kidiavai.1997. Neem seed extract spray applications as low-cost inputs for management of the flower thrips in the cowpea crop. *Phytoparasitica*, 25 (2): 99-110.
22. Sale A, Folefack PD, Obwoyere GO, Lenah Wati N, Lenzemo WV., & Wakponou A. (2014). Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(2), 680-694. doi : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.24>
23. Saidou AK, Ajeigbe HA., & BB Singh. (2011). Participatory Evaluation of Improved Cowpea Lines and Cropping Systems for Enhancing Food Security and Income Generation in Niger Republic, West Africa. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 11, 55-61.
24. Sherin, S. P., N, Mathew, P, Johns, F., & Abraham, J. (2018). The feasibility of using remote data collection tools in field surveys. *International Journal of Community Medicine and Public Health*. 5, 81-5.
25. Zoungrana C., (2004). Adoption des techniques de conservation des sols et lutte contre la pauvreté au Yatenga. Mémoire de D.E.A. Université de Ouagadougou, UFR/SEG, 76p



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Effects of Different Seeds Pretreatments on the Germination of Five Local Trees: Four From The Fabaceae Family and One From the Bombacacea

Yélemou Barthelemy,

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), BP 10 Koudougou, Burkina Faso

Tyano Abdoulaye,

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), BP 10 Koudougou, Burkina Faso,

Université Nazi Boni, Laboratoire des systèmes Naturelles, des Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E)

Koala Jonas,

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), BP 10 Koudougou, Burkina Faso

Zongo Rebecca,

Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Bobo Dioulasso

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p89](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p89)

Submitted: 29 September 2021

Accepted: 12 November 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Barthelemy Y., Abdoulaye T., Jonas .K.,& Rebecca Z.,(2021). *Effects of Different Seeds Pretreatments on the Germination of Five Local Trees: Four From The Fabaceae Family and One From the Bombacacea* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 89.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p89>

Abstract

The problem of the effectiveness of the established pre-treatments of seeds of local tree species is posed more and more often, with acuity. It appears necessary that studies are led to explore new methods of pre-treatment, or to update the old instructions applied, for a better success and at lower cost, of the production of seedlings. The present study concerned five species: *Acacia nilotica*, *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa*, *Piliostigma reticulatum* and *Tamarindus indica*. The methodology involved subjecting the seeds to three

different pretreatments: (i) seeds treated with sulfuric acid (T0), (ii) seeds soaked in hot water for 24 hours (T1), (iii) seeds soaked in hot water for 48 hours (T2). For *Acacia nilotica* seeds, the different pretreatments did not result in statistically different germination rates. The germination rates are 77%, 65% and 62% (respectively for soaking in hot water for 48 hours, sulfuric acid and soaking in hot water for 24 hours). The different pretreatments also do not result in different germination rates for *Tamarindus indica*. Indeed, the germination rates after 30 days for this species are good but statistically identical (85% for the pretreatment with sulfuric acid and hot water for 24 hours). For *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa* and *Piliostigma reticulatum*, the sulfuric acid pretreatment gave the best germination rate (49%, 54% and 41% respectively). The results of this study may have practical consequences in terms of management of the different species studied. They show that immersing in boiling water and left for 24 hours and 48 hours yields fairly satisfactory germination rates for *Acacia nilotica* and *Tamarindus indica* seeds. These inexpensive techniques, accessible to all, can be considered as means to easily produce seedlings of these species.

Keywords: Germination, Seeds, Dormancy, Pretreatment, Mimosoideae Species, Caesalpinioideae Species

Introduction

Burkina Faso is a Sahelian country located in the heart of West Africa and covers an area of 274,000 km². Like other West African countries, the country has been experiencing a continuous degradation of natural ecosystems for several decades. Indeed, from 1980 to 1992, the area of forest formations regressed by 1.26 million hectares, from 15.42 million hectares in 1980 to 14.16 million hectares in 1992. From 1992 to 2002, total forest formations declined by an average of 107,626 hectares per year, or an average of 0.83% per year. Despite their approximate nature, these data reflect very well the extent of the general regression of forest areas. Nowadays, the state of forest degradation in Burkina Faso has been greatly amplified by the development of agricultural and livestock activities (Nikiéma *et al.*, 2001). The main causes of this degradation are more anthropogenic than natural and the consequences are the erosion of habitats and biodiversity, the accentuation of food insecurity, etc. However, forest formations have always provided rural populations with various goods and services as well as substantial monetary income (Tyano *et al.*, 2020). Faced with the magnitude of the challenge and in order to protect woody forest resources, the Ministry in charge of the environment and sustainable development has developed several techniques/technologies and strategies for the rehabilitation of degraded ecosystems, with a view to satisfying the needs of the populations (Garba *et*

al., 2020). These techniques or technologies aim to restore degraded lands, reconstitute the vegetation cover, but also to improve the living conditions of populations by ensuring food security (Garba *et al.*, 2020). However, the objectives targeted through these programs have not always been achieved, due to the absence of scientific planting programs of many native forest species of socio-economic importance, for several reasons including: the low availability of seeds due to conservation problems, seed purity, seed dormancy (Abdourhamane *et al.*, 2014; Garba *et al.*, 2020). There are also plantations of exotic species at the expense of local species due to the lack of control of reproduction and silviculture techniques (Thiombiano, 2005). It is therefore urgent to promote the planting of local species. This requires a mastery of reproduction and silviculture techniques, including the pre-treatment of seeds in order to lift the dormancy. Thus, this study has been initiated. The objective is to contribute to the improvement of breeding (or cultivation) techniques of local tree species.

Methodology

Study site

The study was carried out in the Institute of Environment and Agricultural Research (INERA) in Saria, Burkina Faso. The village of Saria is located in the province of Bulkièmdé, 23 km East of the city of Koudougou and 80 km Northwest of Ouagadougou, the capital (Figure 1). It lies between 12°16' North latitude and 2°09' West longitude at an altitude of 300m. The average annual rainfall recorded over the last ten years (2010 - 2020) was 885.19 ± 112.23 mm. The soils of Saria are of tropical ferruginous type, with upper horizons of silty-sandy to sandy-clayey texture. The vegetation cover is that of the North-Sudanian phytogeographic zone (Fontès and Guinko, 1995). The annual grassy savannas are characteristic of this zone. The population density of the Bulkièmdé province is 102 hts/km², so there is a strong pressure on the land.

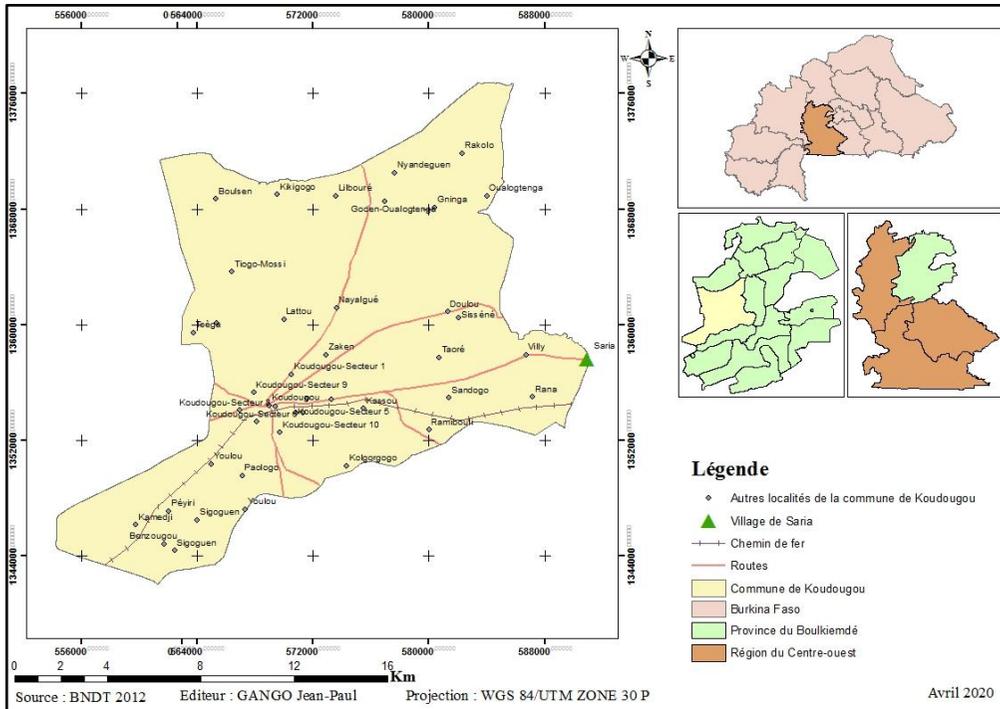


Figure 1: Location of the Study Area

Methodology

Study Species: Species concerned with this study are *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Del. (Mimosoideae), *Adansonia digitata* L (Bombacaceae), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Mimosoideae), *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. (Caesalpinioideae) and *Tamarindus indica* L. (Caesalpinioideae) (Figure 2). The species chosen are the most frequent species in the savannas of the study area. Also, they are used on a daily basis by the populations for food and local medicines (Tyano et al., 2020).



Figure 2: Illustrative images of seeds from studied species
a: *Acacia nilotica*, b: *Adansonia digitata*, c: *Parkia biglobosa*, d: *Piliostigma reticulatum*, e:
Tamarindus indica

Pre-germination treatments: Three types of pretreatments for dormancy breaking were applied to the seeds:

- T₀: Soaking in sulfuric acid for 15 minutes followed by rinsing with distilled water;
- T₁: Soaking in boiling water and left for 24 hours followed by rinsing with distilled water;
- T₂: Soaking in boiling water and left for 48 hours followed by rinsing with distilled water.

For the treatments with boiling water, the boiling water was poured on the seeds contained in a jar. The whole was kept at room temperature for 24 hours for T1 and 48 hours for T2.

Seedlings: After the application of the pre-germination treatments, the tree seeds were put in petri dishes and then placed on a germination table (Figure 3). The support in the petri dishes was blotting paper. The experimental design was made up of four (04) blocks or repetitions. Each repetition was composed of twenty-five (25) seeds, or a total of one hundred (100) seeds per species. The seeds were watered twice a day (morning and evening). The temperature of the experimentation is the room temperature: 37° C. The blotting paper is kept regularly moist by watering every morning and evening.

Data collection: Data collection consisted of counting germinated seeds by species and by replicate for each pre-germinative treatment. The germinated seeds were put in new Petri dishes to avoid double counting. The counting was done every day at 8 am.



Figure 3: Illustration of the germination test device

Data analysis: The germination rate (Gr) was calculated by the following formula (Bamba *et al.*, 2018):

$$Gr(\%) = \frac{n}{N} \times 100$$

With Gr = germination rate, n= number of germinated seeds per replication and N = total number of seeds sown per repetition.

The collected data were entered into an Excel spreadsheet. The same spreadsheet was used to construct the graphs. An analysis of variance (ANOVA) was performed using the XLSTAT 2016.02.27444 statistical software. The Fisher test was used to compare the means at the 5% probability level.

Results

Effects of different seed pretreatments on the germination of *Acacia nilotica*

There were significant differences in germination rates of *Acacia nilotica* seeds during the first 15 days (Figure 4). Pre-treatment with sulfuric acid and hot water for 48 hours resulted in statistically different germination rates from those obtained by pre-treatment with hot water for 24 hours. Indeed, 5 days after the start/the onset the pretreatments with hot water during 48 hours and sulfuric acid allow a germination rate of both 6% whereas the seeds soaked in hot water during 24h did not present any germination. From the 20th day after sowing, all pre-treatments have similar germination rates. The germination rates obtained at the end of the trial were 77%, 65% and 62% (respectively for the pretreatments with hot water for 48 hours, sulfuric acid and hot water for 24 hours).

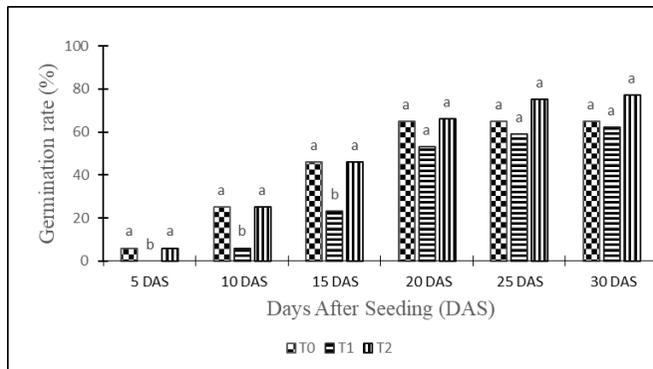


Figure 4: Evolution of the germination rate of *Acacia nilotica* seeds

The values expressed are the average germination rates. At the same date, the sticks, surmounted by the same letter are not significantly different a $p < 0.05$ according to Fischer test.

Effects of different seed pretreatments on the germination of *Adansonia digitata*.

There are significant differences between germination rates of *Adansonia digitata* L. seeds. The sulfuric acid pretreatment resulted in higher germination rates regardless of the number of days after sowing (Figure 5). Indeed, this pretreatment records a germination rate (T0=15%) as early as the 5th day after start (DAS) while the water pretreatments have germination rates of 10% and 4% respectively for the hot water pretreatment during 24 hours and during 48 hours. The germination rate at the 30th day after the start reached 49% for the sulfuric acid pretreatment (T0) while at the same date, it was 28% and 15% respectively for the hot water soaking for 24 hours (T1) and 48 hours (T2).

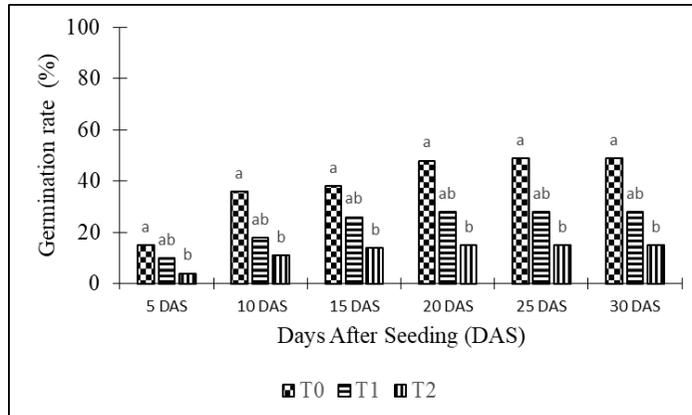


Figure 5: Evolution of the germination rate of *Adansonia digitata* seeds

The values expressed are the average germination rates. At the same date, the sticks, surmounted by the same letter are not significantly different a $p < 0.05$ according to Fischer test.

Effects of different seed pretreatments on the germination of *Parkia biglobosa*

There were significant differences in germination rates of *Parkia biglobosa* seeds (Figure 6). Indeed, the sulfuric acid treatment had a germination rate of 28% at day 5 after the start while the other treatments (T1 and T2) had no germinated seeds. From the 10th day to the 30th day, the treatment with sulfuric acid remains the best treatment with a germination rate of 54% whereas the treatment with hot water during 24 hours had a germination rate of 29% and the treatment with hot water during 48 hours had a germination rate of 17%.

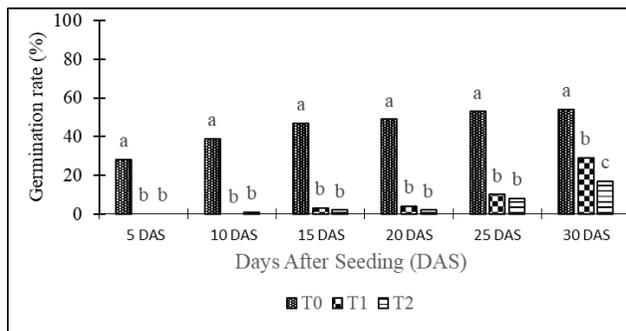


Figure 6: Evolution of the germination of *Parkia biglobosa* seeds

The values expressed are the average germination rates. At the same date, the sticks, surmounted by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ according to Fischer test.

Effects of different seed pretreatments on the germination of *Piliostigma reticulatum*

There are significant differences between the germination rates of *Piliostigma reticulatum* seeds. From the beginning to the end of the experimentation the treatment with hot water for 48 hours shows no germination (Figure 7). The sulfuric acid pre-treatment gave the best germination rate, whatever the observation date (23, 39 and 41% respectively at 10, 15 and 20 days). Pre-treatment with hot water for 24 hours gives a low germination rate (4% from 15 days after sowing to the end of the experiment).

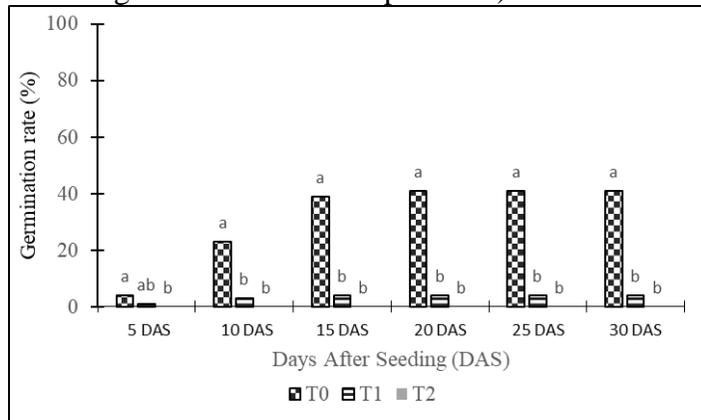


Figure 7: Evolution of the germination rate of *Piliostigma reticulatum* seeds

The values expressed are the average germination rates. At the same date, the sticks, surmounted by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ according to Fischer test.

Effects of different seed pretreatments on the germination of *Tamarindus indica*

There are significant differences between the germination rates of *Tamarindus indica*. Indeed, the germination of seeds treated with sulfuric acid is very fast compared to the other treatments (Figure 8). From the 10th day the germination rate of the seeds treated with sulfuric acid reached 83% while the seeds soaked in hot water for 24 and 48 hours had germination rates of only 28% and 14% respectively. Seeds soaked in boiled water started to germinate well from the 15th day. After 25 days, there were no significant differences between the germination rates of the different pretreatments. At the end of the experiment (30th day) the germination rates were 85% for the sulfuric acid and hot water pretreatment for 24 hours and 80% for the hot water pretreatment for 48 hours.

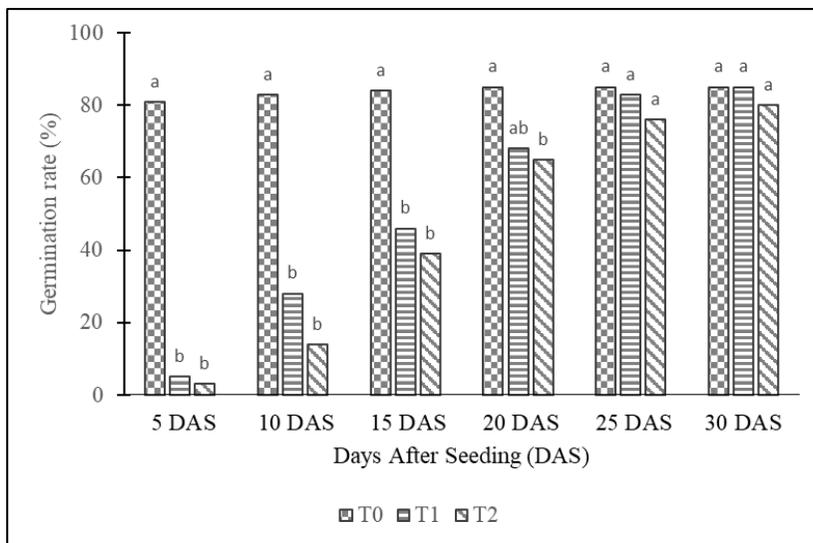


Figure 8: Evolution of the germination rate of *Tamarindus indica* seeds

The values expressed are the average germination rates. At the same date, the sticks, surmounted by the same letter are not significantly different a $p < 0.05$ according to Fischer test.

Discussion

The seeds of dryland leguminous trees are generally hard. This hardness is related to the presence of water-impermeability in teguments (Werker, 1981). Thus, these seeds have a dormancy that allows for long-term conservation of seeds, but requires lifting before sowing or else poor germination rates will result (Cavanagh, 1987). Pre-treatment of seeds prior to sowing results in rapid imbibition of the seed coat, and the entry of water triggers metabolic reactions in the seed embryo and rapid emergence of the radicle (Ahton *et al.*, 2009). The present study demonstrated that pretreatments of seeds before sowing not only shorten the germination time, but also increase the germination rate. Also the type of effective pretreatment varies among species. For *Acacia nilotica* and *Tamarindus indica* seeds, hot water is an effective treatment for the lifting of dormancy because seeds of *Acacia nilotica* and *Tamarindus indica* treated with hot water give good germination rates. As for the batches of seeds of *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa* and *Piliostigma reticulatum* soaked in hot water for 24 and 48 hours, the germination rate is very low compared to the batches of seeds treated with sulfuric acid. Therefore, sulfuric acid remains the best pretreatment for these three species. Seeds of *Piliostigma reticulatum* soaked in hot water for 48 hours did not germinate, which shows that long stays in water could lead to the loss of germinative capacity of some seeds. Garba *et al.* (2020), during a germination test of *Tamarindus indica* seeds in a nursery in Niger, found germination rates of 42.5; 37.5 (respectively for the pre-treatments of seed

scarification and hot water soaking). The germination rates obtained for the same species during the present study are 85 and 80% respectively for the pretreatments with hot water during 24 and 48 hours. Our germination rates are therefore higher than those obtained by Garba et al (2020). This can be explained by the nature of the substrate used in the germination tests. In the present study, blotting paper was used and the experiments were carried out in the laboratory on a germination table. The germination tests carried out by Garba et al. (2020) were performed in a nursery on a substrate composed of 2/3 dirt and 1/3 organic matter. Ouattara *et al.* (2019), after a study on the effect of sulfuric acid pretreatment on germination of *Acacia auriculiformis* A. Cunn ex. Benth. report that the germination rate of seeds that have not received any pretreatment is 20% while it is 80% for seeds pretreated with sulfuric acid. For these authors, tegument dormancy most often concerns species adapted to an alternation of dry and rainy seasons, and notably several leguminous genera such as *Acacia*, *Prosopis*, *Ceratonia*, *Robinia*, *Albizzia* and *Cassia*. The action of acid on the germination rate would be due to the fact that it would cause a scarification of the seed coat thus reactivating the physiological parameters and biochemical activities necessary for seed germination (Doran *et al.*, 1983; Hakim *et al.*, 2017).

Conclusions

Natural regeneration of local species is an important issue in agroforestry ecosystems in Burkina Faso. Through this study, the application of hot water pretreatments on seeds allowed to obtain better germination rates for some species. Thus, hot water treatments for 24 and 48 hours resulted in satisfactory germination rates for seeds of *Acacia nilotica* and *Tamarindus indica*. For other species such as *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa* and *Piliostigma reticulatum*, sulfuric acid remains the best pretreatment. The low germination rates of the latter three species with 48 hours scalding treatment compared to a 24 h scalding treatment indicate that the long stay of seeds in hot water may lead to the loss of germination capacity of some seeds. These results will undoubtedly be vital information for nursery training structures as they are scientific assets that we hope will generate greater interest leading to multiple studies regarding the restoration of endangered forest species of socio-economic importance. In addition, they will allow nurserymen to produce seedlings of local species with hot water at a lower cost. This technique is less expensive and accessible to all and has no side effects on human health and the environment compared to sulfuric acid, which is a chemical product and is very expensive.

Acknowledgements

The authors thank the project "Synergistic use and protection of natural resources for rural livelihoods through systematic integration of crops, shrubs and livestock in the Sahel" (SustainSahel) for funding this study. Abdourhamane H, Dan Guimbo I, Morou B, Mahamane A. (2014). Potential germination and initial growth of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., in Niger. *Journal of Applied Biosciences* 76: 6433– 6443.

References:

1. Ahoton L.E., Adjakpa J.B., M'po Ifonti M'po & Akpo E.L. (2009). Effet des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis africana* (Guill., Perrot. et Rich.) Taub., (Césalpiniales). *Tropicicultura*, 27, 4, 233- 238.
2. Bamba N., Ouattara N. D., Konan D., Bakayogo A., Tra Bi F.H (2018). Effets de cinq prétraitements sur la germination du vèze (*Pterocarpus erinaceus* Poir., Fabaceae) dans la Réserve du Haut Bandama (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* Vol.14, N° 30 : 438-45.
3. Cavanagh T. (1987). Germination of hard-seeded what (order Fabales). *In: Germination of Australian native plant seeds*. Melbourne, Sydney, Australia, Inkata Press, p. 58-70.
4. Doran, J. C., Boland, D. J., Turnbull J. W. & Gunn, B. V. (1983). Guide des semences d'acacias des zones sèches. FAO, Rome, 127p.
5. Fontès, J. & Guinko, S. (1995). Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Ministère de la coopération française, projet Campus, Toulouse, 68p.
6. Garba A., Saley K., Boube M., & Sina A.K.S. (2020). Effets des prétraitements sur la germination des graines de *Tamarindus indica* L. (Fabaceae-Caesalpinioideae) en pépinière : proposition pour une restauration de l'espèce au Sahel. *Journal of Applied Biosciences* 149: 15362 – 15378 p.
7. Hakim A. & Daldoum M. A. (2017). Effect of different pretreatment methods and materials on germination potential of *Faidherbia albida* seeds. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 4(3): 86-90.
8. Nikièma A., Ouédraogo S.J. & Boussim I. J. (2001). Situation des Ressources Génétiques Forestière du Burkina Faso. Note Thématique sur les Ressources Génétiques Forestières. Département des forêts Document FGR/22F FAO. Rome. Italie.
9. Ouattara K., Kouassi B.A. T., Soro D., & Soro D. (2019). Effet des Prétraitements sur la Dormance des Semences de *Acacia auriculaeformis* A. Cunn. ex. Benth. (Fabaceae). *European Scientific Journal* 18 : 206-214.

10. Thiombiano A. (2005). Les Combrétacées du Burkina Faso : Taxonomie, écologie, dynamique et régénération des espèces. Thèse de doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 296 p.
11. Tyano A., Yélemou B., & Hien M. (2020). Management and Use of Wood Resources in Agroforestry Parks in the Northern Sudanian Zone of Burkina Faso. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Volume 5, Issue 11, November – 2020. Pp 437-445.
12. Werker E. (1981). Seed dormancy as explained by the anatomy of embryo envelopes. *Israel Journal of Botany*, 29 : 22-44.

Extraction Et Caractérisation Physico-Chimique D'un Sel Végétal À Partir De La Cendre Du Palmier À Huile Du Nord Du Togo

*Moursalou Koriko,
Sanonka Tchegueni,
Fouad Alassani,
Koffi Agbegnigan Degbe,
Gado Tchangbedji,*

Laboratoire GTVD (Gestion Traitement et Valorisation des déchets),
Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p102](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p102)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 03 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Koriko M., Tchegueni S., Alassani F., Degbe A.K., & Tchangbedji G.,(2021). *Extraction Et Caractérisation Physico-Chimique D'un Sel Végétal À Partir De La Cendre Du Palmier À Huile Du Nord Du Togo* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 102.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p102>

Résumé

Ce présent travail a porté sur l'extraction et la caractérisation physico-chimique d'un sel végétal fabriqué à base du palmier à huile. L'incinération des branches de palmier à huile donne une cendre qui, par lavage et évaporation donne du sel de palme. L'analyse de la solution obtenue après lavage de cette cendre à l'eau distillée par photométrie à flamme, spectrométrie à absorption atomique et par volumétrie révèle la présence de sodium (84,500 mg/L), potassium (1120 mg/L), calcium (44 mg/L) et magnésium (0,022 mg/L). Ce résultat indique que cette solution est très riche en potassium qu'en sodium et calcium ; le magnésium est présent sous forme de trace. En outre, l'analyse de la cendre obtenue à base de la rafle a révélé que les teneurs en potassium (3331,410 mg/L) et en sodium (497 mg/L) de la rafle sont plus élevées que celles de la branche du palmier à huile. Cependant, le dosage des anions dans une solution obtenue par dissolution de 10 grammes de sel de palme dans un litre d'eau distillée révèle la présence de chlorures (3153,460 mg/L), des hydroxydes (0,289 mg/L), des carbonates (0,180 mg/L) et des hydrogénocarbonates (12,017mg/L). Les concentrations de ces anions

indiquent que cette solution est très riche en chlorure qu'aux autres anions trouvés. Par conséquent, le sel de palme est un mélange de sels riche en chlorure de potassium. La quantité de sel végétal obtenue à la préparation contrôlée rapportée à la biomasse végétale est de l'ordre de 1,24% donc assez faible.

Mots clés: Palmier À Huile, Pétiole, Rachis, Rafle, Extraction, Caractérisation, Sel Végétal

Extraction and Physicochemical Characterization of a Vegetable Salt From the Ash of the Oil Palm in Northern Togo

*Moursalou Koriko,
Sanonka Tchegueni,
Fouad Alassani,
Koffi Agbegnigan Degbe,
Gado Tchangbedji,*

Laboratoire GTVD (Gestion Traitement et Valorisation des déchets),
Université de Lomé, Togo

Abstract

This paper focuses on the extraction and physic-chemical characterization of plant salt produced from oil palm. The incineration of the oil palm frond gives ash which, by washing and evaporation, gives plant salt. The analysis of the solution obtained after washing the ash by flame photometer, atomic absorption spectrometer and by volumetric reveals the presence of sodium (84.500 mg / L), potassium (1120 mg / L), calcium mg / L) and magnesium (0.022 mg / L). These results show that this solution is very rich in potassium more than sodium and calcium; the magnesium is revealed only in trace. In addition, the analysis on the Empty Fruit Bunche's ash reveals that it contains more potassium (3331.410 mg/L) and sodium (497 mg/L) than the frond. However, the dosage of a solution obtained by dissolving 10 grams of palm salt in one liter of water also reveals the presence of chloride (3153.460 mg / L), hydroxides (0.289 mg / L), carbonate (0.180 mg / L) and hydrogen carbonate (12.017 mg / L). The concentration of these anions shows that this solution is richer in chloride than the other anions found. Therefore, palm salt is a mixture of salt rich in potassium chloride. The output of the preparation controlled is lower (1.24%) in comparison with the vegetable biomass.

Keywords: Oil Palm, Empty Fruit Bunche, Petiole, Spine, Extraction, Characterization, Vegetable Salt

Introduction

Depuis le néolithique, le sel est considéré comme le condiment universel. Il entre progressivement dans l'alimentation humaine et a toujours été une denrée de base nécessaire à l'organisme humain (Charbotel et al., 2007). Il est employé pour rehausser le goût ou apporter un goût salé aux plats ou encore pour jouer un rôle de conservateur des aliments. Le sel naturel ou sel de cuisine, produit cristallin composé essentiellement du chlorure de sodium, est extrait soit de la mer, des gisements souterrains de sel gemme soit des saumures naturelles. Aussi certaines communautés, extraient le sel à partir de la cendre des plantes telles que les plantes halophiles et principalement le palmier à huile (Lemonnier, 1984). L'incinération d'une ou de toutes les parties du palmier à huile produit une cendre qui intervient dans la fabrication de savon artisanal et dans la production d'un assaisonnement appelé sel de palme ou sel végétal ou encore sel de plante (Gunarso, 2013).

Dans certaines localités du Togo, le sel végétal, produit traditionnellement à partir de la cendre des branches du palmier à huile, est utilisé à des fins alimentaires. Cependant, peu d'études ont porté sur ce sel et par conséquent, sa composition chimique reste peu déterminée. Il s'avère donc impérieux d'entreprendre des études de caractérisation de ce sel dont la consommation prend de l'ampleur au Togo et particulièrement dans la Préfecture de Doufelgou (Nord du Togo). Une insuffisance de sel à l'organisme peut se manifester par des troubles allant du malaise léger à la prostration, qui peut être dangereux à l'organisme si la déficience n'est pas corrigée dans un délai très bref (Dumont et al., 2008, Roussel et Hininger-Favier, 2009 ; AFSSA, 2001). D'après Mollat (1968), le sel a été longtemps une denrée rare et précieuse. En forêt dense équatoriale, les sels obtenus par lavage et évaporation des cendres végétales étaient, il y a peu de temps, très répandus. Ils ont maintenant quasi disparu, mais subsistent encore pour leur rôle médicinal. Selon Porteres (1950), le rôle des sels d'origine végétale fait l'objet de débat ancien, en raison de la diversité des cendres en fonction de leur origine ou de leur mode de préparation. Les végétaux en général sont riches en potassium (K) et pauvres en sodium (Na). Cependant d'autres auteurs ont trouvé que dans la grande majorité des cas, les sels d'origine végétale sont riches en chlorure de potassium et pauvres en chlorure de sodium, d'où la théorie de Lapique, opposée à celle de Bunge, qui veut que les sels soient recherchés essentiellement pour leur goût amer. Selon lui, la rareté des carbonates dans les cendres analysées serait la preuve d'une sélection pour un critère : la richesse en chlorures. Malgré leur toxicité à haute dose, les cendres riches (cendres non lavées contenant les sels et les oxydes de métaux peu

solubles) peuvent être utiles en potassium pour l'apport d'oligoéléments (Kuhnlein, 1980 ; Croft et al., 1985).

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) est une plante monocotylédone de la famille des palmacées cultivée pour ses fruits dont on extrait des corps gras à usage alimentaire et industriel. C'est la plante oléagineuse la plus productive en corps gras à l'hectare (Barcelos, 1998 ; Corley et Tinker, 2003). Il produit 5 à 7 fois plus d'huile à l'hectare que l'arachide. La pulpe du fruit donne de l'huile de palme. En termes de production mondiale de corps gras d'origine végétale, l'huile de palme occupe depuis 2009 la première place (28%) devant le soja (22%) (Oil World,

2010). Originaire d'Afrique, le palmier à huile a connu une forte expansion dans le monde, en particulier en Asie du Sud-Est, où la Malaisie et l'Indonésie détiennent aujourd'hui plus de 80% des superficies mondiales plantées (Ahoyo, 2008). De plus la fermentation rapide de la sève du palmier à huile, recueillie dans des vases donne du vin de palme. Malgré sa taille et son aspect, le palmier à huile n'est pas un arbre d'un point de vue botanique mais une herbe géante de la famille des monocotylédones. Les parties essentielles du palmier à huile sont : le système radicalaire, le tronc, le système foliaire et les inflorescences. L'objectif général assigné à cette étude est de déterminer la composition chimique et le rendement du sel préparé à partir de la cendre du palmier à huile. Il s'agira spécifiquement de déterminer les teneurs en cations (Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium), en anions (Chlorures, Hydrogénocarbonates, Carbonates, Hydroxyde) et le rendement en sel.

Matériel et méthodes

Matériel

Le matériel végétal est un palmier à huile (Figure 1) qui est une plante monocotylédone de la famille des palmacées (*Elaeis guineensis*) et provenant des localités de Siou et de Lomé. Les parties utilisées sont les branches (figures 2 et 7) et les rafles (Figure 3).



Figure 1 : Palmier à huile adulte



Figure 2 : Branche de palmier à huile



Figure 3 : Rafle du palmier à huile

Méthodes expérimentales

Méthode de préparation du sel

Méthode indigène

Les branches de palmier à huile utilisées ont été récoltées dans le mois de mai en saison de pluie et séchées pendant deux (2) semaines.



Figure 4 : Brûlage des branches



Figure 5 : Filtre à eau traditionnel



Figure 6 : Séchage traditionnel des cristaux de sels

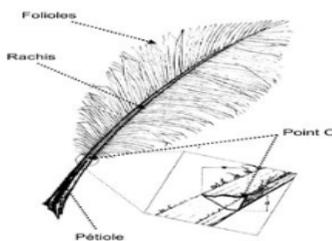


Figure 7 : Structure de la feuille de palmier à huile

Brûlées à l'air libre (Figure 4), un prélèvement de 4,5 Kg de la cendre recueillie est ensuite étalé dans une passoire et lavée à l'eau distillée de volume huit (8) litres.

La filtration du mélange (Figure 5) a été faite pendant 24 heures et le filtrat ainsi obtenu a été porté à ébullition pendant 6 heures. Les cristaux de sel ainsi obtenus ont été étalés sur la cendre (jouant un rôle d'absorbeur d'eau), et séchés au soleil comme le montre la figure 6.

Méthode au laboratoire

Pour contrôler le mode de préparation du sel, la cendre obtenue après brûlage des feuilles du palmier à huile a été mise dans un four de calcination à une température de 600 °C pendant 2 heures. Un prélèvement de 100 g de cette cendre a été lavé avec un (1) litre d'eau distillée. Le mélange est régulièrement agité pendant 3 jours avant d'être filtré sous vide (Figure 8). Le filtrat ainsi obtenu est porté à ébullition sur une plaque chauffante pendant 6 h (Figure 9). Le produit obtenu est ensuite mis à l'étuve pendant 24 heures.



Figure 8: Filtrage sous vide



Figure 9 : Chauffage sur plaques chauffantes

Détermination de la teneur en cendre et d'éléments minéraux dans la matière végétale

Le matériel végétal est pesé avant et après calcination à 600°C dans un four pendant 2 heures. La teneur en cendre est donnée par le rapport entre les matières finale et initiale. Les éléments minéraux dans la matière végétale sont déterminés à partir de la cendre et du sel préparés. Dans trois tubes à essais de 50 mL contenant chacun 0,5 g de cendre sont ajoutés 40 mL d'eau distillée. Le mélange obtenu est agité pendant quelques minutes et laissé pendant 24 heures à l'air libre puis filtré. Le filtrat est complété à 50 mL avec de l'eau distillée pour déterminer l'alcalinité des solutions préparées, les pH sont mesurés à l'aide du pH-mètre STARUS avant et après filtration. Le conductimètre a permis de mesurer la conductivité des solutions obtenues après lavage des cendres. Le potassium (K) et le sodium (Na) sont dosés à l'aide du spectromètre à flamme JENWAY. Le magnésium (Mg) est passé au spectromètre à absorption atomique SAA. Les solutions d'acide chlorhydrique, de nitrate d'argent (AgNO₃) sont utilisées pour le dosage des ions OH⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ et le Cl⁻. Entre autres matériels, la plaque chauffante a été utilisée pour élever les températures des solutions contenues dans des verreries.

Résultats et discussion

Les résultats d'analyse faite sur la base de la méthodologie décrite sont présentés et discutés. Ils portent sur la composition du sel végétal, les teneurs en eau, en cendre de la matière végétale utilisée, la composition en éléments chimiques de la cendre du palmier à huile et la teneur en anions.

Rendement en sel du palmier à huile

L'analyse portant sur le rendement en sel est faite à partir de la cendre obtenue après calcination des branches du palmier à huile. La masse de sel obtenue en utilisant 100 g de cendre portée à 600°C dans un four et lavée avec un (1) litre d'eau distillée est de 30,837 g soit un rendement 30,837%. Ainsi

pour obtenir 100 g de sel il faut alors 8107 g de branches sèches de palmier à huile soit un rendement de sel de 1,240% par rapport à la biomasse végétale. Ce rendement est atteint au laboratoire grâce aux techniques de contrôle des paramètres d'analyse. En effet l'incinération contrôlée des branches de palmier produit une cendre très blanche après passage à 600°C contrairement à celle obtenue par brûlage à l'air libre pouvant contenir encore des résidus de branches. Au cours du lavage de la cendre au laboratoire, les éléments minéraux constitutifs sont totalement dissous dans l'eau.

Compte tenu de la forte teneur en potassium et en sodium de la rafle par rapport aux différentes parties de la branche du palmier à huile, l'utilisation de la rafle dans la production du sel végétal pourrait contribuer à une optimisation du rendement de préparation de sel

Teneurs en eau de la matière végétale

A la limite des techniques et matériels utilisés mais aussi de la provenance et période de cueillette de la matière végétale, les caractéristiques massiques moyennées sont celles compilées sur la figure 10. Ainsi, la figure 10 montre la variation de la teneur en eau dans les différentes parties de la branche du palmier à huile (Figure 7).

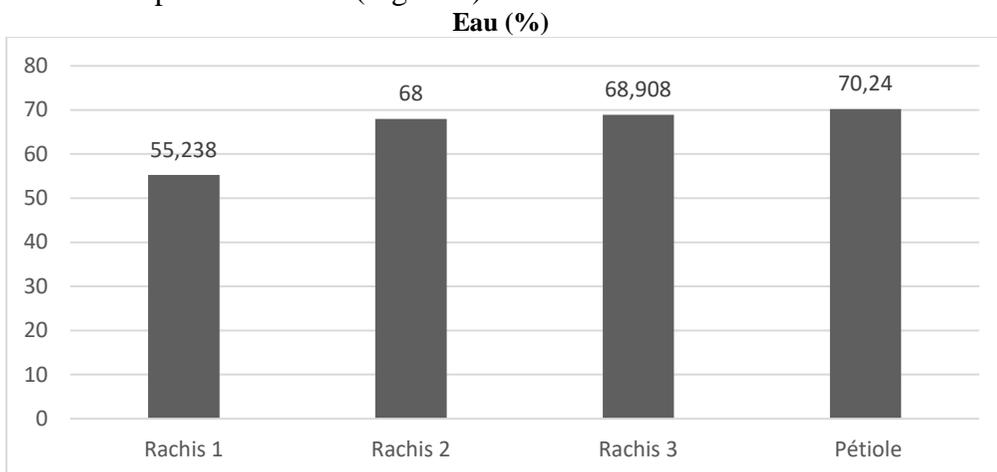


Figure 10: Diagramme de taux d'humidité dans le rachis et le pétiole

Le pétiole est plus riche en eau que le rachis. Si l'on se dirige vers le bout du rachis, la teneur en eau diminue. En effet les différentes parties du rachis sont entre autres le rachis 1 qui représente le bout de la branche, le rachis 2 qui est la partie proche du rachis 1 et le rachis 3 qui représente la partie du rachis directement liée au pétiole. La différence de la teneur en eau entre le pétiole et les rachis 2 et 3 n'est pas trop différente mais elle est prononcée entre le pétiole et le rachis 1. Il ressort également des résultats obtenus que la grande partie de l'anatomie de la feuille du palmier à huile est constituée d'eau soit

environ 50% du poids de la feuille. Ainsi on peut conclure que les teneurs en matières organiques et inorganiques de la plante sont faibles.

Teneurs en cendre de la matière végétale

Les teneurs en cendre (figure 11) ont été déterminées pour les différentes parties du rachis (Rachis 1, Rachis 2 et Rachis 3) et le pétiole de la branche du palmier à huile.

La figure 11 présente la teneur en cendre de la matière sèche du rachis 1, du rachis 2, du rachis 3 et du pétiole.

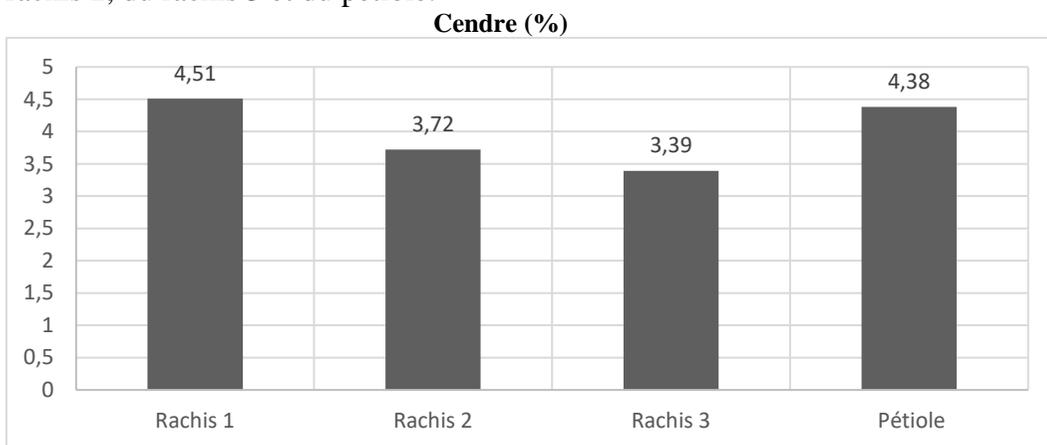


Figure 11 : Diagramme de la teneur en cendre du rachis et du pétiole

D'après ce diagramme, la teneur en cendre est relative à chaque rachis. Par comparaison, elle est plus élevée dans le rachis 1 par rapport aux rachis 2 et 3. Elle est également élevée dans le pétiole par rapport aux rachis 2 et 3. Dans les différentes parties de la branche du palmier à huile, le rachis 3 contient la plus basse teneur en cendre.

La teneur moyenne en cendre de la branche du palmier à huile est inférieure à 5%. Ce résultat est similaire à celle trouvée par Sun et al., (1999) et celle trouvée par Saka et al., (2008) respectivement 3,4% 5,7%. La différence pourrait être expliquée par les effets des facteurs climatiques, de la zone d'étude et des conditions d'incinérations.

Compositions des éléments chimiques de la cendre du palmier à huile

Le Tableau 1 présente les teneurs moyennes en sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca) et en magnésium (Mg) dans les différentes parties de la branche du palmier à huile (rachis 1, rachis 2, rachis 3 et pétiole) et de la rafle.

Tableau 1 : Composition en éléments minéraux du rachis, du pétiole et de la rafle

Echantillon	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
Rachis 1	66,00	745,00	8,00	0,022

Rachis 2	39,75	452,50	40	0,040
Rachis 3	41,25	485,00	52	0,068
Pétiole	84,50	1120,00	44	0,33
Foliole	12,80	156,00	44	0,020
Rafle	497,00	3331,41	4,00	0,062

D'après ces résultats, la teneur en sodium est plus élevée dans le pétiole et dans le rachis 1 par rapport aux rachis 2 et 3. Par contre dans la foliole, la teneur en sodium est relativement faible. Ces résultats montrent également que la teneur en sodium dans la rafle est largement supérieure à celle en sodium obtenue dans le pétiole et dans le rachis 1 avec des écarts relatifs de 83% et 86,72% respectivement.

Les résultats indiquent également que la teneur en potassium est très grande dans la rafle par rapport aux différentes parties de la branche du palmier à huile dont 77,63% et 66,38% respectivement par rapport au rachis 1 et le pétiole. En ce qui concerne les différents rachis, la teneur en potassium est plus élevée dans le rachis 1 que dans les rachis 2 et 3 avec des écarts relatifs de 39,26% et 34,90% respectivement. Les résultats de la teneur en calcium montrent que le calcium est plus élevé dans les rachis 2, rachis 3, pétiole et foliole dont 81,81% et 90,90% respectivement par rapport au rachis 1 et la rafle. Les résultats de la teneur en magnésium montrent que le magnésium est en quantité plus élevée dans le pétiole que dans les rachis et dans la rafle. Dans le rachis 1 et les folioles, la teneur en magnésium est plus faible par rapport aux autres parties. Il ressort donc que le pétiole, le rachis et les folioles sont beaucoup plus riches en potassium qu'en sodium et en calcium. La teneur en magnésium dans les différentes parties de la branche est très faible. Cependant la teneur en éléments minéraux est beaucoup plus élevée dans le pétiole et dans le rachis 1 que dans les rachis 2 et 3. Ce constat pourrait être expliqué par la teneur en cendre du pétiole et du rachis 1 par rapport aux rachis 2 et 3. Les folioles ont une teneur en éléments minéraux plus faible que le rachis et le pétiole. Parmi les rachis, le rachis 1 est le plus riche en éléments minéraux. Les concentrations des éléments minéraux (sodium, potassium, calcium et magnésium) varient fortement d'une partie à une autre de la branche du palmier à huile. Ces variations seraient dépendantes des conditions géographiques, des fertilisants utilisés, de la composition chimique du sol et des pratiques agronomiques dans le processus de développement du palmier à huile (Foo et Ham, 2009). Le potassium est l'élément majoritaire dans les différentes parties de la branche. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Saka et al., (2008) et Zhong et al., (2013) qui dans leurs travaux ont trouvé que les éléments minéraux dominants dans la cendre de la branche du palmier à huile sont le silicium (Si) et le potassium (K). Les autres éléments minéraux tels que le sodium, le calcium, le magnésium sont en faibles proportions.

Les analyses de la rafle indiquent qu'elle est plus riche en potassium qu'en sodium. Par contre sa teneur en calcium est faible et celle du magnésium ne se révèle qu'en trace. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Udeotok et al., (2012) et Saka et al., (2008). Selon ces deux auteurs, la rafle contient le Sodium (Na), Magnésium (Mg), Silicium (Si), Phosphore (P), Soufre (S), Potassium (K), Calcium (Ca) et le Fer (Fe). Le potassium (K) et le silicium (Si) sont les éléments majoritaires alors que les autres éléments sont en faibles proportions.

Corley et Tinker (2003) ont trouvé aussi que le Potassium est l'élément majoritaire de la rafle. En effet leurs travaux montrent que la rafle contient en moyenne 2,90% de potassium ; 0,30% de magnésium et 0,25% de calcium. Par comparaison, les teneurs en potassium et en sodium dans la rafle sont largement supérieures à celles de la branche du palmier à huile. Par contre les teneurs en calcium et en magnésium de la rafle sont inférieures à celles de la branche. Ainsi L'utilisation de la rafle en vue de sa valorisation dans la préparation de sel donnerait un rendement meilleur que celui des branches du palmier à huile.

Le pH de la solution obtenue après lavage de la cendre des différentes parties de la branche du palmier à huile est de l'ordre de 11,59 donc basique. Cette valeur du pH est supérieure à celles trouvées par Zhong et al., (2013) et par Udoetok. et al., (2008) qui sont de 10,13 et 10,9 respectivement. Les différences pourraient être attribuées à la zone de production des palmiers et aux conditions de préparation des solutions. De même, selon Zhong et al., (2013), cette valeur élevée du pH pourrait être due à la présence des oxydes alcalins qui sont : oxyde de calcium (CaO), oxyde potassium (K₂O), oxyde de sodium (Na₂O) et oxyde de magnésium (MgO).

Au Togo et dans la préfecture de Doufelgou, le sel végétal est principalement produit à partir des branches du palmier à huile et selon les paysans, le pétiole est la partie de la branche qui donne plus de sel. Ce résultat empirique confirme ceux de cette étude qui ressortent que le pétiole est la partie de la branche du palmier à huile la plus riche en élément minéraux. Au cours de cette pratique indigène, le rachis 1 et les folioles sont isolés lors de l'incinération car les paysans affirment que ces deux parties donnent une faible quantité de sel. Les résultats du Tableau 1 confirment la faible teneur en éléments minéraux des folioles mais montrent le contraire pour le rachis 1. L'utilisation du rachis 1 pourrait améliorer le rendement de sel.

La teneur en potassium étant plus élevée dans toutes les différentes parties de la branche du palmier à huile par rapport à celles de sodium, calcium et magnésium. Le sel obtenu à partir de la cendre de branches du palmier à huile est majoritairement potassique. Des travaux menés sur d'autres plantes de la famille des Palmacées ont montré que toutes les espèces des palmacées sont riches en potassium, d'où leur utilisation pour la production du sel végétal

(Alexandre et al., 1989). Par exemple, Townsend et al., (1973) et Schmeda et al., (1994) ont montré que les « Paumes de Sagou » (plante de la famille des palmacées) sont majoritairement riche en potassium.

Teneurs en anions du sel

Les teneurs moyennes en anions sont fournies dans le tableau 4 pour le chlorure, le carbonate, l'hydrogénocarbonate et l'hydroxyde dans une solution de sel de 10 g/L.

Tableau 2: Teneurs des anions du sel

Anion	Concentration (mg/L)
HO ⁻	0,289
CO ₃ ²⁻	0,180
HCO ₃ ⁻	12,017
Cl ⁻	3153,460

D'après les résultats du tableau 2, la teneur du sel végétal en chlorure (3153,460 mg/L) est très élevée par rapport à sa teneur en hydrogénocarbonate (12,017 mg/L). La teneur en carbonate (0,180 mg/L) et celle en hydroxyde (0,289 mg/L) est très faible par rapport à la teneur en hydrogénocarbonate. La valeur du pH de la solution de sel à 10 g/L est égale à 9,23 indiquant une solution de sel aussi basique et par conséquent, le sel végétal jouerait un rôle d'alcalinisation des recettes.

Le chlorure est l'anion majoritaire tandis que les ions carbonates et hydroxydes sont minoritaires. Ces résultats sont en accord avec ceux de Udoetok et al., (2012) qui ont aussi trouvé que la cendre du palmier à huile est beaucoup plus riche en chlorure que les autres anions. Selon Saka et al., (2008) l'analyse de cendre de la branche du palmier à huile révèle la présence majoritaire de chlorure.

Composition du sel végétal

Dans cette présente étude, les analyses portées sur la composition en cations et en anions du sel végétal obtenu à partir de la cendre du palmier à huile ont révélé la présence de potassium (K), sodium (Na), calcium (Ca), magnésium (Mg), chlorure (Cl⁻), hydrogénocarbonate (HCO₃⁻), carbonate (CO₃²⁻) et hydroxyde (HO⁻). Les éléments majoritaires étant le potassium et le chlorure. D'après ces résultats, le sel végétal pourrait être constitué de chlorure de potassium (KCl), de bicarbonate de potassium (KHCO₃), de chlorure de sodium (NaCl) et de bicarbonate de sodium (NaHCO₃). Cependant, compte tenu des teneurs élevées de potassium et de chlorure, révélées par les analyses, la composition du sel végétal en ion chlorure de potassium (KCl) serait élevée comme l'ont mentionné plusieurs auteurs sur les sels d'origine végétale à

l'exemple des résultats des travaux d'Alexandre et al. (1989) à partir de *coix gigantéa* et de *eriocaulon*.

La richesse du sel végétal en chlorure de potassium lui donnerait un rôle de salinisation pour être utilisé en cuisine en remplacement du sel de cuisine riche en NaCl. En raison de son pH élevé, le sel végétal pourrait jouer un rôle d'alcalinisation des recettes pour être utilisé en cuisine en remplacement de la potasse et du bicarbonate qui sont purement chimiques.

Le chlorure de potassium (KCl) joue un rôle important dans l'organisme humain. En effet, il peut intervenir dans la prévention et traitement d'hypokaliémie, dans la prévention et traitement d'hypertension, réduction de risque de maladies cardiovasculaires, des accidents vasculaires cérébraux, d'hypercalciurie et dans la diminution de douleur dentaire (AFSSA, 2004).

Par contre, malgré son intérêt et son rôle dans le bon fonctionnement du cerveau et du cœur, le sel de cuisine, riche en NaCl peut être à l'origine de l'apparition et l'aggravation de certaines maladies telles que : les maladies cardio-vasculaires, l'hypertension artérielle, insuffisance rénale, etc... (AFSSA, 2004). Le sodium a également un effet dévastateur chez les personnes qui n'ont pas suffisamment d'autres minéraux comme le potassium et le magnésium afin de l'équilibrer. L'excès de sodium cause également une augmentation de la perte des autres minéraux et donc il est un facteur de risque de l'ostéoporose. Cependant, un apport régulier de chlorure de potassium (KCl) peut compenser les effets néfastes du chlorure de sodium.

Par conséquent la consommation du sel végétal riche en KCl à la place du sel de cuisine essentiellement constitué du chlorure de sodium est convenable pour le maintien de la santé. Car selon l'OMS (2013), les adultes devraient consommer moins de 2000 mg de sodium, soit 5 g de chlorure de sodium, et au moins 3510 mg de potassium soit 6,67 g de chlorure de potassium par jour.

Conclusion

La cendre du palmier à huile est un sous-produit du palmier à huile le plus souvent considérée comme inutile. Cependant elle possède certaines qualités qui lui confèrent plusieurs applications pratiques dans l'industrie, l'agriculture et dans la médecine traditionnelle. Le sel obtenu à partir de la cendre du palmier à huile est le condiment utilisé le plus souvent comme remplaçant du sel naturel ou sel de cuisine dans les régions intertropicales. La détermination de la composition chimique et du rendement du sel préparé à partir du palmier à huile montre que le pétiole est plus riche en potassium (1120 mg/L) et en sodium (84,5 mg/L) que le rachis et les folioles. Le calcium est faible dans le rachis 1 par rapport aux autres parties de la branche (8 mg/L). Le magnésium est minoritaire dans la branche du palmier à huile. La rafle contient aussi une teneur en potassium très élevée (3331,41 mg/L) par rapport à la teneur en potassium de la branche du palmier à huile. La détermination

des anions dans le sel montre que le sel végétal est très riche en chlorure (3153,46 mg/L) par rapport au bicarbonate (12,017 mg/L). La quantité de sel végétal obtenue à la préparation contrôlée rapportée à la biomasse végétale est de l'ordre de 1,24% donc assez faible.

Ce travail a permis de montrer que le pétiole et le rachis sont les parties de la branche du palmier à huile les plus riches en éléments chimiques, et aussi le sel obtenu à partir de la cendre de la branche est un mélange de sels. Ce sel végétal, riche en chlorure de potassium (KCl), peut intervenir dans la prévention et le traitement d'hypokaliémie, dans la prévention et traitement d'hypertension, réduction de risque de maladies cardiovasculaires, des accidents vasculaires cérébraux, etc.... La préparation de ce sel végétal ne devrait pas conduire à la déforestation mais plutôt à la valorisation des branches élaguées des palmiers ou des rafles après avoir enlevé les noix de palme.

References:

1. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2001). Les minéraux et oligo-éléments 44 p.
2. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2004). Rapport du groupe de travail sur le sel. 83 p.
3. Ahoyo N.R., (2008). Potentialités des filières Anacarde et Palmier à huile au Bénin. Rapport d'étude, SNV-Bénin. 81 p.
4. Alexandre, D.Y., (1989), Richesse en sodium des cendres de quelques palmiers. 7 p.
5. Barcelos, E. (1998). Etude de la diversité génétique du genre *Elaeis* (*E. oleifera* Kunth. Cortès et *E. guineensis* Jacq.) Thèse de doctorat. Ecole doctorale : Biologie des systèmes intégrés, Agronomie, Environnement. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier., Montpellier. 137 p.
6. Charbotel B., Normand J.C., Bergeret A. (2007). Cancers professionnels. 8 p.
7. The Oil Palm, Fourth Edition. Editor(s):. R.H.V. Corley, P.B. Tinker., First published:11 April 2003. Print ISBN:9780632052127 |Online ISBN:9780470750971.
8. Croft James, R., Leach D.N. (1985). New Guinea salt fern (*Asplenium acrobryum*) identity distribution and chemical composition of its salt. *Econ. Bot.* 39(2), 139-149.
9. Dumont, M. (2008). Annuaire des minéraux du Canada (AMC). 11 p.
10. Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2009). Value-added utilization of oil palm ash: a superior recycling of the industrial agricultural waste. *J. Hazard mater.* 172, 523- 531

11. Gunarso P, Hartoyo ME, Agus F, Killeen TJ (2013). . Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. Reports from tech panels RSPOs 2nd Greenh Gas Work Gr;p. 29–64.
12. Kuhnlein, HV. (1980). - The trace element content of indigenous salts compared with commercially refined substitutes. *Ecol. Food Nutr*, 10, 113-121.
13. Lemonnier P. (1984). La production de sel végétal chez les Anga. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, pp. 71-126
14. Mollat, M. (1968). *Le rôle du sel dans l'histoire*. Paris, PUF. 334 p.
15. Oil World Annual., (2010). The Independent Forecasting Service for Oilseeds, Oils and Meals. ISTA Mielke GmbH, Hamburg, Germany.
16. Organisation mondiale de la santé (OMS), (2013) ; Nouvelles orientations de l'OMS sur le sel et le potassium dans l'alimentation ;
17. Porteres, R. (1950). Les sels alimentaires, cendres d'origine végétale. *Lowland Papua. Econ. Bot.* 41(1), 55-59.
18. Roussel, A. et Hininger-Favier, I. (2009). Éléments-trace essentiels en nutrition humaine : chrome, sélénium, zinc et fer, EMC - Endocrinologie - Nutrition, Volume 20, Issue 2, Pages 1-16, Doi : 10.1016/S1155-1941(09)49501-5
19. Saka, S., Munusamy, MV., Shibata, M., Tono, Y., and Miyafuji H. (2008). Chemical constituents of different anatomical part of the oil palm (*Elaeis guineensis*) for sustainable utilization. *Natural resource and Energy environmental* 19-34. (incomplet)
20. Schmeda-Hirschman, G. (1994). Tree ash as an Avoreo salt source in paraguayian Chaco. *Economic Botany* 48, 159-162
21. Sun, RC., Fang, JM., Mott, L., Bolton, J. (1999). *Hoizforschung, ournal of the INDIAN VETERINARY ASSOCIATION* 53, 253
22. Townsend, PKW., Liao, SC. and Konlande, JE. (1973). Nutritive contributions of sago ash used as a native salt in Papua New Guinea. *Ecologigy of Food and Nutrition*, 2, 91-97.
23. Udoetok I.A. Chemistry Departement, Akwa Ibom state, Ikot Akpaden, Mkpat Enin Local Government Area, Akwa Ibom state, Nigeria. (2012) Characterization of ash made from oil palm empty fruit bunches (oefb). p. 518-524.
24. Zhong Xian Ooi Hanafi Ismail and Azhar Abu Bakar (2013), Characterization of oil palm ash (OPA) and thermal proprieties of OPA-filled natural rubber compounds. 15 p.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Estimation Des Concentrations Et Cartographie De La Dynamique Des Polluants Atmosperiques Particulaires Dans La Ville D'abidjan

N'Guessan Bi Vami Hermann,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédection (CURAT), Côte d'Ivoire

Lazile Stephanie,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédection (CURAT), Côte d'Ivoire

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Loukou Jerome André,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédection (CURAT), Côte d'Ivoire

Saley Mahaman Bachir,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédection (CURAT), Côte d'Ivoire

Kouadio Affian,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p116](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p116)

Submitted: 24 July 2021

Accepted: 14 October 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

N'Guessan Bi V.H., Lazile S., Loukou J.A., Saley M. B., & Affian K., (2021). *Estimation Des Concentrations Et Cartographie De La Dynamique Des Polluants Atmosperiques Particulaires Dans La Ville D'abidjan* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 116.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p116>

Résumé

En Côte d'Ivoire, la gestion et la sécurité sanitaire liée à la pollution atmosphérique revêt un grand intérêt . Dans ce même élan de gestion de la qualité de l'air l'OMS a fixé un seuil d'émission que les pays doivent intégrer

dans leur mode de gestion. Cependant, dans les villes de grandes concentrations comme Abidjan il est parfois difficile de maîtriser les paramètres d'émissions. L'objectif de cette étude est donc d'estimer les concentrations des polluants atmosphériques particuliers $PM_{2.5}$ et ensuite cartographier la dynamique de ces polluants de 2015 à 2020. Pour atteindre cet objectif, les données de l'imagerie satellitaire LANDSAT ont été utilisées. Il s'agit de calculer les réflectances de surfaces et les réflectances au sommet de l'atmosphère. Le but de ces calculs était de déduire les réflectances atmosphériques. En considérant la relation étroite existante entre les $PM_{2.5}$ et la réflectance atmosphérique un modèle de régression linéaire a été considéré pour déduire les $PM_{2.5}$. Les résultats ont montré que les concentrations des $PM_{2.5}$ sont de façon générale au-dessus du seuil de l'OMS. Ces valeurs sont de $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en janvier 2015, de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en janvier 2016, de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en décembre 2016, de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en janvier 2019 et de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en janvier 2020. Cela donne une concentration moyenne de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les communes de Yopougon Nord, Abobo Ouest, Cocody ouest et Port-Bouet Est sont les zones les plus polluées avec des concentrations allant de 26 à $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mots clés: Abidjan, $PM_{2.5}$, Particules, Pollution atmosphériques, concentrations.

Estimation Des Concentrations Et Cartographie De La Dynamique Des Polluants Atmosphériques Particulaires Dans La Ville D'abidjan

N'Guessan Bi Vami Hermann,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

Lazile Stephanie,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Loukou Jerome André,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire
Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire

Saley Mahaman Bachir,

Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Centre Universitaire de Recherche et d'Application
en Télédétection (CURAT), Côte d'Ivoire
Kouadio Affian,
Université Felix Houphouët Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Abstract

In Côte d'Ivoire, management and health security related to air pollution are of great interest. In this same approach to air quality management, WHO has set an emission threshold that countries must integrate into their management method. However, in cities with a high concentration like Abidjan, it is sometimes difficult to control the emission parameters. The objective of this study is therefore to estimate the concentrations of particulate air pollutants PM_{2.5} and then to map the dynamics of these pollutants from 2015 to 2020. To achieve this objective, data from LANDSAT satellite imagery were used. This involves calculating the surface reflectances and the reflectances at the top of the atmosphere. The purpose of these calculations was to deduce atmospheric reflectances. Given the close relationship between PM_{2.5} and atmospheric reflectance, a linear regression model was considered to derive PM_{2.5}. The results showed that PM_{2.5} concentrations are generally above the WHO threshold. These values are 31 µg / m³ in January 2015, 36 µg / m³ in January 2016, 32 µg / m³ in December 2016, 33 µg / m³ in January 2019 and 33 µg / m³ in January 2020. This gives an average concentration of 33 µg / m³. The cities of Yopougon north part, Abobo west part, Cocody west part and Port-Bouet east part are the most polluted areas with concentrations ranging from 26 to 49 µg / m³.

Keywords: Abidjan, PM_{2.5}, Particulate Matter, Air Pollution, Atmospheric Polluants, Concentrations

Introduction

Les aérosols ont un éventail important de sources d'émissions naturelles et anthropiques, avec une dominance anthropique ayant des composés physico-chimiques s'avérant les plus nocifs. Précisons tout de même que la catégorisation des aérosols est difficilement systématisée par la classification des sources d'émissions. En effet, l'atmosphère est un espace très hétérogène constitué de plusieurs gaz et particules à des concentrations plus ou moins équilibrés pour la vie humaine.

La dispersion des polluants dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques, climatique et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau, ...). Dès leur émission dans l'atmosphère, les polluants sont soumis aux phénomènes de dispersion et de transport sous l'effet des turbulences atmosphériques. Selon (Anthes, 1997 et Basly, 2000), le vent, et

la stabilité atmosphérique sont des paramètres sérieux pour déterminer la dispersion des aérosols. Cette dispersion s'effectue essentiellement dans la couche limite atmosphérique (partie de l'atmosphère située en dessous de la troposphère libre) et dépend aussi de sa stabilité (Adon, 2019).

Les PM sont produits et éjectés dans l'air à travers les activités anthropiques, notamment par des phénomènes de combustion provenant d'une part, des secteurs résidentiels, tertiaire, du trafic routier. Et d'autre part des activités mécaniques. Il est à noter que les PM₁₀ (particules de taille inférieure à 10 microns) et les PM_{2.5} (particules de taille inférieure à 2.5 microns) sont de bons indicateurs des polluants émis par le trafic (Cerema, 2014) ; par contre les PM₁₀ se forment à partir des PM_{2.5} ; ils représentent en moyenne annuelle environ 60 à 70% des PM₁₀.

. En général, les PM_{2.5} proviennent de la condensation des vapeurs très chaudes (Stromatas, 2013) c'est-à-dire qu'ils sont émis suite à la carbonisation de la biomasse (bois...) ; des matières organiques fossilisées (charbon, fuel, diesel). Ce sont des particules pouvant être transportées sur de grandes distances tout en subissant des mutations physico-chimiques. Elles ont une vitesse de sédimentation beaucoup plus faible que les PM₁₀ et peuvent rester en suspension des jours voire des semaines durant (Boucher, 2012).

Les particules en absorbant ou diffusant le rayonnement solaire influent drastiquement sur les températures au sol. Elles jouent dans l'atmosphère le rôle de noyau de condensation autour desquels gravitent les molécules d'eau pour la formation des gouttelettes. Sans particules, il n'y a pas de nuages. De plus, la présence de particules dans l'atmosphère augmente la quantité du rayonnement solaire diffus au détriment du rayonnement solaire direct, ce qui influence la photosynthèse. Une fois en contact avec les aérosols le rayonnement est partiellement absorbé et/ou dissipé plus tard sous forme de chaleur. Ce mécanisme appelle aussi effet de serre à pour effet de réchauffer l'atmosphère et par ricochet réduit la densité nuageuse (Aoun, 2017).

En milieu urbain, les dépôts de particules dégradent le patrimoine immobilier en occurrence le patrimoine architectural historique, en causant altération et dégâts esthétiques qui entraînent des frais de nettoyage et d'entretiens considérables. Il est cependant difficile de chiffrer les dégâts dus aux particules étant donné que celles-ci sont généralement associées à des nuisances par d'autres polluants : SO₂, pluie acide (Aguirregabiria et Mira, 2007). Les particules fines peuvent par ailleurs être absorbées par les plantes ou se déposer sur le sol. Leur degré de toxicité dépend de leur composition chimique et de leur éventuelle association à d'autres polluants. Ces particules peuvent par conséquent porter atteinte à la biosphère, directement ou via la chaîne alimentaire qui est liée aux organismes pollués.

La santé humaine est de plus en plus menacée par la forte présence des aérosols dans l'air. En effet, plusieurs études épidémiologiques ont pu

témoigner de la nocivité des particules ; elles sont la cause de maladies respiratoires aiguës telles que les bronchites ou l'asthme chez les enfants (cachon, 2013), et aggravent l'état de santé des personnes atteintes de maladies cardiaque et pulmonaire. Ces particules sont dites contenir des composés cancérigènes. En outre, ce sont des polluants qui pénètrent facilement dans les poumons. Une exposition à plus de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 24h augmente la susceptibilité de leur effet sur la santé (Techarat et al., 2018).

Selon le rapport de 2016 de l'institut américain « health effects institute (hei) », la Sixième cause de mortalité précoce dans le monde est liée à la pollution atmosphérique devant l'alcool, le manque d'activité physique et une mauvaise hygiène sanitaire. La pollution atmosphérique est responsable d'une morbidité annuelle de 4,1 millions de personnes. À ce titre, l'OMS stipule que les continents les plus touchés sont les continents africains et asiatiques avec 90% de ces décès.

Au niveau mondial, pour régulariser et restreindre les émissions et les concentrations des particules polluantes dans l'atmosphère, l'OMS a fixé des seuils de concentrations journalières et mensuelles que les pays se doivent de respecter. Les seuils pour les $\text{PM}_{2.5}$ ont été plafonnés à $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les concentrations journalières et $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les concentrations annuelles. Cependant depuis 2006 ; malgré cette recommandation, les niveaux ambiants de $\text{PM}_{2.5}$ ne cessent de grimper. (WHO, 2016).

La télédétection est un outil et surtout un ensemble de connaissances permettant d'acquérir des informations ; soit, les caractéristiques biologiques et physiques des objets à distance et ceci sans contact matériel avec ces derniers. Ces données satellitaires sont également utilisées dans la détection des polluants dans le domaine de la qualité de l'air. On y extrait les paramètres comme le réseau routier, occupation du sol, etc. pour modéliser leurs concentrations et leurs transports.

En effet, les images fournies par capteurs passifs (c'est-à-dire dépendant de l'éclairage solaire) enregistrent les propriétés physiques des objets ; restituent les informations dans différentes longueurs d'ondes (petites et grandes longueurs d'ondes). Ces capteurs procèdent donc en mesurant l'énergie émise ou réfléchi par les objets. En outre, le rayonnement atteignant le capteur doit d'abord traverser l'atmosphère, et, bien que les capteurs soient sensibles à des longueurs d'onde peu absorbées (fenêtres atmosphériques), une variation de la quantité d'aérosols modifiera les mesures. Cette influence va dépendre de la longueur d'onde (λ) (donc du capteur utilisé), du type et du diamètre des aérosols mais également de l'angle d'illumination solaire et de l'angle de visée du satellite (Horvath, 1997)).

En l'état actuel des connaissances, il convient d'améliorer les études en matière d'exposition réelle de la population à la pollution et d'acquérir une estimation précise des polluants atmosphériques dans l'espace et dans le temps.

C'est dans ce contexte que la présente étude a été initiée. Elle porte sur la cartographie des polluants atmosphériques plus précisément sur les particules atmosphériques de tailles inférieures à 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) dans la ville d'Abidjan.

L'objectif principal de cette étude est de faire une analyse spatiale à l'aide des images satellitaires des polluants atmosphériques ($\text{PM}_{2.5}$) dans la ville d'Abidjan. De façon spécifique il s'agit de :

- faire une estimation des concentrations des polluants atmosphériques $\text{PM}_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan à partir de l'imagerie satellitaire ;
- analyser spatialement la distribution des polluants atmosphériques $\text{PM}_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan ;
- montrer les zones fortement impactées par les polluants atmosphériques $\text{PM}_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan.

I. Analyse et traitement des données

I.1. Présentation de la zone d'étude

La ville d'Abidjan est située la région des lagunes au sud-est de la cote d'Ivoire, au bord du golfe de Guinée et à une altitude de 18 m. Localisée selon les latitudes et longitudes de 4° 11' 0'' et 3° 49' 0'' de longitude Ouest et 5° 9' 0'' et 5° 31' 0'' de latitude Nord (Djossou et al., 2018), elle s'étend sur une surface de 57 735 ha soit 57 km sur 40 km soit 0,6% et comptait en 2014, 6.351.086 habitants selon l'Institut National des Statistiques (INS) (Kouadio et al., 2019). Depuis août 2001, Abidjan est devenue un district « district autonome d'Abidjan (Remer et al., 2005) qui regroupe quatre sous-préfectures dont Anyama, Abidjan ville, Bingerville, Brofodoumé et Songon (INS 2014). La ville d'Abidjan comprend quant à elle 11 communes dont : Yopougon, Abobo, Cocody, Adjamé, Plateau, Treichville, Koumassi, Marcory, Port-Bouet. Abidjan a également la particularité d'être ceinturée par un réseau lagunaire dense. Voir fig 1

Depuis 1960, la végétation ivoirienne en occurrence celle d'Abidjan est en voie de disparition. Avec près de 16 millions d'hectares de forêts en 1960, il ne reste qu'environ 3,4 millions d'hectares de forêts en Côte d'Ivoire. Dans le but de mieux conserver son patrimoine forestier, l'État ivoirien a favorisé la création d'un réseau dense d'aires protégées qui couvre près de 10 % de son territoire. Malgré cela aujourd'hui le problème qui se pose est l'intrusion de l'homme dans ces espaces protégés tels que la forêt du Banco, ou parcs et sites. Les exploitations illicites réduisent de façon drastique les superficies au fil des années en témoignent plusieurs études. (Alexandre et al., 2019)

En général le climat à Abidjan est humide. Il est soumis au régime climatique de type équatorial avec des saisons chaudes et humides (Konan et al., 2016) ; le climat se subdivise le long de l'année comme suit :

- Avril-juillet : grande saison de pluie

- Juillet –septembre : petite saison sèche
- Septembre-novembre : petite saison de pluie
- Décembre-mars : grande saison sèche.

En saison humide, entre les vents du sud sont prédominants. L'air chargé en humidité est attiré au-dessus du golfe de Guinée. Ce flux d'air humide remonte vers le nord et, une fois au-dessus du continent, se transforme en systèmes orageux nommés lignes de grain. Ces systèmes se déplacent d'est en ouest, provoquant la remontée de particules fines issues des feux de biomasse d'Afrique australe vers l'Afrique de l'ouest, arrosant toute la région (Remer et al., 2005)

En saison sèche avec des températures variant entre 29 et 32°C, les vents du nord prennent l'ascendant et saturent l'atmosphère de poussières et de particules provenant de l'érosion du désert du Sahara et de la combustion de biomasse. La végétation est dominée la forêt primaire. Les précipitations sont abondantes avec plus de 1500 mm d'eau par an.

Abidjan est la capitale économique de la Côte d'Ivoire. Situé sur le littoral ivoirien, elle connaît une augmentation rapide de son activité économique (60 % du tissu industriel national) et une forte densité urbaine (1475 hab/km²) (Sako et Beltrando, 2014). La Port Autonome d'Abidjan (PAA) a une situation géographique stratégique qui favorise un flux important de circulation automobile et ferroviaire entre Abidjan et les autres capitales et plusieurs industries.

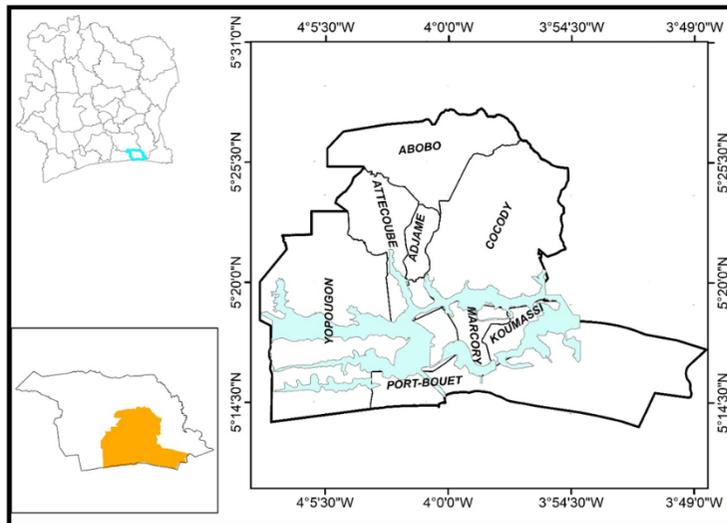


Figure 1: Carte de localisation de la ville d'Abidjan

I.2. Données satellitaires

Les images des capteurs OLI de Landsat 8 ont été essentiellement utilisées, spécifiquement des produits de niveau de prétraitement 2 de la

collection 1 disponible les produits de réflectance de surface et de réflectance au-dessus de l'atmosphère (RS et TOA).

Les images Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS) se composent de neuf bandes spectrales avec une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes 1 à 7 et 9. La résolution de la bande 8 (panchromatique) est de 15 mètres. Les bandes thermiques 10 et 11 sont collectées à 100 mètres. La scène de notre zone d'étude est de chemin (path) 196 et la colonne (row) 56. Les images ont été acquises en saison sèche entre décembre et janvier. Les dates d'acquisition sont les suivantes : le 09 janvier 2015, le 28 janvier 2016, 29 décembre 2016, le 20 janvier 2019 et le 07 janvier 2020. Les années 2017 et 2018 présentaient une couverture nuageuse importante sur notre zone d'étude (voir tableau 1).

Tableau 1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des bandes du capteur OLI de LANDSAT

Nom de la bande	Longueur d'onde μm	Résolution(m)
1	0.433-0.453	30
2	0.450-0.515	30
3	0.525-0.600	30
4	0.630-0.680	30
5	0.845-0.885	30
6	1.560-1.660	30
7	2.100-2.300	30
8	0.500-0.680	15
9	1.360-1.390	30
10	10.60-11.20	100
11	11.50-12.50	100

I.3. Calibration de la réflectance au sommet de l'atmosphère et du réflectance de surface

En effet, les effets atmosphériques résultent de deux processus, l'absorption et la diffusion, exercées conjointement par les deux constituants majeurs de l'atmosphère, les gaz et les aérosols. Si l'on considère le rayonnement solaire comme un flux de particules élémentaires d'énergie radiative (les "photons"), l'absorption par les molécules gazeuses ou les particules d'aérosols correspond à la transformation d'une partie des photons en chaleur ; elle se traduit donc par une diminution du nombre des photons et un affaiblissement du signal mesuré dans le spectre du Soleil qui varie entre 0,2 et 4 μm . (Kergomard, 2000).

Les produits scientifiques Landsat de niveau 2 sont générés à partir d'algorithmes qui calculent la réflectance supérieure de l'atmosphère (TOA-R), la température de luminosité du haut de l'atmosphère (TOABT), la réflectance de surface (SR) et la température de surface (ST).

Le traitement des données de la bande de réflectance de l'imagerie terrestre opérationnel (OLI) se traduit par un produit en bande estimé qui est une réflectance TOA (sans unité). Il s'agit d'une conversion des comptes numériques par un étalonnage radiométrique de niveau 1. En entrée, les données utilisées sont : la matrice elle-même, la réflectance TOA en gain et la réflectance TOA en perte (ces informations sont inscrites dans les métadonnées) et l'angle zénithal solaire. Ce calcul est effectué selon l'équation (Eq :1):

$$\text{Ref}(p) = (\text{DN}(p) * \text{refl_gain} + \text{refl_bias}) / \cos(\text{sza}) \quad (\text{Eq :1})$$

Où

Ref(p) : Valeur de réflectance de sortie pour pixel

DN(p): Input DN value (linearized and bias corrected) par pixel 'p'.

refl_gain : Gain de réflectance, à partir de métadonnées.

refl_bias : Biais de réflectance, à partir de métadonnées

cos(sza) : Cosinus de l'angle solaire zénithal. Cette valeur est calculée par pixel à partir des valeurs des métadonnées (angle solaire de scène et géométrie de visualisation).

Les données d'entrées sont : la bande QA de niveau 1, TOA Reflectance de niveau 1, la scène centrale de l'angle zénithale, la scène centrale de l'observation de l'angle zénithale, l'altitude du terrain, l'Ozone, la vapeur. Il est supposé que la surface soit une surface lambertienne, avec une absorption minimale de l'eau atmosphérique et d'une dispersion atmosphérique minimale de Rayleigh. Le calcul de la réflectance de surface (SR) est généré à partir de l'algorithme LaSRC selon l'équation 2

$$\rho_s = \frac{\frac{\rho_{\text{TOA}}}{\text{tgOG} * \text{tgO}_3} (\rho_{\text{atm}} - X_{\text{roRayp}}) * \text{tgwV}_{\text{half}} - X_{\text{roRayp}}}{\text{tr}_{\text{atm}} * \text{tgwV}_{\text{full}} * (1 + S_{\text{atm}} * \rho_{\text{partial}})} \quad (\text{Eq :2})$$

Où

ρ_s : Réflectance de surface (SR).

ρ_{partial} : Réflectance partielle de surface, décrite ci-dessous.

Ptoa: Top of Atmosphere Reflectance (TOA-R)..

tgOG : Transmission gazeux d'autres gaz..

tgO₃ : Transmission gazeux de l'ozone. La variable de code est 'tgoz', souvent combinée avec d'autres gaz comme 'tgo = tgoz * tgoz'.

ρ_{atm} : Réflectance atmosphérique intrinsèque. La variable de code est 'roatm'.

TgwV_{full} : Transmission gazeux de la colonne complète de vapeur d'eau atmosphérique. La

tgwV_{half} : Transmission gazeux de la moitié de la colonne de vapeur d'eau atmosphérique.

X_{roRayp} : Rayleigh scattering reflectance.

Tr_{atm} : Transmission atmosphérique totale.

S_{atm} : Albéité sphérique atmosphérique.

. La « réflectance partielle de surface », $\rho_{partial}$, est une approximation de la réflectance totale de surface qui est utilisée comme aide au calcul selon l'équation 2 :

$$\rho_{partial} = \frac{\frac{P_{TOA}}{tgOG * tgO_3} (\rho_{atm} - X_{ro rayp}) * tg_{wv half} - X_{ro rayp}}{tr_{atm} * tg_{wv full}} \quad (Eq :3) :$$

I.4. Ajustement des valeurs des TOA et de RS et déduction de la réflectance de surface.

En effet, les données de sortie des traitements plus haut donnent des valeurs brutes dont les comptes numériques sont en nanomètre. Il est question de faire une conversion de ces données en micromètre. Ces valeurs ont été multipliées par un coefficient multiplicateur ayant pour valeur constante de 0.0001 (Jenkerson, 2020).

$$DN(\beta) = R(\beta x) * 0.0001 \quad (Eq :4)$$

Où

$DN(\beta)$: la bande d'image (TOA ou RS) en compte numérique convertie ;

$R(\beta x)$: le numéro la bande d'image (TOA ou RS) en compte numérique.

La réflectance de surface (RS) déduite de la réflectance mesurée par le satellite (réflectance au sommet de l'atmosphère, TOA) permet de déterminer la réflectance atmosphérique de la bande (Remer et *al.*, 2005) à travers l'équation suivante :

$$R_{atm} = TOA - RS \quad (Eq :5)$$

I.5. Calcul des concentrations des PM_{2.5}

Les estimations des polluants atmosphériques PM_{2.5} sont déduites de la relation qui existe entre l'épaisseur optique et les polluants en question (Glantz et *al.*, 2007) et par ricochet entre l'épaisseur optique et la réflectance atmosphérique. Hadjimitsis, 2009 montrer une relation étroite entre les PM_{2.5} et l'épaisseur optique décrite par l'équation suivante :

$$AOD = a * R(\beta) \quad (Eq :6)$$

où

a est le coefficient de concentration mesurée

$R(\beta)$ est le reflet atmosphérique de la longueur d'onde (β) du satellite

Les coefficients constants de cette équation ont été obtenus de la relation linéaire entre les valeurs discrètes des PM_{2.5} recueillies au sol et les réflectances atmosphériques.

$$PM_{2.5} = a * R(\beta) \quad (Eq :7)$$

Pour une meilleure précision, il est important d'étendre l'équation sur plusieurs bandes spectrales.

$$PM_{2.5} = a_0 \times R(\beta_1) + a_1 \times R(\beta_2) + \dots \text{ (Eq :8)}$$

Selon plusieurs sources (Hadjimitsis *et al.*, 2009), (Mozafari *et al.*, 2019), les bandes les mieux corrélées pour l'estimation des $PM_{2.5}$ sont les bandes 1, 3 et 4, qui sont respectivement les bandes « Bleu », « Rouge » et « Proche Infrarouge ». Ainsi, les estimations des concentrations des $PM_{2.5}$ ont donc été générées à l'aide de l'algorithme développé par Mozafari *et al.*, (2019), testé donnant un coefficient de corrélation R de 0.75 et RMSE à 8.41. L'algorithme se présente de la manière suivante :

$$PM_{2.5} = 369 \times R(\beta_1) - 197 \times R(\beta_3) - 376 \times R(\beta_4) + 3.2 \text{ (Eq :9)}$$

II. Résultats

II.1. Répartition spatiale des $PM_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan entre 2015 et 2020

En effet, cette ligne directrice est une mesure de réduction à laquelle les pays devraient se calibrer pour éviter ou du moins réduire les risques sanitaires liées à la pollution atmosphérique.

Les estimations qualitatives de ce travail sont représentées par des plages de couleurs :

- les concentrations entre 0-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont représentées en couleur « bleu » et considérée comme des concentrations moyennes c'est-à-dire acceptable
- les concentrations entre 25-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont représentées en couleur « jaune » et considérée en estimation dangereuse
- les concentrations allant de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et plus sont représentés en « rouge » et considérés comme dangereuse et alarmante

A la date du 09 Janvier 2015, la concentration moyenne est dominante sur tout l'espace Abidjanais. Les concentrations fortes sont également dans toutes les communes avec une disparité presque uniforme. Les concentrations très fortes sont plus localisées en des points. On les retrouve dans presque toutes les communes sauf à Attécoubé et au plateau. Notons que les concentrations fortes sont plus ou moins importantes au Nord de Yopougon, à Koumassi, à Adjamé, et disséminées à Abobo, à Cocody et Port-Bouet. Ici, les variations des concentrations sont entre 20 et 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La carte du 28 janvier 2016, présente des concentrations qui varient entre 22 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les fortes concentrations sont spatialement denses au niveau de la commune d'Abobo, ou elles occupent visiblement environ les trois quarts de sa superficie. Yopougon, Koumassi, Port-Bouet, Marcory, Adjamé, et Cocody présentent également des concentrations très élevées avec un étalement important dans l'espace. Les concentrations moyennes occupent les espaces restant à Cocody, à Abobo, à Yopougon, Port-Bouet et à Adjamé.

Les concentrations du 29 décembre 2016, varient entre 20 et 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations moyenne s'observent sur l'ensemble de la ville.

Cependant, les concentrations élevées et très élevées sont relevées respectivement dans les communes d'Abobo centre et Yopougon Nord.

Sur la figure 2, les Niveaux de $PM_{2.5}$ varient entre 23 et 45 $\mu g/m^3$. Les concentrations sont très élevées à l'Ouest d'Abobo. Elles se confondent aux concentrations élevées au Nord de Yopougon, et sur toute l'étendue de Cocody. Les concentrations élevées sont dominantes sur l'ensemble du territoire abidjanais. Les concentration moyennes sont discernables au Sud de la ville.

Concernant l'année 2020, on note une très forte concentration des $PM_{2.5}$ dans toutes les communes à part celles de Koumassi, Treichville et une concentration mixte à Port-Bouet. Les niveaux de concentrations varient entre 23 et 43 $\mu g/m^3$. Cette concentration élevée s'explique par une vague de froid et de vent passant chargée en poussière dans la période du 05 janvier 2020, tandis que l'image a été enregistrées le 07 janvier 2020.

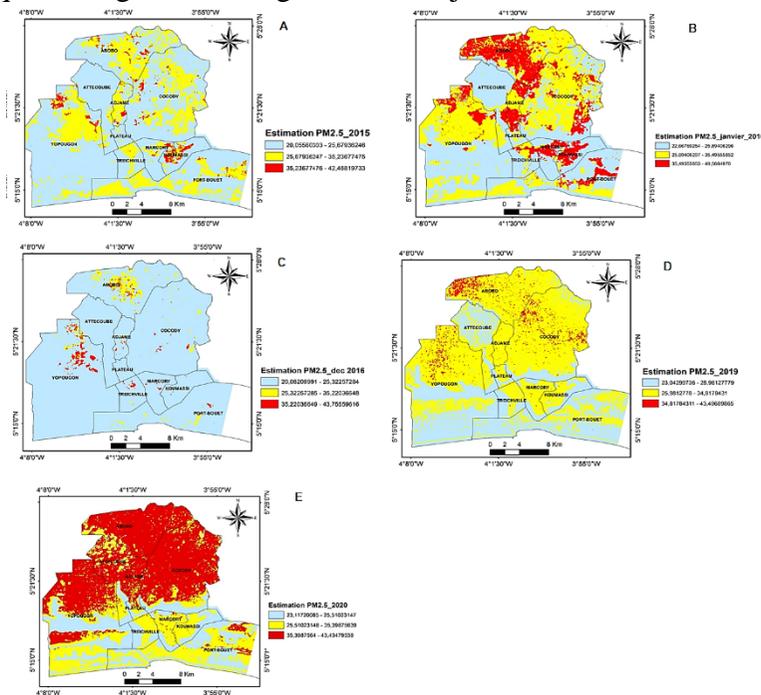


Figure 2: Cartes des polluants atmosphériques $PM_{2.5}$ entre 2015 et 2020 de la ville d'Abidjan.

II.2. Evolution des concentrations $PM_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan entre 2015 et 2020

Les concentrations journalières de $PM_{2.5}$ en saison sèche de 2015 à 2020 sont des concentrations à fortes valeurs. En 2015, la concentration moyenne est de 31 $\mu g/m^3$, en janvier 2016, la concentration moyenne est de 36 $\mu g/m^3$, en décembre 2016 la concentration moyenne est de 32 $\mu g/m^3$; en

2019, la concentration moyenne est de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$; et en 2020, la concentration moyenne est également de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentration minimale soit moyenne générale de la concentration de $\text{PM}_{2.5}$ à Abidjan varie de 20 à $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cet intervalle est acceptable selon le seuil de l’OMS. Cependant les valeurs de concentration maximales varient entre 40 et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette variation est presque le double des concentrations du seuil OMS fixé à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Néanmoins sur toutes les années on observe une évolution plutôt constante des $\text{PM}_{2.5}$ avec une légère hausse en janvier 2016 (voir fig 3).

Les communes d’Abidjan présentent donc des tendances de concentrations allant de concentrations très fortes ou très élevées à moyenne. Les communes ou les concentrations sont persistantes chaque année est : Marcory, Abobo, Port-Bouet, Cocody, Adjamé, Yopougon. Cela pourrait s’expliquer par la présence d’activité humaine intense comme le trafic routier, la présence de zone industrielles, la combustion de biomasses, comme le bois ou le fumage de poisson à certains endroits des communes. Par ailleurs, il faut également relever que les communes d’Attécoubé et du plateau sont moins impactées par la présence des $\text{PM}_{2.5}$. Cela pourrait s’expliquer par la présence de végétation ou de plan d’eau qui influencent les niveaux de concentration des polluants atmosphériques.

Ainsi, dans la partie suivante, la réalisation d’une carte d’occupation du sol couplé au cartes de concentration nous permettra de corroborer ou non ces hypothèses (voir figure 3).

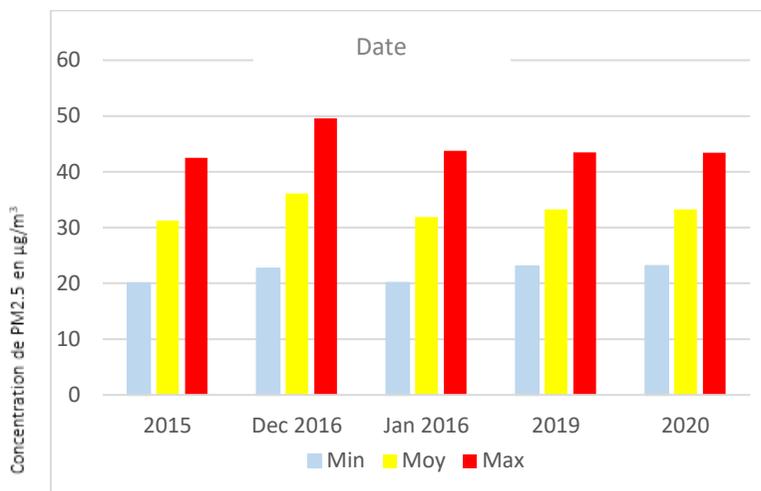


Figure3 : Evolution des concentrations des polluants atmosphériques $\text{PM}_{2.5}$ entre 2015 et 2020 de la ville d’Abidjan

II.3. Discussion

La télédétection active est l'un des meilleurs outils pour l'étude de l'estimation des aérosols de notre époque. De plus en plus performante, ce domaine est très prometteur.

En effet, en télédétection plusieurs types de capteur sont permettent de déterminer les niveaux de concentration des aérosols de $PM_{2.5}$. La régression linéaire simple permet d'exprimer la concentration d'un polluant en fonction d'une seule variable (Ionescu, 2013) qui est dans notre cas la réflectance atmosphérique des bandes (elle a servie de variable unique). Dans un cas général, pour étudier les polluants atmosphériques avec le modèle de régression linéaire plusieurs variables sont utilisées : température humidité, vitesse du vent etc. On parle de régression linéaire multiple.

La donnée satellitaire utilisée pour cette étude est celle produite par le Capteur OLI de LANDSAT 8. Ce capteur a une résolution spatiale de 30×30 m. Géostationnaire, il enregistre les informations sur une même zone a une résolution temporelle de 16 jours. Il offre des images de qualité sur au moins 12 bandes spectrales selon le niveau de traitement l'image. Par ailleurs, l'inconvénient est qu'au niveau de la zone tropicale les cumulus en forte densité réduisent l'exploitation de ces images.

La méthode utilisée pour cette étude à consisté à déterminer la corrélation entre l'épaisseur optique et la réflectance d'atmosphérique d'une part et entre la réflectance de surface et les concentrations de $PM_{2.5}$ d'autre part .Pour chaque bande, RS a été déduite de TOA afin d'obtenir la réflectance atmosphérique. En effet, il a été démontré dans certaines une relation étroite entre le AOD et la concentration des $PM_{2.5}$ (Vidot *et al.*, 2007) également entre la réflectance de surface et l'AOD. Partant de ce fait, il a été déduit une relation étroite entre les $PM_{2.5}$ et la réflectance atmosphérique. Cette déduction à permis de déterminer le coefficient de corrélation entre les données de $PM_{2.5}$ et la réflectance atmosphérique (Chu *et al.*, 2003, Sifakis *et al.*, 2002 Chen *et al.*, 2018).

Les particules sont des substances qui agissent directement sur la santé des populations par inhalation sur une certaine période d'exposition. Pour prévenir ces risques de santé, l'OMS en 2005 a fixé le niveau de concentration moyen de $PM_{2.5}$ tolérables à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 h et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par an.

Les résultats obtenus de notre étude révèlent qu'en janvier 2015 est de $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en janvier 2016 est de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en décembre 2016 $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en janvier 2019 est de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et enfin en janvier 2020 est de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Avec une estimation de concentration générale de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les estimations de concentration de $PM_{2.5}$ en ces différentes dates sont plutôt constantent mais élevés par rapport au seuil de l'OMS. Les travaux de Gnamien *et al.*(2020) on relevé après l'analyse de la contribution relative des particules fines aux particules grossières que les $PM_{2.5}$ contribuent aux PM_{10} à

moins de 40 % à Korhogo mais à plus de 50 % à Abidjan. Les concentrations moyennes quotidiennes de $PM_{2.5}$ sont toutes supérieures aux normes de l'OMS et sont 2 à 8 fois plus élevées à Korhogo, tandis qu'à Abidjan elles sont jusqu'à 4 fois plus élevées.

Une autre étude menée sur Abidjan sur les concentrations de $PM_{2.5}$ par échantillonnage a montré que nos valeurs sont très élevées. Il estime les concentrations de $PM_{2.5}$ oscillant entre 2.2 et 18, $9\mu g/m^3$ (Djossou *et al.*, 2018).

Les résultats ont montré que la commune de Cocody était une zone de concentration très forte de $PM_{2.5}$. Cette hausse de la concentration des $PM_{2.5}$ à Cocody est causé le flux du trafic routier importante (Tra et Adou, 2017). La pollution automobile notamment la mise en circulation des vieilles voitures explique donc cette concentration mais aussi les mauvaises pratiques adoptées par les automobilistes.

Les résultats ont montré que la commune de Yopougon également concentre dans sa partie Nord de fortes concentrations de $PM_{2.5}$. En effet, au nord de la commune est implantée une zone industrielle (chevallier, 1983) qui constitue une source de pollution en plus du trafic routier également intense. Par la vitrine d'Abidjan, les émissions anthropiques en Afrique contribuent de façon importante à la pollution atmosphérique. Selon Adon, l'activité informelle dans cette commune est dominante : le fumage de poisson par les femmes y est l'une des premières sources d'émission. Les prélèvements ont montré une concentration en $PM_{2.5}$ de $133.7\mu g/m^3$ (Adon, 2019). Ce qui dépasse largement les concentrations estimées dans cette étude. Cela s'explique sur plusieurs raisons. D'abord, nos estimations sont faites à l'échelle de la ville, tandis que lui a l'échelle de la commune. Aussi, sa méthode a consisté à faire des prélèvements directs à l'aide d'instruments de mesures.

Les résultats obtenus ont montré la présence de polluants atmosphériques le 07 janvier 2020 sur une grande partie du territoire de la ville d'Abidjan. Cette présence avait annoncée par le SODEXAM pour début Janvier 2020.

Conclusion

Au terme de notre analyse nous retenons que la télédétection est un outil qui offre une large gamme d'application. Il est exploité dans divers domaines aussi bien pour la cartographie des entités d'occupation sol qu'à la cartographie des polluants atmosphériques. Elle a permis de faire une cartographie de la répartition spatiale des polluants à Abidjan et les différents niveaux de concentration. Les résultats obtenus après le traitement des données ont montré une tendance évolutive des $PM_{2.5}$ dans la ville d'Abidjan. Ces tendances sont pour la plupart au-dessus du seuil de la qualité de l'air

décrite par l’OMS. Ainsi à l’issue de cette étude, il est important d’alerter les populations sur leur niveau d’exposition afin qu’elles adoptent des attitudes contribuant à réduire l’émission des particules polluantes.

References :

1. Adon, A.J. (2019). *Évaluation de l’impact sur la santé de l’aérosol de combustion pour différentes sources urbaines en Afrique de l’Ouest en saison sèche et humide : caractérisation physico-chimique et toxicologique*. Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse.
2. Alexandre Y. K., Marcel Y. B., Yves A. Y. C. et Célestin A. Y. (2019). *Enjeux des Activités Humaines dans le Maintien de la Diversité Végétale des Forêts Marécageuses de la Sous-Préfecture de Grand-Lahou sur le Littoral Ivoirien*. European Scientific Journal ESJ, vol. 15, n° 15, pp. 24.
3. Aoun Y. (2017). *Les aérosols atmosphériques, qu’est-ce que c’est ?* HAL Id: hal-01555621, pp. 20.
4. Basly L. (2000). *Télé-détection pour la qualité de l’air en milieu urbain. Thèse de doctorat, sciences de technologies de l’information et de la communication*, Université de Nice Sophia Antipolis, France. 182 p.
5. Basly L. (2000). *Télé-détection pour la qualité de l’air en milieu urbain*. PhD Thesis,
6. Boucher O. (2012). *Les aérosols atmosphériques*, in : O. Boucher (Éd.), *Aérosols atmosphériques : Propriétés et impacts climatiques*. Ingénierie et développement durable. Springer, Paris, pp.7-16
7. Cachon F. B. A. (2013). *Étude de pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne : Cas de Cotonou (Bénin): Caractérisation physicochimique des matières particulaires d’origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro.*, Université du Littoral Côte d’Opale; Université d’Abomey-Calavi (Bénin), Benin, 322 p. Consulté à l’adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01367378>
8. Cerema V. B. (2014). *Détection de particules fines par LIDAR*. Bron Cedex Consulté à l’adresse www.cerema.fr
9. Chen Y., Luo X.-S., Zhao Z., Chen Q., Wu D., Sun X., Wu L. et Jin L. (2018). *Summer–winter differences of PM_{2.5} toxicity to human alveolar epithelial cells (A549) and the roles of transition metals*. Elsevier *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 165, pp. 505–509.
10. Chevallier P. (1983). YOPOUGON (COTE D’IVOIRE).
11. Chu Da, YJ Kaufman, G. Zibordi, JD Chern, J. Mao, C. Li, BN Holben *Surveillance globale de la pollution de l’air au-dessus des*

- terres d'EOS-Terra MODIS* J. Géophys. Rés. , 108 (D21) (2003) , p. 4661.
12. Djossou, J., Léon, J.F., Akpo, A.B., Lioussé, C., Yoboué, V., Bedou, M., Bodjrenou, M., Chiron, C., Galy-Lacaux, C., Gardrat, E., Abbey, M., Keita, S., Bahino, J., Touré N'Datchoh, E., Ossouhou, M., Awanou, C.N. (2018). *Mass concentration, optical depth and carbon composition of particulate matter in the major southern West African cities of Cotonou (Benin) and Abidjan (Côte d'Ivoire)*. Atmospheric Chemistry and Physics 18, 6275–6291.
 13. Hadjimitsis D. G., Clayton C. R. I. et Retalis A. (2009). *The use of selected pseudo-invariant targets for the application of atmospheric correction in multi-temporal studies using satellite remotely sensed imagery*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 11, n° 3, pp. 192-200.
 14. Horvath J. S. (1997). *The compressible inclusion function of EPS geofam*. Elsevier Geotextiles and Geomembranes, vol. 15, n° 1-3, pp. 77–120.
 15. Ionescu A., Mayer E., Colda I. (1996). *Méthodes mathématiques pour estimer le champ de concentration d'une pollutant gazeux à partir des valeurs mesurées aux points dispersés*. Pollution Atmosphérique, janvier-mars 1966, pp 78-89.
 16. Jenkerson C. (2020). *Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide.*, vol. Version 3.0, pp. 38.
 17. Kergomard C. (2000). *Pratique des corrections atmosphériques en télédétection : utilisation du logiciel 5S-PC*. CNRS-UMR Géographicités 8504 Cybergeo :European Journal of Geography.
 18. Kouadio K., Adje J., Maesano C., Veronique Y. et Lioussé C. (2019). *PM2.5 concentration and Health impact assessment in Abidjan hospital, Côte d'Ivoire*. LWW Environmental Epidemiology, vol. 3, pp. 215.
 19. Mozafari S. M., Hasanlou M. et Arefi H. (2019). *Air pollution estimation using aerosol optical thickness by oli images in tehran*. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLII-4/W18, pp. 779-782.
 20. Organization W. H. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization
 21. Péré, J.-C., V. Pont, M. Mallet et B. Bessagnet. 2009. *Cartographie des concentrations de surface de PM10 dérivées d'observations satellitaires de l'épaisseur optique des aérosols au-dessus du sud-est de la France*. Recherche atmosphérique 91 (1) : 1 – 8.

22. Remer L. A., Kaufman Y. J., Tanré D., Mattoo S., Chu D. A., Martins J. V., Li R.-R., Ichoku C., Levy R. C. et Kleidman R. G. (2005). *The MODIS aerosol algorithm, products, and validation*. Journal of the atmospheric sciences, vol. 62, n° 4, pp. 947–973.
23. Sako N. et Beltrando G. (2014). *Dynamiques spatiales récentes du Parc National du Banco (PNB) et stratégies de gestion communautaire durable de ses ressources forestières (District d'Abidjan en Côte d'Ivoire)*. Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique (CNRS UMR 8586) EchoGéo, n° 30.
24. Sifakis I.S. (1992). *Potentialités de l'imagerie à haute résolution spatiale pour le suivi de la repartition de pollutions atmosphériques dans la basse troposphère : Etude du cas d'Athènes*. Thèse de Doctorat, Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris 7 Denis Diderot, Paris, 292 p.
25. Stromatas S. (2013). *Contributions relatives des aérosols minéraux et de feux sur la qualité de l'air en Euro-Méditerranée*. PhD Thesis,
26. Techarat P., Veawab A., Piwowar J. M. et Rahman M. (2018). *Mapping Spatial Distribution of Ambient Particulate Matter and Sulfur Dioxide Concentrations Using LANDSAT Data : A Case Study for the Province of Saskatchewan, Canada*. Advances in Environmental Research, vol. 62.
27. Tra F, Adou Yedlock Marie Christiane. (2017), *Transport Routier Et Pollution De L'air : Etude De La Conscience Environnementale Des Automobilistes Dans La Commune De Cocody (Abidjan)*, Vol 13 No 8 (2017): édition de mars de l'ES.
28. Vidot, J, Richard S, et Didier R (2007). *Atmospheric Particulate Matter (PM) Estimation from SeaWiFS Imagery* . Remote Sensing of Environment 111, n° 1 (novembre 2007) 1-10.

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

Amani Abdou,

Ichaou Aboubacar,

Département Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la
Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niamey, Niger

Karim Saley,

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques
Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi Niger

Mahamane Ali, Professeur titulaire

Université de Diffa, Niger

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p134](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134)

Submitted: 17 September 2021

Accepted: 07 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Abdou A., Aboubacar I., Saley K., & Ali M., (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, ESJ, 17(43), 134.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p134>

Résumé

Les banquettes sylvopastorales constituent l'une des techniques les plus utilisées au Niger pour restaurer les terres dégradées de plateaux. La présente expérimentation a été réalisée sur un plateau dégradé de Simiri dans l'Ouest nigérien où des banquettes sylvopastorales ont été installées. L'objectif est d'évaluer la survie et la croissance des plants de quatre essences locales de Combretaceae, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*. Les méthodes utilisées ont consisté d'abord à délimiter un espace sur le plateau dégradé où 40 banquettes sont confectionnées et un autre espace sans banquette pour servir de témoin. Dans les banquettes, 200 plants de chaque espèce ont été plantés à raison de 20 plants/banquette. Deux mois après la plantation un suivi périodique de l'humidité du sol et des paramètres dendrométriques des plants a été effectué

durant 30 mois. Les paramètres dendrométriques mesurés sont le taux de survie, la hauteur et le diamètre au collet du grand axe caulinaire, le nombre de rejets et de feuilles. Les résultats obtenus ont montré d'une part que les banquettes améliorent les conditions hydriques du sol de 18,19 % par rapport à la zone non traitée (sans banquette) et d'autre part que les meilleurs taux de survie et de croissance ont été observés au niveau des espèces *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Combretum micranthum*. Ainsi, les espèces *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Combretum micranthum* peuvent être utilisées dans le reboisement de sites aménagés avec des banquettes sylvopastorales pour restaurer les terres de plateaux au Niger.

Mots clés : Combretaceae, Croissance, Restauration, Banquettes, Simiri.

Impacts Of A Degraded Land Restoration Technique On The Survival And Growth Of Four Plants Combretaceae Species In The Sahelian Zone Of Niger

*Amani Abdou,
Ichaou Aboubacar,*

Département Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niamey, Niger

Karim Saley,

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques
Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi Niger

Mahamane Ali, Professeur titulaire

Université de Diffa, Niger

Abstract

Silvopastoral banquettes are one of the techniques mostly used in Niger to restore degraded plateau lands. The present experiment was carried out on a degraded Simiri plateau in western Niger where silvopastoral banquettes have been installed. The objective is to assess the survival and growth of plants of four local species of Combretaceae, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, and *Guiera senegalensis*. The methods used consisted first of delimiting a space on the degraded plateau where 40 banquettes are made and another space without a banquette to serve as a control zone. In the banquettes, 200 plants of each species were planted at 20 plants/banquette. Two months after planting, periodic monitoring of soil moisture and dendrometric parameters of the plants was carried out for 30 months. The dendrometric parameters measured are the

survival rate, the height and the collar diameter of the stem axis, the number of suckers and leaves. The results obtained showed on the one hand that the banquettes improve the water conditions of the soil by 18.19% compared to the untreated zone (without banquettes) and on the other hand that the best survival and growth rates were observed at the level of the species *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* and *Combretum micranthum*. Thus, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, and *Combretum micranthum* species can be used in the reforestation of sites developed with silvopastoral banquettes to restore plateau lands in Niger.

Keywords: Combretaceae, Growth, Restoration, Banquettes, Simiri

Introduction

L'homme tente de maintenir les potentialités du milieu qu'il exploite, en luttant contre sa dégradation. Le maintien et la restauration de la fertilité des sols, la lutte contre l'érosion, contre l'ensablement et la disparition du couvert végétal ou les tentatives pour lutter contre l'aridité en sont des exemples (Aronson *et al.*, 1995). Les techniques les plus utilisées sont celles de conservation des eaux et du sol (CES) et de défense et restauration de sol (DRS). Il s'agit des ouvrages mécaniques tels que les banquettes sur plateau qui sont couramment rencontrées au Niger. Mais la lutte antiérosive pour être efficace doit combiner les approches mécaniques et biologiques complémentaires (Roose, 2004). La plantation des ligneux pérennes est l'une des approches biologiques associées aux ouvrages. En effet, la plantation accélère la reconstitution de la biodiversité, de la fertilité du sol et de la réhabilitation des habitats naturels, tout en constituant des puits de séquestration du carbone (Montagnini *et al.*, 2005). Ainsi, dans cette double approche, la plante ligneuse occupe une place importante et doit jouer un rôle d'autant plus déterminant si elle est choisie judicieusement. Cependant, beaucoup de reboisements ont été effectués avec des espèces exotiques auxquelles on attribue à tort ou à raison l'avantage d'avoir une croissance rapide en occultant la question relative à leur adaptation durable au milieu. Pourtant, après une analyse de 16 cas en milieux semi-arides tropicaux et méditerranéens, il ressort que pour réussir une restauration rapide des terres dégradées, il faut, en dehors des considérations foncières, respecter six règles dont le choix des plantes adaptées localement mais non invasives (Roose *et al.*, 2011). Ainsi, dans le cadre d'une série d'investigation sur l'aptitude des espèces locales à restaurer les terres dégradées, 4 espèces de Combretaceae (*Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*) ont été testées.

L'objectif principal de cette expérimentation est d'évaluer la survie et la croissance de 4 espèces plantées sur un site aménagé avec des banquettes sylvopastorales dans les conditions sahéliennes.

Matériel et méthodes

Site d'étude et technique de restauration

L'expérimentation s'est déroulée dans la commune rurale de Simiri dans l'Ouest nigérien sur un site de plateau situé à 2 km à l'est du village de Simiri (figure 1)

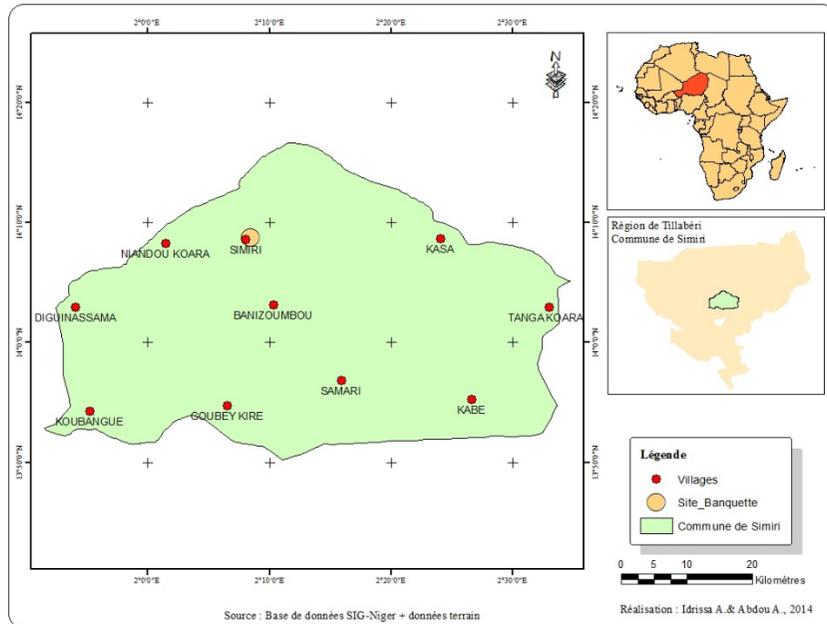


Figure 1 : Localisation de la commune de Simiri et du site de restauration

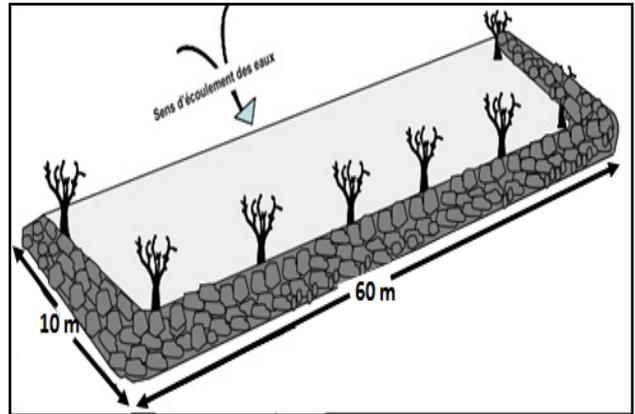
Le site de plateau (14°08'45,2'' de latitude Nord et 2°08' 27,2'' de longitude Est) est un terrain quasi plat de 6,6 ha, caractérisé par une dominance des croûtes gravillonnaires et des croûtes d'érosion. Le sol, de type ferrugineux tropical non ou peu lessivé, est peu profond (profondeur 50 à 60 cm). Il appartient à la catégorie des sols squelettiques de types régosols et lithosols formés sur grès argileux du continental (Ambouta, 1997). Le ruissellement est diffus avec un drainage modéré.

Pour restaurer ce terrain, la technique d'aménagement utilisée a consisté à la confection de 40 banquettes en avril 2011. Une banquette est un ouvrage en terre, en pierres ou mixte, en forme de diguette antiérosive, réalisée selon les courbes de niveau et de façon perpendiculaire à la pente principale (PAC, 2006). Elle se compose d'un bourrelet à l'aval et d'un fossé à l'amont dans lequel sont implantées des espèces végétales (figure 2). Les banquettes sont disposées en quinconce avec les normes techniques suivantes : une longueur

totale de 80 m ; une profondeur de la cuvette variant de 40 cm à 60 cm ; un écartement entre deux ailes de deux banquettes successives de 10 m sur une ligne. L'écartement entre deux lignes est de 25 à 30 m pour une densité de 6 banquettes par ha. Les banquettes ont pour rôle de capter l'eau de ruissellement et d'améliorer son infiltration dans le sol. Elles permettent donc d'accroître le rendement sylvopastoral.



A



B

Figure 2 : Photo d'une banquette sylvopastorale sur site de plateau (A) avec illustration de ses dimensions (B)

Le dispositif était un plan expérimental entièrement randomisé (PER) constitué de 4 traitements en 10 répétitions. Le traitement est formé par 20 plants de chacune de 4 espèces (*C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* et *G. senegalensis*). Il est planté dans chaque banquette 20 plants selon un écartement de 4 m. Ainsi, 800 plants des 4 espèces de Combretaceae soit 200 plants par espèce ont été suivis. Le site a été mis en défens au moyen d'une clôture en fils barbelés. A la proximité immédiate de ce site, un espace de même superficie mais non clôturé et non traité a été considéré comme site témoin.

Choix des espèces plantées

Quatre espèces locales ont été retenues de concert avec la population locale de Simiri : *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* et *Guiera senegalensis*. Le choix de ces espèces se justifie par des raisons écologiques et socioéconomiques. Sur le plan écologique ces 4 espèces étaient dominantes au niveau de la végétation de cette commune et seraient donc plus indiquées pour la restauration de ce site. Sur le plan socioéconomique, plusieurs références notamment Mahamane *et*

al (2009) et Ichaou (2000) ont souligné leur utilisation dans l'agroforesterie, l'alimentation du bétail, la médecine traditionnelle et dans l'énergie domestique.

Plantation

La plantation s'est déroulée le 18 août 2011 avec des plants dont les paramètres dendrométriques (tableau 1) régulièrement mesurés en pépinière étaient connues ce qui a permis le suivi des paramètres de croissance en milieu réel.

Tableau 1 : Paramètres dendrométriques moyens des plants cinq jours avant la plantation

Espèces	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen (mm)	Biomasse foliaire moyenne (g de MS par plant)
<i>Combretum glutinosum</i>	7,71 ± 2,94	2,79 ± 0,46	5,79 ± 1,51
<i>Combretum micranthum</i>	17,37 ± 6,05	2,81±0,41	2,79 ± 0,93
<i>Combretum nigricans</i>	18,06 ± 5,84	2,68 ± 0,46	2,45 ± 0,58
<i>Guiera senegalensis</i>	25,8 ± 0,81	3,22 ± 0,7	5,59 ± 1,53

MS : matière sèche

Suivi de la dynamique de l'eau du sol, des paramètres dendrométriques des espèces plantées

Compte tenu de l'importance de l'humidité du sol sur la croissance des plantes, un suivi régulier de ce paramètre a été effectué sur les deux sites au moyen de la sonde « DIVINER 2000 ». Pour ce faire, il a été installé un tube d'accès compatible au « DIVINER 2000 » au niveau d'un ouvrage par site. Il a également été installé les mêmes tubes de mesures dans les zones témoins.

La sonde DIVINER 2000 mesure l'humidité volumique sur chaque 10 cm de profondeur jusqu'à une profondeur maximale de 160 cm. Pour chaque niveau de profondeur, l'appareil effectue deux mesures ce qui permet de calculer la moyenne arithmétique par niveau. Le stock hydrique est obtenu en cumulant les valeurs d'humidité mesurées de 10 en 10 cm. Le tube était installé au milieu de la banquette (figure 3) à une profondeur de 100 cm (y compris la hauteur de la digue) dans le fossé, le long de la ligne des trous de plantation.

Une sonde à neutron/gamma densimètre de marque CPN 501 a également été utilisée une seule fois (le 19 octobre 2011) pour mesurer la densité apparente du sol des sites de restauration et de leurs témoins. Cette sonde utilise les mêmes tubes d'accès que la sonde Diviner 2000 mais effectue les mesures de densité de 30 cm en 30 cm d'épaisseur

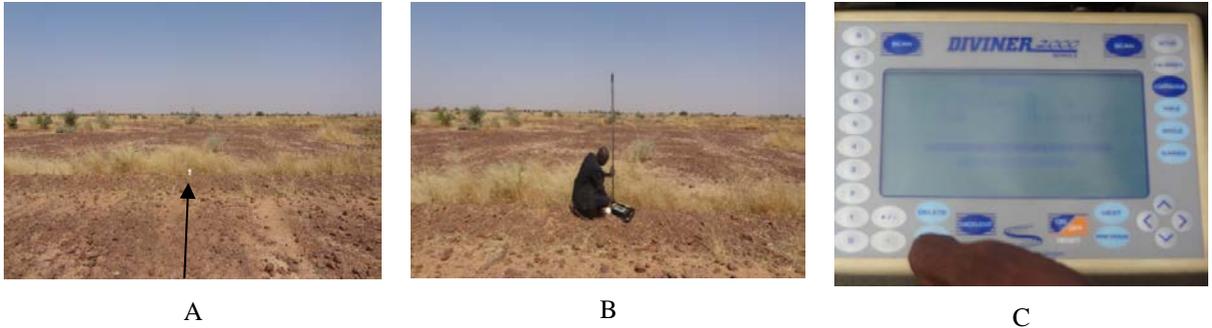


Figure 3 : Dispositif de suivi de l'humidité du sol sur les sites de restauration

A : Tube implanté dans une banquette ; B : Mesure de l'humidité du sol avec la sonde DIVINER 2000 ; C : Console de la sonde DIVINER 2000 (Photo : Amani A. 2013)

Les mesures de l'humidité du sol sur les sites de restauration et leurs témoins ont commencé deux mois après la plantation et ont duré 30 mois (d'octobre 2011 à mars 2014). La périodicité de ces mesures est mensuelle pendant la saison sèche et décadaire pendant la saison des pluies. La pluviométrie a été suivie durant toute la période au moyen d'un pluviomètre installé à environ 500 m du site.

Les mesures dendrométriques ont débuté au même moment que celles de l'humidité soit deux mois après la plantation. Les paramètres mesurés sont le taux de survie, la hauteur et le diamètre au collet du grand axe caulinaire, le nombre de rejets et le nombre de feuilles. Le taux de survie est défini par le pourcentage de plants vivants à la fin de la première saison sèche suivant la plantation et aussi à la fin des saisons sèches suivantes.

Le nombre de feuilles comptées a été converti en biomasse sèche au moyen du rapport masse sèche sur masse fraîche issu d'un échantillon foliaire de chaque espèce, prélevé sur site à cet effet. Le séchage a été effectué à l'étuve à 70 °C jusqu'à la stabilisation de la masse sèche. Des accroissements courants mensuels et annuels, des accroissements moyens mensuels et annuels ont été calculés sur les hauteurs et diamètres afin d'identifier les périodes favorables de la croissance. Les concepts d'accroissement sont définis par Rondeux (1999) ainsi qu'il suit : (i) l'accroissement est la quantité de matière élaborée par unité de temps. Il correspond à la différence entre deux valeurs prises par une variable dendrométrique donnée à des âges déterminés ; (ii) l'accroissement moyen annuel équivaut à l'accroissement total divisé par l'âge ou à la moyenne d'accroissements instantanés annuels ; (iii) l'accroissement courant annuel est l'accroissement qui se produit dans le courant d'une année. C'est en d'autres termes la moyenne annuelle de l'accroissement au cours d'une période de quelques années précédant le moment de la mesure.

Les mesures de hauteur ont été effectuées à l'aide d'un ruban métrique (3 m). Les diamètres au collet ont été mesurés au moyen d'un pied à coulisse (150 mm). Afin de limiter les biais dans les mesures, les collets ont été préalablement marqués au moyen d'une peinture indélébile. Cette dernière permet de garantir la mesure au même endroit (collet).

La périodicité des mesures était mensuelle au cours de la première campagne (d'octobre 2011 à octobre 2012). Elle a été réajustée par la suite pour être mensuelle pendant la saison des pluies et bimestrielle (tous les deux mois) pendant la saison sèche. Ce réajustement est dû au fait que la variation mensuelle des paramètres dendrométriques constatée pendant la saison sèche de la première campagne est très faible voire nulle.

Analyse statistique des données

Le traitement et l'analyse statistique des données ont été réalisés au moyen de deux logiciels JMP 9.00 et logiciel R (R development Core T., 2010). La comparaison des moyennes a été réalisée au seuil de signification de 5 % de l'analyse des variances (ANOVA) et du test de Kruskal- Wallis. Une comparaison post hoc par le test de T de Student pour ANOVA et celui de Wilcoxon pour le test de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour classer les moyennes.

Résultats

Dynamique de l'eau sur le site de restauration

En saison sèche, l'évolution de l'humidité volumique (figure 4) sur le site de banquettes a montré qu'en profondeur il n'y avait pas de différence significative ($P = 0,165$) entre la zone témoin ($9,95 \pm 2,78$ %) et la zone en restauration ($11,88 \pm 3,17$ %). Par contre, il a été enregistré une différence très significative ($P = 0,004$) entre l'humidité de la zone en restauration ($21,99 \pm 2,66$ %) et celle de la zone témoin ($18,52 \pm 2,06$ %) en saison des pluies. En considérant toute la période d'observation, la différence est également significative ($P = 0,031$) entre les deux moyennes ($17,25 \pm 6,84$ % pour le site de restauration et $13,86 \pm 6,16$ % pour le témoin). Aussi bien sur le site de banquettes que sur la zone témoin, les valeurs de l'humidité ont augmenté régulièrement de la surface en profondeur. Les valeurs minimales ont été enregistrées à 10 cm et les maximales à 100 cm.

La densité apparente moyenne du sol sur le site de banquettes sur plateau était de $1,41 \pm 0,09$. Celle de son témoin était de $1,46 \pm 0,12$.

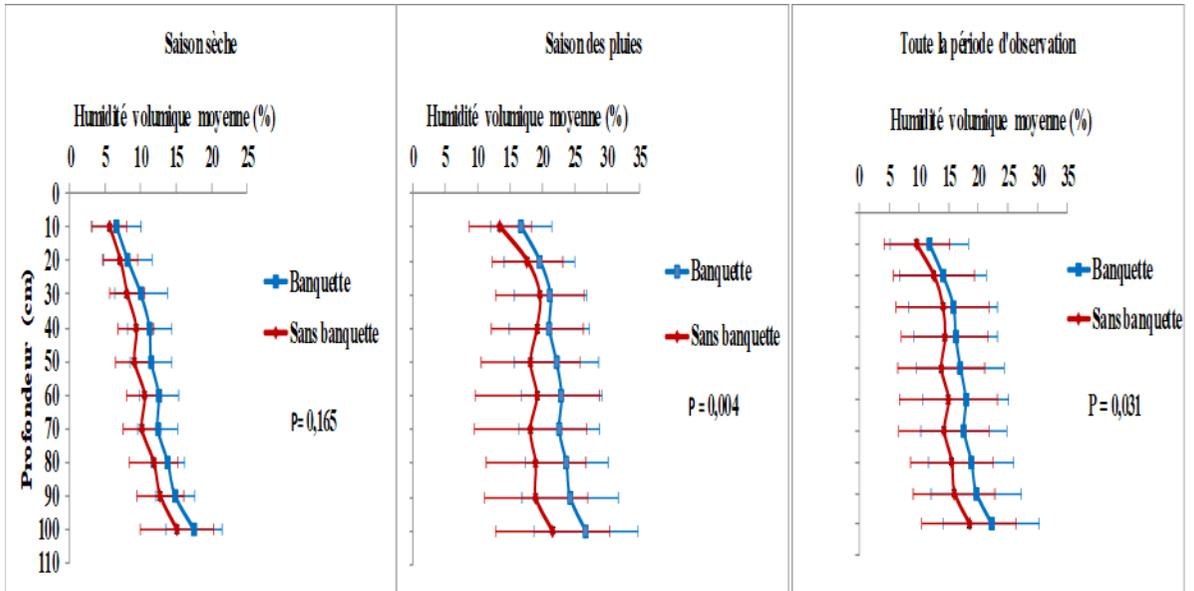


Figure 4 : Comparaison de l'humidité volumique moyenne du sol en profondeur sur le site de banquettes

Les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l'issue de Wilcoxon et les barres d'erreurs sont des écart-types

L'humidité volumique moyenne sur 10 cm d'épaisseur (figure 5) a enregistré souvent une hausse en fonction de la quantité des pluies tombées l'avant-veille et /ou la veille (de relevé de l'humidité) et du temps d'attente avant la pluie suivante. Les moyennes de l'humidité volumique enregistrées dans les banquettes et dans la zone témoin sont significativement différentes en saison des pluies et durant toute la période d'observation ($P_2 = 0,000$, $P_3 = 0,026$). Mais en saison sèche, aucune différence n'a été enregistrée ($P_1 = 0,452$). A partir du mois de juillet 2013, les valeurs de l'humidité des zones en restauration et des témoins sont confondues, c'est-à-dire qu'il n'existait plus de différence significative entre elles ($P = 0,442$). Cela indique qu'à partir de cette date, les banquettes et les demi-lunes ne jouaient plus efficacement leur rôle de captage et d'infiltration. Ainsi, il ressort qu'en l'absence d'entretien régulier les banquettes s'ensablent et se combrent en 3 ou 4 ans et ne peuvent plus lutter contre l'érosion hydrique

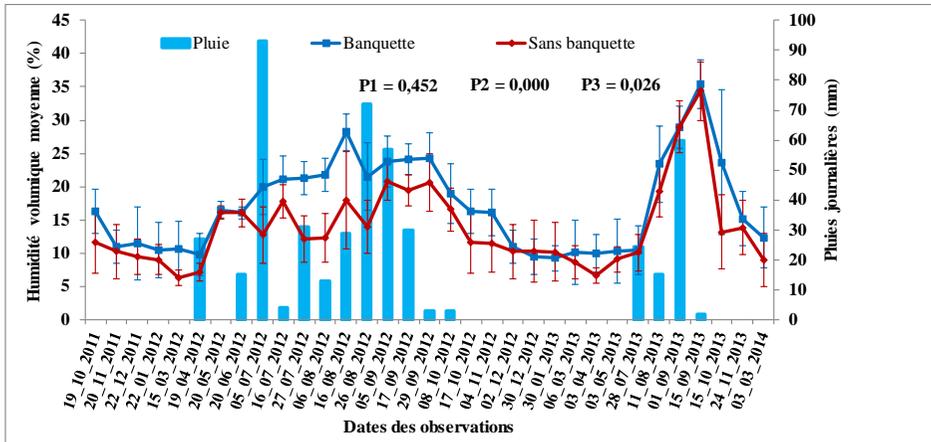


Figure 5 : Comparaison de l’Humidité volumique du sol entre le site banquettes et son témoin en relation avec les pluies journalières enregistrées l’avant-veille et/ou la veille

Les valeurs de p mentionnées sont les p-value obtenues à l’issue du test de Wilcoxon (P_1 = p-value issue de la comparaison en saison sèche 2012-2013 ; P_2 = p-value issue de la comparaison en saison des pluies 2012 ; P_3 = p-value issue de la comparaison sur toute la période d’observation)

Impacts de la technique de banquettes sur la survie et la croissance de quatre espèces de Combretaceae

Evolution des paramètres dendrométriques

L’évolution des paramètres dendrométriques moyens au cours de 4 périodes après la plantation (12 mois, 18 mois 24 mois et 31 mois) a montré que sur le site de banquettes, la hauteur, le diamètre au collet, la biomasse foliaire sèche et le nombre de rejets ont enregistré des différences hautement significatives entre les 4 espèces (tableau 2 et figures 6, 7 et 8). Les valeurs des écart-types de ces paramètres indiquaient des variations interspécifiques et intraspécifiques fortes. L’espèce *G. senegalensis* a enregistré de façon continue la meilleure performance sur les 4 paramètres dès l’âge de 18 mois. À titre illustratif, la comparaison de la performance de *G. senegalensis* par rapport à celles des autres espèces après 31 mois de plantation indique que : (i) la moyenne en hauteur de *G. senegalensis* était de $124,53 \pm 56,09$ cm. Elle est secondée par *C. micranthum* avec $41,33 \pm 17,94$ cm. *C. glutinosum* et *C. nigricans* ont occupé la troisième place avec des hauteurs respectives statistiquement égales ($40,58 \pm 37,25$ cm et $28,94 \pm 15,64$ cm) ; (ii) le diamètre moyen de l’axe caulinaire principal a été de $20,04 \pm 12,01$ mm contre ceux de *C. glutinosum* ($15,02 \pm 9,70$ mm) et *C. micranthum* ($12,28 \pm 4,74$ mm) qui sont statistiquement identiques. La troisième place est détenue par *C. nigricans* avec une moyenne de $9,94 \pm 4,58$ mm ; (iii) en ce qui concerne la biomasse foliaire, le score de *G. senegalensis* était de $115,46 \pm 225,06$ g de

matière sèche. *C. glutinosum* occupe le second rang avec une moyenne $25,91 \pm 46,90$ g de matière sèche. *C. micranthum* et *C. nigricans* avec des moyennes statistiquement égales ($2,73 \pm 4,74$ et $1,67 \pm 2,92$) occupent la dernière position ; (iv) quant à l'aptitude à émettre des rejets de souches, la performance de *G. senegalensis* (3,65 rejets par pied) a été sans commune mesure avec celle des autres espèces qui ont généré chacune moins d'un rejet par souche.

Le taux de survie a été le cinquième paramètre. A la différence des autres paramètres, la survie n'est pas significativement différente entre les 4 espèces durant les 12 à 18 mois après la plantation. A partir de l'âge de 2 ans ce taux a connu une évolution différente si bien qu'à l'âge de 31 mois, *G. senegalensis* (66,5 %) et *C. glutinosum* (60,5 %) ont enregistré les meilleures performances. La deuxième place est occupée par *C. micranthum* avec 52,5 %. L'espèce *C. nigricans* a moins survécu avec un taux de 31,5 %.

Tableau 2 : Evolution des paramètres dendrométriques moyens des plants des 4 espèces de Combretaceae sur le site de banquettes

Taux de survie (%)				
Espèces	12 mois	18 mois	24 mois	31 mois
<i>C. glutinosum</i>	66,5 a	66 a	61 a	60,5 a
<i>C. micranthum</i>	59 a	59 a	56,5 a	52,5 b
<i>C. nigricans</i>	44,5 a	42,5 a	37 b	31,5 c
<i>G. senegalensis</i>	69,5 a	67,5 a	67,5 a	66,5 a
P-value	0,2780	0,1976	0,0358	0,0011
Hauteur (cm)				
	12 mois	18 mois	24 mois	31 mois
<i>C. glutinosum</i>	14,27 ± 6,40 c 35,14 ± 11,57	24,02 ± 19,36 c	28,30 ± 20,11 c	40,58 ± 37,25 c
<i>C. micranthum</i>	a	42,05 ± 15,62 b	43,97 ± 16,37 b	41,33 ± 17,94 b
<i>C. nigricans</i>	20,93 ± 8,51 b 33,85 ± 11,65	30,03 ± 14,56 c	30,64 ± 15,66 c	28,94 ± 15,64 c
<i>G. senegalensis</i>	a	80,44 ± 33,28 a	96,41 ± 40,89 a	124,53 ± 56,09 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,001
Diamètre au collet (mm)				
	12 mois	18 mois	24 mois	31 mois
<i>C. glutinosum</i>	5,95 ± 2,20 b	9,45 ± 5,13 b	10,93 ± 5,73 b	15,02 ± 9,70 b
<i>C. micranthum</i>	6,81 ± 2,01 a	10,06 ± 3,29 ab	11,08 ± 3,54 ab	12,28 ± 4,74 b
<i>C. nigricans</i>	5,69 ± 2,13 b	7,75 ± 3,30 c	8,30 ± 3,46 c	9,94 ± 4,58 c
<i>G. senegalensis</i>	5,72 ± 2,20 b	11,13 ± 5,64 a	13,32 ± 7,15 a	20,04 ± 12,01 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,001
Biomasse foliaire sèche (g)				
	12 mois	18 mois	24 mois	31 mois
<i>C. glutinosum</i>	10,04 ± 6,93 b	9,26 ± 11,98 b	22,93 ± 26,57 c	25,91 ± 46,90 b
<i>C. micranthum</i>	13,38 ± 8,63 a	3,62 ± 8,37 c	27,87 ± 28,13 b	2,73 ± 4,74 c
<i>C. nigricans</i>	3,93 ± 2,71 c 15,98 ± 11,86	1,76 ± 2,97 d 63,64 ± 92,55 a	6,88 ± 6,09 d	1,67 ± 2,92 c 115,46 ± 225,06
<i>G. senegalensis</i>	a		155,18 ± 205,41 a	a
P-value	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nombre de rejets par pied				
	12 mois	18 mois	24 mois	31 mois

<i>C. glutinosum</i>	0,05 ± 0,22 c	0,26 ± 0,92 c	0,25 ± 0,74 bc	0,21 ± 0,72 c
<i>C. micranthum</i>	0,20 ± 0,43 b	0,35 ± 0,59 b	0,30 ± 0,58 b	0,41 ± 1,21 b
<i>C. nigricans</i>	0,10 ± 0,37 c	0,25 ± 0,71 c	0,19 ± 0,59 c	0,14 ± 0,50 c
<i>G. senegalensis</i>	1,26 ± 2,6 a	3,79 ± 4,20 a	3,67 ± 4,10 a	3,65 ± 3,99 a
P-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes

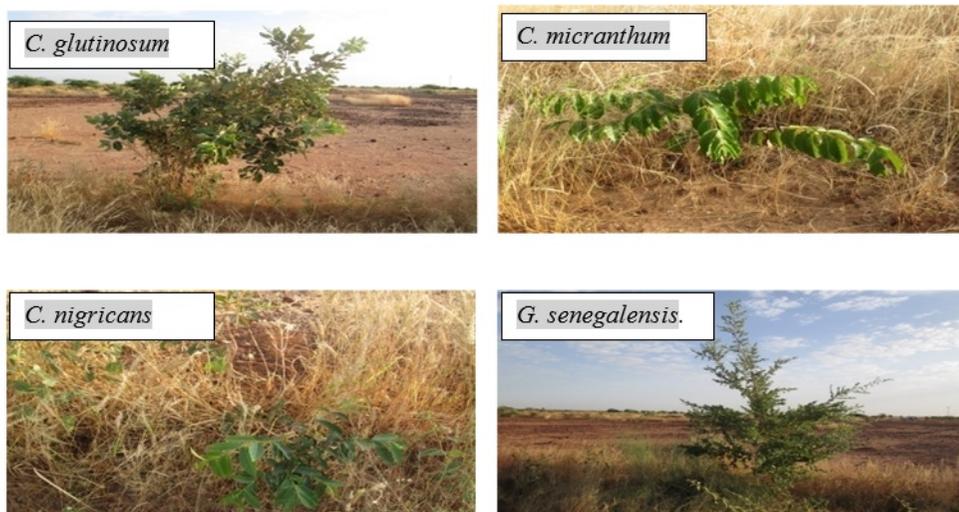


Figure 6 : Plants de 4 espèces de Combretaceae sur le site de banquettes (31 mois) (Photo : Amani A. 2014)

Evolution des paramètres dendrométriques

Les 5 paramètres dendrométriques comparés entre les 4 espèces ont montré des différences significatives ($P < 0,05$) (figure 7).

Les courbes de hauteur ont une allure sigmoïde. On note une diminution de hauteur moyenne pendant la période de mars à juin. Cette évolution de hauteur traduit une croissance rythmique.

Les courbes du diamètre au collet révèlent également une forme sigmoïde avec des légères chutes pendant la période de mars à juin. Cette allure traduit également une croissance rythmique du diamètre.

L'évolution de la biomasse foliaire a mis en évidence la phénologie de ces 4 espèces. Des phases de feuillaison et défeuillaison sont observées chez les espèces caducifoliées ou semi caducifoliées *C. micranthum* et *C. nigricans*. La perte des feuilles est partielle chez *C. glutinosum* et *G. senegalensis* qui sont semi sempervirentes ou sempervirentes.

Enfin, les courbes du nombre moyen de rejets ont montré que *G. senegalensis* est dotée d'une forte capacité précoce à émettre des rejets de souche.

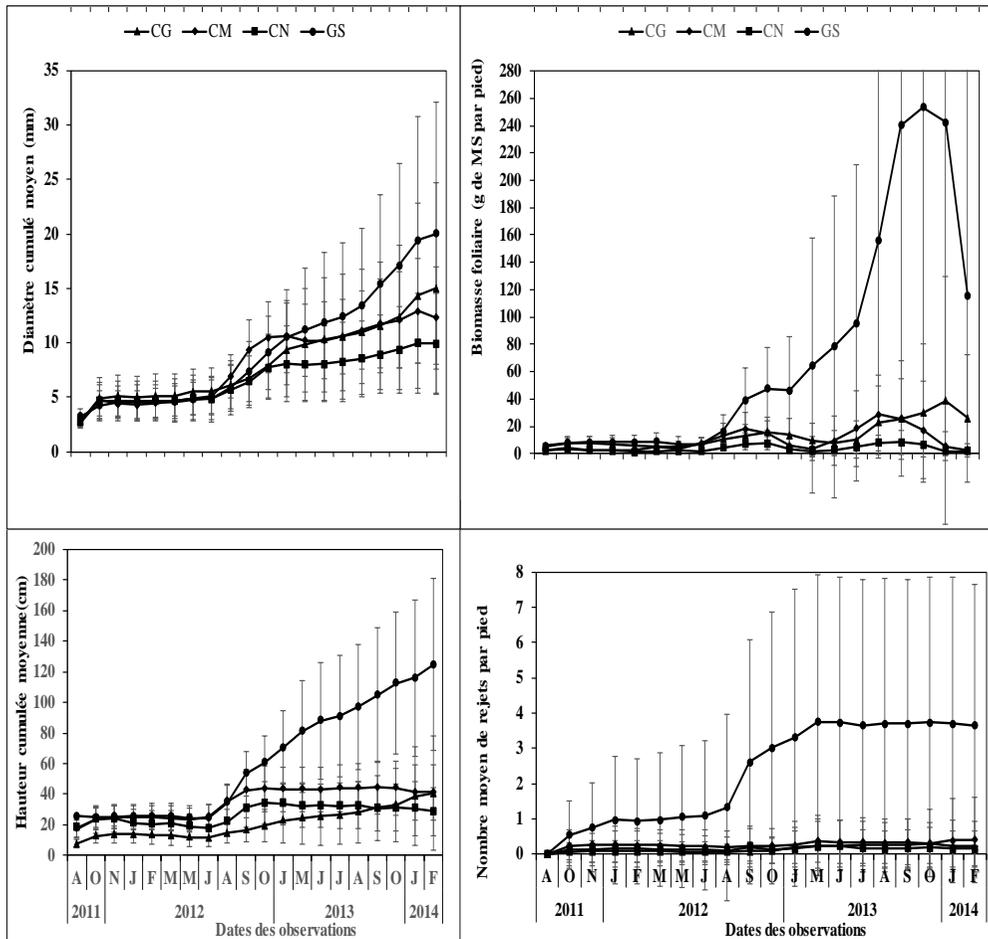


Figure 7 : Comparaison des paramètres dendrométriques (diamètre cumulé moyen, hauteur cumulée moyenne, biomasse foliaire moyenne et nombre moyen de rejets) des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage
 MS : matière sèche

La survie des plants a connu 2 périodes cruciales de mortalité que sont la période octobre novembre 2011 et la période mars à juin 2012 avec un pic en octobre (figure 8). En effet, il a été observé d'octobre à novembre une mortalité de 17 % pour *C. glutinosum* (13 % en octobre), 22,5 % pour *C. micranthum* (19,5 % en octobre), 24 % pour *C. nigricans* (19 % en octobre) et 25,5 % pour *G. senegalensis* dont 23,5 % en octobre. De mars à juin 2012, les

mortalités enregistrées étaient de 12,5 % pour *C. glutinosum*, 14,5 % pour *C. micranthum*, 23,5 % pour *C. nigricans* et 3,5 % pour *G. senegalensis*.

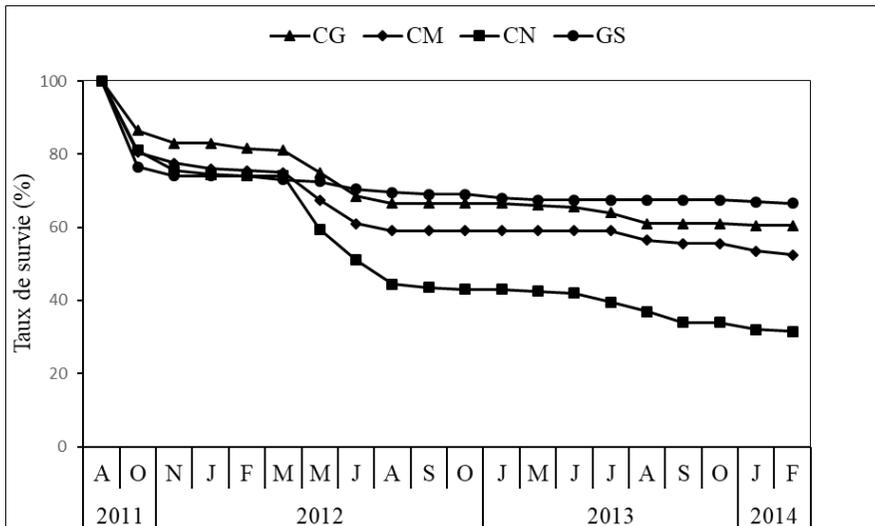


Figure 7 : Comparaison des paramètres dendrométriques (diamètre cumulé moyen, hauteur cumulée moyenne, biomasse foliaire moyenne et nombre moyen de rejets) des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage
 MS : matière sèche

La survie des plants a connu 2 périodes cruciales de mortalité que sont la période octobre novembre 2011 et la période mars à juin 2012 avec un pic en octobre (figure 8). En effet, il a été observé d'octobre à novembre une mortalité de 17 % pour *C. glutinosum* (13 % en octobre), 22,5 % pour *C. micranthum* (19,5 % en octobre), 24 % pour *C. nigricans* (19 % en octobre) et 25,5 % pour *G. senegalensis* dont 23,5 % en octobre. De mars à juin 2012, les mortalités enregistrées étaient de 12,5 % pour *C. glutinosum*, 14,5 % pour *C. micranthum*, 23,5 % pour *C. nigricans* et 3,5 % pour *G. senegalensis*.

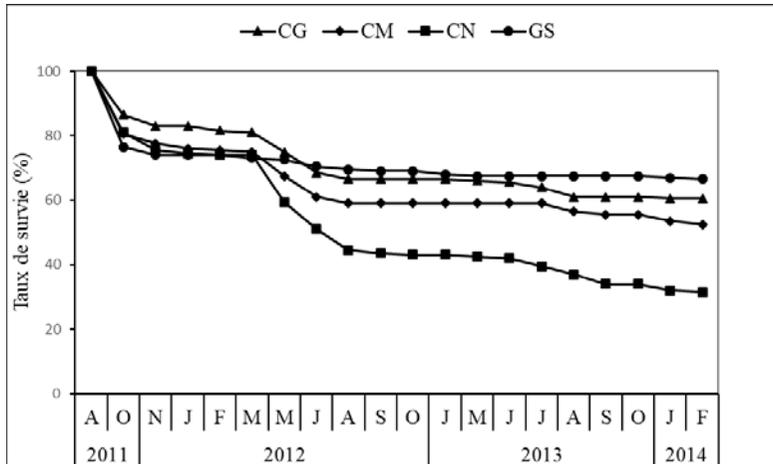


Figure 8 : Comparaison du taux de survie des plants des quatre espèces au cours des 31 mois d'élevage

CG : *Combretum glutinosum* ; CM : *Combretum micranthum* ; CN : *Combretum nigricans* ; GS : *Guiera senegalensis*

Accroissements en hauteur et en diamètre des espèces

Les accroissements mensuels et annuels en hauteur et en diamètre des 4 espèces (tableau 3) ont montré des performances variables. Sur les différents types d'accroissements, des différences significatives en faveur de *G. senegalensis* ont été obtenues. A titre illustratif, cette espèce a enregistré une croissance en hauteur plus grande que les trois autres avec un accroissement moyen annuel de $38,96 \pm 22,13$ cm. Elle est secondée par *C. glutinosum* ($12 \pm 14,70$ cm) et *C. micranthum* ($9,45 \pm 7,08$ cm) dont les moyennes étaient statistiquement égales. La croissance annuelle la plus faible a été observée au niveau de *C. nigricans* ($4,29 \pm 6,17$ cm).

En ce qui concerne la croissance diamétrique, la hiérarchie constatée était la même que celle de l'accroissement moyen annuel en hauteur.

Tableau 3 : Récapitulatif comparatif des accroissements courants et moyens des 4 espèces sur le site de banquettes au cours de la période d'observation

Accroissements	Paramètres	Espèces				P valeur
		<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	
ACM	Hauteur (cm)	$1,09 \pm 1,09$ b	$0,98 \pm 2,29$ b	$0,57 \pm 2,03$ b	$3,72 \pm 3,79$ a	0,0065
	Diamètre (mm)	$0,38 \pm 0,31$ b	$0,37 \pm 0,57$ b	$0,26 \pm 0,34$ bc	$0,60 \pm 0,57$ a	0,0307

AMM	Hauteur (cm)	1,08 ± 1,22 b	0,79 ± 0,59 b	0,36 ± 0,51 c	3,25 ± 1,84 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	0,40 ± 0,32 b	0,31 ± 0,16 b	0,24 ± 0,15 c	0,55 ± 0,39 a	< 0,0001
ACA	Hauteur (cm)	14,02 ± 24,25 b	7,6 ± 15,64 b	2,78 ± 15,89 c	39,86 ± 41,34 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	5,11 ± 5,87 b	3,49 ± 2,97 c	2,81 ± 3,09 d	7,28 ± 7,93 a	< 0,0001
AMA	Hauteur (cm)	12 ± 14,70 b	9,45 ± 7,08 b	4,29 ± 6,17 c	38,96 ± 22,13 a	< 0,0001
	Diamètre (mm)	4,83 ± 3,83 b	3,74 ± 1,87 b	2,87 ± 1,81 c	6,64 ± 4,74 a	< 0,0001

ACM : Accroissement courant mensuel ; AMM : Accroissement moyen mensuel ; ACA : Accroissement courant annuel ; AMA : Accroissement moyen annuel ; Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne ne sont pas statistiquement différentes

Période de croissance et relation stock hydrique du sol - accroissements courants mensuels sur le site de banquettes

Les accroissements courants mensuels (ACM) en hauteur et en diamètre ont varié en fonction des espèces, des saisons et des années (figures 9 et 10). Les ACM en hauteur et en diamètre sont positifs ou négatifs et sont maximaux pendant la période août à septembre. Le stock hydrique du sol a montré aussi une variation selon les temps.

les ACM en hauteur et en diamètre de *C. glutinosum* et *G. senegalensis* étaient positifs à partir de juin 2012. Le stock hydrique et les ACM en hauteur et en diamètre ont montré une corrélation positive (figures 8 et 9). Cette corrélation était significative au niveau des 4 espèces à l'exception de *C. glutinosum* où la corrélation de l'ACM en diamètre a été non significative ($r = 0,45$ et $P = 0,0554$).

On constate par ailleurs un synchronisme de l'accroissement courant mensuel en hauteur avec le stock hydrique (figure 9) et également un synchronisme de l'accroissement courant mensuel du diamètre au collet avec le même stock hydrique (figure 10). Ces deux synchronismes traduisent une relation de cause à effet entre le stock hydrique induit par le fonctionnement de la banquette d'une part et la croissance en hauteur et en diamètre de ces espèces d'autre part.

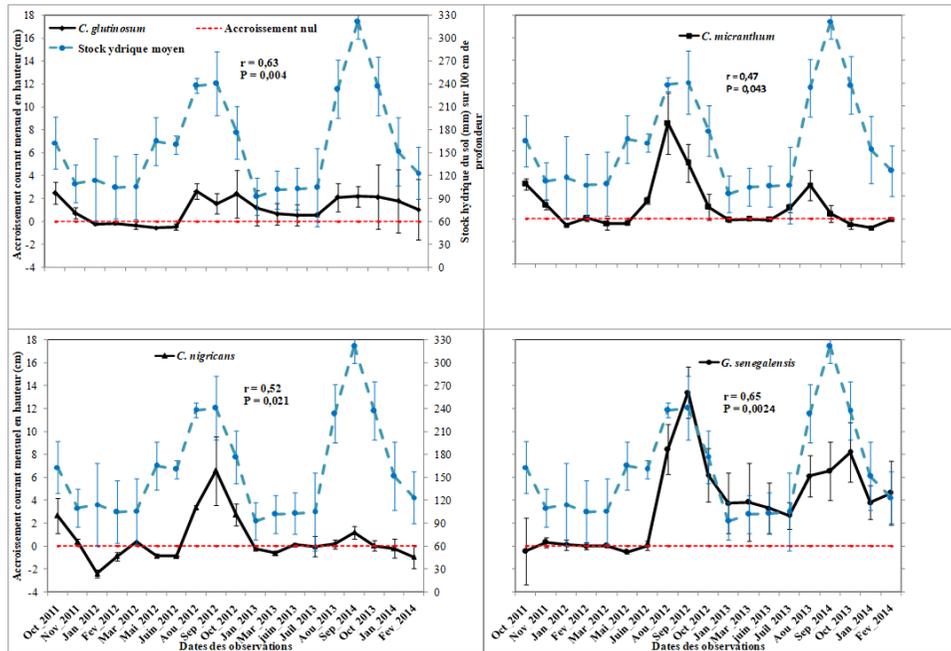


Figure 9 : Synchronisme de l'accroissement courant mensuel en hauteur avec le stock hydrique sur le site de banquettes est le coefficient de corrélation de Pearson et les valeurs de p mentionnées sont les p-value de significativité de r.

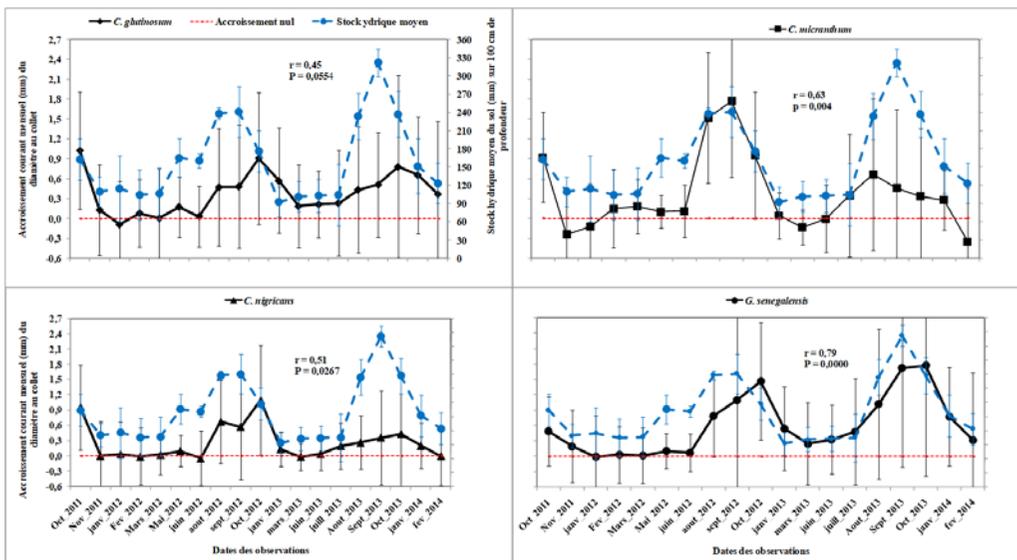


Figure 10 : Synchronisme de l'accroissement courant mensuel du diamètre au collet avec le stock hydrique sur le site de banquettes r est le coefficient de corrélation de Pearson et les valeurs de p mentionnées sont les p-value de significativité de r.

Discussion

Evolution de l'humidité du sol sur les sites de restauration

Les valeurs moyennes de l'humidité volumique ont montré des variations en fonction de la profondeur et des périodes de l'année. L'humidité volumique moyenne pendant la saison des pluies a été de l'ordre de 22 % contre 18,50 % pour le témoin soit une différence de 3,5 % traduisant une augmentation très significative de 18,19 % ($P = 0,004$). Durant la période d'expérimentation, l'humidité du sol a été de 17,3 % au niveau des banquettes contre 13,9 % pour le témoin soit une différence de 3,4 % impliquant une augmentation significative de 23,6 % ($P = 0,031$). Ces résultats, qui confirment ceux de Soumana *et al.* (2011) selon lesquels que les banquettes améliorent les conditions hydriques du sol, sont en étroite relation avec la densité apparente mesurée du sol (1,41) laquelle renseigne sur la porosité. En effet, la porosité d'un horizon est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement (Yaméogo *et al.*, 2013). La densité apparente de 1,41 (comprise entre 1,33 et 1,46) traduit un bon niveau de porosité de 45 à 50 % (Ministère de la Coopération, 1991).

Cette amélioration du profil hydrique du sol induite par les banquettes ne doit pas faire perdre de vue que le témoin jouit aussi d'une bonne humidité volumique (18,5 %). Ce constat rappelle donc la part de la contribution intrinsèque de l'unité géomorphologique (plateau) dans l'amélioration de l'humidité. En effet, le plateau sans faire l'objet de technique de restauration est toujours apte à permettre l'infiltration et le stockage de l'eau de pluie grâce à une pente faible et un substrat peu profond. L'évaporation est alors la principale voie de perte d'eau.

Trois ans environ après la mise en place des ouvrages, les courbes de l'humidité des sites de restauration et des témoins sont confondues, ce qui implique que les banquettes ont cessé de jouer leur rôle de capter les eaux de ruissellement puis de permettre leur infiltration. Cette observation pose la question de la durabilité de ces ouvrages et montre l'importance d'une mise au point de techniques efficaces de leur entretien.

Impacts de la technique de banquettes sur la survie et croissance des 4 espèces de Combretaceae

Les taux de survie et de croissance constituent des paramètres essentiels indiquant la réussite d'une opération d'afforestation (Kagambega *et al.*, 2011). En effet, ces paramètres sont des indicateurs déterminants d'adaptation des espèces aux conditions stationnelles. Le taux de survie obtenu a varié en fonction de l'espèce et de son âge. Les mortalités les plus élevées enregistrées sont survenues durant les périodes octobre novembre

2011 et mars à juin 2012. Durant ces deux périodes qui sont sèches, l'humidité moyenne du sol du site était à son niveau le plus bas ($12,41 \pm 3,68$ %). En outre, la deuxième période est la période la plus chaude au Niger avec un niveau élevé de l'évapotranspiration. Cette observation confirme l'importance de l'humidité du sol dans la survie des plantes comme l'ont souligné Hiernaux et Le Houérou (2006). Les taux de survie des espèces étaient supérieurs à 50 % à l'exception de celui de *C. nigricans* (31,5 %). La faible survie de cette dernière est probablement due à son exigence pluviométrique qui est de l'ordre de 700 à 1000 mm (Von Maydell, 1983) et qui ne semble pas être couverte en dépit du supplément d'eau apporté par les banquettes.

La croissance d'un végétal est définie comme une augmentation de sa taille jusqu'à ce qu'il accède à ses dimensions définitives. C'est donc essentiellement un processus lié à l'accroissement du nombre et de la taille des cellules constituant l'organisme (Bouillard, 1988). Chez les plantes supérieures la croissance en hauteur résulte de l'activité des méristèmes apicaux et la croissance en diamètre résulte, elle, de l'activité des cambiums. Les courbes de hauteurs et de diamètres cumulés étaient sigmoïdes avec des points d'inflexion durant la période de mars à juin. Ce mode de croissance longtemps ignoré chez les végétaux tropicaux est dit rythmique et se révèle plus éloquemment sur les courbes d'accroissements. La croissance rythmique est définie d'après Champagnat *et al.* (1986) comme une alternance de temps d'activité et de temps de repos, assez régulière pour qu'apparaisse une périodicité. La périodicité peut se manifester soit dans l'espace et dans le temps, soit dans l'espace ou dans le temps. Les points d'inflexions correspondent aux accroissements négatifs en hauteurs dus à l'assèchement de la partie apicale des tiges et au rétrécissement de leur diamètre suite à la sécheresse.

Les moyennes cumulées de hauteurs et diamètres, de biomasse foliaire et de nombre de rejets ont connu des différences significatives. Ces différences illustrent les composantes ontogénique et individuelle de la croissance. En effet, la croissance est selon Guédon (2007) déterminée par trois composantes : environnementale (climat, sol), ontogénique (succession des phases) et individuelle (facteurs génétiques, compétition locale entre individus).

Les résultats de la biomasse foliaire ont montré que selon les conditions hydriques du milieu, les espèces *G. senegalensis* et *C. glutinosum* sont semi sempervirentes à sempervirentes alors que *C. micranthum* et *C. nigricans* sont caducifoliées ou semi caducifoliées. Ces résultats confirment ceux de Mahamane (2007) sur le parc National du W du Niger.

En ce qui concerne l'évolution du nombre moyen de rejets de souche, nos résultats ont non seulement confirmé que les 4 espèces se multiplient par rejets

de souches comme l'ont souligné plusieurs auteurs (Bellefontaine *et al.*, 2000, Bellefontaine, 2005) mais, que chez *G. senegalensis*, cette aptitude est précoce par rapport aux 3 autres espèces. En effet, chez cette espèce, le développement des rejets proventifs se manifeste dès l'âge de 12 mois. Les rejets proventifs sont connus comme ceux provenant de bourgeons dormants dont la croissance est stimulée par un stress quelconque (coupe, blessure, feu, etc.) (Faye *et al.*, 2013).

Les résultats relatifs aux accroissements ont montré que dans les banquettes où les conditions hydriques étaient favorables, les accroissements courants mensuels en hauteur et en diamètre sont corrélés positivement et significativement ($P < 0,05$) au stock hydrique ce qui démontre encore l'importance de l'humidité du sol dans la croissance végétale. Il est observé alors un synchronisme entre la variation du stock hydrique et la croissance. Ce type de relation a été observé par Granier *et al.* (1995) sur la croissance en circonférence de chênes sessiles en condition de peuplement fermé. Ces accroissements ont révélé qu'à partir de juin 2012, soit moins d'un an, les espèces *G. senegalensis* et *C. glutinosum* ont développé une croissance positive (accroissement > 0) au cours de la période d'expérimentation. Par contre pour *C. micranthum* et *C. nigricans*, la période optimale de croissance s'étend de juin à janvier, c'est-à-dire toute la saison des pluies (juin à septembre) et 4 mois après.

Sur l'ensemble des paramètres étudiés l'espèce *G. senegalensis* a enregistré les meilleurs résultats. Cette performance de cette espèce sur les trois autres a été soulignée depuis le stade pépinière (Amani *et al.*, 2015). Plusieurs raisons expliquent la performance de cette espèce sur site de restauration : cette espèce garde ses feuilles et continue ses activités photosynthétiques pendant toute l'année quand les conditions hydriques sont favorables. Elle devient semi sempervirente quand les conditions hydriques sont moins favorables et reste photosynthétiquement active 4 mois après la saison des pluies. Ces résultats confirment les observations de Seghieri *et al.* (2005) et Kizito *et al.* (2006) qui ont montré que *G. senegalensis* ajuste la surface foliaire de ses feuilles à l'eau disponible ce qui lui permet d'effectuer la photosynthèse activement pendant une partie de la saison sèche. Cet ajustement foliaire est un moyen de régulation des pertes en eau complémentaire de la régulation stomatique et confère à cette espèce une certaine plasticité en réponse à la sécheresse saisonnière (Issoufou, 2012).

Il ressort que les espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum* en raison de leur performance sur banquettes peuvent être recommandées comme espèces de reboisement de plateaux dégradés. Ce résultat confirme celui de Thiombiano *et al.* (2003) en ce qui concerne *C. glutinosum* et *C. micranthum*.

Conclusion

L'étude conduite en milieu naturel durant 31 mois sur l'unes des techniques de restauration les plus utilisées au Niger a mis en évidence que les banquettes implantées sur plateau érodé améliorent de façon significative l'humidité du sol. L'évolution du stock hydrique induit a montré une corrélation positive et significative avec les accroissements courants mensuels en hauteur et en diamètre au collet de 4 espèces de Combretaceae plantées sur le site de banquettes. De ces 4 espèces, l'espèce *Guiera senegalensis* s'est révélée plus performante sur l'ensemble des paramètres dendrométriques suivis sur le site. Les meilleurs taux de survie et de croissance ont été observés au niveau des espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum*.

La période optimale de croissance s'étend de juin à janvier en général mais peut s'étendre sur toute l'année pour *G. senegalensis* et *C. glutinosum* lorsque les conditions hydriques sont très favorables. Ainsi, les espèces *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *C. micranthum* combinées aux techniques de banquettes sont aptes à restaurer les terres de plateaux.

Remerciement

Les auteurs remercient le projet UNDESERT (EU FP7243906), "Understanding and combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services financé par l'Union Européenne pour les moyens financiers ayant permis la production des plants, leur transplantation sur le site de restauration ainsi que les missions de collecte de donnés.

References:

1. Amani A., Inoussa .M.M., Dan Guimbo I., Mahamane A., Saadou M. & Lykke A.M. (2015). Germination et croissance de quatre espèces de Combretaceae en pépinière. *Tropicultura*, 33, 135-145.
2. Ambouta JMK. (1997). Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. *In* Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Contractés Sahéliens, d'Herbès JM, Ambouta JMK, Peltier R Ed. John Libbey Eurotext: Paris; 41-57
3. Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C. & Pontanier R. (1995). Aspects scientifiques et technologiques de la restauration et de la réhabilitation des principaux attributs vitaux et fonctions des systèmes écologiques dégradés par les voies d'une démarche sectorielle. *In* L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J., Floret & Le Floc'h E., Ed., Paris, France, John Libbey Eurotext, 103-112.
4. Bellefontaine R. (2005a). Régénération naturelle à faible coût dans le cadre de l'aménagement forestier en zones tropicales sèches en

- Afrique, *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 6 Numéro 2 mis en ligne le 01 septembre 2005, consulté le 06 mai 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/4335>
5. Bellefontaine R., Edelin C., Ichaou A., Du Laurens D., Monsarrat A. & Loquai C. (2000). Le drageonnage, alternative aux semis et aux plantations de ligneux dans les zones semi-arides : protocole de recherches *Sécheresse*, 11, 221-226.
 6. Boullard B., (1988). Dictionnaire de botanique. Paris, France Ellipses éd.
 7. Faye, E., Diallo, H., Samba, S. A. N., Touré, M. A., Dramé, A., Fall, B., & Bogaert, J. (2013). Importance de la méthode de coupe sur la régénération de Combretaceae du Bassin arachidier sénégalais. *Tropicultura*, 31 (1), 44-52
 8. Hiernaux P. & Le Houérou H.N. (2006). Les parcours du sahel. *Sécheresse*, 17, 51-71
 9. Ichaou A. (2000). Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'Ouest nigérien. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III, Toulouse.
 10. Issoufou H. B. A., (2012). Réponse hydrique à la sécheresse et impact de la coupe chez une espèce semi-sempervirente sahélienne (*Guiera senegalensis* J.F.Gmel). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, Montpellier.
 11. Kagambega F.W., Traore S., Thiombiano A. & Boussim J I. (2011). Impact de trois techniques de restauration des sols sur la survie et la croissance de trois espèces ligneuses sur les « zipellés » au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5, 901-914.
 12. Kizito F., Dragila M., Sène M., Lufafa A., Diedhiou I., Dick RP., Selker J.S., Dossa E., Kouma M., Badiane A. & Ndiaye S. (2006). Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs coexisting with Pearl Millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 67, 436-455.
 13. Mahamane, A., Saadou, M., Danjimo, M. B., Saley, K., Yacoubou, B., Diouf, A., & Tanimoune, A. (2009). Biodiversité végétale au Niger : État des connaissances actuelles. *Annale de l'Université de Lomé, Séries Sciences*, 18, 81-93.
 14. Ministère de la Coopération (1991). Mémento de l'Agronome. Collections Techniques rurales en Afrique, Paris, France, 4ème édition.

15. Montagnini F., Cusack D., Petit B. & Kanninen M. (2005). Environmental Services of Native Tree Plantations and Agroforestry Systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry* , 21, 51-67.
16. PAC (Programme d'Actions Communautaires). (2006). Recueil des fiches techniques en gestion des ressources naturelles et de productions agro-sylvopastorales. Niamey, Niger, Ministère du Développement Agricole.
17. R Development Core Team. (2010). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>
18. Rondeux J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Belgique, Les Presses agronomiques de Gembloux, 2^{ème} édition.
19. Roose E. (2004). Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. *Sécheresse*, 15, 9-18.
20. Roose E., Bellefontaine R. & Visser M. (2011). Six rules for the rapid restoration of degraded lands: Synthesis of 17 case studies in tropical and Mediterranean climates. *Sécheresse*, 22, 86-96.
21. Thiombiano A., Wittig, R. & Guinko S. (2003). Conditions of sexual multiplication in some Combretaceae in Burkina Faso. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. 58, 361-379.
22. Von Maydell H. J. (1983). Arbres et arbustes du Sahel, leurs caractéristiques et leur utilisation, GTZ Eschborn, Allemagne. 531 p.

Coexistence D'un Lymphome Lymphocytaire Et D'une Leucémie Myéloïde Chronique: A Propos De Deux Observations Au Togo

Padaro Essohana,

Magnang Hèzouwè,

Layibo Yao,

Kueviakoe Irénée, MD

Service d'hématologie clinique, CHU Campus de Lomé, Faculté des Sciences de la Santé/ Université de Lomé, Togo

Mawussi Koffi,

Service d'hématologie, CHU Kara, Faculté des Sciences de la Santé /Université de Kara, Togo

Vovor Ahoefa,

Service d'hématologie, CHU Sylvanus Olympio, Faculté des Sciences de la Santé /Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p158](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p158)

Submitted: 14 August 2021

Accepted: 08 September 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Essohana P., Hèzouwè M., Yao L., Irénée K., Koffi M., & Ahoefa V., (2021). *Coexistence D'un Lymphome Lymphocytaire Et D'une Leucémie Myéloïde Chronique: A Propos De Deux Observations Au Togo* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p158>

Résumé

Les auteurs rapportent deux cas de lymphomes lymphocytaires associés à une leucémie myéloïde chronique (LMC) au Togo. La première association est une coexistence simultanée d'une LMC avec présence du transcrite de fusion bcr-abl chez une patiente de 32 ans, au stade myélocytaire chronique, avec une polyadénopathie ayant nécessité une biopsie ganglionnaire qui a conclu à un lymphome lymphocytaire. Le deuxième cas est une succession à 6 ans 5 mois d'intervalle, chez un patient de 30 ans, d'une LMC avec présence du bcr-abl et d'un chromosome Philadelphie et d'un lymphome lymphocytaire. Ces deux cas sont rapprochés diachroniquement des associations d'hémopathies myéloïdes et lymphoïdes, aiguës ou chroniques. Différentes hypothèses pathogéniques sont passées en revue : responsabilité

de la chimiothérapie mais le diagnostic est parfois simultané ; implication des oncogènes cellulaires ; plus vraisemblablement anomalie clonale de la cellule souche hématopoïétique s'exprimant de façon séquentielle ou simultanée sur les deux lignées filles. A notre connaissance, il s'agit des premières descriptions en Afrique subsaharienne.

Mots clés: Lymphome lymphocytaire, leucémie myéloïde chronique, Lomé (Togo)

Coexistence of Lymphocytic Lymphoma and Chronic Myeloid Leukemia: A Case of Two Observations in Togo

*Padaro Essohana,
Magnang Hèzouwè,
Layibo Yao,
Kueviakoe Irénée, MD*

Service d'hématologieclinique, CHU Campus de Lomé, Faculté des Sciences de la Santé/ Université de Lomé, Togo

Mawussi Koffi,
Service d'hématologie, CHU Kara, Faculté des Sciences de la Santé /Université de Kara, Togo

Vovor Ahoefa,
Service d'hématologie, CHU Sylvanus Olympio, Faculté des Sciences de la Santé /Université de Lomé, Togo

Abstract

This paper reported two cases of lymphocytic lymphoma associated with chronic myeloid leukemia (CML) in Togo. The first association is a simultaneous coexistence of a CML with the presence of the transcript bcr-abl, in a 32-year-old woman, at chronic myelocytic stage with polyadenopathy required and lymph node biopsy concluded for lymphocytic lymphoma. The second is the case of a 30-year-old man who developed a lymphocytic lymphoma after 6years and 5 months of following CML. These two cases are comparable to other associations of acute or chronic myeloid and lymphoid blood malignancies that was previously published. Several pathogenic hypothesis were reviewed which takes responsibility for chemotherapy. Nevertheless, the diagnosis is sometimes simultaneous with the involvement of cellular oncogenes. This is a more likely clonal abnormality of the stem cell sequentially or concomitantly expressed in the cells on both lineages. To the best of our knowledge, these are the first descriptions in South-Saharan Africa.

Keywords: Lymphocytic Lymphoma, Chronic Myeloid Leukemia, Lome (Togo)

Introduction

La leucémie myéloïde chronique (LMC) est un syndrome myéloprolifératif caractérisé par la prolifération des cellules de la lignée granuleuse due à une anomalie chromosomique, le chromosome Philadelphie (Ph1) qui engendre un gène hybride bcr-abl, responsable d'une protéine à forte activité tyrosine kinase (Druker et al., 2001). Les lymphomes non hodgkiniens (LNH) désignent des proliférations clonales de cellules des lignées lymphocytaires B ou T à leurs différents stades de différenciation et d'activation. Ils sont responsables du développement de tumeurs au niveau des organes lymphoïdes, notamment ganglionnaires, mais aussi de territoires non lymphoïdes (Cuenca et al., 2009).

La coexistence d'une double prolifération maligne, myéloïde et lymphoïde et particulièrement lymphomateuse, est rare bien que décrite depuis quelques décennies (Marzoia et al., 1987; Doumouchel et al., 1983; Monoharan et al., 1981) et depuis quelques années plusieurs publications décrivent des hémopathies lymphoïdes diversement associées aux hémopathies myéloïdes surtout la LMC (Amy et al., 2018; Xiaorui Fu et al., 2018; Paolo et al., 2018; Smeeta Gajendra et al., 2016). Cette coexistence qu'elle soit spontanée ou non, simultanée ou séquentielle, elle évoque davantage une atteinte de la cellule souche hématopoïétique, se démasquant au niveau de deux lignées filles, qu'une banale coïncidence. A notre connaissance, cette association est très rare en Afrique et au Togo aucun cas n'a été rapporté jusqu'à ce jour. Nous rapportons les deux premiers cas de lymphomes lymphocytiques, l'un diagnostiqué concomitamment avec la LMC et l'autre survenue au cours d'une LMC traitée depuis 6ans 5mois par imatinib.

Observations

Patiente 1

Madame H.K., 32 ans, asthmatique, a été référée de l'hôpital d'Afagnan le 14 janvier 2009 pour prise en charge d'une hyperleucocytose. Le début remonterait à 3 mois plus tôt par la survenue d'une masse à l'hypochondre gauche dans un contexte de sueurs nocturnes, d'amaigrissement et d'aménorrhée non gravidique. Deux mois plus tard, sont apparues des adénopathies cervicales et inguinales. Elle a consulté l'hôpital d'Afagnan d'où elle fut référée devant l'hyperleucocytose à 149.000/mm³. L'examen à l'entrée a noté : Poids : 61kg, un ECOG à 2, l'abdomen était ballonné avec une splénomégalie type V de Hackett, des adénopathies multiples, cervicales gauches dont la plus grosse mesurait 4cm et inguinales gauches dont la plus grosse mesurait 5cm.

L'hémogramme a montré une hyperleucocytose à $174000/\text{mm}^3$ avec une myélémie polymorphe et importante avec myéloblastes à 2% et promyélocytes à 5%, une anémie à 9,6g/dl non régénérative (réticulocytes : $23000/\text{mm}^3$) et une hyperplaquettose à $635000/\text{mm}^3$. Un myélogramme réalisé le même jour a confirmé l'hyperplasie granuleuse médullaire à 88% avec myéloblastes à 2,5% et promyélocytes à 6,5%. Une leucémie myéloïde chronique au stade myélocytaire chronique a été fortement suspectée et confirmée 6 semaines plus tard par la présence du transcrite de fusion bcr-abl de type b2-a2 réalisé à l'hôpital Henri Mondor à Créteil (France). Devant cette polyadénopathie importante à ce stade de la LMC, nous avons réalisé dans la foulée une biopsie ganglionnaire qui a retrouvé une prolifération de petits lymphocytes matures avec une chromatine dense, d'architecture diffuse pouvant être compatible avec un lymphome lymphocytaire. L'immunomarquage n'a pu être réalisé (plateau technique limité). Les autres bilans biologiques ont montré une augmentation des LDH à 1443 UI/l, une augmentation des PAL à 802UI/L, une augmentation de gamma GT, l'acide urique était normal à 38mg/l, la sérologie VIH négative, la VS était normale à 16mm, l'électrophorèse des protéines sériques était normale, le bilan hépatique et rénal normal. L'échographie abdominale objective une hépatosplénomégalie homogène avec signe d'hypertension portale, une souffrance rénale bilatérale type I et des adénopathies profondes. La TDM, l'immunophénotypage et le caryotype n'ont pu être réalisés faute de moyens financiers.

La patiente a été mise d'emblée sous hydroxyurée à 30mg/Kg/jour associé à l'allopurinol 100mg/ jour et une hyperhydratation. Ce traitement a été remplacé par l'imatinib mésylate 400mg/jour au 15^e jours après la confirmation diagnostique par la présence du transcrite de fusion bcr-abl et la patiente incluse dans le programme GIPAP (Glivec International Patients Assistance Programm) grâce auquel les patients bénéficient gratuitement de Glivec* au Togo. Pour son lymphome, une chimiothérapie de type mini CHOP (Cyclophosphamide, Doxorubicine, Vincristine, Prednisolone) a été préconisée mais l'ordonnance des antimétabolites n'a pu être honorée par manque de moyens financiers.

Sous hydroxyurée puis imatinib, on a noté un début de rémission clinique et hématologique puisque à J21, la splénomégalie était de type III, les globules blancs étaient à $37000/\text{mm}^3$. Malheureusement la patiente a été perdue de vue et de contact et est revenue le 23 mars 2010 (soit 5 mois 9 jours plus tard) dans un tableau d'altération de l'état général, une augmentation du syndrome tumoral avec une splénomégalie de type IV, des œdèmes des membres inférieurs, et surtout une dyspnée avec douleurs thoraciques dont l'exploration a noté une péricardite avec début de tamponnade. Elle est décédée le 29 mars 2010.

Patient 2

Monsieur M.K., 30 ans, a été référé de l'hôpital secondaire de Bè le 08 août 2012 pour hyperleucocytose à $234900/\text{mm}^3$. Un mois plus tôt, il a présenté des douleurs articulaires, une sensation de lourdeur de l'hypochondre gauche et une plénitude gastrique. Il a consulté à l'hôpital secondaire de Bè puis référé. L'examen à l'entré a noté : Poids : 61Kg, un très bon état général (ECOG : 0) une splénomégalie type V de Hackett sans hépatomégalie, toutes les aires ganglionnaires étaient libres.

L'hémogramme a objectivé une hyperleucocytose à $396000/\text{mm}^3$ avec une myélocytose polymorphe et importante faite de myéloblastes à 2% et promyélocytes à 8%, une anémie à $10,8\text{g/dl}$ arégénérative (réticulocytes : $37\ 000/\text{mm}^3$) et une hyperplaquetose à $568000/\text{mm}^3$. Un myélogramme a confirmé l'hyperplasie granuleuse médullaire à 91,5% avec myéloblastes à 3,5% et promyélocytes à 5,5%. Une leucémie myéloïde chronique au stade myélocytaire chronique a été fortement suspectée et confirmée 15 jours plus tard par la présence du bcr-abl de type b3-a2 réalisé à l'hôpital Henri Mondor à Créteil (France). Les autres bilans biologiques ont montré une augmentation des LDH à 2829UI/l , une hyperuricémie à 94mg/l , le taux des PAL était normal à 356UI/L , la sérologie VIH négative, présence de l'antigène HbS, la VS était normale à 16mm , l'électrophorèse des protéines sériques était normale, le bilan hépatique et rénal normal.

D'emblée le patient a été inclus au programme GIPAP puis mis sous imatinib mésylate 400mg/jour , dose qui a été réduite à 300mg puis à 200mg en raison des neutropénies profondes. Sous ce traitement on a noté une rémission clinique puis hématologique puisque au contrôle du 12 Juin 2014 (soit 22 mois après) il n'avait pas de splénomégalie et l'hémogramme montrait $4600\text{ leucocytes}/\text{mm}^3$ dont $2070\text{ polynucléaires neutrophiles}/\text{mm}^3$.

A partir du 18 septembre 2014 (soit 2ans 1mois après) on a constaté une augmentation progressive de la leucocytose atteignant parfois $21000/\text{mm}^3$ (sans signes d'accélération ni d'acutisation) pour laquelle la dose d'imatinib a été réajustée à 300mg , 400mg puis à 600mg/jour sans succès. Dans l'hypothèse de l'apparition d'une nouvelle mutation résistante à l'imatinib, un caryotype médullaire a été fait le 29 mai 2016 au laboratoire CERBA en France et a confirmé la présence du chromosome Philadelphie sans aucune autre anomalie surajoutée.

Dans un premier temps le patient a été mis sous imatinib associé à l'hydroxyurée puis à partir de 23 octobre 2018 sous imatinib seul.

Parallèlement à partir du 20 février 2018 (5ans 7mois après) on a noté des adénopathies cervicales droites multiples infracentimétriques dont la taille a augmenté spontanément en décembre 2018 pour atteindre $2,5\text{cm}$ alors que la rémission hématologique est maintenue avec l'hémogramme du 14 janvier

2019 qui montrait des leucocytes à $4200/\text{mm}^3$ avec des polynucléaires neutrophiles à $2100/\text{mm}^3$ et des lymphocytes à $1806/\text{mm}^3$. Une biopsie ganglionnaire a alors été faite le 15 janvier 2019 (6ans 5mois). L'examen anatomopathologique retrouve une prolifération de petits lymphocytes matures, d'architecture diffuse avec des zones nodulaires de cellules plus nucléolées pouvant être compatible avec un lymphome lymphocytaire. L'immunomarquage n'a pu être réalisé (plateau technique limité). L'échographie abdominale et la radiographie du thorax n'ont pas retrouvé d'adénopathies profondes. Le caryotype et le scanner n'ont pu être réalisés pour manque de moyens financiers. Il a un bon état général (ECOG : 1) avec des taux normaux de LDH à 194UI/L et des Béta 2 microglobulines à 1,9mg/l. Le reste du bilan biologique est relativement normal. Une abstention thérapeutique a été préconisée avec une surveillance très rapprochée.

Discussion

Le diagnostic des hémopathies malignes, à la fois myéloïde et lymphoïde chez un même patient, qu'il soit simultané ou séquentiel, est extrêmement rare, avec une incidence globale inférieure à 1% (Hauck et al., 2013). La majorité des cas (66%) ont des présentations séquentielles alors que seulement 34% sont présents simultanément (Laurenti et al., 2011).

Chez notre première patiente, le diagnostic de la LMC et du LNH a été simultané alors que chez le 2^e patient les deux affections se sont succédé à 6 ans 5 mois d'intervalle. Une LMC au stade myélocytaire chronique a été suspectée par la cytologie sanguine et médullaire et confirmée par la présence du transcrit bcr-abl chez la première patiente et chez le 2^e patient par la présence du chromosome Philadelphie. Chez nos deux patients, un LNH de faible malignité histologique puisque d'architecture lymphocytaire à petites cellules donc excluant l'hypothèse d'une crise blastique sur un mode lymphoïde. Des LNH de faible malignité survenue simultanément ou au décours de l'évolution d'une LMC ont été déjà rapportées par trois auteurs (Martoia et al., 1987; Amy et al., 2018; Fujiwara et al., 2018). En Afrique sud saharienne, il s'agit des toutes premières observations à notre connaissance. Des adénopathies sont inhabituelles, présentes seulement dans 7% des 161 LMC suivies par Paolino et al. (1980); leur signification n'est pas univoque : ces adénopathies, de petites à toute petites, plus ou moins généralisées, elles relèvent d'une simple métaplasie myéloïde (3% des LMC); plus volumineuses voire pseudo-sarcomateuses dans 5% des LMC en transformation aiguë selon Rosenthal et al. (1977), de caractère myéloblastique plus souvent que lymphoblastique, elles accompagnent la crise blastique médullo-sanguine, parfois la précèdent de 2 à 26 mois ou encore la suivent de 3 à 4 mois. Une duplication du Ph1 est fréquemment observée (Martoia et al., 1987). Autrefois exceptionnel, le tableau clinique et

l'histologie ganglionnaire correspondant à un LNH authentique agressif au cours d'une LMC, une acutisation sur un mode lymphoblastique étant formellement écarté, cette situation a été rapportée plus tard par plusieurs auteurs (Martoïa et al., 1987). Nos patients avaient des adénopathies qui rentraient dans le cadre d'un lymphome indolent et n'étaient pas au stade d'acutisation.

Au cours de la LMC, les proliférations clonales de cellules des lignées lymphocytaires à leurs différents stades de différenciation surviennent généralement au cours de la phase accélérée ou acutisée et représentent 15% des LMC nouvellement diagnostiquées et les territoires les plus fréquemment impliqués dans ces proliférations sont les ganglions lymphatiques, les os, la peau, les tissus mous et le système nerveux central (Amy et al., 2018).

La première association d'un LNH et d'une LMC a été faite pour la première fois par Hanns et al. (1934) et Martoïa et al. (1987) qui ont colligé 24 cas certains sans prédominance d'un type histologique et la chronologie de survenue des deux pathologies montrait que dans 14 cas, la LMC précède le LNH de 6 mois à 6 ans (soit 58,33% des cas), toujours traitée ; l'inverse ne survient que 2 fois dans un délai de 2 à 3 ans. Le diagnostic était spontané 8 fois. La LMC est toujours en phase chronique lorsque le lymphome apparaît ; une transformation aiguë ne survient que 6 fois sur 24 en 12 mois ; et aucun parallélisme évolutif ne peut être retenu entre la LMC et le lymphome qui, généralement, domine le pronostic à court ou à moyen terme. Dans notre étude, le diagnostic des deux pathologies a été simultané dans 50% des cas et survenue plus tard dans 50% de cas après un traitement de 6 ans 5 mois. Nos résultats se rapprochent donc de ceux de la littérature (Martoïa et al., 1987).

Par contre dans son étude Inverardi et al. (1990) avaient trouvé que la moitié des patients étaient en phase chronique lors de la prolifération lymphoïde et l'autre moitié était en phase accélérée ou acutisée. Les patients qui étaient en phase accélérée ont progressé vers la phase aiguë après 4 mois, impliquant que la prolifération lymphoïde peut annoncer une phase imminente d'acutisation même si la transformation blastique était absente initialement (Inverardi et al., 1990). Une surveillance s'avère donc nécessaire pour ne pas méconnaître une acutisation chez notre 2^e patient. Chez la première patiente le tableau clinique présenté peu avant le décès peut être lié à l'évolution naturelle du LNH mais aussi à une acutisation. Malheureusement nous n'avons pu évaluer aucune des deux éventualités avant son décès.

Toutes ces premières études ont évalué les patients avant l'avènement des inhibiteurs de la tyrosine kinase (ITK) qui ont révolutionné le traitement et le pronostic de la LMC. Néanmoins même sous ITK, il est indispensable de maintenir le suivi pour ne pas méconnaître une prolifération lymphoïde annonciatrice d'une éventuelle transformation blastique. Dans notre étude, les deux patients ont été mis sous ITK (imatinib). Le deuxième patient, après 6

mois de traitement a présenté des adénopathies alors qu'il était en rémission hématologique et il n'existait pas de signes cytologiques en faveur d'une accélération ou d'une transformation blastique. C'est ce qui nous a poussé à réaliser cette biopsie ganglionnaire qui a retrouvé ce LNH indolent. La même situation a été rapportée par Amy et al. (2018).

La coexistence d'une LMC et d'un LNH est à rapprocher des autres combinaisons, spontanées, de syndromes myéloprolifératifs et lymphoprolifératifs généralement de type B :

- La plus récente est la coexistence d'une leucémie myélomonoocytaire chronique (LMMC) et l'un lymphome nodulaire de la zone marginale (Paolo et al., 2018);

- La LMC associée à une maladie de Hodgkin (Ritch et al., 1983), une leucémie lymphoïde chronique (Vilpo et al., 1980), un myélome multiple (Doumouchel et al., 1983);

- Une maladie de Vaquez associée à un LNH, un myélome multiple (Heinle et al., 1996), une LLC (Monoharan et al., 1981);

- Une splénomégalie myéloïde associée à une maladie de Waldenström (Broussier et al., 1976), à un LNH (Epstein et al., 1985).

Leur signification mérite d'être discutée, même si aucune conclusion formelle ne peut être retenue. Une coexistence fortuite paraît hautement improbable en raison de la rareté relative de chacune des deux pathologies (Monoharan et al., 1981). Les oncogènes cellulaires localisés sur les segments chromosomiques engagés dans la transformation t (9 ; 22) (q34 ; q11), retrouvée chez notre deuxième patient, peuvent être impliqués. Ainsi l'expression de l'oncogène c-abl situé en position q34 sur le chromosome 9, se trouve amplifiée par la translocation ; il a été isolé d'un rétrovirus, le virus d'Abelson, inducteur de lymphocytes pré-B chez la souris (Marzoia et al., 1987).

Le traitement de l'affection première pourrait jouer un rôle facilitant, par le biais de l'immunodépression induite : on connaît la fréquence des LNH et des cancers chez les sujets atteints de déficits immunitaires congénitaux ou acquis (surtout depuis la survenue de la pandémie du VIH), iatrogènes ou secondaires à un syndrome lymphoprolifératif (Epstein et al., 1985). Certes à chaque fois que la LMC a précédé le lymphome (ou lui a succédé), on retrouvait une irradiation et/ou un traitement par alkylants dont le rôle mutagène et oncogène n'est plus à discuter ; en déduire que le lymphome trouve son origine dans le traitement de la LMC (ou l'inverse), donc ne retenir qu'une relation indiscrète, n'expliquerait pas le petit nombre de cas décrits, les délais de survenue parfois très courts (de quelques mois seulement) et surtout les observations où le diagnostic est simultané (Doumouchel et al., 1983; Monoharan et al., 1981) comme pour notre première patiente.

C'est pourquoi l'hypothèse d'une maladie de la cellule souche hématopoïétique, extériorisée à deux niveaux et sur deux lignées filles, paraît

comme la plus séduisante et la plus conforme aux conceptions actuelles qui font de la LMC une maladie clonale d'une cellule totipotente, précurseur commun des lignées lymphoïdes et myéloïdes (Monoharan et al., 1987) comme viennent l'appuyer la présence du Ph1 dans les lymphocytes B matures et dans les transformations aiguës sur un mode lymphoblastique.

Depuis quelques années, les études cytogénétiques et moléculaires sur les oncogènes cellulaires ont permis d'établir des liens de parenté entre les processus prolifératifs apparemment distincts. En effet les mutations génétiques des oncogènes tels que ceux de la famille du RAS, ou des gènes suppresseurs de tumeurs, tels que p53, ont été retrouvés chez les patients atteints de LMC et de LNH (Hirsch-Ginsberg et al., 1990; Nakatsuka et al., 2002) et théoriquement prédisposés à plusieurs tumeurs malignes. Dans une étude récente, les données de l'étude de contrôle IV randomisée, étude IV de la LMC, ont été analysées pour évaluer l'impact de l'utilisation à long terme des ITK dans le développement de tumeurs malignes secondaires. Les patients LMC sous ITK avaient une incidence standard significativement plus élevée (ratio de 3,33 pour les hommes et de 4,29 pour les femmes) de développer un LNH par rapport à une population allemande. Le délai médian entre le diagnostic de LMC et le diagnostic d'une autre tumeur maligne était de 2,4 ans. En effet les mécanismes de réparation de l'ADN par les ITK pourraient être un potentiel mécanisme de cette découverte basé sur des études précliniques (Amy et al., 2018). Nos deux patients ont bénéficié d'un traitement par ITK qui a permis d'obtenir une bonne rémission clinique et hématologique et le 2^e patient n'a développé son lymphome qu'après un long délai de 6 ans 5 mois.

Les onco-hématologistes et pathologistes doivent être conscients de la possibilité de tumeurs malignes hématologiques concomitantes. Une adénopathie chez un patient atteint de LMC peut représenter une transformation blastique, mais une hémopathie lymphoïde distincte peut également être possible. Lorsque cela est suspecté à l'examen clinique, il est indispensable d'effectuer une évaluation plus poussée en utilisant de nouvelles techniques notamment l'immunohistochimie, la cytométrie en flux, la PCR qui permettent un diagnostic concluant et précis. Comme le traitement de chacune des hémopathies malignes diffère souvent, cette distinction est importante pour permettre aux cliniciens de mieux poser de bonnes indications thérapeutiques.

Conclusion

La séquence LMC – LNH mérite encore d'être rapportée au Togo et en Afrique subsaharienne, non par esprit de collection, mais par intérêt dogmatique et doctrinal. Une banale coïncidence est à écarter, en raison des multiples descriptions de syndromes myéloprolifératifs et lymphoprolifératifs

associés. La LMC a valeur d'exemplarité car elle apporte des arguments solides pour une maladie clonale originelle. Des études ultérieures pour évaluer la pathogenèse de la double existence des proliférations malignes, myéloïdes et lymphoïdes, sont nécessaires pour mieux comprendre et gérer les patients.

References:

1. Amy G. Starr, Sushma R. Jonna, Joeffrey J. Chahine, Bhaskar V. Kallakury, & Chaitra S. Ujjani (2018). Concurrent Diagnosis of Chronic Myeloid Leukemia and Follicular Lymphoma: An Unreported Presentation. Hindawi. Case Reports in Hematology Volume, Article ID 7493601, 4 pages <https://doi.org/10.1155/2018/7493601>
2. Broussier, J., Dao, C., & Zittoun, R. (1976). Macroglobulinémie de Waldenström avec splénomégalie myéloïde. *Ann Med Interne*; 127 : 483-90.
3. Cuenca, X., Xhaard, A., & Mounier. N. (2009). Facteurs pronostiques dans les lymphomes non hodgkiniens et les lymphomes de hodgkin. *Bulletin du cancer*; 96 : 461– 473.
4. Doumouchel, P., Casassus, Ph., Giacomini, T., & Lortholary, P. (1983). Coexistence d'un myélome et d'une leucémie myéloïde chronique. *Sem Hôp (Paris)*; 59 : 2191 – 3
5. Druker, BJ., Talpaz, M., Resta, DJ., Peng, B., Buchdunger, E., Ford, JM et al. (2001). Efficacy and safety of a specific inhibitor of the BCR-ABL tyrosine kinase in chronic myeloid leukemia. *N Engl J Med*; 344: 1031-7
6. Epstein, JR., Joshua, DE., Kronenberg, H. (1985). idiopathic myelofibrosis complicated by lymphoma. Report of two cases. *Acta Haematol* ; 73 : 40 – 4.
7. Fujiwara, S. I., Shirato, Y., Ikeda, T. et al. (2018). Successful treatment of follicular lymphoma with second-generation tyrosine kinase inhibitors administered for coexisting chronic myeloid leukemia,” *International Journal of Hematology* ; 107(6) :712–715.
8. Hanns, A., Israel, L., Sacrez, R. (1934). Sarcome lymphoblastique avec image sanguine de leucémie myéloïde chronique. *Strasbourg Med*; 94 : 42 – 3.
9. Hauck, G., Jonigk, D., Kreipe, H. & Hussein, K. (2013). “Simultaneous and sequential concurrent myeloproliferative and lymphoproliferative neoplasms,” *Acta Haematologica*; 129 (3) : 187–196.
10. Heinle, EW., Sarasti, HO., Garcia, D., Kenny, JJ., & Werterman, MP. (1996). Polycythemia vera associated with lymphomatous disease and myeloma. *Arch Intern Med*; 118 : 351-55.

11. Hirsch-Ginsberg, C., LeMaistre, A. C., Kantarjian, H. et al. (1990). RAS mutations are rare events in Philadelphia chromosomenegative/bcr gene rearrangement-negative chronic myelogenous leukemia, but are prevalent in chronic myelomonocytic leukemia. *Blood* 1990 ;76 : 1214 -19.
12. Inverardi, D., Lazzarino, M., Morra, E. et al. (1990). Extramedullary disease in Ph⁺-positive chronic myelogenous leukemia: frequency, clinical features and prognostic significance. *Haematologica* ; 75 : 146–148.
13. Laurenti, L., Tarnani, M., Nichele, I. et al. (2011). The coexistence of chronic lymphocytic leukemia and myeloproliferative neoplasms: a retrospective multicentric GIMEMA experience,”*American Journal of Hematology*; 86(1) : 1007–1012.
14. Martoia, R., Lamy, T., Delmaire, P., Algayres, J-P., Rougier, Y., & Laurens, A. (1987). Survenue d'un lymphome non hodgkinien au cours d'une leucémie myéloïde chronique. *Rev Méd Interne*; 8 : 471-474.
15. Monoharan, A., Catovsky, D., Clein, P et al. (1981). Simultaneous or spontaneous occurrence of lympho and myeloproliferativ disorders : a report of four cases. *Br J Haemat*; 48: 111-6.
16. Nakatsuka, S., Hongyo, T., Syaifudin, M., Nomura, T., Shingu, N., & Aozasa, K. (2002). Mutations of p53, c-kit, K-ras, and beta-catenin gene in non-Hodgkin's lymphoma of adrenal gland. *Japanese Journal of Cancer Research*; 93(3): 267–274.
17. Paolo K. Soriano, Taylor Stone, Junaid Baqai, & Sherjeel Sana (2018). A Case of Synchronous Bone Marrow Chronic Myelomonocytic Leukemia (CMML) and Nodal Marginal Zone Lymphoma (NMZL). *American Journal of Case Reports*; 19: 1135-1139.
18. Paulino, W., Infelise, V., Degani, G. et al. (1980). Adénopathie nella leucemie mieloide cronica. *Min Med*; 71 : 2115 – 23.
19. Ritch, PS., Anderson, T., Hanson, GA. et al. (1983). Chronic Granulocytic Leukemia following radiation therapyfor Hodgkin's disease. *Cancer*; 52 : 462- 4.
20. Rosenthal, S., Canellos, GP., De Vita, VT Jr., Gralnick, HR. (1977). Characteristics of blast crisis in chronic granulocytic leukemia. *Bllod*; 49 : 705 – 14.
21. Smeeta Gajendra, Archana Sharma, Rashi Sharma, Sunil Kumar Gupta, Nitin Sood, & Ritesh Sachdev (2016). Hodgkin Lymphoma in a Case of Chronic Myeloid Leukemia Treated with Tyrosine Kinase Inhibitors. Case Report. *tjpath.01368*. doi: 10.5146.

22. Vilpo, JA., Klemi, P., Lassilia, O., & De la Chapelle, A. (1980). Concomitant presentation of two chronic leukemias : evidence for independant clonal evolution. *Am J Hematol*; 8 :205 11.
23. Xiaorui Fu, Yufeng Shang, Lei Zhang, Ling Li, Xin Li, Xinhua Wang et al. (2018). Analyses and treatment of simultaneous bi-lineage malignancies of myeloid leukemia and lymphoma: Two case reports and a literature review. *Oncology Letters*; 16: 6624-6632.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

The Technology Development and Management of Smart Manufacturing System: A Review On Theoretical and Technological Perspectives

Md. Al-Amin, PhD student

Md Tanjim Hossain, PhD student

Wilson College of Textiles

North Carolina State University, USA

Md Jahidul Islam, MS student

Management Information System

Lamar University, USA

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p170](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p170)

Submitted: 27 October 2021

Accepted: 23 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Al-Amin M., Hossain M. T., & Islam M. J., *The Technology Development and Management of Smart Manufacturing System: A Review On Theoretical and Technological Perspectives* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 170.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p170>

Abstract

This paper encompasses a state-of-the-art review on smart manufacturing system (SMS), focusing on theoretical relevance to technology development and technology management. The theoretical foundation of technology development has been reviewed based on the Rogers' Diffusion of Innovation (DoI) theory and technology management has been focused on the basis of Technology Strategy Model (TSM) of Rieck and Dickson to shape the paper with theory of Management of Technology (MOT). A patent on SMS has been discussed to show how different technologies are integrated into this system. The characteristics of SMS have discussed the overall aspects of this future technological system. The the global textile complex has been depicted with a proposed SMS model of the apparel production unit. This study integrates the latest articles and technology on future manufacturing system perspectives, which gives a robust idea of minimizing human interaction and maximizing the production efficiency in the manufacturing industry. The cyber-physical system, AI, ERP, digital twin, big data, additive manufacturing, cloud manufacturing, simulation, and vertical and horizontal

integration have been identified as the major components of SMS. A brief model of SMS in the apparel production system demonstrated how SMS works in the industry level. The researchers on smart manufacturing can take away the above insights into their future research to take SMS research more forward.

Keywords: Smart Manufacturing, Industry 4.0, Technolgy management, Technology Development. Technology Theory.

Introduction

Traditional manufacturing systems include the designs of relatively rigid hierarchical architectures where the scopes are limited to the production arrangement and operation of resources. This rigid architecture also leads to the complexity of reprocessing the prevailing manufacturing capacity. (Lu & Ju, 2017). In recent times new technologies are penetrating the manufacturing system and serving as crucial determinants for the automated manufacturing industry of the current industrial revolution to address the future challenges of providing progressively customized requirements, advanced quality, and shorter lead time by promoting manufacturing systems to a smart level (Zheng et al., 2018). The integration of technologies has enormous significance in achieving the organizational objectives to establish an automated industry in the era of the industrial revolution. For instance, enterprise modeling and reference technology methods are needed for analyzing, designing, planning, and implementing system integration, whereas knowledge and technology on data aspects and metadata are required to achieve the information exchange among systems (Li et al., 2018). This integration of technologies in the manufacturing industry is transforming the industry towards smart manufacturing, which synthesizes the advanced automated technologies and digital platform. Smart manufacturing is not only integrating the technologies but also managing the societal, environmental and knowledge workforces care. (Feng et al., 2017). The digitalization in manufacturing industry involves several numbers of technological advancements that represent mostly in the forms of automation such as cyber-physical system, which is the automatic assemblages of objects that communicate through the Internet of things (IoT) and apply new sensor technologies and real-time computing techniques (Krzywdzinski, 2017). The development and management of this new system of complex manufacturing system offers enormous challenges to get the best out of it.

The development and innovation of any new technology provides both new prospects and challenges for the industry. Apart from increasing the annual profit margin, the technology innovation may challenge the entire production and supply chain system, which determines the global

competitiveness of any enterprise (Gaimon, 2008). On the other hand, technology management includes the active identification, selection, procurement, development, exploitation and protection of technologies that are needed to maintain and grow a market position and business performance pertaining to the company's objectives. Technology management requires effective linkage between the technological resources and several management processes (Phaal et al., 2004). Thus, with the rapid progress in different module of the process, the control of manufacturing system has been a complex process from development to management to get the maximum flexibility (Calinescu et al., 1998).

Moreover, a business system stands based on the range of technological issues, values, and relationships, that are managed and understood by managerial frameworks, theories, and universal languages (McCarthy, 2003). Those complexities of manufacturing system can be explained with the help of existing and relevant theories as theory is a set of assumptions that can attempt to explain or predict a social or technological phenomenon to understand the world, which is used to conceptualize and explain systematic observations on complex phenomena and behaviors (Thomas, 2017). Since SMS is a new paradigm of manufacturing system, that includes many other integrations of technology and complexity. The researchers, developers, and early adopters face difficulties to start on their way to perceive its new systematic approach to develop and manage afterwards (Rogers, 1983). Theoretical relevance could explain these complexities in a convenient and understandable way to those relevant stakeholders. Very few literatures have discussed this new manufacturing system and its complexities based on theoretical point of view. Therefore, the objectives of this study is to discuss the technology development of SMS and its management on the basis of existing theory of technology development and technology management.

Methodology

This study includes a twofold review. The first part basically focuses on the two major theoretical foundations, such as technology development and technology management. Rogers' diffusion of innovation (DoI) theory has been taken as the basis of technology development, while technology strategy model of Rieck and Dickson (1993) has been taken as the basis of technology management review. These two theories have been reviewed in consideration of innovation and management perspectives. Going forward in the second part, SMS has been discussed as per the theoretical relevances. After that, its major components are identified and discussed. A model patent workshop also has been described with its working pattern. As SMS is a new manufacturing paradigm, its characteristics also have been

reviewed. Finally, the application of SMS in the real world has been demonstrated with its application in the global textile complex.

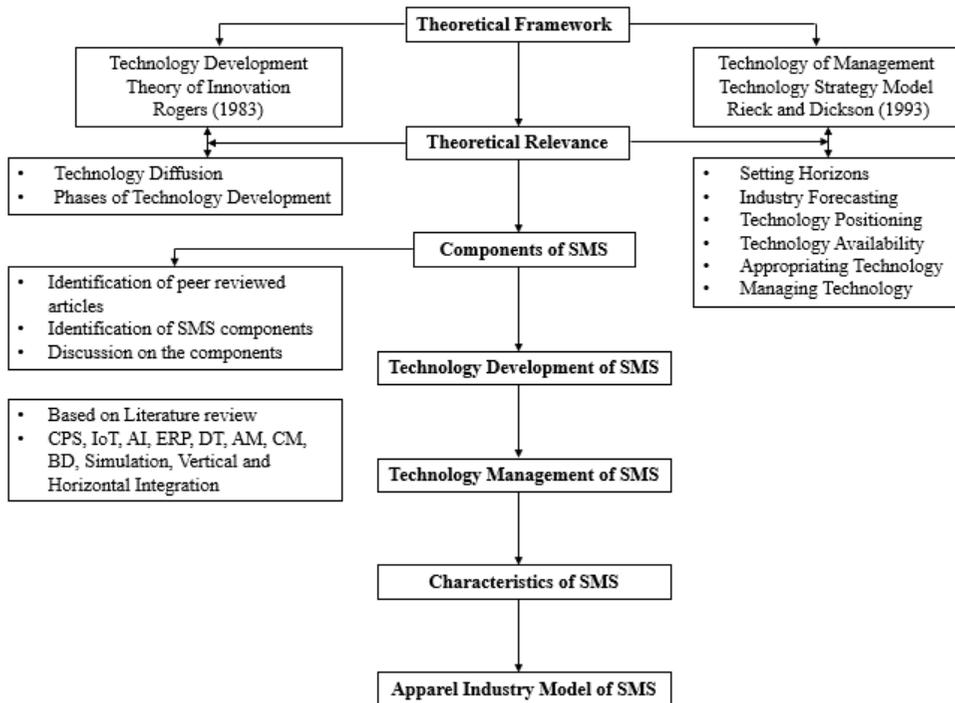


Figure 1. Methodology flowchart.

Theoretical Framework

Rogers' Diffusion of Innovation Theory

The span of technology from evolution to a successful implementation is a long and complex process that depends on other technologies, such as an interrelationship of information and resources in the interrelated complex systems for mutual adaptations within the environment. (Mario, 2019). The initial stages of any technology have been explained in many literatures using Rogers' DoI theory, where the author used the word "innovation" as the synonym of "technology" (Sahin, 2006). Rogers (1983) defined diffusion as "the process by which an innovation is communicated through certain channels over time among the members of a social system" (p.05). Therefore, diffusion has four elements, such as (i) innovation (ii) communication channel (iii) time, and (iv) social system.

Innovation. Rogers (1983) defined innovation as "an idea, practice, or object that is perceived as new by an individual or other unit of adoption" (p. 11). All the innovations that Rogers discussed are technological innovation, where technology is a design for instrumental action that lessens the ambiguity in the cause-effect relationships engaged in accomplishing the desired outcome.

Technology usually consists of two components, such as hardware and software. Hardware signifies the physical or material objects of technology, such as transistors and semiconductors. On the other hand, software embodies the tools based on information of technology, such as coded commands and information. Rogers (1983) conceptualized five main steps in innovation-decision process, such as (i) knowledge (ii) persuasion (iii) decision (iv) implementation (v) and confirmation. These five steps help diffuse knowledge from innovation through implementation to the adoption process. Knowledge takes place when a person or other decision-making unit is exposed to the innovation's life and gains some insight into how it performs (Rogers, 1983). Persuasion happens when a person or other decision-making unit makes a positive or negative approach toward innovation (Rogers, 1983). Decision comes when a person or other decision-making unit interacts in activities that result in a choice to adoption or rejection of the innovation (Rogers, 1983). Implementation takes place when a person or other decision-making unit applies an innovation into use (Rogers, 1983). Confirmation occurs when a person or other decision-making unit looks for reinforcement of an innovation decision that has already been applied, but it can be reversed if it is exposed to conflicting messages on the innovation (Rogers, 1983).

Communication channel. Rogers (1983) defined the communication channel as "*the means by which messages get from one individual to another*" (p. 17). Rogers categorized communication channels into two segments, such as mass media channels and interpersonal channels. Mass media channels involve the means of transmitting messages through mass media, which enable few individuals to reach an audience of many, for instance, radio, television, and newspaper. On the other hand, Rogers (1983) addressed interpersonal channels as superior over mass media since it is more effective to persuade an individual to adopt new technology. Interpersonal channels are used to exchange messages between two or more individuals.

Time. Rogers (1983) stated time as an important element in the diffusion process. Time is always independent of any event, although it is an important part of any activity. Time is an obvious aspect of the communication process, such as innovation, adoption, and diffusion, or rejection.

Social System. Rogers (1983) defined the social system as "a set of interrelated units that are engaged in joint problem solving to accomplish a common goal" (p. 24). He also stated that a social system could consist of all the members or units of a system or subsystem, such as all the medical doctors in a hospital or all the workers and personnel of a manufacturing enterprise. When all the individuals share their information to accomplish a certain goal, the sharing of information binds the system together.

Phases of Technology Development

Rogers (1983) stated four phases that typically take place in developing new technology in the industrial enterprise, such as innovation, imitation, technological competition, and standardization (p.141).

1. **Innovation**- an uncertain period with several trial-and-error problem-solving leads to the innovation where the production undergoes at a small scale in a garage-like small facility, such as the bioengineering industry (Rogers, 1983).
2. **Imitation**- many enterprises customize the basic innovation and gradually improve through research and development (R&D) according to the demand of the market. Thus, the enterprise spinoffs new firms for a new product launch, for example, solar collector industry (Rogers, 1983).
3. **Technological competition**- here R&D lab work to improve the innovation to sustain in the competitive market through changing the production process. It is challenging for small firms to enter this market while existing firms drop out due to failure in making improvements on imitation, such as the semiconductor industry (Rogers, 1983).
4. **Standardization**- here, the development activities focus on further improvement of the production process to make a durable product with competitive price features, for instance, the pocket-calculator industry (Rogers, 1983).

Technology Strategy Model

Rieck and Dickson (1993) proposed a utilitarian technology strategy model, which is a management theory on how firms can adopt and diffuse technology by incorporating technology strategies into a firm's overall vision. This model is known as the technology strategy model, which is based on six major sequential tasks in the process of technology strategy, such as (1) setting horizons, (2) industry forecasting, (3) technology positioning, (4) determining technology availability, (5) appropriating technology, and (6) managing technology. All these six tasks cover three basic levels of strategy, such as (1 – 3) cover corporate strategic concerns, (3 – 5) cover business strategy issues, and (5 – 6) cover strategic operational concerns.

1. **Setting horizons**. Setting horizon is the broadcasting aspects of technology strategy in the technological environment or industry where firm operates its activities. It includes strategic benefits of adopting new technology or sector and practical implications of the changes due to the technological adoption which needs strategic analysis. It determines the industrial context and broad directions in the long run of the firm. Thus, setting

- horizons clearly identifies the certain technologies of the firm from where benefits may possibly be obtained. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 400-401).
2. **Industry forecasting.** Industry forecasting does not necessarily predict about the emergence of new products. It focuses on the understanding of the factors that can affect the industry negatively over the long period and the general direction of development of the industry. It considers how innovative or distinct technologies could be used to reconfigure the value chain, which can bring benefits to the firm. Since the technological revolution significantly impacts the organizational structure, it is critical to sense the new technology that can bring revolution. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 401-402).
 3. **Technology positioning.** In regard to technology, a firm needs to place itself in a position where they believe to be the best fit for them. The technology positioning depends on the strategic direction and potential future business environment. The selection of technology could be made with technology forecasting. The most important thing is to define the way of using technology for competitive advantages. A choice needs to be made at the time when they like to lead the competitors. The firm must decide the most appropriate time to change its technological position over to which it will achieve the target. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 402-404).
 4. **Determining technology availability.** At this stage, the firm will already have developed a comprehensive understanding of the required technology and its significance for the future. Determining technology availability is related to R&D strategies of the firm. Technology comes from three different sources, such as internal (from R&D), external (direct purchase, licensing, and knowledge recruitment), and mixed (internal and external). The function of determining technology availability is to enhance technological resources rather than only buying new technology. The very first task is to determine the available internal and external technologies and their competencies for the future. In the long run, technology with better competencies should be targeted in comparison to the existing technologies its competitors have. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 404-405).
 5. **Appropriating technology.** After identifying required technologies and sources, the firm needs to implement those effectively into the operations. Appropriability comprises of two components, such as economic consideration where knowledge is expensive to generate but economical to spread, and effective technology transfer where technology is uncodified. It is difficult to transfer technology when technology is uncodified. Low appropriability limits the achievement from R&D and hinders the way to technology leadership. Appropriating a technology, the firm needs to allow 1-2 years to train and make the staff understand the technology. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 405-406).

6. **Managing technology.** Management of technology is the final component of technology strategy, which ensures operational efficiency. It is a continuous manner for employees to work constantly towards enhancing all aspects of the organization and operations. This gives the organization an internal dynamic movement and numerous small enhancements for incremental gains. The dynamic movement and continuous improvements pave the way to implement new technology more efficiently and make sure to fit the technology into the firm's operations. The continuous improvements also help identify key bottlenecks to make the new technology beneficial for the operations in overcoming the inefficiencies in current technologies. (Rieck & Dickson, 1993, pp. 407).

Components and functions of SMS

Several disruptive technologies, such as cyber-physical systems (CPSs), the Internet of Things (IoT), cloud manufacturing, big data analytics, and artificial intelligence (AI) have emerged to enable the SMS in the industry (Park & Febriani, 2019). Phuyal et al. (2020) added few more components of SMS, such as virtual reality, augmented reality, additive manufacturing, flexible and reconfigurable manufacturing, Industrial Internet of Things (IIoT), and simulation. Additionally, Aneja et al. (2019) pointed out simulation and vertical/horizontal integration of the value chain from management to the shop floor to be the key components of future textile SMS. Based on the above investigation, the key components of an SMS can be listed as follows.

Cyber-physical System (CPS)

CPS is a multidisciplinary system to control widely distributed and embedded computing systems by combining computation, communication, and control technologies to recognize the real-time and dynamic collaboration between physical and embedded systems (Park & Febriani, 2019). It is a fusion of the virtual and physical world where the physical world involves computation and vice versa (Aneja et al., 2019). The future SMS will be based on Socio-cyber-physical system (SCPS)-based manufacturing, which is the combination of smart manufacturing (mass customization) and additive manufacturing (mass personalization), adding the social dimension along with. Social dimensions, for example, are law, beliefs, and culture (Yao & Lin, 2015). In SCPS-based manufacturing, the internet, customers, social media, equipment, and producers interact intensively along with smart and hybrid manufacturing processes (Li et al, 2020).

Internet of Things (IoT)

IoT is a network of cyber physical system that allows to interact between “things” and “object” via internet with each other through unique

addressing schemes, such as RFID, sensors, and mobile phone (Aneja et al., 2019).

Robotics

Robotics is an autonomous system that integrates programming, machines, sensors, actuator, digital electronics, and microprocessor technology, which is capable of doing certain activities (Shakhtrah, 2011). Robots are considered a basis of smart manufacturing systems, particularly in the automobile and related component assembly, where human involvement is highly risky and time-consuming. Future industrial robots will occupy a wider range of application areas in the manufacturing industries (Hägele et al., 2016). Applications of robots in the apparel industry have already been started in a small range, especially in sewing operations, which is expected to increase further in the future (Gries & Lutz, (2018).

Artificial Intelligence (AI)

Industrial artificial Intelligence (AI) is an organized computational area, which focuses on the development and validation of various machine learning algorithms for industrial applications with longtime performance (Lee et al., 2018). Industrial AI can achieve smart and flexible industrial systems and enables them to defect flexible, on-demand, and self-organizing (Lee et al., 2018). This system can also identify potential threats, forecast, and develop possible action plans. A forecasting tool is an important part of the production plan which is being used in designing the manufacturing process for an uninterrupted production model (Rojek & Jagodziński, 2012)

Advanced Enterprise Resource Planning (ERP)

ERP is an information management tool that integrates the entire system of business management and offers a smooth flow of information within the organization (Klaus et al., 2000). SMS needs the integration of personalized and customized connectivity and collaboration of technology and information including Manufacturing Execution System (MES), Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), intelligent algorithms, Engineering Data Analysis (EDA), Supply Chain Management (SCM), and Design Chain Management (DCM) with an integrated information framework which is considered to be possible by ERP (Oztemel & Gursev, 2018).

Digital Twin

Digital twin is a virtual model of physical objects to simulate their behaviors to establish the cyber-physical fusion and to achieve the optimization of the product design, manufacturing, and smart services (Qi et al., 2018). A digital twin offers a digital interpretation of the previous and existing behavior of components of SMS. The robust managing capabilities of the digital twin help accelerate the product or system performance with predictive design and process adjustments in the physical world (Burke et al., 2017).

Additive Manufacturing

Additive manufacturing is the process of printing 3D objects putting several subsequent layers of materials together using a 3D printer where every slice of the layer is programmed by software. It can produce 3D objects of high geometric complexities along with precise control of surface finish and dimensional accuracy (Li et al, 2020). In this process, solid goods are conceived of, made, and delivered by using an additive process with an option to mass customization, which connects the cyber and physical systems together (Yao & Lin, 2015).

Cloud Manufacturing

Cloud Manufacturing is based on cloud computing and the Internet of Service (IoS) manufacturing system that transforms manufacturing assets and competencies to manufacturing services by offering various value-added services and the option to communicate via different channels (Mabkhot et al. 2018).

Big data

A big data storehouse offers the extensive capability to store and retrieve the essential data for the value chain of the manufacturing enterprise that provide several benefits, such as the identification of the root causes of failures in real-time, understanding of the potential data-driven marketing, and generation of customer offers as per their feedback (Mabkhot et al. 2018).

Simulation

Simulation is a programming model based on the mathematical equation that is designed to imitate a real system when the analytical model does not work (Durán, 2020). Simulation is used to predict the performance characteristics of a production system to underline their productivity levels and assess new management solutions within a short time (Bevilacqua et al., 2013).

Vertical and Horizontal Integration

Vertical integration is the interconnection of different processes within an enterprise, such as sourcing, production, distribution, sales, and other economic processes to reduce cost and optimize the services (Doan, 2007). When the automation system gets connected with management administration network is known as vertical integration and when automation system is interconnected with other automation system is referred to as horizontal integration (Treytl et al., 2005). An example of horizontal integration is Supply Chain Management, where an enterprise seeks to optimize the entire set of activities, such as order entry, purchase, production, and shipment, to minimize the lead-time and costs for production along with maximizing the value for the customer (Wangler & Paheerathan, 2000).

Liu et al. (2020) patented a smart workshop with the following steps ranging from A to D.

Step-A. The initial design plan includes factory spaces, building structure, manufacturing process, distribution format, equipment geometry, and layout of the entire production line. Acquiring a design of a production line is simulated according to the design requirement to establish a three-dimensional digital graphic model of a smart factory with required components. A linear L shaped production line layout is preferred when the manufacturing plant gets a spacious area with different material loading and unloading zones. (Liu et al., 2020).

Step-B. A smart manufacturing system with a rapid custom design method includes a host computer, a simulation system, and a Programmable Logic Controller (PLC) system. This step makes a complete plan of single machine equipment that includes product distribution, motion control plan, and performing the offline simulation. (Liu et al., 2020).

Step-C. At this step, the system establishes a communication system between the Product Life Cycle (PLC) system of smart model and PLC system of physical equipment with the help of digital twin technology. Moreover, there will be an interconnection between data and information, real-time synchronization of physical equipment data, host computer monitoring (ERP/MES) data, and 3D virtual simulation data with the help of binary synchronization technology, which will result in a 3D digital twin model of a smart manufacturing system. It establishes communication between single machine digitization and operation synchronization. MES and digital twin model establish the operation with the help of the Manufacturing Execution System (MES) generated instructions while digital twin model execution gets feedback and establishes a simulation operation. MES simulates the production order, analyzes the operation output, which further verifies the production deadline achievement rate, production balance rate, facility operation rate, vulnerability, and flexibility of the entire production line. (Liu et al., 2020).

Step-D. In the final step, all the systems get integrated and synchronized together, such as single machine equipment, control system, and implementation system with virtual network and 3D digital twin model. The inventors of this system claimed that it significantly shortens the custom design cycle and covers the traditional serialized manufacturing system into a parallelized manufacturing system. The following are some of the distinct optimizations of this system over the traditional system.

- It is a virtual design process of manufacturing, which forms a 3D digital twin model that includes factory layout, equipment operation, and product movement method to optimize the preliminary design.
- It shortens the number of design products and design cycles in a parallelized R&D process by the integration and synchronization between the virtual control network and the 3D digital twin model.

- It optimizes the integration cycle of the whole production line by integrating digital twin technology, physical equipment into sections, previous integration, avoiding control logic and design errors, reducing joint test time, shortening the ratio of space occupancy and fund occupancy cost.

Technology Development of SMS

Sjödín et al. (2018) pointed out three key challenges for developing SMS, such as people, process, and technology. Strengthening research and development is a key notion before developing SMS. Before developing any technology in SMS, certain accesses must be fulfilled, such as automation and robotization, qualified staff, ability to data processing, repeatable production process, readiness to internal and external integration, and access to capital budget (Odważny et al., 2018). Laaper et al. (2020) figured out seven factors to consider in terms of technology development for smart manufacturing system, such as focusing the end-users' need, prioritizing leadership level for technology adoption, identification and deployment of unique skill sets, development and access to skills required for the long term success, capabilities of connectivity, management of digital devices at the shop floor and bridging IT and OT to ensure the transformation. They also stated that the technology in an SMS should combine the capabilities in the Industrial Internet of Things (IIoT), cloud and edge computing, robotic process automation (RPA), artificial intelligence (AI) and machine learning, vision systems, and augmented and virtual reality systems.

The above statements summarize the following factors to consider for the technology development of SMS.

- Researching the end users' need
- Innovation
- Knowledge and workforce management
- Leadership for technology adoption
- Identification, development, and deployment of unique set of skills and skills required for long term success.
- Internal and external technology and management integration.
- Capabilities of connectivity
- Bridging between IT and OT
- Management of digital devices at the shop floor

Technology Management Strategy in SMS

Mittal et al. (2018) stated six technology management strategies to adopt SMS in the enterprise as follows.

Decision making. Strategic decision-making starts with the identification and verification of information pertaining to the expected change. It is followed by the external or internal development of alternative solutions or designing the brand-new solutions that can fit the new changes. Finally, the new solutions are evaluated by the managers to come up with a best-fit solution to apply (Brouthers et al., 1998). A rational decision-making process must locate, access, retrieve, analyze, and utilize information before reaching to a decision. The strategic decision includes the information on internal organization, market structures, customers' attitudes, competitors, technologies, regulations, and public affairs (Citroen, 2011).

Knowledge management. Knowledge is the integration of information, skills, and capability toward a set of objectives, whereas knowledge management is the acquisition, transfer, and accumulation of knowledge (Gaimon & Bailey, 2012). Knowledge management and development include capabilities of firm's technical systems, workforce management, and consistent transfer of knowledge across the firm (Gaimon, 2008). The internal knowledge can be shared with a competitor in the same market by licensing or competitive mechanism, which is another way of making a marginal profit (Gaimon et al., 2017). Research and Development (R&D) set up at the initial stage is expensive for the organizations. Thus, technology trade or joint venture has been important for the growth and diversification and developing relationships with other organizations for a long time in a cheaper way (Granstrand, 2004).

Technology standards. Standards are published files to act as a basis for product and process development. Technology standard is the specific technical resolution that is taken to carry out a certain function. It makes products and services up to certain obligations for entering a particular market and helps the developers and users decide the best technical protocols for dynamic functions and services (Jiang et al., 2020). Technology standard provides compatibility and effective operations which ultimately offers huge economic benefits (Xu et al, 2014).

Legal policies. The common legal policies of manufacturing industries, especially the automotive industry, include warranty, intellectual properties, cybersecurity, data privacy, tariff, and global commodities impacting sourcing (Aiello & Miller, 2020).

Sustainability guidelines. Sustainability in the manufacturing system includes sustainable product lifecycle issues in the manufacturing process that aims at effective use of raw materials, energy, information, and capacity for work (Ioannou & Veshagh, 2011). A sustainability guideline brings the balance of demands from economic, ecological, and technological perspectives (Price et al., 2011). Many SMEs often do not focus on sustainability due to lack of time, personnel, skills, and financial capabilities but an environmental focus in the enterprises offers both technological advances and improved outlook toward

creating end user-friendly production (Price et al., 2011). Ioannou and Veshagh (2011) highlighted several points that are required to include in the sustainability guidelines of SMS as follows.

- Reduced use of energy, materials, and water.
- Improvement of environmental aspects of resources, such as toxic and ecologically incompatible chemical substances.
- Designing for multiple and longer life cycles of system and products.
- Improvement of manufacturing technology in terms of environmentally sound production technologies and processes.
- Improvement of working conditions, such as ergonomic point of views, health and safety requirements; equity and fairness; employees' personal development.
- Supporting local communities in economic, social, and cultural perspectives.

Characteristics of SMS

Mabkhot et al. (2018) pointed out six characteristics that need to be taken into consideration for designing an SMS, such as modularity, interoperability, decentralization, virtualization, service orientation, and real-time capability.

Modularity

Modularity is the characteristics ability of separation and reunion to form different configurations in the system (Mittal et al., 2019). This characteristic enables SMS to separate and reconfigure different modules from different vendors in the quick possible time. It provides SMS with a real-time capability to respond to the changes as per new requirements, which helps overcome internal difficulties (Mabkhot et al., 2018).

Heterogeneity

Heterogeneity is the variety of dissimilarities in different units and components, unlike modularity. SMS is a heterogeneous system that comprises of diversified and dissimilar units and components (Mittal et al., 2019).

Interoperability

Interoperability is the ability to exchange and share information across the different unit of SMS (Mittal et al., 2019). It indicates the ability to communicate technical information across the system components and between manufacturing enterprises and customers. Standardized mechanical, electrical, communication information, and semantic technologies are key enablers of interoperability for the SMS (Mabkhot et al., 2018).

Intelligent Control

Intelligent technology enables a system to change its action by its own experience, whereas intelligent control technology integrates different

technology, such as AI techniques, to manage its mechanisms (Mittal et al., 2019). It can control and exploit the manufacturing process when necessary. For instance, when any raw material is sent to any unit, the manufacturing unit can process that raw material automatically. It can also control the maintenance of the system by predictive maintenance capability to get rid of the machine idle time (Tao et al., 2018)

Data-Driven and Connected System

SMS is a data driven system that connects each and every component sharing and exchanging data. It is a networked, connected, and shared manufacturing system based on information communication technology (Kusiak, 2019). Moreover, incorporation of Computer Integrated Manufacturing (CIM) and advanced Enterprise Resource Planning (ERP) facilitate 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; Oztemel & Gursev, 2018)

Sustainability

Manufacturing system is considered to be a significant source of damaging the environment due to its high energy consumption with expected efficiency. In this regard, SMS is a sustainable system in terms of low energy consumption and with considerable factors in favor of consumers and environmental aspects (Kusiak, 2019). The production process and operation system should be with minimum environmental disruption in terms health, chemicals, and environmental hazards (Mittal et al., 2019).

Decentralization

Decentralization allows the system elements, for instances modules, material handling, and products to be independent of control unit to make decisions on their own according to the organizational objectives. All these system elements allow related workers to make decisions on simple issues in time and cope with the strategic directions and changes in the manufacturing environments (Mabkhot et al., 2018).

Virtualization

Virtualization creates an artificially simulated environment similar to the real environment to supervise and replicate physical processes. It helps the system implement designs, create digital prototypes similar to the actual one to check, modify, and test before proceeding to the physical system (Mabkhot et al., 2018).

Real-time capability

The real-time capability enables the system to act in response to adjustments of the internal production system in time, such as malfunctions and resource failures. In order to achieve this capability, the system should have a sufficient degree of modularity and real-time monitoring and

controlling capacity to reconfigure the required adjustments (Mabkhot et al., 2018).

An SMS Based Apparel and Textile Industry Model

Being a traditional industry, the textile industry faces global competition for rapid change of trend and dynamism of customer demands that need the upgraded technology, manufacturing intelligence, and managerial strategy (Ku et al., 2020). Textile and apparel industries are going forward to embracing SMS based on Cyber-Physical System (CPS) by incorporating IoT technology in the existing infrastructure to make the manufacturing system smarter. CPS system in the textile and apparel industry integrates ordering systems, automation systems, product information, and management system, production information integration, and production automation system (Lee et al., 2017). Textile industry encounters worldwide competition for rapid and dynamic change in fashion and styles, which results in frequent mass customization (Ku et al., 2020). To adopt these changes by the textile companies, the operation and process systems need to be upgraded by employing the latest manufacturing intelligence (Ku et al., 2020). The textile industry is gradually adopting CPS as a part of the upgrade to the fourth industrial revolution or Industry 4.0 (Ślusarczyk et al., 2019). With the growing connectivity of smart operations across the textile and apparel value chain, smart products and data-driven services have increased over 20%, resulting in 10%-40% cost savings in servicing and maintenance, which expedited the lead time 20%-50% (Küsters et al., 2017). Additionally, smart connected products provide a technological basement for integrating new business models or data-driven business models that paves the way to earn more revenue (Küsters et al., 2017).

Gökalp et al. (2018) proposed an SMS of apparel production unit that includes six smart approaches to integrate a smart manufacturing system as follows.

1. Digital Information Transfer

- Digital modeling, drawing and pattern making of garment sketch by 3D format.
- Testing the model and sketch by virtual reality technology.
- Sending the patterns and markers to the cutting section by cloud technology.

2. Predictive Maintenance

- Defining a maintenance strategy with variety of data analytics on hidden pattern and relationship of devices in order to increase efficiency and reduce failure rate.
- A CPS including sensors, actuators, processors, and intelligent electronics with internet to optimize the functionality and device problem in real time.

3. Human-robot Collaborated Cutting

- Transporting fabrics from fabric store by the CPS.
- Spreading fabrics on the cutting table by the CPS.
- Completing the cutting by a laser cutting system with minimum human interaction.

4. Intelligent Manufacturing

- Placing Radio Frequency Identification (RFID) tags on the cut fabrics having information on how to sew, iron, button, wash, and pack.
- Based on the information of the RFID tag, the respective parts will follow the manufacturing sequence by the cyber-physical system, whereas the manufacturing supplies will also be arranged as per the RFID information.
- RFID readers will set the required action to complete steps, such as types of button, wash temperature, and ironing temperature.

5. Robotic Quality Control

- Computer aided quality control system will speed up the quality assurance of the product.
- Advanced image processing and machine learning will provide the capability of determining the best quality of the final garments.

6. Packaging with Cyber-physical System

- Based on the RFID information, the final product will be packed by cyber-physical system with minimum human interactions.
- RFID tags will still be available on the product for retailers and consumers' accessibility of product information.

Challenges of implementation:

The previous discussions from theoretical relevances and components of SMS indicate that SMS is a very challenging system to adopt as it offers new technology and pattern of machine setting. The theoretical relevances figured out the challenges that relate to innovation, development, and management of SMS. The previous literature included several challenges and difficulties that relate to implement SMS from manual setting to Industry 4.0 version. Phuyal et al. (2020) and Tuptuk and Hailes (2018) indicated that the security was the main difficulty to implement this platform as it is based on internet, computer, software, and data sharing platform. Other challenges were identified as system integration, interoperability, safe human-robot collaboration, multilingualism, and return of investment.

Findings and implications

The overall review showed that the theoretical perspectives can demonstrate the need for technology knowledge to adopt and spread the

development and management of smart manufacturing system. Theory makes the complex technological structure easy towards the innovators, new adopters, and managerial officials. IoD theory identified communication channel and social system as the integral part of technology innovation, while innovation, imitation, technological competition, and standardization are the major parts of technology development. On the other hand, technology strategy model discussed readiness, futuristic goal, technology positioning, understanding, identifying, and managing are the key processes of technology management. Several disruptive technologies, such as cyber-physical systems (CPSs), the Internet of Things (IoT), cloud manufacturing, big data analytics, and artificial intelligence (AI) have been identified as the major enablers of the SMS in the industry. Decision making, knowledge management, technology standards, legal policies, and sustainability guidelines have been found to be the strategic aspects for technology management of SMS. Characteristically SMS is mostly unique for decentralization, virtualization, and real time capabilities. The future manufacturing system is supposed to be the base of SMS. This study could help the respective future researchers and stakeholders connect with the theoretical relevance to understand the initial development and management complexities of the industry 4.0 level of manufacturing system. The future research could be on the optimization of adaptability of SMS. Different adaptive models could be developed for different manufacturing areas. A step by step process of implementation would offer a flexible understanding of the complexities. However, a common adaptive model would be something interesting in future research for generalized view of the this disruptive manufacturing system.

Conclusion

Theory can explain the technical aspects of any phenomenon that helps the respective stakeholders perceive the primary complexities. However, many scholars are still skeptic on the effectiveness of theoretical relevance to technology understanding. SMS is a very new paradigm of manufacturing system that integrates many disruptive technologies offering unprecedented complexities. The idea of theoretical perspectives can expedite the process of adopting its primary difficulties. Rogers' DoI theory can help the early adopters to think innovatively including different phases of technology development. On the other hand, technology strategy model can help the adopters perceive the adoptions and diffuse the technology across the firm. The integration of theoretical knowledge into the technical perspectives makes the primary understanding on SMS, its components, and characteristics more acceptable. This study has combined the theory and technical knowledge on the management of SMS incorporating a patent and model SMS of global textile complex. The study addresses the challenges and opportunities to cope

with the management and dynamic nature of this manufacturing system that can offer a robust primary understanding for the researchers, early adopters, future researchers, and respective stakeholders to develop and manage it in the working environment.

References:

1. Aiello, M., & Miller, V. (2020). The impact of emerging technology on global supply chains. *The National Law Review*. X (310). <https://www.natlawreview.com/article/top-legal-issues-facing-automotive-industry-2020>
2. Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Crosta, A., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2013). Designing an Efficient Production System: A Case Study of a Clothing Company. *International Journal of Engineering Business Management*. 10.5772/56842
3. BoF (2016). The Robot Opportunity. <https://www.businessoffashion.com/articles/fashion-tech/the-robotics-opportunity-manufacturing-efficiencies>
4. Brouthers, K. D., Andriessen, F., & Nicolaes, I. (1998). *Driving blind: Strategic decisionmaking in small companies*. *Long Range Planning*, 31(1), 130–138. doi:10.1016/s0024-6301(97)00099-x
5. Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M., Sniderman, B. (2017). Smart Factory: responsive, adaptive, connected manufacturing. *Deloitte Insights*. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>
6. Calinescu, A., Efstathiou, J., Schirn, J., & Bermejo, J. (1998). Applying and assessing two methods for measuring complexity in manufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 49(7), 723-733.
7. Citroen, C. L. (2011). The role of information in strategic decision-making. *International journal of information management*, 31(6), 493-501.
8. Doan, K., L., N. (2007). Vertical integration. Center for Asean studies. file:///C:/Users/MDB173~1.AL-/AppData/Local/Temp/CAS55ISSN.pdf
9. Durán, J. M. (2020). *What is a Simulation Model? Minds and Machines*. 10.1007/s11023-020-09520-z
10. Feng, S. C., Bernstein, W. Z., Hedberg, T., & Barnard Feeney, A. (2017). Toward knowledge management for smart manufacturing. *Journal of computing and information science in engineering*, 17(3).

11. Gaimon, C. (2008). The management of technology: A production and operations management perspective. *Production and Operations Management*, 17(1), 1-11.
12. Gaimon, C., & Bailey, J. (2012). Knowledge Management for the Entrepreneurial Venture. *Production and Operations Management*, 22(6), 1429–1438. doi:10.1111/j.1937-5956.2012.01337.x
13. Gaimon, C., Hora, M., & Ramachandran, K. (2017). Towards Building Multidisciplinary Knowledge on Management of Technology: An Introduction to the Special Issue. *Production and Operations Management*, 26(4), 567–578. doi:10.1111/poms.12668
14. Granstrand, O. (2004). The economics and management of technology trade: towards a pro-licensing era? *International Journal of Technology Management*, 27(2/3), 209. doi:10.1504/ijtm.2004.003953
15. Gries, T., & Lutz, V. (2018). Application of robotics in garment manufacturing. *Automation in Garment Manufacturing*, 179–197. 10.1016/b978-0-08-101211-6.
16. Gries, T., & Lutz, V. (2018). *Application of robotics in garment manufacturing. Automation in Garment Manufacturing*, 179–197. doi:10.1016/b978-0-08-101211-6.00008-2
17. Hägele, M., Nilsson, K., Pires, J. N., & Bischoff, R. (2016). *Industrial Robotics. Springer Handbook of Robotics*, 1385–1422. doi:10.1007/978-3-319-32552-1_54
18. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37806/Shakhatreh_Fareed.pdf?sequen
19. Ioannou, K., & Veshagh, A. (2011). Managing Sustainability in Product Design and Manufacturing. *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*, 213–218. doi:10.1007/978-3-642-19692-8_37
20. Jayatilake, H., & Rupasinghe, T. D. (2016). Implementing Industry 4.0 in the apparel industry; A study to design a customized smart apparel production plant. In *presented at the Simulation and Modelling Design Competition, At Department of Industrial Management, University of Kelaniya*.
21. Jiang, H., Gao, S., Zhao, S., & Chen, H. (2020). Competition of technology standards in Industry 4.0: An innovation ecosystem perspective. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 772-783.
22. Klaus, H., Rosemann, M., & Gable, G. G. (2000). What is ERP?. *Information systems frontiers*, 2(2), 141-162
23. Krzywdzinski, M. (2017). Automation, skill requirements and labour-use strategies: high-wage and low-wage approaches to high-tech

- manufacturing in the automotive industry. *New Technology, Work and Employment*, 32(3), 247-267.
24. Kusiak, A. (2019). Fundamentals of smart manufacturing: a multi-thread perspective. *Annual Reviews in Control*, 47, 214-220.
 25. Küsters, D., Praß, N., & Gloy, Y. S. (2017). Textile Learning Factory 4.0—Preparing Germany's Textile Industry for the Digital Future. *Procedia Manufacturing*, 9, 214-221.
 26. Laaper, S., Dollar, B., Cotteleer, M., Sniderman, B. (2020). Implementing the smart factory: New perspectives for driving value. *Deloitte Insights*.
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/smart-factory-2-0-technology-initiatives.html>
 27. Lee, J., Bae, Z., & Choi, D. (1988). *Technology development processes: A model for a developing country with a global perspective*. *R&D Management*, 18(3), 235–250. 10.1111/j.1467-9310.1988.tb00590.x
 28. Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*. 10.1016/j.mfglet.2018.09.002
 29. Li, L., Zheng, Y., Yang, M., Leng, J., Cheng, Z., Xie, Y., . . . Ma, Y. (2020). A survey of feature modeling methods: Historical evolution and new development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, 1.
 30. Li, Q., Tang, Q., Chan, I., Wei, H., Pu, Y., Jiang, H., ... & Zhou, J. (2018). Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework. *Computers in Industry*, 101, 91-106.
 31. Liu, Q., Leng, J., Zhang, D., Chen, X., & Lijun, W. E. I. (2020). Method and system for quick customized-design of intelligent workshop U.S. *Patent Application No. 16/820,638. US20200249663A1*
 32. Lu, Y., & Ju, F. (2017). Smart manufacturing systems based on cyber-physical manufacturing services (CPMS). *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 15883-15889.
 33. Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., & Alkhalefah, H. (2018). Requirements of the smart factory system: a survey and perspective. *Machines*, 6(2), 23.
 34. 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.
 35. Mario, C. (2019). Theories of the evolution of technology based on processes of competitive substitution and multi-mode interaction

- between technologies. *Journal of Economics Bibliography*, 6 (2), pp. 99-109
36. McCarthy, I. P. (2003). Technology management—a complex adaptive systems approach. *International Journal of Technology Management*, 25(8), 728-745.
37. Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(5), 1342-1361.
38. Nagalingam, S. V., & Lin, G. C. (1999). Latest developments in CIM. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(6), 423-430.
39. Neto, P., & Moreira, A. P. (2014). Preface for the special issue on robotics in smart manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(1-4), 1–1. 10.1007/s00170-014-6028-8
40. Odważny, F., Szymańska, O., & Cyplik, P. (2018). Smart Factory: the requirements for implementation of the Industry 4.0 solutions in FMCG environment-case study. *LogForum*, 14(2).
41. Oztemel, E., & Gursev, S. (2018). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 10.1007/s10845-018-1433-8
42. Park, H. S., & Febriani, R. A. (2019). Modelling a Platform for Smart Manufacturing System. *Procedia Manufacturing*, 38, 1660-1667.
43. Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, 71(1-2), 5-26.
44. Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. *Sustainable Futures*, 2, 100023. 10.1016/j.sfr.2020.100023
45. Price, S., Pitt, M., & Tucker, M. (2011). Implications of a sustainability policy for facilities management organisations. *Facilities*, 29(9/10), 391–410. 10.1108/026327711111146314
46. Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y., & Zhao, D. (2018). Digital twin service towards smart manufacturing. *Procedia Cirp*, 72, 237-242.
47. Qu, Y. J., Ming, X. G., Liu, Z. W., Zhang, X. Y., & Hou, Z. T. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9-12), 3751-3768.
48. Ren, S., Zhang, Y., Liu, Y., Sakao, T., Huisingh, D., & Almeida, C. M. (2019). A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: a

- framework, challenges and future research directions. *Journal of cleaner production*, 210, 1343-1365.
49. Rieck, R. M., & Dickson, K. E. (1993). A model of technology strategy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 5(4), 397–412. 10.1080/09537329308524145
 50. Rogers, E.M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). New York: Free Press.
 51. Sahin, I. (2006). Detailed review of Rogers' diffusion of innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 5(2), 14-23.
 52. Shakhathreh, F. (2011). The Basics of Robotic (Master's thesis). Lahti University, Syksy, Finland.
 53. Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31.
 54. Ślusarczyk, B., Haseeb, M., & Hussain, H. I. (2019). Fourth Industrial Revolution: a Way Forward to Attain Better Performance in the Textile Industry. *Engineering Management in Production and Services*, (2), 52-69.
 55. Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-169.
 56. Thomas, J. (2017). Scholarly views on theory: Its nature, practical application, and relation to world view in business research. *International Journal of Business Management*, 12(9).
 57. Treytl, A., Palensky, P., & Sauter, T. (2005). Security considerations for energy automation networks. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(2), 158-165.
 58. Wangler, B., & Paheerathan, S. J. (2000). Horizontal and vertical integration of organizational IT systems. *Information Systems Engineering*.
 59. Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243. 10.1109/tii.2014.2300753
 60. Yao, X., & Lin, Y. (2015). Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1665–1676. 10.1007/s00170-015-8076-0

61. Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., ... & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150.
62. Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, opportunities and future directions of smart manufacturing: a state of art review. *Sustainable Futures*, 2, 100023.
63. Tuptuk, N., & Hailes, S. (2018). Security of smart manufacturing systems. *Journal of manufacturing systems*, 47, 93-106.
64. 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.
65. Mittal, S., Khan, M. A., & Wuest, T. (2016, July). Smart manufacturing: characteristics and technologies. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 539-548). Springer, Cham.
66. Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018, August). Towards a smart manufacturing maturity model for SMEs (SM 3 E). In *IFIP international conference on advances in production management systems* (pp. 155-163). Springer, Cham.
67. Aneja, A., Kupka, K., Militky, J., & Kadi, N. (2019, July). TEXTILE INDUSTRY 4.0–PREPARING FOR DIGITAL FUTURE. In *Proceedings of the 19th World Textile Conference-Autex 2019* (pp. 6-6).
68. Gökalp, E., Gökalp, M. O., & Eren, P. E. (2018). Industry 4.0 Revolution in Clothing and Apparel Factories: Apparel 4.0. *Industry 4.0 From the Management Information Systems Perspectives*, 169-184.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Paleoenvironments and Hydrocarbon Potential of Upper Cretaceous Shales in Agbabu-1 Well, Dahomey Basin SW Nigeria

Adekeye Olabisi Adeleye,

Department of Geology and Mineral Sciences, University of Ilorin, Nigeria

Ogundipe Olumide,

Department of Geology and Mineral Sciences, University of Ilorin, Nigeria

Adeoye James Adejimi,

Department of Geology and Mining, Ibrahim Badamasi Babangida

University, Lapai, Niger State, Nigeria

Adeyilola Adedoyin,

Central Michigan University, Mount Pleasant, Michigan, North Dakota,
USA

Samuel Olukayode,

University of Newcastle, upon Tyne, UK

Akande Samuel Olusegun,

Department of Geology and Mineral Sciences, University of Ilorin, Nigeria

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p194](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p194)

Submitted: 24 July 2021

Accepted: 14 October 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Adekeye O. A., Ogundipe O., Adeoye J. A., Adeyilola A., Samuel O., & Akande S. O., (2021). *Paleoenvironments and Hydrocarbon Potential of Upper Cretaceous Shales in Agbabu-1 Well, Dahomey Basin SW Nigeria* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 194.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p194>

Abstract

Upper Cretaceous shales partially exposed in the northern fringes of the Dahomey Basin are well developed in the subsurface in Southwestern part of the basin where Agbabu-1 well is sited. These shales were evaluated in respect to their paleoenvironments and potentials for hydrocarbon using foraminiferal assemblages, biomarkers and Rock Eval pyrolysis studies. The dominance of benthonic foraminifera species suggests a shallow marine environment and high percentage of calcareous to arenaceous benthic foraminifera indicate high water salinity and hypersaline environment. Dysoxic oxygen condition is also prevalent probably because most of the benthic

foraminifera recovered are epifauna that live in a reduced oxygen condition. 1.90 wt%, 244 mgHC/gTOC and 429°C average values of total organic carbon, hydrogen index and Tmax reveal that the Upper Cretaceous shales have relatively fair to good organic matter, predominantly Type II-III kerogen and currently immature. Though there is a trend of an increase in maturity down the hole. All the steranes have uniform distributions (C27>C28>C29), suggesting a relatively higher input from the marine red algae and a low level of land plant contribution to the source organic matter. Pristane/phytane ratios and C29/C27 steranes confirmed the organic matter type to be a Type II/III and anoxic source rock depositional condition as well as a reducing diagenetic system in the sediment water column. The Upper Cretaceous shales in Dahomey Basin can be targeted for exploration as an unconventional petroleum resource.

1.0 Introduction

Hydrocarbon production from the prolific Niger Delta basin has been the most valuable source of income and energy in Nigeria. However, hydrocarbon resources are being depleted daily and the need to explore more hydrocarbon plays have never been more important. Rigorous exploration activities in the adjacent frontier basins and deeper Cretaceous plays are among the few options of supplementing the depleting Niger Delta resources. The discovery of oil in offshore Cretaceous sediments of the Ise Formation in the Gulf of Guinea has increased the study and search for oil in the eastern Dahomey Basin. The source rock within this formation has a Type I kerogen with a Total Organic content of 4% and hydrogen index (HI) greater than 500 g/gram (Brownfield and Charpentier, 2006). Lower Cretaceous lacustrine source rocks with kerogen within the oil windows were identified in the far west of Ivory Coast basin (Elvsborg and Dalode, 1985; Abacan-Addax Consortium, 1998). Further studies on two Cenomanian shales samples in the underlying Abeokuta Formation (presents day Afowo formation) by (Beicip-Franlab, 1994 and Adeoye et al., 2020) showed a TOC range of 4.2 and 7.1 wt.% with HI values of 324 and 531 mg HC/gTOC as potential resources for more discovery of oil and gas to increase the national reserve.

The eastern section of the Dahomey basin also contains more hydrocarbon resources in term of extensive tar sand deposits within the Abeokuta Group (Ise, Afowo and Araromi Formations), which extends over a belt of 120 km long (Enu, 1987). Ekweozor and Nwachukwu (1989) and Ekweozor and Telnaes (1990) examined the origin and composition of the tar sand from the Abeokuta Group.

Adekeye and Akande, (2010) had contributed information on some geochemical properties of Upper Cretaceous sequences from the Gbekebo and Araromi borehole. This present study aims to evaluate the paleoenvironments and hydrocarbon potential of the Upper Cretaceous shales in Agbabu-1 well through foraminiferal paleontological, Rock Eval pyrolysis, and biomarker characterization to assess their possible contribution to the petroleum resources of the basin be it conventional or unconventional.

2.0 Geologic Setting

Dahomey Basin is part of the West African margin sag basin system (Klemme 1975; Kingston et al., 1983). The rifting and opening up of Gulf of Guinea through the separation of the African and South American plate is connected to the evolution of the basin (Storey, 1995; Mpanda, 1997). It is a coastal sedimentary basin that is adjacent to the present-day Gulf of Guinea and extends from southeastern Ghana, along Togo, Benin and Southwestern Nigeria (Burke et. al., 1971). The boundaries are defined on the western flank by the Ghana ridge and extensions of the Romanche fracture zones, on the eastern flank they are bounded by the Benin hinge line. The hinge line separates the Okitipupa ridge from the adjacent Tertiary Niger Delta (Adegoke 1977, Elvsborg and Dalode, 1985; Omatsola and Adegoke, 1981). Massive deposition of thick non-marine sediments accompanied the late Jurassic and early Cretaceous rifting and graben formation and these sediments in combination with the basement floor, block faulted and further created a series of horst and graben (Omatsola and Adegoke, 1981). Hessouh et al., (1994) worked on seismic data and subsurface structural models to understand the tectonics and sedimentary history of some parts of the Dahomey basin. They divided the tecno-sedimentary into four (4) stages from the oldest to youngest as: pre-rift (up to late Jurassic), syn-rift (Neocomian to lower Cretaceous), transitional (Cenomanian to Santonian) and post-rift (Maastrichtian to Holocene). (Adegoke, 1969; Ogbe, 1970; Kogbe, 1974; Billman, 1976; Omatsola and Adegoke, 1981; Ako et al., 1980; Okosun, 1990; Idowu et al., 1993; Adekeye, 2005 and Adekeye et al., 2006) have studied the stratigraphic framework, sedimentology and depositional settings of the Dahomey basin (Fig. 1). They identified five formations within the Cretaceous and Tertiary ages. The formations from the base to top include: Abeokuta Group comprises of Ise, Afowo and Araromi Formations (Cretaceous), Ewekoro Formation (Paleocene), Oshosun Formation (Eocene) and Ilaro Formation (Eocene) (Fig. 2). This work examines the Araromi Formation, which is mainly a shale lithology with thin intercalations of marl and limestone (Omatsola and Adegoke, 1981). The shale is grey to black and has a high organic content

with beds of lignite at the shallow depth. The formation is similar in composition to the Nkporo shale and does not outcrop anywhere within the basin (Okosun 1990). (Jan du Chene, 1977, Adegoke et al., 1980) assigned a Maastrichtian to Paleocene age to the Araromi Formation with respect to its fossil contents.

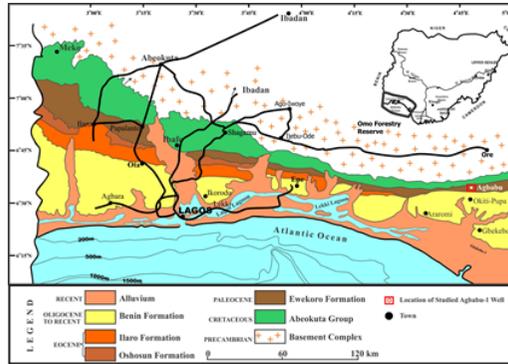


Fig. 1. The outline geological map of Dahomey Basin (Modified after Adekeye et al., 2019)

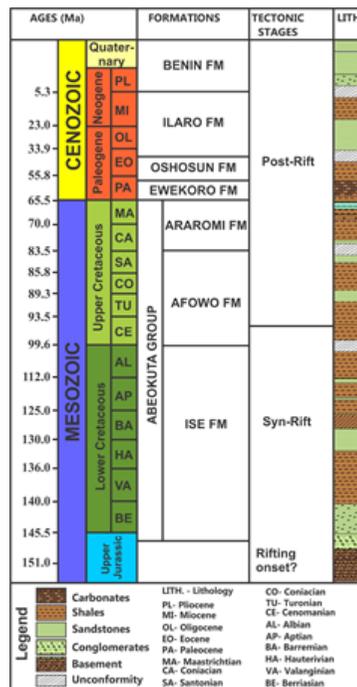


Fig. 2. Chronostratigraphic chart of the Dahomey Basin showing key tectonic stages in relation to the geologic formations and lithologies (Modified from Adeoye et al., 2020)

3.0 Methodology

3.1. Rock Eval Pyrolysis

Twenty (20) drill cuttings samples were collected within the interval 1128 m to 2181 m from the Agb_1 well in the eastern part of Dahomey basin in Southwestern Nigeria. The samples were crushed and pulverized into a 250 microns mesh (US mesh 60) in preparation for the analysis. About 60 – 80 mg of the pulverized samples were transferred into the crucibles in the UND-Weatherford Source Rock Analyzer. The first crucible in the sequence is blank, this is done to allow the machine perform a blank correction for all the subsequent samples in the crucibles. The analysis involves loading of a standard sample after every five (5) samples, to ensure quality assurance and quality of results. Operating procedures for programmed Rock-Eval pyrolysis involves heating 60-80 mg of pulverized samples at 300°C for 3 minutes, followed by programmed pyrolysis at 25°C/min to 650°C in a helium atmosphere (Clementz et. al., 1979). Hydrocarbons liberated from the samples during pyrolysis are detected by a flame ionization detector (FID) within the equipment. The various measurements determined from rock eval pyrolysis includes S₁, S₂, S₃, TOC, Tmax, OI, HI, PI

3.2 Extraction and Fractionation

Samples from the Araromi well were crushed and pulverized in a rotary mill. The powdered samples were then soxhlet extracted in pre-extracted cellulose thimble with azeotropic mixture of redistilled dichloromethane/methanol (93:7, v/v) for 24hours. Copper turnings were added to remove the elemental sulphur in the samples. An aliquot of the total extractable organic matter (EOM) for each sample was fractionated into aliphatic and aromatic hydrocarbons, and NSO/resin fractions by thin layer chromatography (TLC, Kieselgel 60G,) using petroleum ether as the developer. The separated aliphatic and aromatic hydrocarbon fractions were submitted for GC and GC-MS analyses.

3.3 Gas chromatography (GC)

GC was carried out on the aliphatic hydrocarbon fractions for their *n*-alkane distribution using an HP 5890 series II GC fitted with HP-5 fused silica capillary column (30m x 0.25mm i.d., 0.25µm film thickness). The oven was programmed to run at 50°C (2 min) and the temperature was ramped from 50°C to 300°C at 4°C /min, followed by a 20 min isothermal condition at 300°C. Hydrogen was used as the carrier gas at a flow of 2 mL/min.

3.4 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

GC-MS analysis of aliphatic and aromatic fractions was performed on a Hewlett Packard 6890 GC split/splitless injector (280°C) linked to a Hewlett-packard 5973 mass selective detector (electron voltage 70eV, filament current 220 μ A, source temperature 230°C, quad temperature 150°C, multiplier voltage 2500V, interface temperature 310°C). The acquisition was controlled by a HP Kayak chemstation computer, initially in full scan mode (TIC; 50-550 amu/sec) or in selected ion mode (SIM; 30 ions 0.7cps 35ms dwell) for greater sensitivity. The sample (1 μ l) in methylene chloride was injected by an HP7683 auto sampler and the split opened after 1 minute. After solvent peak had passed the GC, temperature programme and data acquisition commenced. Compounds separation was performed on a fused silica capillary column (60m x 0.25mm i.d.) coated with 0.25 μ m 5% phenyl dimethyl Polysiloxane (HP-5). The GC was temperature programmed from 40°C to 300°C at 4°C /min and held at 300°C for 20 min with Helium as the carrier gas (flow 1mL/min, initial pressure of 50kPa, split at 30 mL/min).

3.5 Gas Chromatography Mass Spectrometry/ Mass Spectrometry (GC-MS/MS)

GC-MS/MS was performed on the aliphatic fractions of sample Ar-145 using a Varian 1200 quadrupole MS/MS fitted with an HP-5 MS (5% phenyl di methyl polysiloxane) fused silica capillary column (30m x 0.25mm i.d. x 0.25 μ m film thickness). The GC separated components were transferred via the heated transfer line to the ion source. Electron impact mode was used for ionisation at 70eV. The oven temperature programme was 40°C (0 min), ramped from 40°C to 175°C at 10°C /min (held for 1 min at 175°C), 175°C to 225°C at 6°C/min (with a hold of 1 min. at 225°C) and then ramped to 300°C at 4°C /min with an isothermal condition of 20 min at 300°C.

3.6 Foraminiferal Palaeontology

The Twenty (20) cuttings from Agbabu-1 well were digested in the laboratory using hydrogen peroxide (H₂O₂) and water H₂O in the ratio of 3:1. The solution was transferred into each of the samples in labelled containers and soaked for twenty-four hours to ensure proper digestion. The digested samples were washed through a 0.63-micron sieve under a jet of running water until all the clay particles are completely removed. The samples were carefully transferred back into the containers, filled with water, allowed to settle before decanting. The samples were dried on a hot plate and transferred into labelled envelopes. A Reflected Light Microscope (RLM) was used in picking the microfossils from the washed residues. This is done by spreading a small quantity of the dried sample evenly on a picking tray. The foraminifera

content was carefully picked with the aid of a picking brush and transferred into the cellulose. The cellulose were labelled according to their depths and covered with cover slips to prevent the loss of the specimen.

4.0. Results And Discussions

4.1paleoenvironments

4.1.1Foraminiferal Assemblages

The distribution of foraminifera may vary according to various combined factors such as substrate type, light intensity, water temperature, food availability oxygen, salinity and current energy according to Murray and Wright (1974). Many of these factors vary with water depth, so depth may capture variations in these parameters and in species distributions. Few planktonic and reasonable number of benthic number of foraminifera were identified and picked from the samples. The planktonic foraminifera species which were identified include; *Globotruncanella petaloidea*, *Globotruncana gansseri*, *Globotruncana navaroensis*, *Globotruncana aegytiaca*, *Heterohelix globulosa* and *Abathomphalus mayaroensis*. The Benthic foraminifera species which were identified include; *Afrolivina afra*, *Nonionella auris*, *bolivina Africana*, *Ninion sp.*, *Bolivina explicata*, *Valvulineria sp.*, *Texrtularia h^okleyensis*, *Cyclamina cancellata*, *Haplophragmoides sp.*, and *Ammobaculites sp.* Fig. 3 showed some of the planktonic and benthonic foraminifera species identified. Results from individual foraminifera counts are eight (8) planktic, thirty-one (31) calcareous and eighteen (18) Arenaceous (Fig. 4). These results showed that the calcareous foraminifera species were abundant and diverse at the deeper part of the well while the arenaceous foraminifera species dominates the shallow portion of the well (Fig. 4). The total distribution for the planktonics, calcareous and arenaceous foraminifera counts is 14%, 54% and 32% respectively.

conducive the environment may be from some foraminifera taxa to populate. Low number of species suggest environmental stresses while high diversity suggests favourable conditions (Murray and Wright, 194). The occurrence of diagnostic benthic species all the definition of minimum and maximum water depth for different part of the well section. High diversity of arenaceous foraminifera indicate low-oxygen concentrations (Gebhardt, 1998). This could be a result of increased input of organic matter from incoming fluvial systems. The shell type such as; Agglutinated, Porcelaneous calcareous and Hyaline calcareous ratio is used in salinity interpretation (Murray and Wright, 1974). The ratio of these test types has been used in differentiating brackish from hypersaline and normal marine environments.

In reconstructing bottom water oxygenation benthic foraminifera assemblages are used. Deep ocean oxygen concentration has a profound impact on marine benthic foraminifera distribution pattern in modern and ancient oceans. As global temperature rise, areas of oxygen-poor environments, which include Oxygen Minimum Zones (OMZs), are predicted to increase, and with this, foraminifera show preference to varying oxygen condition. Many researchers that use foraminifera to evaluate bottom water oxygen (BWO) concentrations consider epifaunal species as indicators of well-oxygenated environments (Kaiho, 1999). The benthic foraminifera are grouped into oxygen indicator categories that is; oxic, suboxic and dysoxic. Deep infauna taxa dominate organic-rich, oxygen depleted environment is regarded as indicators for oxygen depleted environment (Bernhard, 1986). Based on these paleoecologic interpretations of different authors, sediments in this present work are suggested to be deposited in a shallow marine environment due to the dominance of benthonic foraminifera species. Also, the percentage of calcareous to arenaceous benthic foraminifera in the well (Fig. 4) is relatively high and this is an indication of high water salinity and hypersaline environment. The oxygen condition suggests a dysoxic condition because most of the benthic foraminifera recovered are epifauna that live in a reduced oxygen condition.

4.1.3 Depositional Condition

Pristane and phytane are isoprenoids that are commonly used to infer depositional conditions for organic rich sedimentary rocks as well as oils derived from those rocks because of the difference in their diagenetic fate under anoxic and oxic conditions. Phytane formation from the phytol side chain of chlorophyll-a is favoured under a reducing condition (low Eh) while oxic condition (high Eh) favours formation of pristane from the same phytol precursor. In keeping to this theory, the depositional conditions for these

samples have been inferred from the pristane and phytane ratios. Most of the samples generally have pristane/phytane ratio between 0.8 – 1.2 (Table 2) suggesting that the organic matter type is likely to be a Type II/III or II-S and anoxic source rock depositional condition as well as a reducing diagenetic system in the sediment water column (Didyk et. al., 1978; Volkman and Maxwell 1986). A plot of these pristane/phytane ratios against C_{29}/C_{27} steranes permits a visual assessment of the organic matter type as well as the depositional condition (Fig. 5) for the Araromi shale samples assessed in this work.

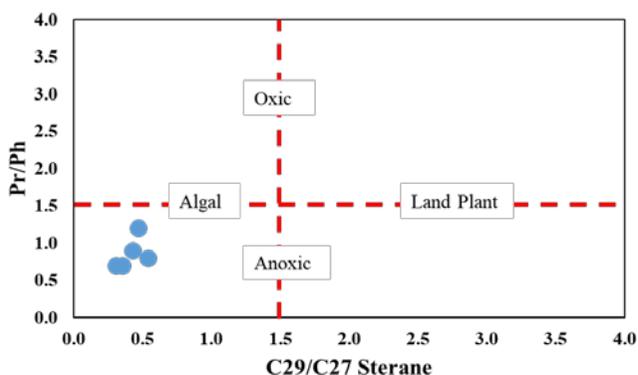


Fig. 5. Plot of Pr/Ph against the C_{29}/C_{27} sterane used as an estimate of the redox state and predominant organic matter type from the isoprenoids and steranes. All the samples plot in the anoxic and algal dominated zone. Note boundaries are not definitive

It is noteworthy to add that the copper turnings that were recovered from the EOM after the 24-hour period of extraction turned black completely for most of these samples. This is an indication of the high sulphur content present in these samples. Although sulphur content was not measured directly, this is an 'informed' measurement of sulphur level as either low or high in a source rock extract. Sulphur incorporation into organic matter occurs during diagenesis by a microbially –mediated (*desulfovibrio bacteria*) sulphate reduction process under a low Eh condition (Peters et. al., 2005). Further, this observation of high sulphur in addition to the calculated pristane and phytane ratios supports a highly reducing depositional condition for these samples. The low thermal level of maturation for the sample set do not permit the measurement of the homohopane index which may further lend weight to the inferred redox condition from the isoprenoid ratios.

4.2 Hydrocarbon Potential

Rock Eval Pyrolysis and biomarker data from the shales from Agbabu-1 well were evaluated to determine the quantity, types, depositional condition

and thermal maturity of organic matter in the Upper Cretaceous sequence as presented in Table 1 and Table 2.

Table 1. Rock–Eval pyrolysis data for the Araromi Formation source rocks in Agbabu-1 Well

Depth	TOC	S ₁	S ₂	S ₃	Tmax	Calc. %Ro	HI	OI	PI	S ₁ +S ₂
1128	2.06	1.54	4.67	1.01	419	0.38	198	34	0.25	6.21
1158	2.31	1.44	4.82	0.75	418	0.36	215	32	0.23	6.26
1191	1.86	1.97	4.40	0.73	422	0.44	246	29	0.31	6.17
1224	1.84	1.56	4.66	0.67	429	0.56	275	36	0.25	6.36
1254	1.87	1.43	4.47	0.65	422	0.44	273	33	0.24	6.25
1287	1.78	1.23	3.48	0.81	432	0.62	196	46	0.26	4.71
1323	1.98	2.08	4.18	0.83	427	0.53	276	42	0.33	6.26
1353	1.62	2.57	4.25	0.55	426	0.51	220	34	0.38	6.82
1389	1.67	1.45	3.52	0.62	427	0.53	211	37	0.29	4.97
1419	1.73	2.58	4.13	0.44	426	0.51	268	25	0.38	6.71
1578	0.97	2.06	4.54	0.63	429	0.56	253	39	0.31	6.60
1608	0.74	1.53	3.24	0.18	432	0.62	248	24	0.32	4.77
1665	0.96	1.50	4.27	0.41	433	0.64	239	43	0.26	5.77
1695	1.48	1.84	5.08	0.39	427	0.53	212	26	0.27	6.92
1728	1.38	1.09	3.03	0.39	429	0.56	220	28	0.26	4.12
1980	2.01	1.80	4.36	0.41	435	0.67	270	37	0.29	6.16
2028	2.64	3.34	5.43	0.33	433	0.63	255	37	0.38	8.77
2100	2.48	3.62	5.96	0.22	435	0.67	271	28	0.38	9.58
2133	3.01	3.79	6.01	0.53	434	0.65	262	26	0.39	9.80
2181	2.66	3.54	5.78	0.27	436	0.69	280	21	0.38	9.32

Table 2. Results of n-alkanes, isoprenoids, terpanes and steranes molecular parameters measured for the samples

Sample I. D	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	CPI	Ts/Ts+Tm	C31 αβ Hopane	C29ααα Sterane	% C27	% C28	% C29	% C30
Ar-88	0.8	0.5	0.2	1.1	n.m	n.m	0.09	54	17	29	n.m
Ar-145	0.9	1.1	0.8	0.9	0.18	0.18	0.05	49	30	21	6.0
Ar-148	0.7	0.6	0.7	2.3	0.15	0.15	0.13	59	23	18	n.m
Ar-149	1.2	1.2	0.7	1.5	0.19	0.18	0.11	51	25	24	3.6
Ar-151	0.7	0.5	0.5	0.9	0.43	0.46	0.22	54	27	19	2.7

4.2.1 Quantity of Organic Matter

The data showed that TOC range from 0.74 wt.% to 3.01 wt.% with an average of 1.85 wt.% within the Araromi Formation. Also, the S₂ value range from 3.03 to 6.01 mg HC/ g rock with average of 4.51 mg HC/ g rock. The

TOC is the mass of carbon per unit mass of the whole rock determined by summing the carbon in the pyrolyzate (S_1 , S_2 and S_3) with the carbon obtained by oxidizing the residual organic matter after heating to 650 °C (Peters, 1986). The S_2 is the amount of hydrocarbon (mg HC/g rock) liberated by thermal degradation of the kerogen in the rock at temperature between 300-550°C. This work utilized Peter and Cassa (1994) classification of organic richness in source rock with respect to TOC and S_2 values (Fig. 6). The data points range from fair to very good zone of source rock quantity. The TOC in the lower part of the Araromi formation are relatively higher than the TOC from middle and upper part. An explanation to this is that the base of Araromi formation unconformably overlain the deep-seated bitumen rich Turonian – Coniacian sediment, which is believed to be a contributing factor to its relatively higher TOC.

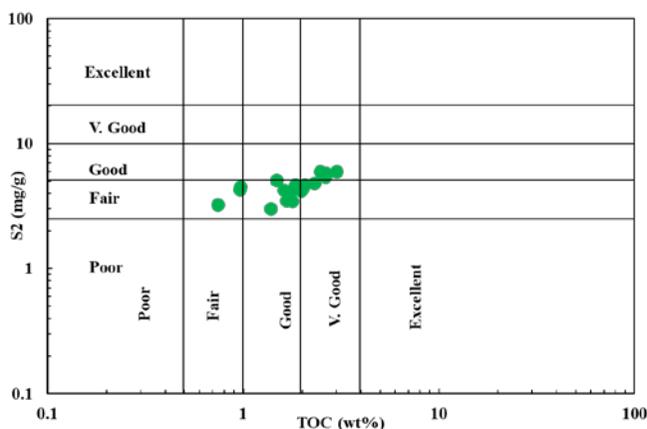


Fig. 6. Quantity and quality of organic matter in the studied wells from TOC and S_2 analysis

4.2.2 Types of Organic Matter

The precursor(s) (type) of organic matter preserved in these shale samples as well as the depositional conditions (redox potential) were examined through the integration of a battery of molecular geochemical parameters ranging from pyrolysis biomarker data.

The hydrogen index (HI) values range from 196 to 280 mg HC/gTOC with an average of 244 mg HC/gTOC and the oxygen index range from 21 to 46 mg CO_2 /gTOC with an average of 33 mg CO_2 /gTOC. The nature of organic matter making up the source rock is a useful tool in determining the oil and gas potential of the source rock. Espitalie et al., 1977 classified kerogen types using pyrolysis data because they were not controlled by organic matter abundance, instead, they are influenced by the elemental composition of kerogen. They classified kerogen types with a modified Van Krevelen diagram

by substituting H/C with HI and O/C with OI data from the pyrolysis. On the modified diagram, Type I kerogens are characterized with relatively high HI and low OI, Type III kerogens have relatively low HI and high OI, and Type II kerogen are intermediate. In the plot of HI vs. OI (Fig. 7), all the data points fall within the lower limits of the Type II zone. In addition, the Langford and Blanc-Valleron (1990) plot was also used to determine the genetic type of organic matter. Based on this TOC vs S₂ cross plot (Fig. 8), all the data points are within the type II-III zone except for two data points in the type II zone. The results showed that Araromi source rock are dominated by marine algae materials with some terrestrial influence. The HI range of 196 to 280 mgHC/gTOC also falls within the Waples (1985) Type II classification.

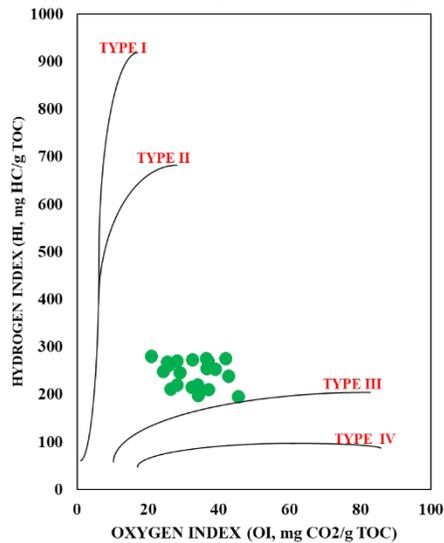


Fig. 7. Organic matter types within Araromi Formation source rock as indicated from OI and HI

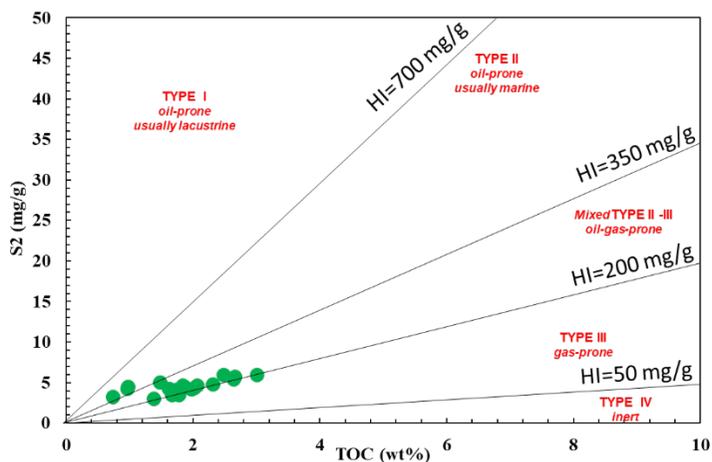


Fig.8. Cross plot of S_2 and Toc for determining kerogen types

***n*- Alkanes Distribution**

Bray and Evans (1961) have shown that the normal alkane (*n*-alkane) chain length is a function of the type of fatty acid synthesized biologically. Marine algae make shorter *n*-alkane chains than terrigenous higher plants. Because of this, most algae and bacterial derived *n*-alkane usually show a maximum between nC_{17} and nC_{21} , while terrigenous higher plants typically produce *n*-alkanes that maximizes around nC_{29} . Most of the samples analysed by GC display a bi-modal *n*-alkane envelope with maxima between nC_{16} and nC_{18} , and nC_{27} and nC_{29} respectively (Fig. 9), suggesting that the source organic matter have been derived from a variable mixture of algae and terrigenous higher plants materials. However, sample Ar-145 (Fig. 10) display an almost unimodal *n*-alkane profile typical of a dominantly normal marine algal contribution (i.e. maximizing between nC_{16} - nC_{18}) (Jacobson et. al., 1998).

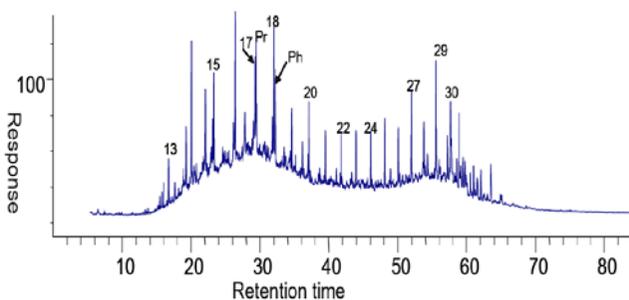


Fig. 9. A bimodal *n*-alkane envelope of sample Ar-149 maximizing at nC_{16} and nC_{29} typical of source rock whose organic matter have been derived from a variable mixture of algal and

terrigenous higher plant materials. Note 13, 15, etc. represents the *n*-alkane carbon numbers and Pr; pristane, Ph; phytane

Fi

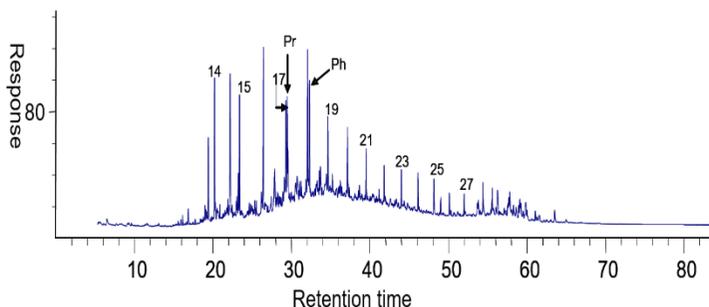


Fig. 10. A unimodal *n*-alkane envelope of sample Ar-145 maximizing at nC_{16} typical of a dominantly marine algae contribution to the organic matter. Note 14,15, etc. represents the *n*-alkane carbon numbers

The calculated carbon preference index which measures the proportion of the odd to even-carbon numbered *n*-alkane (CPI_1 in the range $nC_{24} - nC_{34}$; Bray & Evans, 1961) ranges in value from 0.9 - 1.1 for most samples except for sample Ar-148 and Ar-149. This general CPI_1 range is indicative of a dominantly marine algae contribution to the source organic matter for these samples (Scalan & Smith, 1970). This inference of a significant marine algal derived organic matter is further strengthened by the sterane carbon distribution as discussed in the later sub-section.

Sterane Carbon Distribution

On the basis of differences in the source of cholestane (C_{27} sterane derived mainly from marine red algae), ergostane (C_{28} sterane derived predominantly from algae of marine and or lacustrine ecology) and stigmastane (C_{29} sterane derived predominantly from higher plants and a few non-marine green and brown algae), the relative abundances of these sterane compounds in sediment EOM and crude oil have always been used as a proxy for level of contribution of their precursors to the source organic matter (Moldowan et. al., 1985). From the sterane carbon distribution as shown in the ternary plot (Fig. 11), most samples contain dominantly of the C_{27} sterane and less than 30 % of C_{29} sterane, suggesting a relatively higher input from the marine red algae and a low level of land plant contribution to the source organic matter (Goodwin, 1973). All the steranes have similar distributions in the studied wells ($C_{27} > C_{28} > C_{29}$) as seen in Table 2.

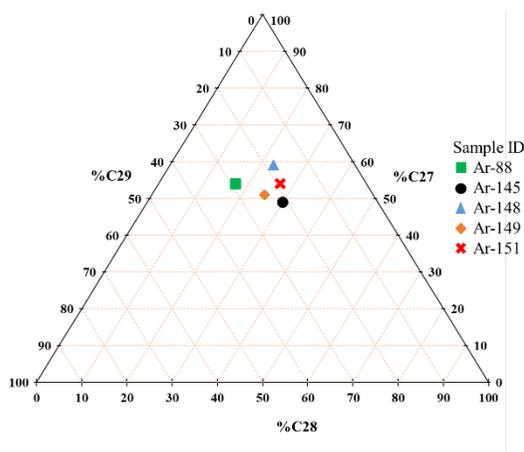


Fig. 11. A triplot of the sterane carbon number distribution using the % C₂₇, % C₂₈ and the % C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ R steranes from m/z 217 mass chromatogram. Data plot show that all of the samples contain less than 30 % of C₂₉ sterane; this suggests a low level of land plant contribution to the source organic matter

C₃₀ Sterane

Sterane containing 30 carbon atoms i.e. 24-*n*-propylcholestane has been shown to be derived predominantly from the C₃₀ sterol of the lipid membrane of marine *chrysophyte* algae (Rohmer *et. al.*, 1980). By extension of this reasoning, the occurrence of C₃₀ sterane in the Araromi samples (Fig. 11) has been investigated and representative samples contain measurable amount (Table 2). This suggests a marine origin for the source rock kerogen.

Triterpanes

Although the samples are immature, their triterpane distributions offer an excellent opportunity to corroborate the previous assertion that there is generally a very low level of land plant contribution (app. 30% C₂₉ sterane in all) to the sedimentary organic matter for all of these samples. The absence of oleanane (a biomarker highly diagnostic of angiosperm land plant) in all of the samples suggests a restricted land plant contribution (Ekweozor and Udo, 1988). Although abundant oleanane occurrence has also been shown to be restricted to sediments not older to Late Cretaceous (Moldowan *et. al.*, 1994). This observation of an absence of an oleanane peak in the m/z 191 of all of the samples analysed in this Araromi shale samples set is consistent with the findings of Ekweozor and Udo (1988) who first reported the paucity of oleanane in Abeokuta Group shale samples. The absence of oleanane has been attributed probably to the separation of the Anambra and Dahomey epeiric seas by Okitipupa ridge during the Upper Cretaceous thus giving rise to the

restriction of oleananes (angiosperm precursors) to the south-eastern Nigerian sedimentary basins and their absence in the south-western Dahomey Basin (Ekweozor and Udo, 1988).

4.2.3 Thermal Maturity of Organic Matter

Tmax

The thermal maturity is determined from Tmax, the temperature at which the S₂ peak is maximum. The value ranges from 418°C to 436°C with an average of 429°C in the Araromi well. Thermal maturity describes the overall temperature influence that converts organic matter in sedimentary rocks to petroleum products. They are classified into immature, mature and post mature with regards to temperature (Peter and Cassa, 1994). The nature of organic matter and extent of thermal maturity controls type and distribution of petroleum products within a given source rock (Tissot and Welte 1984, Langford and Blanc-Valleron 1990). Tmax is influenced by the type of organic matter and show relatively higher values in marine and lacustrine organic matter (Tissot and Welte 1984). Peter and Cassa 1994, Hunt (1996) identified the various Tmax ranges for different stages of maturity in a source rock. They are <435°C for immature rocks, 435°C – 470°C for the mature zones and >470 °C for post mature. The Tmax values in this well are all below the 435°C maturity cut-off except for three data points in the lower part of the well (Fig. 12).

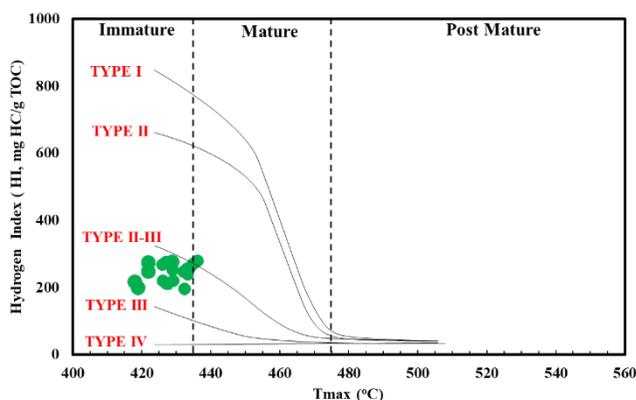


Fig. 12. Thermal maturation and types of organic matter from Tmax and HI

Further maturation indices of Hopanes and steranes isomerisation maturity parameters were calculated from integrated peak heights in the m/z 191 for hopanes and m/z 217 mass chromatogram for sterane. Values for the measured thermal maturity parameters are presented in Table 2. The samples are generally immature (very low values generally less than 0.25) except for sample Ar-151 which is mature for the measured parameters. In general, there

www.eujournal.org 210

is a good agreement among the calculated T_s/T_m , C_{31} $\alpha\beta$ Hopane and the $\alpha\alpha\alpha$ C_{29} sterane maturity parameters for the samples. $\alpha\beta\beta$ C_{29} sterane maturity parameter could not be calculated because of their low concentration at this thermal level for the samples. Fig. 13 is an m/z 191 mass chromatogram showing a representative distribution of the terpenoids in sample Ar-I45.

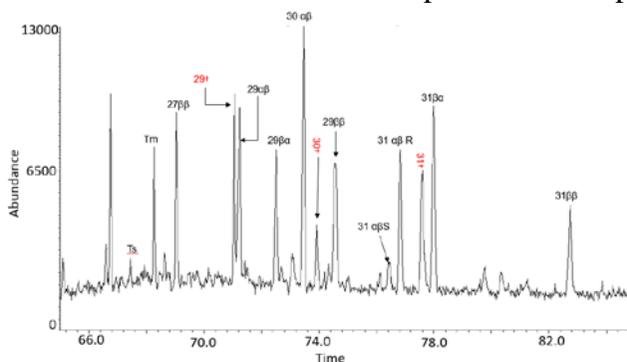


Fig. 13. m/z 191 mass chromatogram of sample Ar-145 showing the terpenoids distribution. Numbers refer to carbon numbers. $\beta\beta$, $\beta\alpha$, $\alpha\beta$, refer to the stereochemistry at the 14 and 21 carbon number respectively in the hopanes structure. Labels in red (e.g. 29 α) are Hopanes. T_s and T_m refer to 17 α (H), 22, 29, 30-trisnorhopane and 18 α (H), 22, 29, 30-trisnorneohopane respectively. Compounds have been identified by TIC GC- MS and by GC-MS/MS parent to daughter ion transition

6.0. Conclusions

The following conclusions can be drawn from this study:

- The Araromi Shale in the study area are dominated by organic matter that are < 3 wt.% TOC, with the highest values from samples at the base of the formation.
- The source rock is made up of Type II kerogen, further classification scheme showed they are mainly Type II-III
- The samples from AGB-1 well are generally immature, only samples that are believed to be influenced by the underlying bitumen reached the 435°C-maturity cutoff. Also, Hopanes and steranes isomerisation maturity parameters in studied samples showed that the Araromi shale is immature except for sample Ar-151
- n - Alkanes distribution showed bimodal signature between nC_{16} - nC_{18} and nC_{27} - nC_{29} with a unimodal nC_{16} - nC_{18} signature suggesting variable mixture of marine algae and terrigenous higher plants materials. The inference of a significant marine algal derived organic matter is further strengthened by the $C_{27}>C_{28}>C_{29}$ sterane carbon distribution

- Triterpanes studies showed that the absence of oleanane (a biomarker highly diagnostic of angiosperm land plant) in all of the samples suggests a restricted land plant contribution
- Pristane/phytane ratio suggested that the organic matter type is dominantly Type II/III with an anoxic source rock depositional condition as well as a reducing diagenetic system in the sediment water column. The reducing diagenetic system is also supported with the presence of high Sulphur content.
- Biostratigraphy data suggested a shallow marine environment due to the dominance of benthonic foraminifera species. Also, the percentage of calcareous to arenaceous benthic foraminifera in the well is relatively high and this is an indication high water salinity and hypersaline environment. The oxygen condition suggests a dysoxic condition because most of the benthic foraminifera recovered are epifauna that live in a reduced oxygen condition
- The overall assessment reveals that the Upper Cretaceous shale in this study and other previous work is some potential resources for unconventional hydrocarbon exploration

Appendix

TOC - Total Organic Carbon, wt. %

S₁ - volatile hydrocarbon (HC) content, mgHC/grock

S₂ - remaining HC generative potential, mgHC/grock

S₃ - carbon dioxide content, mg CO₂/g rock

T_{max}°C - Maximum S₂ Temperature

Ro - Vitrinite reflectance

HI - Hydrogen index = $S_2 \times 100 / \text{TOC}$, mgHC/gTOC

OI - Oxygen Index = $S_3 \times 100 / \text{TOC}$, mgCO₂/gTOC

PI - Production Index = $S_1 / (S_1 + S_2)$

S₁+S₂ Generating Potential (HC) content, mg HC/grock

Pr/Ph: ratio of Pristane to Phytane calculated as the ratio of their peak heights from the GC mass chromatogram;

Pr/*n*C₁₇, Ph/*n*C₁₈: ratio of peak heights of pristane/*n*C₁₇ and phytane /*n*C₁₈ from the GC mass chromatogram;

Ts/ Ts+Tm: peak height of 18α (H), 22, 29, 30-trisnorneohopane/18α (H), 22, 29, 30-trisnorneohopane (+) 17α (H), 22, 29, 30-trisnorhopane (from m/z 191 mass chromatogram);

C₃₁αβ 22S /C₃₁αβ (22S+22R) hopane: 17α (H), 21β (H)-homohopane 22S/22S+22R (from m/z 191 mass chromatogram);

C₂₉ααα S/ C₂₉ααα (S +R): 5α (H), 14α (H), 17α (H)-stigmastane 20S/20S+20R (from m/z 217 mass chromatogram);

%C₂₇, %C₂₈, %C₂₉ steranes: peak height of the R epimer of the sterane carbon number as a percentage of the sum of C₂₇R- C₂₉R steranes from m/z 217 mass chromatogram;

%C₃₀ : peak height of the R epimer of the C₃₀ sterane carbon number as a percentage of the sum of C₂₇R- C₃₀R steranes from m/z 217 mass chromatogram; n.m. refers to samples that are not measurable for a particular parameter because of weak signal of a particular peak.

Acknowledgement

The Authors of this work wishes to appreciate the efforts of Professor Stephan Nordeng and Miss Chioma Onwumelu at the University of North Dakota Geology department for assisting with rock Eval pyrolysis analysis. Also, we appreciate Prof. Peter Prinz-Grimm and Prof. Jens Herlle both at the Johann Wlfgang Universitat am Main, Frankfurt, Germany, Department of Geology and Geophysics. The authors would also like to thank Dr. Holger Gebhardt for his assistance during the laboratory work.

References:

1. Abacan-Addax Consortium (1998). Ise Hydrocarbon Potential - Benin Offshore Block 1, Report, 113 p.
2. Adegoke, O. S. (1969). Eocene stratigraphy of southern Nigeria." Colloque sur l'Eocene. Vol. 3.
3. Adegoke, O. S. (1977). Stratigraphy and paleontology of the Ewekoro Formation (Paleocene) of southwestern Nigeria. Paleontological Research Institution.
4. Adegoke, O. S., Jeje, L. K., Durotoye, B., Adeleye, D. R., and Ebukanson, E. E. (1980). The Geomorphology and aspects of sedimentology of coastal region of Western Nigeria. *Journal of Mining and Geology*, 17, 217-223.
5. Adekeye, O. A., Gebhardt, H., Akande, S. O., Adeoye, J. A., Abdulkadir, I. A., (2019). Biostratigraphic Analysis of the Cretaceous Abeokuta Group in the Eastern Dahomey Basin, Southwestern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences* 169 103887. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103887>.
6. Adekeye, O.A and Akande, S.O. (2010). The principal source rocks for petroleum generation in the Dahomey Basin, Southwestern Nigeria. *Continental J. Earth sciences* 5(1): 42-55

7. Adekeye, O.A. (2005). Aspects of sedimentology, geochemistry and hydrocarbon potentials of Cretaceous-Tertiary sediments in the Dahomey Basin, south-western Nigeria. Unpublished Ph.D. thesis, University of Ilorin, 202p.
8. Adekeye, O. A., Akande, S. O., Erdtmann, B.D., Samuel, O. J. and Hetenyi, M. (2006). Hydrocarbon Potential Assessment of the Upper Cretaceous-Lower Tertiary Sequence in the Dahomey Basin Southwestern Nigeria. *NAPE Bulletin*. v. 19 No 1, p.50-60.
9. Adeoye, J. A., Akande S. O., Adekeye, O. A., Sonibare W. A., Ondrak R., Dominik W., Erdtmann B. D. and Neeka J. (2020). Source Rock Maturity and Petroleum Generation in the Dahomey Basin SW Nigeria: Insights from Geologic and Geochemical Modelling. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 195 (2020) 107844. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107844>.
10. Ako, B. D., O. S. Adegoke, and S. W. Petters (1980). "Stratigraphy of the Oshosun formation in southwestern Nigeria." *Jour. Min. Geol* 17: 9-106.
11. Beicip-Franlab (1994). *Etude Géologique et Evaluation des Réserves du Champ de Sèmè, Rapports Vol. I, 157 p. et Vol. II, 128 p.*
12. Bernhard, J. M., (1986), Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminifera Research* v. 16, p. 207 – 215.
13. Billman, H.G., (1976). Offshore stratigraphy and paleontology of the Dahomey embayment. *Proceedings of the 7th African Micropaleontological Colloquium, March 16-28, 1976, Ile-Ife, Nigeria*, pp: 27-42.
14. Bray, E.E. & Evans, E.D. (1961). Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22, 2-5.
15. Brownfield M.E., Charpentier R.R. (2006). Geology and total petroleum systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa, U.S. Geological Survey Bulletin 2207-C, 52 p.
16. Burke K., Dessauvage T.F.J., Whitman A.J. (1971). Opening of the Gulf of Guinea and geological history of the Benue depression and Niger delta, *Nature Phys. Sci.* 233, 38, 51-55.
17. Clementz, D. M., Demaison, G. J., and Daly, A. R. (1979). Well site geochemistry by programmed pyrolysis. In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference.

18. Didyk, B. M., Simoneit, B. R. T., Brassell, S. C. and Englinton, G. (1978). Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272, 216-222.
19. Ekweozor, C. M., and Udo O. T. (1988). The oleananes: Origin, maturation, and limits of occurrence in Southern Nigeria sedimentary basins, In L. Mattavelli, and L. Novelli, (editors), *Advances in Organic Geochemistry 1987, Organic Geochemistry*, 13, Pergamon Press, p. 131-140.
20. Ekweozor, C. M., and Telnaes. N. (1990). Oleanane parameter: verification by quantitative study of the biomarker occurrence in sediments of the Niger delta. *Organic Geochemistry* 16.1-3 401-413.
21. Ekweozor, C.M., and Nwachukwu, J. L., (1989). The origin of tar sands of SouthWestern Nigeria. *N.A.P.E. Bull. Vol.4 No 2*, pp 82-84.
22. Elvsborg, A., and J. Dalode (1985). Benin hydrocarbon potential looks promising. *OIL & GAS JOURNAL* 83. 6: 126.
23. Enu, E. I. (1987). The Paleoenvironments of deposition of Late Maastrichtian to Paleocene black shales in eastern Dahomey Basin. *Nigeria Geog. Mijnbouw*, 66: 15–20
24. Espitalie, J., Madec, M., Tissot, B., Menning, J. J., and Leplat, P. (1977). Source rock characterization method for petroleum exploration. In *Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference*.
25. Gebhardt, H., (1998). Benthic Foraminifera from the Maastrichtian Lower Mamu Formation near Leru (Southwestern Nigeria): Paleoecology and Paleogeographic Significance. Department of geology and Mineral Sciences, University of Ilorin *Journal of Foraminifera Research*, v. 28, no. 1, p. 76 – 89, January 1998.
26. Gebhardt, H., (2004). Planktonic Foraminifera of the Nkalagu Formation Type Locality (southern Nigeria, Cenomanian to Coniacian): biostratigraphy and Paleoenvironmental Interpretation. *Cretaceous Research*. v. 25, issue 2, p. 191 – 209 <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2003.11.003>
27. Goodwin, T. W. (1973). Comparative Biochemistry of Sterols in eukaryotic Microorganisms, In J. A. Erwin, (editor) *Lipids and biomembranes of eukaryotic microorganisms*. New York, Academic Press, p. 1-40.
28. Hessouh M., Marcos I., Pereira J. J., Farhangui H.J. (1994). *Hydrocarbon Prospects for Exploration and Production, Report*, 88 p.
29. Hunt, J. M. (1996). *Petroleum geochemistry and geology* (Vol. 2, pp. 1-743). New York: WH Freeman.

30. Idowu, J. O., Ajiboye, S. A., Ilesanmi, M. A. and Tanimola, A. (1993). Origin and significance of organic matter of Oshosun Formation south-western Dahomey Basin Nigeria. *Jour. Min. Geol.* v. 29, p. 9-17.
31. Jacobson, S. R., Hatch, J. R. and S.C, T. (1988). Middle Ordovician organic matter assemblages and their effect on Ordovician - derived oils. *American Association of Petroleum Geologists*, 72, 1090-100.
32. Jan Du Chene, R. E (1977). "Some new pollen species of the upper Maastrichtian, Tar Sand, Abeokuta formation, southern Nigeria." *Revista Espanola De Micropaleontologia* 9. 2: 191-201.
33. Kaiho, K. (1999). Global climatic forcing of deep-sea benthic foraminiferal test size during the past 120 m.y. *Geology*, 26 (6), 491–494.
34. Kingston, D. R., Dishroon, C. P. and P. A. Williams. (1983) "Hydrocarbon plays and global basin classification." *AAPG Bulletin* 67.12 2194-2198.
35. Klemme, H.D., (1975) Geothermal Gradients, Heat flow and Hydrocarbon Recovery. In: A.G. Fischer and S. Judson (eds), *Petroleum and Global Tectonics*. Princeton, New Jersey, Princeton Univ. Press, pp. 251- 304
36. Kogbe, C. A (1974). "The upper Cretaceous Abeokuta formation of south-western Nigeria." *Nigerian Field* 4, 47.
37. Langford, F. F., and Blanc-Valleron, M-M. (1990). "Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon (1)." *AAPG Bulletin* 74.6 (1990): 799-804.
38. Moldowan, J. M., Seifert, W. K. and Gallegos, E. J. (1985). Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *American Association of Petroleum Geologists*, 69, 1255-1268.
39. Moldowan, J.M., Huizinga, B.J., Dahl, J.E., Fago, F.J., Taylor, D.W. & Hickey, L.J. (1994). The molecular fossil record of oleanane and its relationship to angiosperms. *Science*, 265, 768-771.
40. Mpanda, S. (1997). Geological development of East African coastal basin of Tanzania: *Acta Universitatis Stockholmiensis*, v. 45, 121p.
41. Murray, J.W. and Wright, C.A. (1974). *Palaeogene Foraminiferida and palaeoecology, Hampshire and Paris Basins and the English Channel*. The Palaeontological Association, London, 14:1-171
42. Ogbe, F. G. A (1970). "Stratigraphy and paleontology of strata exposed in the Ewekoro quarry, Western Nigeria." Unpublished M. Phil. Dissertation, University of Ife, Ile-Ife, Nigeria (1970): 1-110.

43. Okosun, E. A (1990). "A review of the Cretaceous stratigraphy of the Dahomey Embayment, West Africa." *Cretaceous Research* 11.1 (1990): 17-27.
44. Omatsola, M., and Adegoke, O. S., (1981). Tectonic evolution and Cretaceous stratigraphy of the Dahomey Basin: *Journal of Mining and Geology*, v. 18, no. 1, p. 130-137.
45. Peters K.E. (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70, pp. 318-329.
46. Peters, K. E., and Cassa, M. R. (1994). Applied source rock geochemistry: Chapter 5: Part II. Essential elements. *The Petroleum System – From Source to Trap*, AAPG Memoir 60 (1994) 93 – 120.
47. Peters, K.E., Walters, C.C. and Moldowan, J.M. (2005). *The Biomarker Guide*. Cambridge University Press. 2nd Edition. Volume 1, p. 79.
48. Rohmer, M., Kokke, W.C.M.C., Fenical, W. and Djerassi, C. (1980). Isolation of two new C30 sterols, (24E)-24-n-propylidenecholesterol and 24(E)-24-n-propylcholesterol from a cultured marine chrysohyte. *Steroids*. 35, 219-231.
49. Scalan, R. S. and Smith, J. E. (1970). An improved measure of the odd-to-even predominance in the normal alkanes of sediments extracts and petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34, 611-620.
50. Storey, B. C. (1995). The role of mantle plumes in continental break up: case history from Gondwanaland – *Nature*, v. 377, p. 301-308.
51. Tissot, B. P., and Welte. D. H. (1984). "Petroleum Formation and Occurrence, 2nd edn, 699 pp."
52. Volkman J.K. and Maxwell, J.R (1986). Acyclic isoprenoids as biological markers. In *Biological markers in sedimentary record*: R.B. Johns (ed), Elsevier, New York, p. 1-42.
53. Waples, D.W., (1985). *Geochemistry in Petroleum Exploration*: Boston, International Human Resources Development Corporation, 232 p.

Woody Species Composition, Diversity And Structure of Vegetation of Peri-Urban Park in Leo, Burkina Faso

*Ganaba Souleymane,
Semdé Kadidia,
Kagambèga Wenemi François,
Dao Moussa,*

Environment and Forestry Department, Institute for Environment and Agricultural Research (INERA), National Centre for Scientific and Technological Research (CNRST), Ouagadougou, Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p218](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p218)

Submitted: 22 October 2021
Accepted: 27 October 2021
Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Souleymane G., Kadidia S., François K.W., & Moussa. D.,(2021). *Woody Species Composition, Diversity And Structure of Vegetation of Peri-Urban Park in Leo, Burkina Faso* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 218.
<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p218>

Abstract

This work aims to fill a gap in knowledge of the Burkina Faso Southern Sudanese flora and vegetation. The woody vegetation of the forest park of the Scholl Complex in Léo comprises a total of 26 families, 63 genera and 81 species including native and introduced ones. The fallow is the unit that contains all families and genera and 93% of species. The most abundant species of units of the Park are *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Piliostigma thonningii* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Daniellia oliveri* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Vitellaria paradoxa* (Sapotaceae), *Detarium microcarpum* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Diospyros mespiliformis* (Ebenaceae), *Annona senegalensis* (Annonaceae) and *Pteleopsis suberosa* (Combretaceae).

The species that regenerate the most and that will ensure the sustainability of the peri-urban forest resources are *Gardenia erubescens* (Rubiaceae), *Piliostigma reticulatum* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Vitellaria paradoxa*, *Annona senegalensis*, *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Diospyros mespiliformis* and *Azadirachta indica* (Meliaceae).

The most threats on vegetation and flora of the School Complex are fraudulent human exploitation, parasitic pressure and progressive intrusion of *Azadirachta indica*.

Peri-urban park resources conservation measures concern the replanting of vegetation in degraded areas and incentives for wood production for local populations. A management program for threatened or rare species, control of invasive alien plants and domestic animals and the development and improvement of habitat to create a future urban park.

Keywords: Urban Ecology, Nature Conservation, Urban Vegetation Management, Burkina Faso

1. Introduction

The growth of populations worldwide is real as it is documented by several authors (Fuwape et al. 2010; Barron et al, 2016). Africa and Asia are the least urbanized regions of the world, with an urban proportion of 40 per cent and 42 per cent, respectively. But Africa had the world's highest rate of urban population growth, averaging 3.4 per cent per year during 2005-2010 (United Nations, 2011).

In Burkina Faso, the whole population increased from 5,638,203 in 1975 to 10,312,609 in 1996 and to reach 20,487,979 in 2019 (INSD, 2020). The country's urbanization rate increased from 6.4% in 1975, to 22.7% in 2006 and reach 26.3% in 2019 (INSD, 2009, 2020). It is also recognized since the last decade that urban land and rural land is a time bomb that must be defused. Peri-urban area is understood as undeveloped areas or undeveloped peripheral area of the city. New land acquisitions and real investments are pushing back the fields and pastures of the old villages that seek to resist these new occupants. Misunderstandings and conflicts of use arise over the possession of land ceded or sold with related plant resources that are no longer accessible to former users according to the terms of transfer or sale. However, the main actions of protection of urban forests are theoretical for the different actors (communities, forest services, former landowners and new buyers). Then, decreasing the city's pressure on forest resources is appropriate to conserve the rich existing forest resources. So there is an ongoing process of deforestation in the study area linked to migration pressure and climate change. The deforestation describes the complete long-term removal of tree cover in forest formation.

The high population pressure has resulted in land fragmentation and land degradation (Kleemann et al, 2017). Increased food requirements and demand for wood energy are gradually breaking the balance between the physical environment and the population. According to Geist and Lambin (2001) and Angelsen and Kaimowitz (1999), deforestation and degradation

agents are individuals, households, businesses or institutions, which affect forest cover, both in terms of surface area and in terms of structure. The direct causes of deforestation and degradation, in other words, are activities that directly affect forest cover as agricultural expansion, wood-consuming demand, bushfires, overgrazing, poor exploitation of non-timber forest products (NTFPs), artisanal gold mining.

In the province of Sissili, the interlocking causes and effects of deforestation are the result of an unfavorable global climate situation over the past three decades, strong land pressure due to a growing demand for cropland. Indeed, the production system has remained rudimentary, a need for forest resources, mainly energy wood (firewood and charcoal). Then, main causes of deforestation are linked to the increased need for land for agriculture which is accentuated by a large migration of people (Ouédraogo, 2010; Nébié, 2015) and population growth.

Furthermore, vegetation of this Sudan region is unknown compared to other parts of the country. This situation led to the initiation of this study to fill the knowledge gap in a peri-urban area. The aim of this paper is to evaluate tree diversity and structure in a peri-urban forest in order to contribute to the creation of a future urban forest for biodiversity conservation, climate change mitigation, human safety, wellbeing and nutritional security and promote urban plants.

1. Materials and methods

2.1. Study area

The province of Sissili is located in the Centre-West region, in the south of Burkina Faso near the border with Ghana (Figure 1). It is a vast plain not very rugged where the plains and plateaus dominate. It is slightly disturbed in the western part by hilly elevations varying from 300 to 400 meters above the sea level. Most of the provincial territory is covered by tropical ferruginous soils. In terms of texture, the province's soils are mainly composed of clay, silt and sand (Ouédraogo et al., 2010).

(BUNASOL, 1990). The territory of the commune is dominated by anthropogenic savannah vegetation and some gallery forests along streams associated with agricultural areas, peri-urban and an urban area with tree and shrub parks.

The population of Leo is composed of several ethnics groups namely Gurunsi Nuni, Sissala, Dagara, Moosé, Fulani and Gurunsi Lelle. The indigenous population belongs to the Nuni ethnic group which is the patrilineal society (Yago 1984). As in the whole province, the commune of Leo is characterized by large migrations because of the richness of its flora and soil. These migrations in recent years (period 2007-2019 (Figure 1) have led to population growth and profound changes in the rural economy. These migratory flows are fueled by Moosé and Fulani ethnics groups because famine and poor harvest occurs in the central and northern part of the country. This situation led to a rapid change in the population of the commune which almost double between 1986 and 2006 from 26,640 to 51,037 inhabitants, with a density ranging from 27.78 to 52, 53 inhabitants per square kilometer and a variable growth rate of 14 to 25% for the same period and a 33% peak in 2002 (INSD, 2008). The population increased by 67.64% between 2006 and 2019, according to the results of the last general population and habitat census in 2019 (INSD, 2020).

The mode of farming in the commune of Leo is generally traditional with little mechanization of agricultural practices. The main crops are cereals (mil, sorghum, maize and rice), cash crops (peanut, cowpea, sesame, soybeans, cotton, yam, potato and cassava) and vegetable crops (Napon, 1994). Livestock farming remains an activity reserved for the Fulani, the natives contenting themselves with small-breed farming (goat, sheep, etc.). Leo's weekly market is an opportunity for trade between Ghana and Burkina Faso.

The study site is a peri-urban forest park of 50 ha in the domain of Maria Stella Yazura School Complex in Leo. Bush burning was found to be a common practice in our study communities during dry seasons throughout the communal territory and in the area of the School Complex. The production of charcoal is also an income-generating activity in the municipality.

1.2. Methods

Sampling design and data collection

The sampling in this study focuses on a stratified survey because of the variability of woody vegetation parameters in the study site. Then, we have divided the population into more homogeneous subpopulations (relative to these parameters) called strata. The strata are then probed independently of each other (with survey rates that may vary).

The strata are defined from the 2018 Google Earth satellite image. These are: orchards (mango plantations) bare surfaces, habitat (primary, secondary and housing establishments), recent cropland on plateaus, Shallows and Fallows of shrub savannah (Table I). It is a random survey stratified to one degree where the plot units are rectangular squares of 0.1ha.

Table I. Distribution of population samples in forest inventory

Field unity	Vegetation type	Area (ha)	Small square	Small square number
Fallows	Shrub savannah	38,02	1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 22, 23	13
Shallows	Shrub savannah	2,57	14,16	2
Cropland	Agroforestry park	5,22	5, 7, 8, 9	4
Habitation and school area	Shade plantation	2,51	18, 21	2
Barred soil	Naked soil	1,7	19, 20	2

The choice was guided by practical considerations of field achievement. Indeed, in dense tropical forest formations we consider rectangular squares 10 to 25 m wide, arranged along the parallel forest tracks. Circular squares can be considered in open forest formations where progression is easier (CTFT, 1989).

The survey rate of 4.6% was chosen taking into account the feared error between 5% and 20% at the P-0.95 probability threshold (CTFT, 1989). So, the error to be feared is proportional to the value of Student (t-2, for n > 30), the coefficient of variation which is 50% for the shrub savannah and inversely proportional to the square root of the total number of plots (n=23) according to CTFT (1989).

The data collection was taken from the squares of each sampling unit (Table II). The movement is carried out according to the north-south direction on the transect line in each sampling unit; the measurements were made on the trees inside the square. As for the boundary trees, they were considered to belong to the square in the event that the presumed centre of the summer is within the circle (FAO, 1980).

Dendrometric measurements are done to estimate woody vegetation cover, tree total height and their diameter at breast height (DBH) with a limit of 5 cm. Trees with a DBH of less than 5 cm are counted in the regeneration. Furthermore, the health status of trees were assessed (using a scale including drying, cutting, leaf parasitic attacks and fires) as well as the height and diameter of cutting, strains and releases of stumps.

Table II : Characteristics of Maria Stella Yazura School Complex landscape unities

Plots	Landscape	Topography	Soil type	Main species			Anthropogenic pressures
				Trees	Shrub	Herbaceous	
1	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Combretum nigricans</i> <i>Detarium microcarpum</i>	<i>Microchloa indica</i> <i>Cyperus sp.</i>	Fire, tracks
2	Fallows	Plateau	Sandy clay		<i>Detarium microcarpum</i> <i>Terminalia avicennioides</i>		Fire, tracks
3	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Mangifera indica</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Hyptis suaveolens</i>	Tracks
4	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>		Tracks
5	Cropland	Plateau	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Daniellia oliveri</i> <i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i>	Tracks
6	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Pteleopsis suberosa</i> <i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Andropogon gayanus</i> <i>Lippia chevalieri</i>	Fire, tracks, pasture
7	Cropland	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	Tracks, pasture
8	Cropland	Plateau	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Combretum spp.</i>	<i>Senna obtusifolia</i> <i>Hyptis suaveolens</i> <i>Ocimum americanum</i>	Tracks, pasture
9	Cropland	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Senna obtusifolia</i>	Tracks, pasture
10	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Azelia africana</i>	<i>Terminalia avicennioides</i> <i>Daniellia oliveri</i>	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i>	Tracks, pasture

11	Fallows	Axis of drainage	Loamy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Azelia africana</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Daniellia oliveri</i>		Tracks, pasture
12	Fallows	Axis of drainage	Loamy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Combretum molle</i>	<i>Microchloa indica</i> <i>Hyptis suaveolens</i>	Tracks, pasture
13	Fallows	Axis of drainage	Loamy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Diospyros mespiliformis</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>		Tracks, pasture
14	Shallow	Axis of drainage	Loamy clay	<i>Khaya senegalensis</i> <i>Azelia africana</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Combretum glutinosum</i>	<i>Hyptis suaveolens</i>	Pasture
15	Fallows	Axis of drainage	Sandy clay	<i>Parkia biglobosa</i> <i>Lannea microcarpa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Combretum</i>		Tracks, pasture
16	Shallow	Axis of drainage	Loamy clay	<i>Mitragyna inermis</i> <i>Parkia biglobosa</i> <i>Azelia africana</i>	<i>Diospyros mespiliformis</i>	<i>Oriza sativa</i> <i>Echinochloa stagnina</i> <i>Hyparrhenia rufa</i>	Tracks, pasture
17	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Parkia biglobosa</i> <i>Azelia africana</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Terminalia avicennioides</i>	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Pennisetum pedicellatum</i>	Tracks, pasture
18	School area	Plateau	Sandy clay	<i>Azadirachta indica</i> <i>Vitellaria paradoxa</i>		<i>Crotalaria retusa</i>	Tracks, pasture

19	Bare ground	Bare ground	Sandy clay			<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Crotalaria retusa</i>	Tracks, pasture
20	Bare ground	Bare ground	Sandy clay	<i>Azelia africana</i> <i>Daniellia oliveri</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	
21	School area	Bare ground	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Parkia biglobosa</i>	<i>Cassia siamea</i>		Tracks, pasture
22	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Parkia biglobosa</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Terminalia avicennioides</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Microchloa indica</i>	Tracks, pasture
23	Fallows	Plateau	Sandy clay	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Burkea africana</i>	<i>Gardenia erubescens</i> <i>Daniellia oliveri</i> <i>Terminalia avicennioides</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Microchloa indica</i> <i>Lippia chevalieri</i>	Fire, tracks, pasture

Data analysis

Data collected were processed using Excel, and R statistical software. The first software was used for diversity indices calculation, the second one for statistical analysis where the Fisher test was used to verify hypotheses on the difference of variables.

All species registered in this study were categorized into their respective families and genera. Alpha diversity indices were computed for bulk species (both adult and juveniles).

To examine the effect of land use on specific richness, we considered family richness, genera richness, and species richness as the number of families or genera or species occurring in a given land use type.

Each vegetation type was characterized by alpha diversity indices: species richness (S), Shannon-Weaver diversity index (H) and Pielou evenness index (E) (Brower and Zar, 1984). The Pielou's evenness measures the similarity of the abundance of the different woody species sampled. Its value varies between 0 and 1. The value tends to 0 when one or few species had higher abundance than others and 1 in the situation where all species had equal abundance (Magurran, 2004).

The species richness S is the total number of species recorded in a given vegetation type. Shannon diversity index (H) was expressed as:

- (i) $N_0 = S$, where S is the number of species in a plot;
- (ii) $N_1 = e^H$, where $H = -\text{Sum}(P_i * \ln(P_i))$ is Shannon's index;
- (iii) $N_2 = 1/D$, where $D = \text{Sum}(P_i^2)$ is Simpson's index, with P_i relative abundance of species in a plot.

N_0 is the effective number of species in the sample regardless of their abundance. N_1 measure the number of abundant species in the sample. N_2 is the number of very abundant species.

Evenness (E) = $H / \ln(S)$. It is an expression of the balance in the distribution of individuals among the species. Its value approaches 0 when one species is highly dominant and 1 when all species have similar densities. E is independent from species numbers occurring on a plot.

The importance value of each species or family was calculated per vegetation type. The importance value index was considered as the sum of Relative Frequency and Relative Dominance according to the following parameters:

- (i) Frequency = number of plots in which the species or family occurs / total plot number $\times 100$.
- (ii) Relative Frequency (Rel Div) = frequency of a species or family / sum of all frequencies $\times 100$.
- (iii) Relative Dominance (Rel Dom) = total cover of a species or family / total cover of all $\times 100$.

(iv) Relative Density (Rel dens) = density of a species or family / total densities of all $\times 100$

(v) Importance value = Relative Frequency + Relative Dominance + Relative Density

To estimate the effect of the explanatory variables climate and land use on specific richness, species richness, genera richness, and family richness (response variables) we used Generalized Linear Models with Poisson errors.

4. Results

Floristic composition

The woody flora of the forest park of the peri-urban park of Leo comprises a total of 26 families, 63 genera and 81 species (Table III). The flora includes 8.5% of exotic species and 92.5% of native plants. The life form of plants includes 2.5% lianas, 32.1% shrubs and 65.4% trees.

The most abundant species of units of the Park are *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Piliostigma thonningii* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Daniellia oliveri* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Vitellaria paradoxa* (Sapotaceae), *Detarium microcarpum* (Fabaceae-Caesalpinioideae), *Diospyros mespiliformis* (Ebenaceae), *Annona senegalensis* (Annonaceae) and *Pteleopsis suberosa* (Combretaceae).

The fallows is the unit that contains all families and genera and 93% of species. The other units are relatively poorly represented in diversity with a specific diversity ranging from 6 to 31% of species (Table II).

Table III. Summary of species composition and diversity measures for trees ≥ 5 cm dbh in five vegetation patches

Diversity index / land use type	Shallows	Cropland	School area	Fallows	Barred soil
Species richness	28	32	6	81	6
Genera richness	19	27	5	57	6
Families	13	14	4	22	4
Margalef	5,063	6,329	1,517	10,436	1,729
Shannon–Weaver	3,280	4,040	2,114	4,694	1,974
Simpson	4,968	8,469	3,521	16,227	3,115
Evenness	0,7987	0,881	0,716	0,938	0,679

The families with the largest number of woody species are Combretaceae (14 species), Fabaceae-Caesalpinioideae (8 species), Fabaceae-Mimosoideae (7 species), Anacardiaceae (6 species), Rubiaceae (6 species), Fabaceae-Faboideae (5 species), Euphorbiaceae (4 species), and Verbenaceae (4 species). The least species-rich families represented by a single species are the Annonaceae, Bignoniaceae, Bombacaceae, Celastraceae, Chrysobalanaceae,

Ebenaceae, Loganiaceae, Olacaceae, Polygalaceae, Sapotaceae, Simaroubaceae, Sterculiaceae, Tiliaceae (Table IV).

**Phyto
geogr
aphy
type**

	Family	Species	Life form	Origin
PA	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia polyacantha</i> Willd.	Tree	Native
	Fabaceae-			Native
AT	Caesalpinioideae	<i>Acacia sieberiana</i> DC.	Tree	
	Fabaceae-			Native
SZ	Caesalpinioideae	<i>Afzelia africana</i> Sm. ex Pers.	Tree	
	Fabaceae-			
S	Caesalpinioideae	<i>Albizia chevaleri</i> Harms	Tree	Native
NT	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Tree	Exotic
	Annonaceae	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Shrub	Native
		<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. &Perr.		Native
SZ	Combretaceae		Tree	
IM	Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Tree	Exotic
	Malvaceae	<i>Bombax costatum</i> Pellegr. &Vuillet.	Tree	Native
SZ	Euphorbiaceae	<i>Bridelia ferruginea</i> Benth.	Shrub	Native
AM	Euphorbiaceae	<i>Bridelia micrantha</i> Hoxchst.	Shrub	Native
	Fabaceae-			Native
AT	Caesalpinioideae	<i>Burkea africana</i> Hook.f.	Tree	
	Fabaceae-			
IM	Caesalpinioideae	<i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin &Barneby	Tree	Exotic
	Fabaceae-			Native
AT	Caesalpinioideae	<i>Cassia sieberiana</i> DC.	Tree	
	Vitaceae	<i>Cissus populnea</i> Guill. &Perr.	Shrub	Native
SZ	Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum planchonii</i> Hook.f.	Shrub	Native
SZ	Combretaceae	<i>Combretum aculeatum</i> Vent. <i>Combretum adenogonium</i> Steud.	Shrub	Native
		exA.Rich.	Shrub	Native
S	Combretaceae	<i>Combretum collinum</i> Fresen.	Shrub	Native
S	Combretaceae	<i>Combretum fragrans</i> F. Hoffm.	Shrub	Native
SZ	Combretaceae	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex. DC.	Tree	Native
SZ	Combretaceae	<i>Combretum micranthum</i> G. Don.	Shrub	Native
AT	Combretaceae	<i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don <i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill.	Shrub	Native
		&Perr.	Tree	Native
PA	Combretaceae	<i>Combretum paniculatum</i> Vent <i>Crossopteryx febreffuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth.	Shrub	Native
AT	Rubiaceae		Tree	

SZ	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. &Dalz.	Tree	Native
A	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	Tree	Exotic Native
S	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Detarium microcarpum</i> Guill&Perr. <i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Am.	Tree	Native
AT	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. DC.	Shrub	Native
SZ	Ebenaceae		Tree Small	Native
SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Entada africana</i> Guill. &Perr.	Tree	Native
SG	Fabaceae-Faboideae	<i>Erythrina senegalensis</i> DC.	Tree	Native
S	Euphorbiaceae	<i>Exoecaria grahamii</i> (Stapf)	Shrub	Native
SZ	Rubiaceae	<i>Feretia apodanthera</i> Del.	Shrub	Native
SG	Moraceae	<i>Ficus sur</i> Forssk.	Tree	Native
AT	Moraceae	<i>Ficus sycomorus</i> (Miq.) C. C. Berg <i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Voigt.	Tree	Native
Pal	Phyllanthaceae		Shrub	Native
S	Rubiaceae	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch. <i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. &Thonn.	Shrub	Native
Pal	Rubiaceae		Shrub	Native
IM	Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	Tree	Native
S	Malvaceae	<i>Grewia cissoides</i> Hutch. &Dalz. <i>Hannoa undulata</i> (Guill. &Perr.) Planch.	Shrub	Native
AT	Simaroubaceae		Tree	Native
AT	Apocynaceae	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don) Dur. &Schinz	Shrub	Native
SZ	Phyllanthaceae	<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	Tree	Native
S	Meliaceae	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	Tree	Native
S	Anacardiaceae	<i>Lannea acida</i> A. Rich.	Tree	Native
S	Anacardiaceae	<i>Lannea barteri</i> (Oliv. Engl. <i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause	Tree	Native
SZ	Anacardiaceae		Tree	Native
AT	Anacardiaceae	<i>Lannea velutina</i> A. Rich.	Shrub	Native
IM	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Tree	Exotic Native
SZ	Celastraceae	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell.	Shrub	Native
SZ	Rubiaceae	<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	Tree	Native
S	Anacardiaceae	<i>Ozoroa insignis</i> Del.	Shrub	Native
SZ	Chrysobalanaceae	<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. exBenth.	Tree	Native

Pal	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex. G. Don	Tree	Native
S	Fabaceae-Faboideae	<i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth.) van Meeuwen	Tree	Native
SZ	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst. <i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh.	Small tree	Native
AT	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Prosopis africana</i> (Guill. &Perr.) Taub.	Small tree	Native
SZ	Fabaceae-Mimosoideae	<i>Pseudocedrela kotschyi</i> (Schw.) Harms	Tree	Native
S	Meliaceae		Tree	Native
SZ	Combretaceae	<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. &Diels	Shrub	Native
SZ	Fabaceae-Faboideae	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	Tree	Native
SZ	Apocynaceae	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon <i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E.A.Bruce	Liana	Native
SZ	Rubiaceae		Shrub	Native
S	Anacardiaceae	<i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich.) Hochst.	Tree	Native
AT	Polygalaceae	<i>Securidacalonge pedunculata</i> Fres.	Tree	Native
SZ	Malvaceae	<i>Sterculia setigera</i> Del.	Tree	Native
SG	Bignoniaceae	<i>Sterospermum kunthianum</i> Cham.	Tree	Native
GC	Apocynaceae	<i>Strophanthus sarmentosus</i> DC.	Liana	Native
Pal	Loganiaceae	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	Small tree	Native
AM	Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Swartzia madagascariensis</i> Desv.	Tree	Native
IM	Verbenaceae	<i>Tectona grandis</i> L. f. <i>Terminalia avicennioides</i> Guill. &Perr.	Tree	Exotic Native
PA	Combretaceae		Small tree	Native
SZ	Combretaceae	<i>Terminalia laxiflora</i> Engl.	Tree	Native
SZ	Combretaceae	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. &Perr.	Tree	Native
SZ	Meliaceae	<i>Trichilia emetica</i> Vahl.	Tree	Native
S	Sapotaceae	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. f.	Tree	Native
AT	Lamiaceae	<i>Vitex doniana</i> Sweet	Tree	Native
AT	Ximeniaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	Shrub	Native
Pal	Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Small tree	Native

Phytogeography types (Raunkier, 1934): AM: Afro-Malagasy species, AT: Afro-tropical, GC: Guinea-Congolese, IM: Indo Malean, N: Neotropical, PA: African pluri-regional, Pal: Paleotropical, Pan: Pantropical, Sudan, SG: Sudan-Guinean, SZ: Sudan-Zambezian

The five most important families in each vegetation patch according to decreasing order of family importance value are in Table V. The first most Family in all vegetation is the Fabaceae.

Table V: The five most important families in each vegetation patch according to decreasing order of family importance value (FIV).

Shallows	RelDiv (%)	Rel dens (%)	Rel Dom (%)	FIV (%)
Fabaceae	14,81	42,51	34,36	91,69
Combretaceae	25,93	31,88	23,18	80,99
Anacardiaceae	14,81	5,80	19,02	39,64
Rubiaceae	7,41	2,42	10,53	20,35
Annonaceae	3,70	4,35	3,06	11,11
Others (8)	33,33	13,04	9,85	56,23
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Cropland				
Fabaceae	32,35	51,49	47,39	131,23
Sapotaceae	2,94	10,45	43,60	56,98
Combretaceae	23,53	14,18	4,31	42,02
Rubiaceae	8,82	2,99	1,55	13,36
Annonaceae	2,94	4,48	1,09	8,51
Others (9)	29,41	16,42	2,07	47,90
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
School area				
Fabaceae	40,00	48,15	29,0	117,11
Sapotaceae	20,00	22,22	22,2	64,44
Meliaceae	20,00	18,52	24,7	63,20
Verbenaceae	20,00	11,11	24,1	55,25
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Fallows				
Fabaceae	27,71	29,54	30,65	87,89
Combretaceae	20,48	29,72	24,83	75,04
Anacardiaceae	9,64	4,27	9,12	23,02
Sapotaceae	1,20	7,64	12,40	21,24
Rubiaceae	6,02	6,66	5,16	17,84
Others (17)	34,94	22,18	17,85	74,97
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Barred soil				
Fabaceae	50,00	44,44	35,74	130,19

Simaroubaceae	16,67	44,44	57,11	118,22
Ebenaceae	16,67	5,56	3,70	25,92
Combretaceae	16,67	5,56	3,45	25,67
Total	100,00	100,00	100,00	300,00

The five most abundant species in each vegetation patch according to decreasing order of the importance value index are in Table V. The two most important species are in Shallows (*Piliostigma thonningii* and *Combretum glutinosum*) in Cropland (*Vitellaria paradoxa* and *Piliostigma thonningii*), in School area (*Azadirachta indica* and *Cassia siamea*) introduced species and in Fallows (*Terminalia avicennioides* and *Daniellia oliveri*) and in Barred soil (*Hannoa undulata* and *Daniellia oliveri*). Table VI illustrates all the woody species recorded in the peri-urban park in Leo.

Table VI: The five most abundant species in each vegetation patch according to decreasing order of the importance value index (IVI).

Shallows	Relfreq (%)	Rel dens (%)	Rel Dom (%)	IVI (%)
<i>Piliostigma thonningii</i>	40,10	32,30	3,03	75,43
<i>Combretum glutinosum</i>	15,46	11,56	3,03	30,05
<i>Combretum molle</i>	9,18	6,07	6,06	21,31
<i>Lannea microcarpa</i>	3,38	13,19	3,03	19,60
<i>Mitragyna inermis</i>	1,93	10,21	3,03	15,17
Others (23)	29,95	26,67	81,82	138,44
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Cropland				
<i>Vitellaria paradoxa</i>	10,45	43,60	4,55	58,59
<i>Piliostigma thonningii</i>	29,85	14,42	7,58	51,84
<i>Parkia biglobosa</i>	4,48	26,42	1,52	32,41
<i>Daniellia oliveri</i>	6,72	3,91	1,52	12,14
<i>Diospyros mespiliformis</i>	3,73	0,00	6,06	9,79
Others (27)	44,78	11,66	78,79	135,22
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
School area				
<i>Azadirachta indica</i>	18,52	24,68	42,86	86,06
<i>Cassia siamea</i>	44,44	28,14	14,29	86,87
<i>Delonix regia</i>	3,70	0,82	14,29	18,81
<i>Gmelina arborea</i>	11,11	24,13	14,29	49,53
<i>Vitellaria paradoxa</i>	22,22	22,22	14,29	58,73
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Fallows				

<i>Terminalia avicennioides</i>	14,16	12,46	0,56	27,18
<i>Daniellia oliveri</i>	8,16	8,13	5,03	21,31
<i>Vitellaria paradoxa</i>	7,69	12,40	0,56	20,65
<i>Detarium microcarpum</i>	7,88	7,40	3,35	18,63
<i>Piliostigma thonningii</i>	7,74	6,59	3,63	17,96
Others (76)	54,38	53,02	86,87	194,27
Total	100,00	100,00	100,00	300,00
Barred soil				
<i>Hannoa undulata</i>	44,44	57,11	12,50	114,05
<i>Daniellia oliveri</i>	33,33	32,05	12,50	77,88
<i>Combretum collinum</i>	5,56	3,45	25,00	34,01
<i>Detarium microcarpum</i>	5,56	0,00	25,00	30,56
<i>Diospyros mespiliformis</i>	5,56	3,70	12,50	21,75
<i>Parkia biglobosa</i>	5,56	3,70	12,50	21,75
Total	100,00	100,00	100,00	300,00

Vegetation structural characteristics

The density of adult woody vegetation is higher in the fallows with 2 161 stem/ha. The Fallows occupied by rice cultivation has an average wood density of 970 stem/ha and the field 202 stem/ha. Schools and bare soil have low densities of 135 and 75 stem/ha respectively (Figure 2).

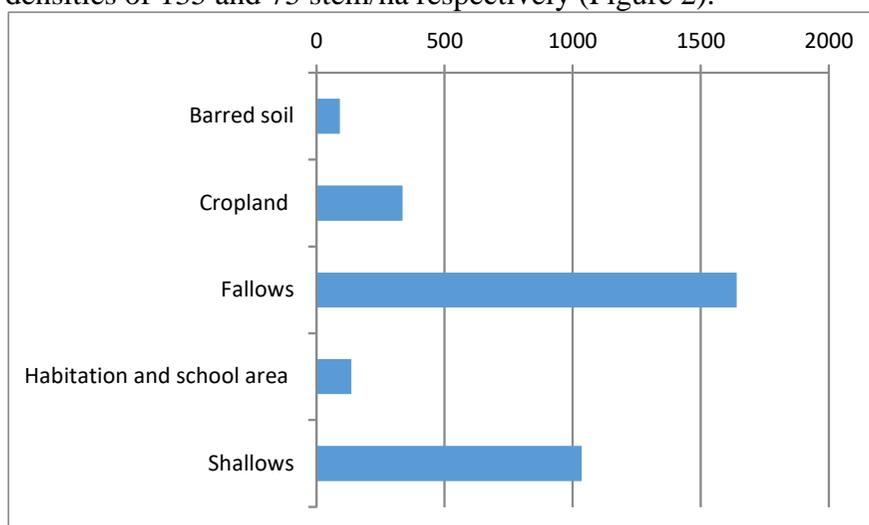


Figure 2 : Woody stems density for each vegetation patch in the peri-urban forest park of Léo

Woody plants' basal area differs significantly in the different vegetation units with the highest values in the fallows and shallows (Figure 3). Woody

vegetation cover rate following the different vegetation units shows that school areas represent the highest rate followed respectively by the shrub savannah and the croplands. Logically, barred soil has the lowest soil cover rate of 1% of the area (Figure 4).

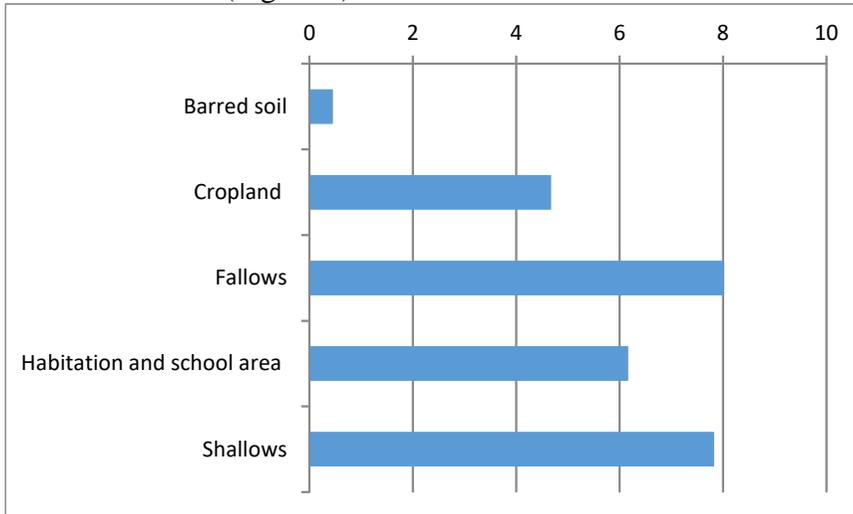


Figure 3: Basal area of woody tree (m²/ha) for each vegetation patch in the peri-urban forest park of Léo

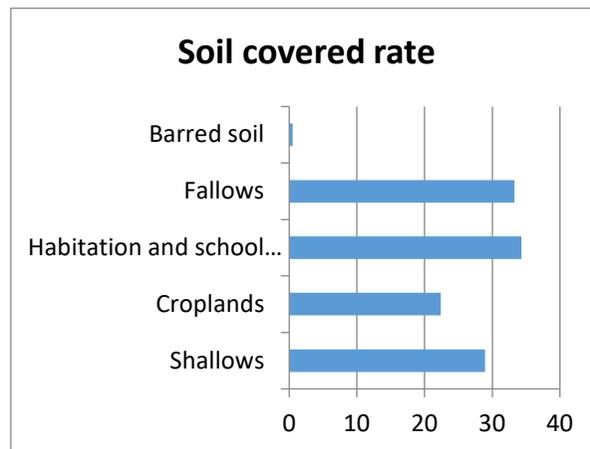


Figure 4: Woody vegetation cover rate for each vegetation patch in peri-urban park of Léo

Trees population dynamics

The health status of the woody species of the peri-urban park is mainly characterized by threats such as Loranthaceae parasitism, withering and leaf spot due to microscopic mushroom (Figure 5). Then, 96.9% of stands present leaf spot disease on shea tree (Akrofi and Amoah, 2009).

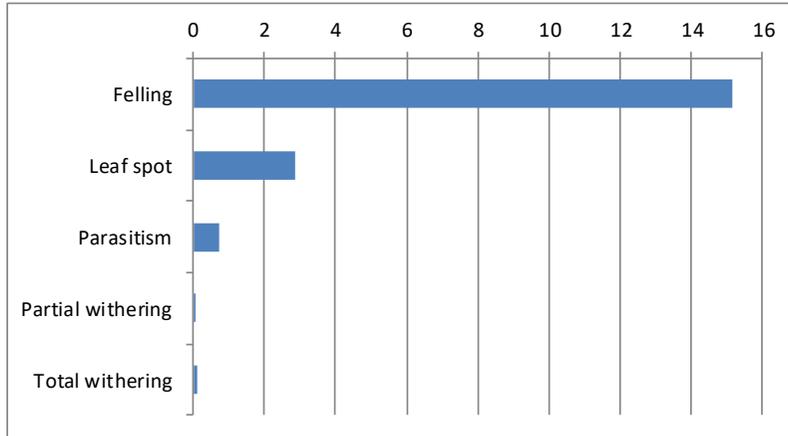


Figure 5: Health status expressed as a percentage of affected woody tree for each vegetation patch of the peri-urban park of Léo

The percentage of woody affected by cuttings in the peri-urban park of Leo is 15.2%. The distribution of these woody cuts is 13.1% in fallow land, 0.6% in bare soils, 1.3% in the shallows.

The most affected species by the felling or cuttings are *Terminalia avicennioides* 18.5%, *Detarium microcarpum* 14.6%, *Combretum colinum* 8.8%, *Piliostigma reticulatum* 8.5%, etc..

The species that regenerate the most and will ensure the sustainability of the forest potential in the forest park of the School Complex are *Gardenia erubescens*, *Piliostigma thonningii*, *Vitellaria paradoxa*, *Annona senegalensis*, *Terminalia avicennioides*, *Diospyros mespiliformis* and *Azadirachta indica* (Table VII). All these species are spontaneous except *Azadirachta indica* (nim) which was exotic and becomes sub spontaneous in the Sahelain countries. The regeneration of nim is observed in half of the small squares and is located in the fallows with seven small squares, shallows and croplands with two small squares in each field unit (figure 6).

Table VII: Structure of the main wood regenerations of the peri-urban forest park

Species	Stem number	Plots number	Stem density per plots
<i>Azalia africana</i>	50	6	83,3
<i>Annona senegalensis</i>	138	16	86,2
<i>Azadirachta indica</i>	83	11	75,4
<i>Daniellia oliveri</i>	58	12	48,3
<i>Detarium microcarpum</i>	58	10	58
<i>Diospyros mespiliformis</i>	93	16	58,1
<i>Gardenia erubescens</i>	218	13	167,6
<i>Piliostigma thonningii</i>	166	15	110,6

<i>Pteleopsis suberosa</i>	58	4	145
<i>Sapium grahamii</i>	62	12	51,6
<i>Terminalia avicennioides</i>	100	12	83,3
<i>Vitellaria paradoxa</i>	161	14	115

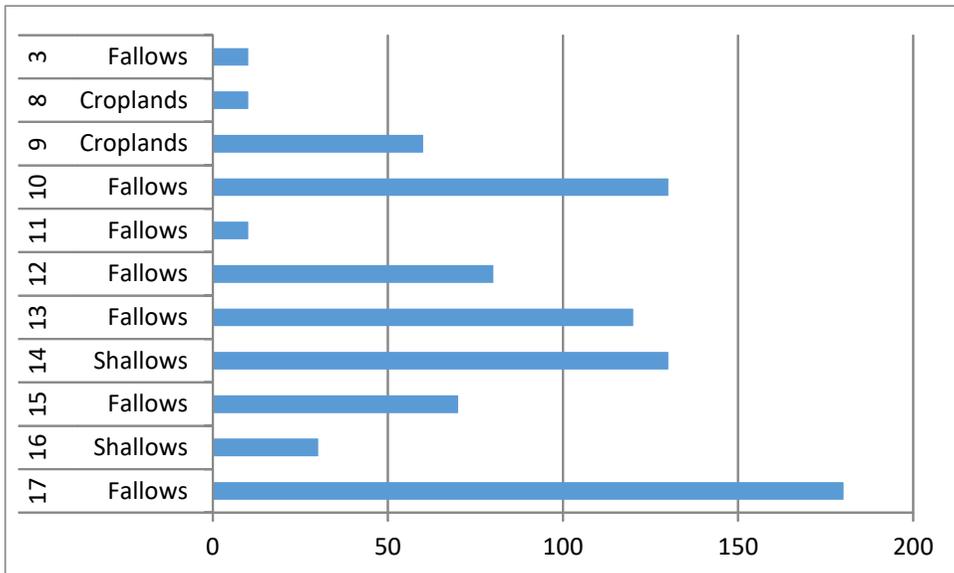


Figure 6: Regeneration rate (stem per ha) of *Azadirachta indica* by small square and field unit in the peri-urban park

5. Discussion

Floristic composition

The floristic composition of the peri-urban park of Léo corresponds to the vegetation generally described from the Sudan zone of West Africa (Devineau et al, 1991, Fournier, 1991). The most important families in terms of the number of individuals are Fabaceae, Combretaceae and Anacardiaceae. The dominance of Fabaceae is also mentioned in a study on a savanna of Korhogo (a town located in the North regions of Ivory Coast) by several authors (Koulibaly et al., 2006; Assese et al., 2009 and Amani et al., 2019).

The floristic composition of the peri-urban park comprises a total of 26 families, 63 genera and 81 species. The difference in species composition among patches might be due to micro-site factors. Generally, the growth of trees in semi-arid savanna ecosystems is determined by moisture, soil characteristics, landscape position (Scholes and Walker, 1993) and species specific growth requirements. The numbers of taxa found in Léo are lower than those obtained by Amani et al. (2019) with 287 species and Aké-Assi (2015) with 124 species in the Sudanese domain of Côte d'Ivoire at several sites and to 109 species of woody vegetation in the national park of

Arly in Burkina Faso (Ouédraogo *et al.*, 2008). However, it's is higher than those obtained in a tropical savanna in the Sinsabligbini Forest Reserve in northern Ghana where 62 species in 19 families woody (Asase et al, 2009) and 68 woody species were recorded in Kenikeni Forest Reserve of Northern Ghana (Tom-Dery et al, 2013).

The most abundant woody plants are *Piliostigma thonningii*, *Combretum glutinosum*, *Combretum molle*, *Lannea microcarpa*, *Mitragyna inermis* are different of those found by Assese et al (,) in the tropical savanna in northern Ghana reserve where species such as *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. Fabaceae), *Pteleopsis suberosa* Engl. & Diels (Combretaceae), *Combretum collinum* Fresen. (Combretaceae), *Dalbergia afzeliana* G. Don. (Fabaceae), *Terminalia mollis* S.Vidal. (Combretaceae), and *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. (Sapotaceae) were found. The most abundant woody species in Kenikeni Forest Reserve of Northern Ghana were *Vitellaria paradoxa* (7.7%), *Detarium microcarpum* (6.7%), *Isobertia doka* (6.5%), *Afzelia africana* (6.5%), *Pterocarpus erinaceus* (5.7%) and *Burkea africana* (5.7%) (Tom-Dery et al, 2013), but some of these species are present in the peri-urban park in lower proportion.

In order to meet the challenges of the fight against climate change and urban heat waves, many cities are implementing tree planting programs to increase urban forests. Biological indicators related to diversity, density, endemism, horizontal and vertical structure of the formation make it possible to characterize plant formations. Barron *et al.* (2016) argue that the diversity of urban trees and the native origin of plants are important factors in an adapted urban forestry program. The fallows are the richest ecosystem on which protection actions must focus.

Fifty three (53) species were identified to be trees, 27 shrubs, 2 lianas representing 65.4, 32.1 and 2.5 respectively. Compared to those of Kenikeni Forest Reserve of Northern Ghana, the proportions are 79.4, 17.6 and 2.9% respectively according to Tom-Dery *et al.* (2013).

Population dynamics

The forest park of the school complex is relatively rich in terms of floristic diversity. However, it is subject to threats or factors that contribute to the degradation of its forest resources. Some observations showed daily holdings by cutting green wood and taking dead wood by women and men into the forest massif. These practices are favored by (i) the many tracks crisscross the forest massif and therefore limit the possibility of control and surveillance of the removal and exploitation of wood and associated resources and the introduction of vegetation fire; (ii) the lack of a structure or staff for the appropriate supervision of the forest massif, (iii) the farmers which does

not afraid by the religious sisters; (iv) the nature of local land tenure and related local mentalities.

The distribution of species seems to be determined by human activity rather than by the natural environment factors. In this context, useful species that are protected such as *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* are left in disturbed savannas, like in Korogho Sudan savanna (Koulibalyet *al.*, 2006).

Anthropogenic pressure on forest resources in the park could be explained by the nature of land tenure in the customary regime. Land tenure in the area is characterized by the absence of an individual private domain. Although there are individual farms, these do not confer on the land any status other than that of customary regime. This is how the fallow after some time becomes again collective property of the village. Forest commonly called "bush" is considered to be a community property, and therefore its woods can be exploited by anybody from all villagers. With the exception of sacred woods in which no human presence is permitted without prior special authorization, the exploitation of dead wood in the forest is not restricted. The inhabitants of the neighboring villages of the park can also make use of the forest (cutting of green wood, installation of fields of cultivation, grazing and transhumance etc. ...) provided that a verbal request is addressed to the owner village. The principles of agrarian land management are simple and known to all because they are present in most aspects of rural life (Diarra, 1999).

All the species that regenerate the most are spontaneous except *Azadirachta indica* (called nim) which was exotic at the origin and become sub spontaneous later. It is an insidious intrusion, manifested by a strong regeneration of nim seedlings in the natural formation, especially the park fallows. The development of nim invasion will create in the coming decades competition with indigenous species and reduces the plant diversity and consequently animal biological diversity of the natural formation. This was observed in the BognounouOuétian botanical park of the National Centre for Scientific and Technological Research in Ouagadougou, where actions of uprooting of nim carried out in 2017 did not eradicate the phenomenon. Indeed, the spread of germinating seeds continues with granivorous birds (Parrottaet *al.*, 1994, Ganaba 2000, Ganaba *et al.*, 2009; Guinko, 2013).

A previous work has shown that the growth of neem seedlings is 0.7 to 1cm in diameter at the base per year in India (Sahni, 1939). If the conditions of the site are favorable as is the case in the area of the Yazura School Complex, the growth is rapid after the first year. Thus, in 8 years, neem plantations in Cuba on fertile and clayey soils measured between 2.4 and 3.4 m cm in diameter at the base and 1.8 to 1.9 m high in Cuba (Betancourt, 1972) and Haïti (Lewis *et al.*, 1983). In West Africa, on some sites receiving an annual rainfall average of 800mm, the average height 4 years after planting was 3 to 5m with a biomass of 10 to 12m³ (Anon, 1988). Yields of 2m³ of wood from a 4-year-

old plantation with spacing of 4 m x 4 m near Ouagadougou (Burkina Faso) were reported by Sieder (1983). This means that it is a relatively fast-growing species that will produce fruits that will be disseminated by birds. The seeds will germinate and increase the number of regenerations and feet in the forest massif. It should be noted that *Azadirachta indica* is locally invasive and tends to replace local species (Hoffmann, 2021).

Green wood cuts concern the following species: *Parkia biglobosa*, *Anogeissus leiocarpa*, *Azadirachta indica*, *Combretum spp.*, *Pteleopsis suberosa*, *Pterocarpus erinaceus*, *Daniellia oliveri* as energy, craft and aerial fodder woods.

Loranthaceae are parasitic plants that compromise the production and survival of woody and herbaceous plants. These parasitic phanerogams are known as one of the main causes of shea tree mortality in the agroforestry parks in the Sahel (Boussim *et al.*, 1993). Loranthaceae are hemi-parasites, that is, their aerial tissues contain chlorophyll. They grow on the host's aerial organs and complete their life cycle at the expense of woody species. The spread of fruits and seeds is ensured by granivorous birds including the bearded.

Sustainable management of forest resources

Conservation measures are the application of legal and land protection, habitat preservation, measures to control the management of the massif's biological resources, the development and improvement of habitat to create an urban park. The replanting of vegetation in degraded areas and incentives for wood production for local populations are needed.

At the species level, a management program for threatened or rare species, control of invasive alien plants and control of domestic animals must be developed. The management of the strong regeneration of nim seedlings in the park involves a mechanical control by stump removal before their enter in production stage. This could reduce the possibility of dissemination by granivorous birds. This action would be easier in the middle of the rainy season by manual uprooting of seedlings with the root when the soil is well soaked in water.

This would reduce the disturbance of the environment by digging in the dry season. There is also a need to reduce the number of tracks that crisscross the massif and facilitate fraudulent cutting of green wood. Finally, there is a need for conservation of plant resources through the creation of a botanical garden to restore plants in degradation and protect useful and threatened plants. This botanical park on the outskirts of the city will help to retain dust and absorb pollution from the city and create a recreational setting for rest and in situ conservation of biodiversity.

6. Conclusion and recommendations

This study sought to provide information on the effects of land use, tree diversity and structure in a peri-urban forest in order to formulate strategies that can contribute to the creation of a future Urban forest for biodiversity conservation. The results showed a significant difference in the number of genera and families of species found across the five contrasting vegetation units (i.e. fallows, shallows, cropland, habitation / school area and barred soil). Fallow is the unit that contains all families and genera and 93% of species. It should be noted that the most threats on vegetation and flora of the School Complex are fraudulent human exploitation, parasitic pressure and progressive intrusion of *Azadirachta indica*.

The threats relate to the exploitation and removal of wood, the many tracks that crisscross the massif, hunting and animal harvesting, intrusions and anthropogenic disturbances.

These results highlight the importance of active measures such as application of legal and land protection, habitat preservation, measures to control the management of the massif's biological resources, the development and improvement of habitat to create an urban park, the replanting of vegetation in degraded areas, incentives for local populations.

The flagship measures for the sustainable management of forest resources are: at the landscape level, create an urban botanical park to protect forest resources in the shrub savannah area by limiting indoor movement favoring abusive logging and at the species level develop a management program for threatened or rare species, control of invasive alien plants and control of domestic animals.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest for this article.

Contributions of authors. SG collected, processed and analyzed the data and then wrote and corrected the article. SK contributed to the data collection and the writing and correction of the article. FK analyzed the data and contributed to the writing and correction of this article. MD contributed to data collection and entry.

Acknowledgements

This work was funded by the "Foundation Jean Paul II pour la Sahel" coming within the framework of the project "Biological Diversity through The Promotion of Environmental Education at The Maria Stella Yazura School Complex in Leo" [Contract 2018/GF/102-38/AO/E]. We would like to express our sincere gratitude to Catholic Organization for Development and Solidarity (OCADES) of Koudougou and Maria Stella Yazura School Complex staff. We thank local people for their assistance and cooperation. We appreciate the constructive comments received from anonymous reviewers.

References:

1. Aké-Assi E., 2015. Plantes à potentialité décorative de la flore du Sud de la Côte d'Ivoire : études taxinomique, ethnobotanique et essai de domestication de *Thunbergiaaatacorensis*Akoegninou&Lisowski (Acanthaceae), une espèce nouvellement introduite. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 207 p.
2. Akrofi A. Y. and Amoah F. M., 2009. Pestalotia spp. causes leaf spot of *Vitellaria paradoxa* in Ghana. African Journal of Agricultural Research, 4 (4): 330-333. <http://www.academicjournals.org/AJAR>
3. Amani K.D.S.S., Kouassi F.A., Aké-Assi E.A., 2019. Diversité Floristique des Plantes à Potentialité Décorative Issues des Formations Naturelles du Nord de la Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, 15 (15). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p46>
4. Angelsen A. and Kaimowitz D., 1999. Rethinking the Causes of Deforestation: Lessons from Economic Models . The World Bank Research Observer, 14(1): 73-98.
5. Anon. 1988. *Azadirachta indica* A. de Jussieu. *Bois et Forêts des Tropiques*, 217: 33-47.
6. Asase A, Ekpe P.K. and Amponsah J.Y., 2009. Floristic composition, abundance, and distribution pattern of woody plants in a tropical savanna in northern Ghana. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 3(1).
7. Barron S., Sheppard, S.R.J., Condon P.M., 2016. Urban Forest Indicators for Planning and Designing Future Forests, *Forests* 2016, 7(9), 208; <https://doi.org/10.3390/f7090208>
8. Boussim I.J., Sallé G., and Guinko S., 1993. Tapinanthus A parasite of shee trees in Burkina Faso. Phenology, biology and damage. *Bois et Forêts des Tropiques*, 238 : 53-65. http://bft.cirad.fr/cd/BFT_238_53-65.pdf
9. Brower, JE & Zar, JH., 1984. Terrain et laboratoire méthodes oratoires pour l'écologie générale .Marron Péditeur.
10. BUNASOL, 1990. Caractérisation des Sols du Centre-Sud de la province de la Sissiliètes quise pédologique. Rapport technique N° 69. Bunasol, Ouagadougou.
11. CTFT (Centre technique forestier tropical), 1989. Mémento du forestier. « Techniques rurales en Afrique », 3e édition 1989, 1257p.
12. Diarra A., 1999. Étude d'un modèle d'aménagement des forêts naturelles en zone soudano-sahélienne au Burkina Faso. Mémoire M.Sc, Faculté de Foresterie et de Géomatique, Université Laval, 112p.

13. Devineau J.L., Fournier A., Kaloga B., 1997. Les sols et la végétation de la région de Bondoukui (Ouest burkinabé). Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (SPOT). Éditions de l'Orstom, Paris, 131p.
14. F.A.O., 1980. « Conservation des ressources naturelles en zones arides et semi-arides. *Cahier F.A.O. Conservation des sols*, 3, 1980.
15. Fournier A., 1991. Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique. Editions de l'ORSTOM Collections Etudes et Thèses, Paris 1991, 306p. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_2/etudes_theses/36403.pdf
16. Fuwape J.A. et Onyekwelu J.C., 2011. Urban Forest Development in West Africa: Benefits and Challenges. *Journal of Biodiversity and Ecological Sciences*, 1 (1)1 :77-94. https://www.academia.edu/2317692/Urban_Forest_Development_in_West_Africa_Benefits_and_Challenges_Journal_of_Biodiversity_and_Ecological_Sciences_2011_1_1_77_94?auto=download
17. Ganaba S., 2000. Le neem. Un arbre dangereux ? Echo de la recherche. *Eurêka* n°32, CNRST, ISSN 1019-6927, 50pp : 13-16.
18. Ganaba S., Compaoré P., Ouédraogo S.J., Ouadba J.M., 2009. Contrôle de l'envahissement du neem. Cas du parc botanique du CNRST. Echos de la recherche. *Eurêka*, 11-16.
19. Geist H.J. et Lambin E.F. 2001. What Drives Tropical Deforestation? A Meta-Analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence. Louvain-la-Neuve (Belgium). Lucc International Project Office. Lucc Report Series no.4.
20. Guinko S., 2013. Le neem. Arbre aux usages multiples pour le développement durable en milieu rural au Burkina Faso. Presses Universitaires de Ouagadougou , 88p. ISBN 979-10-90524-03-3.
21. Hoffmann J., 2021. Utilisation du Neem (*Azadirachta indica*) en agriculture. Lettre d'information de Tela Botanica du 18 février 2021
22. INSD (Institut national de la statistique et de la démographie), 2008. Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 du Burkina Faso – Résultats Définitifs, MEF, INSD, 52p. http://www.cns.bf/IMG/pdf/RGPH_2006.pdf
23. INSD, 2009. La population du Burkina Faso de 1997 à 2006 par Région et Province. Projet ARC-SSN
24. INSD, 2020. Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso. Résultats Préliminaires, MEFD, INSD, 57p. http://www.insd.bf/n/contenu/enquetes_recensements/rgph-bf/RAPPORT%20PRELIMINAIRE%20RGPH%202019.pdf

25. Koulibaly A., Goetze, D., Traoré D. & Porembski S. (2006). Savanes protégées contre savanes exploitées: caractéristiques de la végétation soudanaise en Côte d'Ivoire. *Candollea* 61: 425-452.
26. Kleemann J., Inkoom J.N., Thiel M., Shankard S., Lautenbach S., & Fürst C., 2017. Peri-urban land use pattern and its relation to land use planning in Ghana, West Africa. *Landscape and Urban Planning*, 165: 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.004>
27. Lewis, Walter H.; Elvin-Lewis, Memory P.F. 1983. Neem (*Azadirachta indica*) cultivated in Haiti. *Economic Botany*. 37(1): 69-70.
28. Magurran A (Ed.) (2004) *Measurement biological diversity*, Blackwell Science Ltd.
29. Napon A., 1994. Encadreurs et paysans au Burkina Faso. Une approche en termes de communication. MESSRS, ORSTOM, Programme de recherche: "politiques et développement agricoles et agro-industriels au Burkina Faso". Document n°7, Juillet 1994, 28p.
30. Nébié K.E., 2015. The dynamics between migration and land use and land cover change (LULCC) in Burkina Faso: a comparative case study. Master degree theses in Sociocultural Anthropology in the Department of Anthropology, University of North Carolina, Chapel Hill
31. Ouédraogo, I., 2010. Land Use Dynamics and Demographic Change in Southern Burkina Faso. PhD Forest Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre, 64p. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7476-0. © 2010 Issa Ouédraogo, Alnarp, Print: SLU Service/Repro, Alnarp 2010
32. Ouédraogo I, Tigabu M., Savadogo P., Compaoré H., Odén P. C., Ouadba J. M., 2010. Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa. *Land Degradation and Development*, 21 (5) : 453-462. <https://doi.org/10.1002/ldr.981>
33. Ouédraogo O., Thiombiano A., Hahn –Hadjali K. & Guinko S., 2008. Diversité et structure des groupements ligneux du parc national d'Arly (Est du Burkina Faso). *Flora and Vegetation Sudano-Sambesica* 11,5-16, Frankfurt, December 2008
34. Parrotta J.A. et Chaturvedi A.N., 1994. *Azadirachta indica* A. Joss. Neem, margosa Meliaceae Mahogany family. SO-ITF·SM·70 February 1994 UHM. https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf070-8.pdf
35. Raunkier C., 1934. The life forms of plants and statistical plant of geography, Oxford University Press, Londres, Angleterre, 632 p.
36. Sahni, N.D. 1939. Nim germination. *Indian Forester*. 65(2): 117-118.

37. Scholes R.J., Walker B.H., 1993. An African savanna: synthesis of the Nylsvley study. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 306 p.
38. Sieder, P. 1983. Large-scale afforestation in Upper Volta [Burkina Faso]. *Forst- und Holzwirt.* 38(5): 112, 114, 116-118, 120.
39. Tom-Dery D., Hinneh P. and Asante W.J., 2013. Biodiversity in Kenikeni Forest Reserve of Northern Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, 8(46): 5896-5904, DOI: 10.5897/AJAR12.1886. <http://www.academicjournals.org/AJAR>
40. United Nations, 2011. Urban Population, Development and the Environment 2011. Department of Economic and Social Affairs • Population Division • www.unpopulation.org. Copyright © United Nations, 2011, ST/ESA/SER.A/309?
41. [UN] United Nations, 2014. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision Highlights. UN.
42. Yago Z., 1984. Le nuni, langue gourounsi de Haute-Volta. Thèse de doctorat 3e cycle Université d'Abidjan, 251p.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Etude Comparative De La Rentabilité Des Systèmes De Pompage Solaire Et Thermique Sur Le Périmètre Irrigué De Soumarana Au Niger

Illiassou Naroua,

Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abdoulkadri Laouali,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Souley Issaka,

Département de Production Durable des Cultures, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Maman Rachid Salissou Issoufou,

Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Hassoumi Djibo,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p246](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p246)

Submitted: 09 December 2021

Accepted: 28 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Naroua I., Laouali A., Issaka S., Issoufou M. R.S., & Djibo H., (2021). *Etude Comparative De La Rentabilité Des Systèmes De Pompage Solaire Et Thermique Sur Le Périmètre Irrigué De Soumarana Au Niger* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p246>

Résumé

Le Niger dispose d'important potentiel de terre irrigable et plusieurs formes d'irrigation ont été développées notamment la petite irrigation, afin de réduire la dépendance de la production vis-à-vis des aléas climatiques. L'objectif de ce travail est de justifier le besoin de vulgariser la technologie des équipements de pompage solaire. Pour cela une enquête technicoéconomique a été conduite auprès d'un échantillon de 80 exploitants choisis de manière aléatoire sur le périmètre irrigué de Soumarana, à raison de 40 irrigants utilisant des systèmes de pompage thermique et 40 des systèmes de pompage photovoltaïque. Les cultures de carotte et d'oignon, étant les principales spéculations, ont été

retenues pour conduire l'étude afin de comparer les performances de systèmes de pompage en place. Il ressort de l'analyse des résultats que le système de pompage solaire dégage des marges brutes nettement supérieure à celles du système de pompage thermique avec des différences de l'ordre de 402 148 FCFA/ha et 342 812 FCFA/ha respectivement pour la culture de carotte et celle de l'oignon. De même, le coût du pompage du mètre cube d'eau en système de pompage solaire est nettement inférieur à celui du système de pompage thermique avec respectivement 57,27 FCFA/m³ et 80,75 FCFA/m³. Ces résultats indiquent une meilleure performance du système de pompage solaire comparativement au système thermique.

Mots clés: Pompage Solaire, Pompage thermique, Rentabilité Economique, Soumarana.

Comparative Study of The Profitability of Solar and Fuel Powered Pumping Systems on the Soumarana Irrigated Perimeter in Niger

Illiassou Naroua,

Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abdoulkadri Laouali,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Souley Issaka,

Département de Production Durable des Cultures, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Maman Rachid Salissou Issoufou,

Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Hassoumi Djibo,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abstract

Niger Republic has significant potential for irrigable land and several forms of irrigation have been developed, including small-scale irrigation, in order to reduce the dependence of production on climatic hazards. The objective of this study is to justify the need to popularize solar pumping equipment technology. To this purpose, a techno-economic survey was conducted among a sample of 80 farmers chosen randomly in the Soumarana irrigated area, at the rate of 40 farmers under fuel powered pumping system

and 40 under photovoltaic pumping system. Carrot and onion crops, being the main speculations, were selected to conduct the study to compare both pumping systems performances. The analysis of the results shows that the solar pumping system has higher gross margins than the fuel powered pumping system with differences of the order of 402 148 FCFA/ha and 342 812 FCFA/ha respectively for carrot and onion crops. Similarly, the cost of pumping per cubic meter in the solar pumping system was clearly lower than that of the fuel powered pumping system with respectively 57.27 FCFA/m³ and 80.75 FCFA/m³. These results indicate a better performance of the solar pumping system compared to the fuel powered ones.

Keywords: Solar pumping, Fuel powered pumping, Economic profitability, Soumarana

1. Introduction

Au Niger, l'économie est tributaire du secteur agricole qui contribue au Produit Intérieur Brut (PIB) à plus de 43% (Banque Africaine de Développement, 2018). Ce secteur représente le premier générateur de revenu en occupant plus de 80% de la population active. Aussi, les perspectives de lutte contre la pauvreté reposent essentiellement sur l'amélioration de la productivité agricole. Ce système de production majoritairement pluvial et en conditions pédoclimatiques défavorables, s'est souvent montré inefficent ; occasionnant des crises alimentaires récurrentes (WFP, 2010, Abdoul Habou *et al.*, 2016 ; PARM, 2016). Cependant, il existe d'important potentiel en terre irrigable (Ministère de l'Agriculture, 2015 ; Nazoumou *et al.*, 2016) dont la mise en valeur permettrait de contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté (Tillie *et al.*, 2019), réduisant ainsi la dépendance de la production vis-à-vis des aléas climatiques. Ainsi plusieurs formes d'irrigation ont été développées.

Les plus importantes formes d'irrigation en termes de superficie sont les aménagements hydroagricoles à grande échelle (Ehrnrooth *et al.*, 2011). Cependant, du fait de la faible rentabilité et des problèmes de gestion de ces aménagements durant ces dernières années, une attention particulière a été accordée à la petite irrigation (Banque Mondiale, 2009, Ministère de l'Agriculture, 2015). Cette dernière présente l'avantage d'avoir un coût d'investissement très faible et des infrastructures physiques beaucoup plus simples et ayant des entretiens moins onéreux et facilement assimilables par les producteurs. Par ailleurs, il existe un certain nombre de défis à relever dont l'amélioration de la productivité agricole qui faciliterait la rentabilisation économique des investissements. Ce qui implique, l'optimisation des ressources et la minimisation des coûts de production dont le plus important en irrigation est celui de la consommation d'énergie pour assurer la

mobilisation de l'eau (Belaud *et al.*, 2020 ; Rocamora *et al.*, 2013, Shah *et al.*, 2018).

En milieu rural isolé des installations électriques, diverses alternatives de source d'énergie sont recherchées et utilisées pour la mobilisation et la distribution des eaux d'irrigation (Carrillo-Cobo *et al.*, 2014 ; Chandel *et al.*, 2015 ; Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b). Au nombre de ces alternatives, figurent l'énergie thermique à base des carburants fossiles, l'énergie photovoltaïque, l'énergie éolienne et celle de la biomasse (Isaias *et al.*, 2019, Shinde et Wandre, 2015 ; Ibrik, 2020). A titre illustratif, la plupart des producteurs du périmètre irrigué de Soumarana (dans la région de Maradi à l'Est du Niger), utilisaient auparavant les pompes thermiques à essence. Grâce à l'appui financier de leurs partenaires, il leur a été installé un certain nombre de pompes immergées équipées de panneaux solaires, pour la mobilisation et la distribution de l'eau d'irrigation. Ces nouvelles installations ont pour objectifs d'améliorer la productivité des systèmes de production et les rendre plus durables. Le pompage de l'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque ou système de pompage photovoltaïque (SPPV), comparativement au système de pompage thermique (SPT), présente comme avantage la réduction des émissions de gaz à effet de serre, un coût de maintenance réduit, une longue vie utile et l'énergie solaire est inépuisable (Shinde et Wandre, 2015 ; Hartung et Pluschke 2018). Toutefois, son inconvénient est d'avoir un coût d'investissement initial élevé. Ce qui, limite son utilisation par les producteurs (Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b). Au périmètre irrigué de Soumarana, après l'installation des systèmes de pompage solaire, il s'en est suivi la nécessité d'évaluer la rentabilité des investissements réalisés pour justifier la promotion de cette technologie. C'est dans ce cadre que la présente étude a été menée. Elle a consisté à comparer les systèmes de pompage solaire et thermique, afin de déterminer le système le plus productif du point de vue de la rentabilité économique.

2. Matériel et méthode

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans le périmètre irrigué de Soumarana, situé dans la commune rurale de Safo, (Figure 1). Le village de Soumarana présente un climat du type sahélo-soudanien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 537 mm. Le sol est à prédominance limoneux. La superficie totale du périmètre est estimée à 450 ha dont seulement 250 ha sont mis en valeur par environ 2000 exploitants, repartis dans deux organisations paysannes (OP). La taille d'une exploitation individuelle varie entre 0,15 et 0,5 ha. La profondeur de la nappe se caractérise par un niveau statique variant entre 8 et 10 m selon la période de l'année. L'exhaure de l'eau est assurée par deux types de systèmes de pompage à savoir le système de pompage photovoltaïque

(SPPV) et le système de pompage thermique (SPT), avec chacun une capacité de $7 \text{ m}^3/\text{h}$ dimensionnés pour irriguer une superficie de 0,8 ha.

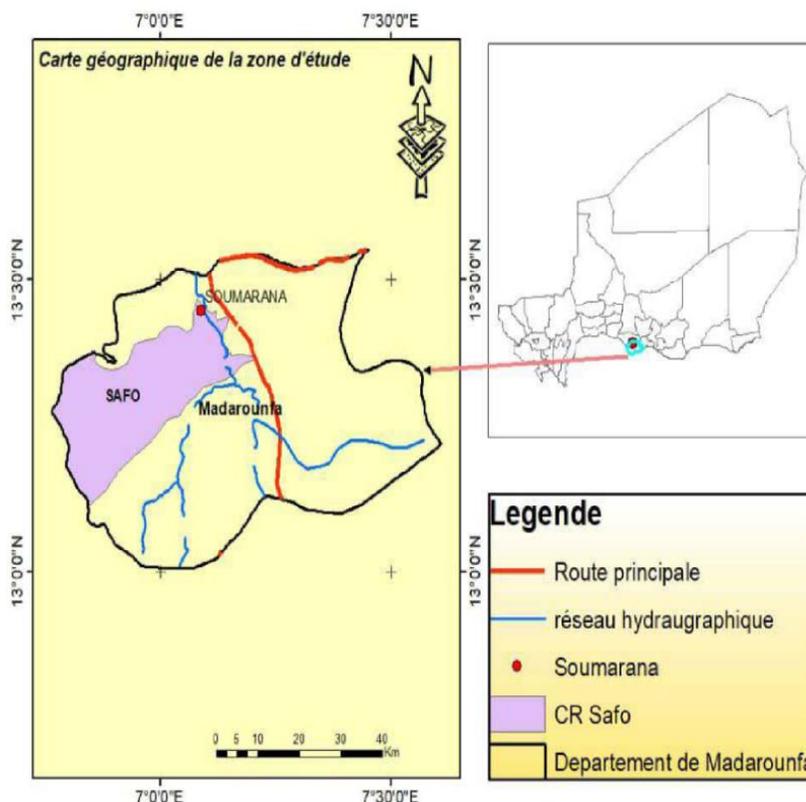


Figure 1. Carte géographique du village de Soumarana. Source : Auteurs, 2021

2.2.Méthodologie

La méthodologie repose sur une enquête technico-économique de deux systèmes de pompage en place. Ainsi, 80 exploitants choisis de manière aléatoire du périmètre ont été enquêtés à raison de 40 par type de système de pompage. Les données collectées portent sur la taille d'exploitation par producteur, les principales cultures pratiquées, les charges liées aux intrants (semences, produits phytosanitaires, engrais, carburant), à la main d'œuvre et à l'entretien du système. De même, les informations sur les paramètres d'arrosage (durée et fréquence d'arrosage), la production et le prix de vente des produits, etc., ont été collectées. Les données relatives aux coûts d'investissements initiaux et la durée de vie des différents équipements de systèmes de pompage ont été reçues auprès des l'entreprises ayant fourni ces équipements (Tableau 1).

Tableau 1. Coût d'investissement initial et durée de vie des systèmes de pompage

SPPV

Désignation	Investissement Initial (FCFA)	Durée de vie (an)
Générateur photovoltaïque	480000	20
Electropompe	800000	7
Accessoire	200000	10
Expertise génie civil	200000	20
Ouvrage	120000	20
SPT		
Désignation	Investissement Initial (FCFA)	Durée de vie (an)
Moto pompe	225000	4
Abri	4000	1
Ouvrage	120000	20

Source : Entreprise ELYFROS Maradi

Microsoft Excel (version 2019) a été utilisé pour le traitement des données. Le compte d'exploitation des principales cultures par exploitants, et la rentabilité économique des différents systèmes de pompage à travers l'analyse du coût du mètre cube d'eau pompé (CMEP) ont été évalués selon les méthodes de Bouzidi *et al.* (2006) et Ibrik (2020). La marge brute de production (MBP) des cultures a été déterminée suivant la formule utilisée par Maiga Djibril (2021) et Hossain *et al.*, (2015). Le CMEP a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est le rapport entre le coût d'exploitation total annuel (CETA) et le volume d'eau pompé annuellement (VEPA).

$$CMEP \left(\frac{FCFA}{m^3} \right) = \frac{CETA (FCFA)}{VEPA (m^3)}$$

La CETA représente la somme des coûts de fonctionnement annuel (CFA) du système de pompage et l'amortissement total annuel des équipements (ATA). Le CFA comporte les frais d'entretien, de gardiennage et éventuellement la charge liée à la consommation de l'essence pour le système de pompage thermique. L'amortissement des équipements a été calculé en appliquant la formule suivante (Bouzidi *et al.*, 2006) :

$$ATA (FCFA) = \frac{T * I}{[1 - (1 + T)^{-n}]}$$

Où :

T (%) : taux d'amortissement,

n : durée de vie de l'équipement (ans),

I : investissement initial.

Il a été considéré un taux d'amortissement annuel linéaire défini comme l'inverse de la durée de vie de l'équipement.

Pour le cas du SPT, la variation du CMEP a été simulée en fonction du prix de l'essence, en considérant les autres composantes fixes (charge d'entretien et vidange et l'amortissement total annuel du système), dans l'objectif de déterminer la valeur du prix du litre de l'essence pour lequel le CMEP est le même pour les deux systèmes de pompage.

La marge brute de production (MBP) est la différence entre la valeur monétaire de la production (VMP) et la charge totale de la production (CTP), qui elle-même comporte les différentes charges variables (intrants, main d'œuvre, entretien des équipements).

$$MBP(FCFA/ha) = VMP(FCFA/ha) - CTP(FCFA/ha)$$

La valeur monétaire de la production est le produit entre la quantité de la production et son prix au moment de la récolte.

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse du compte d'exploitation

Le Tableau 2 présente, les valeurs moyennes des composantes des comptes d'exploitations des principales cultures (carotte et oignon), par type de système de pompage. Il s'agit d'une part, des charges variables liées à l'achat des semences, des engrais chimique et organique, des traitements phytosanitaires, de la main d'œuvre, des entretiens et de l'essence, et d'autre part, de la valeur monétaire de la production de chacune des cultures. Ces valeurs dépendent beaucoup de la spéculation des prix au moment de l'étude, toutes fois, elles permettent d'établir une comparaison de la performance entre les deux systèmes de pompages.

L'analyse du Tableau 2 indique que les valeurs des charges ont varié de manière diverse due à la spéculation des prix au moment de l'étude, comme le montre les coefficients de variation (CV) qui ont oscillé entre 9,58 et 31,20%. Par ailleurs, une comparaison des valeurs des composantes de la CTP de cultures selon le système de pompage montre une légère variation, sauf pour le cas des charges dues à l'achat de l'essence et/ou à l'entretien qui sont plus importantes dans le SPT comparativement à ceux du SPPV. Pour le cas du SPT les charges de l'essence et entretien représentent 40,71% et 46,22% de la CTP respectivement pour la carotte et l'oignon, contre 15,40% et 25,46% dans le SPPV qui se limitent uniquement aux charges d'entretien du système. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par Andres *et al.* (2016) dans cette même zone d'étude, où la charge due à l'achat de carburant a représenté à elle seule 44% des charges totales de production dans un SPT. Par contre, ils sont supérieurs à ceux de producteurs de poivron dans la région de Diffa avec en moyenne 32% de charges opérationnelles à l'hectare (Dalla *et al.* 2016). Cette forte charge due à la consommation de l'essence et/ou à l'entretien du SPT justifierait la supériorité de la charge totale dans ledit système vis-à-vis de celle du SPPV. Ce qui a conduit à des valeurs de la MBP plus élevées en SPPV pour les deux cultures avec des différences de l'ordre de 402 148 FCFA/ha et 342 812 FCFA/ha respectivement pour la culture de carotte et de l'oignon. En effet les valeurs de MBP des cultures en système thermique équivalent à 71 et 83% (respectivement pour la carotte et l'oignon) de celles du système de pompage soaire.

Culture	Semences (FCFA/ha)	Main d'œuvre (FCFA/ha)	Engrais chimique (FCFA/ha)	Engrais organique (FCFA/ha)	Traitements phytosanitaires (FCFA/ha)	Entretien et/ou essence (FCFA/ha)	CTP (FCFA/ha)	VMP (FCFA/ha)	MBP (FCFA/ha)
SPPV									
Carotte	134063	183538	77150	47820	39076	103231	584877	1971724	1386847
CV	31,20%	26,75%	23,10%	20,01%	14,31%	15,40%	27,33%	23,45%	28,17%
% de CTP	23%	31%	13%	8%	7%	18%	100%	-	-
Oignon bulbe	96543	197779	110842	52964	16780	162231	637138	2580586	1943448
CV	15,00%	27,31%	18,40%	17,07%	25,21%	12,32%	20,52%	30,10%	19,74%
% de CTP	15%	31%	17%	8%	3%	26%	100%	-	-
SPT									
Carotte	161364	189585	107400	35412	44917	369920	908597	1893296	984699
CV	17,20%	10,89%	21,18%	9,58%	24,35%	19,23%	29,40%	15,41%	22,13%
% de CTP	18%	21%	12%	4%	5%	40%	100%	-	-
Oignon bulbe	100077	186686	119989	36122	13267	392031	848172	2448808	1600636
CV	25,10%	10,25%	16,11%	13,15%	19,80%	27,12%	23,10%	14,47%	23,10%
% de CTP	12%	22%	14%	4%	2%	46%	100%	-	-

3.2. Analyse du coût du mètre cube d'eau pompé

Le Tableau 3 présente les valeurs de l'amortissement annuel et la charge de fonctionnement annuelle des différents systèmes de pompage pour la mobilisation d'un volume d'eau équivalent à 7350 m³ correspondant au volume d'eau pompé annuellement par les deux systèmes ; étant donné que les caractéristiques des pompes sont identiques pour les deux types de systèmes de pompage et de même pour les valeurs estimées du temps de pompage.

Tableau 3. Valeurs des paramètres de calcul du coût du mètre cube d'eau pompé

Libellé	SPPV	SPT
ATA (FCFA)	284 928	108 903
CFA (FCFA)	136 017	484 585
CV (%)	28	13
CETA (FCFA)	420 945,13	593 489
Volume d'eau annuel (m ³)	7 350	7 350
CMEP (FCFA/m ³)	57,27	80,75

Il ressort de l'analyse de ce tableau que le montant d'amortissement total annuel du système de pompage thermique ne représente que 38,22% de celui du pompage solaire. Ceci corrobore les résultats de nombreuses études qui ont souligné le coût élevé des investissements initiaux pour l'acquisition des SPPV (Sonou et Abric, 2010 ; Maurya *et al.*, 2015 ; Hossain, 2015 ; Aliyu *et al.*, 2018 ; Shouman *et al.*, 2018 ; Deli *et al.*, 2018). Cela est souvent considéré comme une contrainte qui rend difficile l'accessibilité de ces systèmes de pompage photovoltaïque aux petits producteurs (Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b ; Diop *et al.*, 2020 ; Wazed *et al.*, 2018). Par ailleurs, les CMEP obtenus sont similaires à ceux de Nonbondieu *et al.* (2018) mais supérieurs à ceux de Ibrik (2020) pour le cas du SPPV. Par contre, pour le SPT, les CMEP sont nettement inférieurs à ceux présentés par World Bank (2018) et ceux de Ibrik (2020). Toutefois, les CMEP du SPT sont plus élevés que ceux du SPPV bien que son coût d'investissement initial soit le plus faible. Cela se justifie par la très faible charge de fonctionnement annuelle du système solaire qui a correspondu à seulement 28% de celle du système thermique, conduisant ainsi à une charge d'exploitation totale annuelle faible (soit 71% de celle du système thermique). Ce qui est en harmonie avec les résultats obtenus par Shinde et Wandre (2015) et Ibrik (2020).

La Figure 2 présente la variation des valeurs simulées du CMEP du système de pompage thermique en fonction du coût de l'essence.

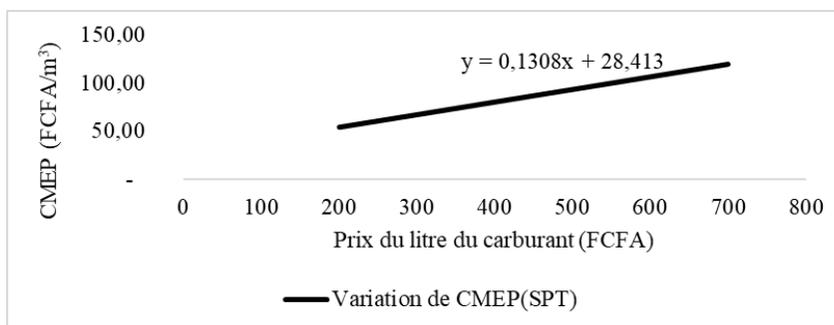


Figure 2. Valeurs simulées du CMEP avec le SPT en fonction du prix de l'essence

On observe que le CMEP s'accroît avec l'augmentation du prix de l'essence. Par ailleurs, on constate que le CMEP du SPT correspond à celui du SPPV seulement si le prix du litre de l'essence équivaldrait à 220,63 FCFA, ce qui est très loin des réalités du marché (minimum 250 FCFA le litre sur le « marché noir »).

4. Conclusion

Cette étude présente les performances du système de pompage solaire comparativement à celles du pompage thermique du périmètre irrigué de Soumarana au Niger. La marge brute des principales cultures a été meilleure en système de pompage solaire. De même, malgré son coût d'investissement initial plus élevé, le pompage solaire s'est avéré moins cher, avec un coût du pompage du mètre cube d'eau de seulement 71% de celui du système de pompage thermique. Les équipements de pompage solaire pourraient de ce fait constituer une bonne alternative aux producteurs dudit périmètre irrigué. Cela est aussi valable pour l'ensemble de la zone du Sahel où les coûts liés à la consommation d'énergie pour la mobilisation et la distribution de l'eau d'irrigation sont l'une des principales charges de production. Ces charges sont difficilement supportables et constituent un des facteurs limitants à l'essor des cultures irriguées notamment au Sahel avec des producteurs à faible capacité financière. Elles conditionnent la rentabilité et la durabilité des systèmes de production irriguées. Toutefois, une étude technico économique plus poussée doit être conduite afin d'approfondir les résultats.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il n'existe pas de conflits d'intérêts entre eux ni par rapport à aucune information de cette étude

References:

1. Abdoul Habou, AZ., Boubacar, MK, Abam, T. (2016). Les systèmes de production agricoles du Niger face au changement climatique : défis

- et perspectives. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (3), 1262-1272. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3>.
2. Aliyu, M., Hassan, G, Said, SA, Siddiqui, MU, Alawami, AT et Elamin, I.M. (2018). A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 61-76. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.010>.
 3. Andres, L., Dambo, L, Bode, S, Babousouna, A, Populin, M, Yamba, B et Lebailly, P. (2019). Irrigated food system in Maradi, Republic of Niger: A compararison between operating accounts. *VII International Scientific Agriculture Symposium*, Jahorina october 06-09, 2019. 2763-2767
 4. Banque Africaine de Développement. (2018). Perspectives économiques en Afrique de l'Ouest. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Publications/2018AEO/Perspectives_economiques_en_Afrique_2018_Afrique_de_l_Ouest.pdf
 5. Banque mondiale. (2009). Développement de l'irrigation au Niger, Diagnostics et options stratégiques, Washington DC, 139p. <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/567611468096572899/pdf/493790FRENCH0p1ent0irrigation0niger.pdf>
 6. Belaud, G., Mateos, L, Aliod, R, Buisson, MC, Faci, E, Gendre, S, Ghinassi, G, Gonzales Perea, R, Lejars, C, Maruejols, F, et Zapata, N. (2020) IRRIGATION AND ENERGY: ISSUES AND CHALLENGES. *Irrig. and Drain*, 69 (S1), 177– 185). <https://doi.org/10.1002/ird.2343>.
 7. Bouzidi, B., Malek, A et Haddadi, M. (2006). Rentabilité économique des systèmes de pompage photovoltaïques. *Revue des Energies Renouvelables*, 9 (3), 187 – 197. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/118188>
 8. Carrillo-Cobo, M., Camacho-Poyato, E, Montesinos, P et Rodríguez Díaz, J. (2014). Assessing the potential of solar energy in pressurized irrigation networks. The case of Bembézar MI irrigation district (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12 (3), 838-849. doi:<http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014123-5327>
 9. Chandel, S.S., Naik, MN et Chandel, R. K. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099.
 10. Dalla K., Abdoua M., Maman Abdou M., Guéro M., Ibrahima Inkaye O. et Patrick D. (2016). Résultats du conseil de gestion à l'exploitation

- agricole pour la culture du poivron / campagne 2015 – 2016, Partie (1).
Chambre Regionale Agriculture de Diffa. Niger.
11. Deli, K., Djongyang, N, Njomo, D et Tamba, J. (2018) “Photovoltaic water pumping systems as alternative to gasoline water pumping systems in agriculture in Cameroon: CO2 emissions assessment”, *Journal of Renewable Energies*, 21(2), 279-294. Available at: <https://revue.cder.dz/index.php/rer/article/view/688>
 12. Diop, L., Sar, A, Diatta, I, Wane, YD, Diallo, DM, Bobian, A, Seck, MS, Mateos, L et Lamaddalena, N. (2020). TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SOLAR IRRIGATION PUMPING SYSTEM: A REVIEW. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 1 (01), 1–22. <https://doi.org/10.51526/kbes.2020.1.01.1-22>
 13. Ehrnrooth, A. Dambo, L. Jaubert, R. (2011). Projets et programmes de développement de l’irrigation au Niger (1960-2010) : Eléments pour un bilan. Centre d’Etude et d’Information sur la Petite Irrigation (CEIPI). 115p.
 14. Hartung, H., et Pluschke, L. (2018). The Benefits and Risks of Solar-Powered Irrigation-A Global Review. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://www.fao.org/3/I9047EN/i9047en.pdf>
 15. Hossain, M.A., Hassan, MS, Mottalib, MA et Ahmed, S. 2015. Technical and economic feasibility of solar pump irrigations for eco-friendly environment. *Procedia Engineering*, 105, 670 – 678. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.047>
 16. Ibrik, I.H. (2020). Techno-economic Feasibility of Energy Supply of Water Pumping in Palestine by Photovoltaic-systems, Diesel Generators and Electric Grid. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10 (3), 69-75. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.8816>
 17. Isaías, D.H., Cuamba, BC, Leão, A. J. (2019). A Review on Renewable Energy Systems for Irrigation in Arid and Semi-Arid Regions. *Journal of Power and Energy Engineering*, 07, 21-58.
 18. Maïga Djibril I.G. et Boubacar S. (2021). Analyse de la Rentabilité Économique du Maraîchage d’hivernage dans les Communes d’Imanan et de Tagazar au Niger. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(17), 362. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n17p362>
 19. Maurya, V.N., Ogubazghi, G, Misra, BP, Maurya, AK et Arora, D.K. (2015). Scope and Review of Photovoltaic Solar Water Pumping System as a Sustainable Solution Enhancing Water Use Efficiency in Irrigation. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*, 1 (1), 1-8. doi: 10.11648/j.ajbes.20150101.11

20. Ministère de l'Agriculture. (2015). Stratégie de la petite irrigation au Niger (SPIN). https://reca-niger.org/IMG/pdf/SPIN_FINALE_Niger.pdf
21. Nazoumou, Y. Favreau, G. Adamou, M. M. et Maïnassara, I. (2016). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger. *Cahiers Agricultures* (vol. 25, No 1). <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>
22. Noubondieu, S., Flammini, A et Bracco, S. (2018). Costs and benefits of solar irrigation systems in Senegal. Dakar, FAO. 28 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CA2209EN/>
23. PARM. (2016). Evaluation des risques agricoles. Focus sur l'accès des petits producteurs aux services financiers, aux marchés et à l'information. Rapport Final. https://p4arm.org/app/uploads/2017/03/niger_risk-assessment-study_full-report.pdf.
24. Rocamora, C., Vera, J, et Adadía, R. (2013). Strategy for Efficient Energy Management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. *Irrigation Science*, 31(5), 1139-1158. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0394-5>
25. Shah T., Rajan A, Rai GP, Verma, S et Durga, N. (2018). Solar pumps and South Asia's energy-groundwater nexus: exploring implications and reimagining its future. *Environ. Res. Lett*, 13 (11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae53f>
26. Shinde V.B. et Wandre, S.S. (2015). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation : A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (22), 2267-2273. DOI: 10.5897/AJAR2015.9879
27. Shouman, E.R., Ezz, H et Bakhoun, E.S. (2018). Economic Analysis of the Using of Traditional Fuel and Solar Energy to Power Irrigation Pumps in Egypt. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 38, 87-99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.38.87>
28. Sonou, M. et Abric, S. (2010). Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest. Rapport Final. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/arid_fao_iwmi_practica_capitalisation_d_experiences_sur_le_developpement_de_la_petite_irrigation_privée_pour_des_productions_a_haute_valeur_ajoutée_en_afrique_de_l_ouest_2010.pdf
29. Tillie, P., Louhichi, K et Gomez., Y.P.S. (2019). Impacts ex-ante de la Petite Irrigation au Niger : Analyse des effets micro-économiques à l'aide d'un modèle de ménage agricole, EUR 29836 FR, Publications

- Office of the European Union, Luxembourg, 2019, doi:10.2760/70964, JRC115744.
30. Wazed, S. M., Hughes, BR, O'Connor, D et Calautit, J.K. (2018) A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (Part 1), 1206-1225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.039>
 31. WFP. 2010. Chocs et vulnérabilité au Niger : Analyse des données secondaires. Rapport global. Siège social : Via C.G. Viola 68, Parco de Medici, 00148, Rome, Italie. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/94F37FF998FE15CD852577D60061C898-Rapport_complet.pdf
 32. World Bank, 2018. Solar pumping. The Basics. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/880931517231654485/pdf/123018-WP-P159391-PUBLIC.pdf>
 33. Wydra, K., Becker, P et Aulich, H. (2019a). Sustainable solutions for solar energy driven drinking water supply for rural settings in Sub-Saharan Africa: a case study of Nigeria, *J. Photon. Energy*, 9(4), doi: 10.1117/1.JPE.9.043106
 34. Wydra, K., Jaskolski, M, Wagner, L et Mohamed, E.S. (2019b). Nexus approach to solar technology for energy and water supply for sustainable rural development in Egypt: a review. *J. Photon. Energy*, 9 (4), doi: 10.1117/1.JPE.9.043108



Caractérisation De La Diversité, De La Structure Des Tailles Et Du Stress Écologique Au Niveau Du Peuplement Des Poissons Sur Le Fleuve Bandama (Côte d'Ivoire, Afrique De l'Ouest)

*Kien Kouassi Brahiman,
Ndiaye Awa,*

UFR Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo,
Côte d'Ivoire.

Aboua Benié Rose Danielle,

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR
Biosciences, Université Félix-Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p260](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p260)

Submitted: 20 September 2021

Accepted: 28 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Brahiman K.K., Awa N., & Danielle A.B.R., (2021). *Caractérisation De La Diversité, De La Structure Des Tailles Et Du Stress Écologique Au Niveau Du Peuplement Des Poissons Sur Le Fleuve Bandama (Côte d'Ivoire, Afrique De l'Ouest)* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 260.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p260>

Résumé

La connaissance de la faune ichthyologique des eaux ivoiriennes préoccupe à la fois les scientifiques et les responsables de développement du secteur de la pêche. En effet, l'intensification croissante de l'exploitation des ressources halieutiques en milieu continental fait planer de réels risques de régression et de disparition des espèces.

Cette étude vise à caractériser la variation spatio-temporelle de la faune ichthyologique et d'identifier les indices biologiques qui déterminent la distribution des espèces de poissons et l'état d'exploitation de ces poissons dans le fleuve Bandama.

Les poissons ont été échantillonnés de juillet 2019 à juin 2020 à partir des captures des pêcheurs locaux. Chaque spécimen identifié, est pesé et mesuré.

L'analyse spatio-temporelle a indiqué une variation non significative ($p > 0,05$) de la faune ichthyologique et des indices de diversité H' et E . Néanmoins, L'analyse de la structure du peuplement (H' de 2,09 à 2,34; E de

0,83 à 0,85) a révélé un milieu fluvial assez diversifié. Il est dominé par les Cichlidae et Cyprinidae au niveau des familles et *Labeo coubie*, *Coptodon zillii* et *Chrysichthys nigrodigitatus* au niveau des espèces quel que soit le site de pêche. Ce peuplement est composé majoritairement de spécimens juvéniles. Les résultats de ce travail constituent une étude de base pour les gouvernants dans la mise en place de plan de gestion durable des ressources halieutiques en milieu continental.

L'essentiel de la production du fleuve Bandama est fourni par les Cichlidae et dans la localité de Tiassalé. Néanmoins, les indices de diversité calculés montrent une ichthyofaune diversifiée. Cette ichthyofaune est dominée par des juvéniles.

Mots clés: Ichthyofaune, Diversité, Tailles, Fleuve, Bandama, Côte d'Ivoire.

Characterization of the Diversity, Size Structure and Ecological Stress in Fish Populations on the Bandama River (Ivory Coast, West Africa)

*Kien Kouassi Brahiman,
Ndiaye Awa,*

UFR Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo,
Côte d'Ivoire.

Aboua Benié Rose Danielle,

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR
Biosciences, Université Félix-Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Knowledge of the ichthyological fauna of Ivorian waters is of concern to both scientists and those responsible for the development of the fishing sector. In fact, the increasing intensification of the exploitation of fishery resources in the continental environment poses real risks of regression and disappearance of species.

This study aims to characterize the spatio-temporal variation of the ichthyological fauna and to identify the biological indices which determine the distribution of fish species and the state of exploitation of these fish in the Bandama River.

The fish were sampled from July 2019 to June 2020 from the catches of local fishermen. Each identified specimen is weighed and measured.

The spatio-temporal analysis indicated a non-significant variation ($p > 0.05$) in the ichthyological fauna and the indices of diversity H' and E . Nevertheless, the analysis of the structure of the stand (H' of 2.09 at 2.34; E

from 0.83 to 0.85) revealed a fairly diverse fluvial environment. It is dominated by Cichlidae and Cyprinidae at family level and *Labeo coubie*, *Coptodon zillii* and *Chrysichthys nigrodigitatus* at species level regardless of the fishing site. This stand is mainly composed of juvenile specimens. The results of this work constitute a basic study for those in charge in the establishment of a plan for the sustainable management of fishery resources in the continental environment.

Most of the production of the Bandama River is supplied by the Cichlidae and in the locality of Tiassalé. Nevertheless, the calculated diversity indices show a diversified ichthyofauna. This ichthyofauna is dominated by juveniles.

Keywords: Ichthyofauna, Diversity, Sizes, Bandama River, Côte d'Ivoire

Introduction

La connaissance de la faune ichtyologique des rivières et des plans d'eau africains préoccupe à la fois les scientifiques et les responsables du développement car l'intensification croissante de l'exploitation des ressources halieutiques en milieu continental en Afrique associée aux processus de dégradation du milieu naturel font planer de réels risques de régression et de disparition des espèces (Lalèyè *et al.*, 2004). Ainsi, Monchowui *et al.* (2008) proposent des mesures de conservation et de gestion rationnelle des stocks des peuplements de poissons. Ces mesures prennent en compte l'écologie, la composition et le niveau d'exploitation de la faune ichtyologique des plans d'eau. Toute mesure de conservation de la faune ichtyologique passe nécessairement par une bonne connaissance des espèces de poissons, des indices qui caractérisent leur distribution (Wu *et al.* 2011 ; Kamelan *et al.*, 2013) et leur niveau d'exploitation (Kantoussan, 2007).

Le manque d'information sur ces différents aspects constitue un handicap dans l'élaboration et la conduite de plans d'aménagement et de gestion pour la protection de la faune ichtyologique.

En Côte d'Ivoire, les études de connaissance de la faune ichtyologique ont été menées sur les lacs de barrages hydroélectriques (Da Costa et Konan, 2005 ; Da Costa et Diétoa, 2007 ; Tah *et al.*, 2009 ; Koudou, 2012) et les bassins versants des rivières et des fleuves. Sur le fleuve Bandama, l'étude réalisée par Aboua (2012) a mis en relief uniquement l'inventaire de l'ichthyofaune et la mise en place d'un indice d'intégrité biotique. Le présent travail réalisé sur le fleuve Bandama est un complément à cette étude pour la constitution d'une base de données sur l'activité halieutique pratiquée sur les bassins versants des fleuves et rivières de Côte d'Ivoire. Cette étude a donc été initiée dans le but d'approfondir les connaissances sur la caractérisation de la diversité spécifique du peuplement ichtyologique du fleuve Bandama. Le présent travail

s'attèle à décrire la répartition spatio-temporelle de la faune ichthyologique et les indices biologiques qui la caractérisent d'une part et d'autre part la pression de la pêche sur ce peuplement du fleuve Bandama.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée au niveau de trois sites sur le cours inférieur du fleuve Bandama (Figure 1): Singrobo ($6^{\circ}05' N$ et $4^{\circ}55' O$), N'Zianouan ($6^{\circ}00' N$ et $4^{\circ}49' O$) et Tiassalé ($5^{\circ}53' N$ et $4^{\circ}49' O$).

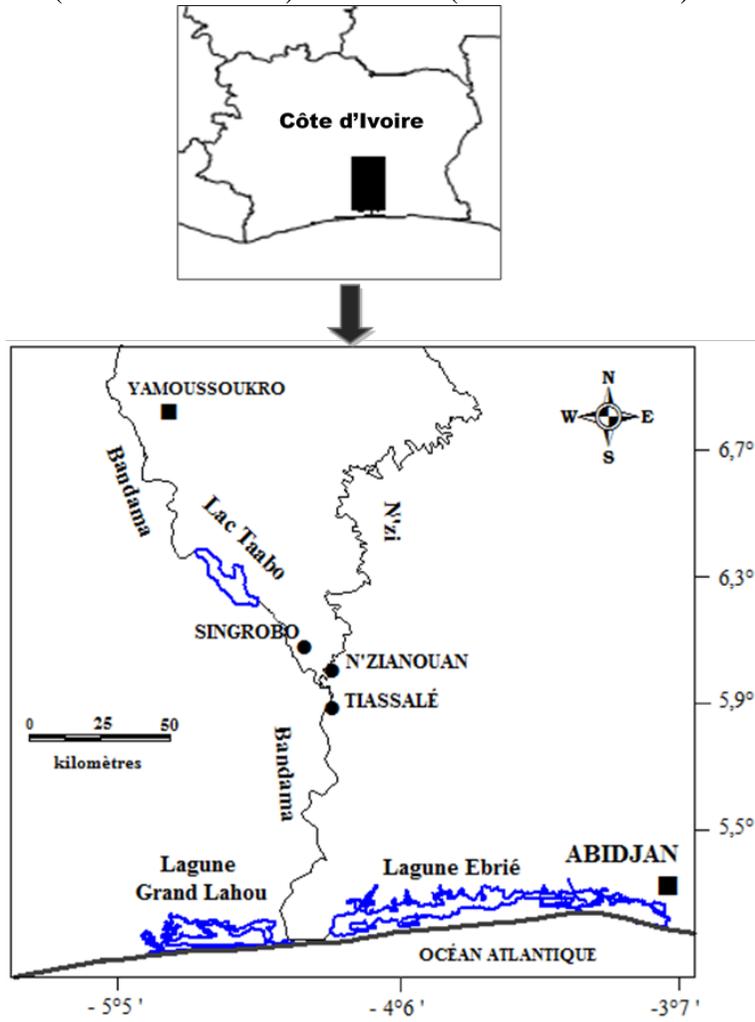


Figure 1 : Situation géographique des stations d'enquêtes et d'échantillonnage (●) sur le cours inférieur du fleuve Bandama

Echantillonnage des poissons

Les poissons ont été collectés entre juillet 2019 et juin 2020 à partir des débarquements des pêcheurs locaux. Les enquêtes sur les débarquements de poissons se sont déroulées dans toutes les stations. Ces enquêtes ont duré 48 jours par station, à raison de 4 jours par mois pendant 12 mois. Pendant ces différentes missions, l'équipe a procédé à l'examen des captures journalières des pêcheurs. Les pêcheurs sont choisis au hasard et pour chaque débarquement, les informations suivantes ont été enregistrées:

- masse totale de la prise (kg);
- composition spécifique de la prise;
- masse et nombre d'individus par espèce.

Lorsque la capture est importante (plus de 5kg), un sous-échantillon choisi au hasard, constitué par des captures entières ou des fractions de capture a été analysé.

L'identification des poissons a été faite à l'aide de la clé dichotomique de Paugy *et al.* (2003a et b). Les spécimens ainsi échantillonnés ont été mesurés individuellement au mm près (longueurs standard [LS]) à l'aide d'un ichtyomètre et pesés au g près par une balance de précision 1g de marque Terailon.

Traitement des données

Un premier aspect des résultats a été présenté sous forme de liste et de pourcentage de dominance des espèces de poissons identifiés dans chaque localité en provenance de la pêche commerciale par Aboua *et al.* (2017). Pour avoir une idée plus globale du peuplement de poissons du cours inférieur du fleuve Bandama, une analyse descriptive du peuplement ichthyologique a été réalisée à partir des indices biologiques et indicateurs de pression de pêche ci-dessous :

Richesse spécifique (S) et pourcentage d'occurrence (P.O)

La richesse spécifique totale (RS = nombre d'espèces capturées) a été déterminée pour toute la période d'échantillonnage de juillet 2019 à juin 2020. Le pourcentage d'occurrence (P.O) a été calculé en faisant le pourcentage de mois où une espèce *i* est échantillonnée par rapport au nombre total de mois échantillonnés. Cette valeur est calculée selon la formule suivante :

$$P.O = (Mi/Mt) \times 100$$

Mi = nombre de mois où l'espèce *i* a été capturée;

Mt = nombre total de mois prospectés.

La classification de Djakou et Thanon (1988) a été retenue pour la présente étude. Cette répartition s'établit comme suit :

80 à 100% : Espèces très fréquentes ; 60 à 79% : Espèces fréquentes ; 40 à 59% : Espèces assez fréquentes ; 20 à 39% : Espèces accessoires et moins de 20% : Espèces accidentelles

Indice de diversité de Shannon (H')

H' a été utilisé pour observer une évolution de la faune ichthyologique du milieu d'étude au cours du temps. Cet indice mesure également le degré d'organisation du peuplement (Amanieu et Lasserre, 1982). L'expression de cet indice est la suivante:

$$H' = \sum (N_i/N) \times \log_2 (N_i/N)$$

N_i : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces).

N : nombre total d'individus. H' est exprimé en unités d'information par individu ou bits/individu. H' est nul si l'échantillon est composé d'une seule espèce et maximal (de l'ordre de 5) si toutes les espèces de la communauté sont également représentées dans l'échantillon (Ludwig et Renolds, 1988).

Équitabilité (E)

L'équitabilité (E) permet d'étudier la répartition des abondances des espèces dans un écosystème (Hill, 1973). Ce paramètre a été estimé par la formule suivante:

$$E = H' / \log_2 S$$

Avec: H' = indice de Shannon; S = richesse spécifique.

Elle varie de 0 à 1. Elle est maximale quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement. Elle est minimale quand une seule espèce domine tout le peuplement. Le programme GWBASIC a permis de calculer l'indice de Shannon et l'équitabilité.

Indice de similarité de Jaccard

L'indice de similarité de Jaccard (1908) a été utilisé dans le présent travail pour mesurer la similarité entre deux communautés ou stations. Cet indice est calculé selon la formule suivante:

$$CJ = \frac{\text{Nombre d'espèces communes aux deux communautés}}{\text{Nombre total d'espèces dans les deux communautés}} \times 100$$

Courbe ABC

Dans le présent travail, l'hypothèse à vérifier est celle d'un milieu stressé. En effet, le nombre important de pêcheurs et la diversité d'engins de pêche déployés devraient entraîner un milieu stressé (Tah, 2012). Ainsi, la courbe ABC (Courbes de Comparaison Abondance/Biomasse) a été tracée à partir des données de la pêche commerciale. Les pourcentages cumulés d'abondance et de biomasse en fonction des rangs d'espèces dans le même repère donnent les courbes ABC. Selon (Warwick et Clarke, 1994 ; Attrill et Depledge, 1997 ; Kantoussan, 2007),

- Si la courbe des biomasses cumulées est au-dessus de celle des abondances alors le milieu est dans un état de non stress.

- Si les courbes des biomasses et des abondances cumulées se confondent presque alors le milieu est dans une phase de stress léger.
- Si la courbe des biomasses cumulées est en dessous de celle de l'abondance alors le milieu est dans un état de stress important.

Tailles des spécimens des captures commerciales

Pour étudier l'impact de la pêche sur le peuplement de poissons du cours inférieur du fleuve Bandama, les espèces les plus fréquentes et abondantes dans les captures commerciales ont été considérées et regroupées comme suit pour chaque espèce : spécimens de tailles inférieures à la taille du plus petit individu mature ; spécimens de tailles comprises entre la taille du plus petit individu mature et celle de première maturité et enfin ceux de tailles supérieures à la taille de première maturité de l'espèce considérée. Les individus de la première tranche sont considérés comme des juvéniles, ceux de la deuxième tranche sont dits sub-adultes alors que ceux appartenant à la troisième catégorie sont dits adultes.

Traitements statistiques

L'ANOVA (1facteur) a été utilisée pour comparer les différentes moyennes observées sur les variables richesses spécifiques, indices de diversité et équitabilité. Le test du Khi-deux a permis de comparer les indices de similarité. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel *Statsoft-Statistica, Inc. 7.0* et *Excell 2003*.

Résultats

Répartition spatio-temporelle de l'ichtyofaune

C'est un total de 44 espèces appartenant à 19 familles et 31 genres qui ont été recensées sur l'ensemble de la zone. La richesse spécifique varie d'un mois à un autre et d'un site à l'autre (Figures 2 et 3). Ainsi à Tiassalé, ce sont 39 espèces (88,88% de l'ichtyofaune totale de la zone d'étude) pour 18 familles qui ont été recensées. Trente-sept (37) espèces (82,22%) réparties entre 17 familles sont présentes à Singrobo alors que 33 espèces (73,33%) appartiennent à 17 familles à N'Zianouan. À Tiassalé, le plus petit nombre d'espèces a été noté en décembre (7 espèces) et le plus grand nombre en mai (25 espèces). Concernant Singrobo, la richesse spécifique minimum obtenue est de 9 espèces en octobre alors que la maximale de 22 espèces est notée aux mois de novembre et mai. Les valeurs minimale et maximale de la richesse spécifique calculées à N'Zianouan sont respectivement 6 (décembre) et 21 (janvier). Les richesses spécifiques moyennes sont de 17 ± 5 espèces à Tiassalé, 16 ± 4 espèces à Singrobo et de 13 ± 5 espèces à N'Zianouan. Les différentes valeurs de richesse spécifique mensuelle dans chaque site, ont été soumises à l'ANOVA. Les résultats obtenus ($p = 0,104270$; $p > 0,05$) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois zones.

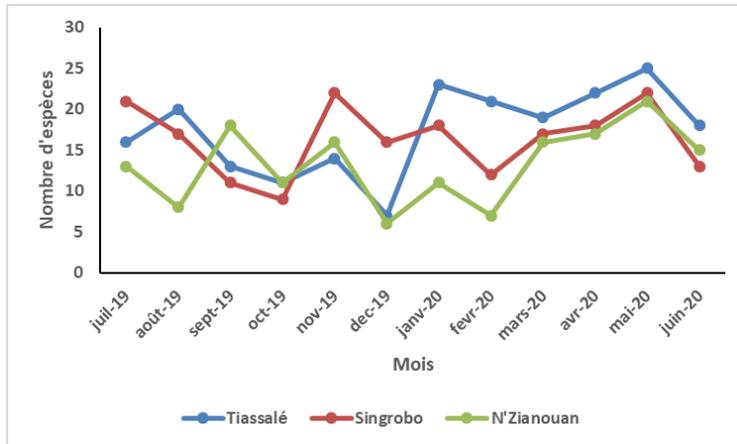


Figure 2 : Variation temporelle de la richesse spécifique à Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020.

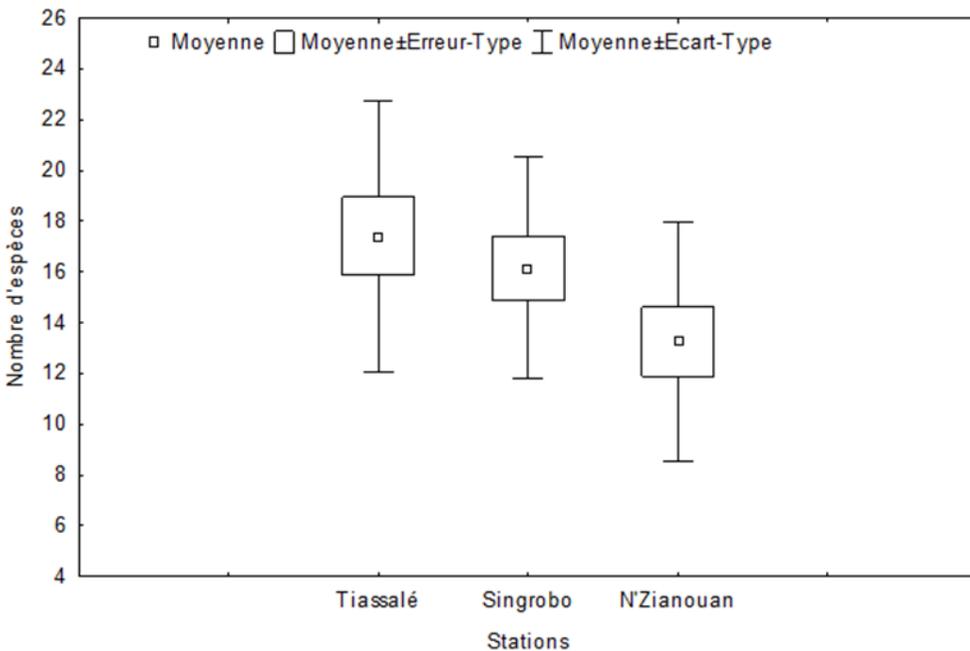


Figure 3 : Variation des moyennes de la richesse spécifique par station d'échantillonnage sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020.

Pourcentage d'occurrence

L'analyse des occurrences mensuelles des espèces (Tableau 1) dans les captures de la pêche artisanale montre qu'à Tiassalé, 15% des espèces sont très fréquentes dans la zone (*Schilbe mandibularis*, *Brycinus macrolepidotus*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Labeo coubie*, *Distichodus rostratus* et *Synodontis bastiani*). Dans ce groupe, seule *Chrysichthys nigrodigitatus* a une occurrence mensuelle égale à 100%. Les espèces *Hemichromis fasciatus*,

Coptodon zillii, *Mormyrops anguilloïdes* et *Papyrocranus afer* qui font 12,5% des espèces sont fréquentes dans les eaux de Tiassalé. *Hydrocynus forskalii*, *Mormyrus rume*, *Barbus bynni occidentalis*, *Heterobranchus isopterus*, *Lates niloticus*, *Parachanna obscura*, *Labeo parvus*, *Trachinotus teraia* et *Synodontis schall*, faisant 22,5% des espèces, sont considérées comme espèces assez fréquentes à Tiassalé.

Sept espèces (*Heterobranchus longifilis*, *Oreochromis niloticus*, *Ctenopoma petherici*, *Sarotherodon galilaeus*, *Tylochromis jentinki*, *Clarias anguillaris* et *Awaous lateristriga*) (17,5% des espèces) apparaissent de façon accessoire dans la zone de Tiassalé. Les autres espèces (32,5%) y viennent de façon accidentelle.

À Singrobo, *Mormyrus rume*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Synodontis bastiani*, *Marcusenius senegalensis* (10,81% des espèces) sont les espèces très fréquentes dans les captures. *Hemichromis fasciatus*, *Coptodon zillii*, *Mormyrops anguilloïdes* et *Synodontis schall* (10,81% des espèces) sont fréquentes dans les prises. À Singrobo, les espèces *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Mormyrus rume* présentent une fréquence de 100% chacune. Un troisième groupe d'espèces constitué d'*Oreochromis niloticus*, *Ctenopoma petherici*, *Sarotherodon galilaeus*, *Tylochromis jentinki*, *Parachanna obscura*, *Labeo coubie*, *Schilbe mandibularis*, *Brycinus macrolepidotus*, *Heterobranchus isopterus*, *Chromidotilapia guntheri*, *Auchenoglanis occidentalis* et *Barbus bynni waldroni* (32,43% des espèces) est considéré comme assez fréquent dans le milieu. Les espèces *Barbus bynni occidentalis*, *Labeo parvus*, *Papyrocranus afer*, *Distichodus rostratus*, *Clarias anguillaris*, *Malapterurus electricus* et *Lates niloticus* entrent de façon accessoire dans les captures. Les espèces restantes (27,03% des espèces) entrent accidentellement dans les prises.

Dans les captures de N'Zianouan, seules les espèces *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Synodontis bastiani* (6,06% des espèces) sont très fréquentes dans les captures. L'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* a été échantillonnée tous les mois contrairement à *Synodontis bastiani*. L'ensemble des espèces *Coptodon zillii*, *Mormyrus rume*, *Labeo coubie*, *Hemichromis fasciatus* et *Mormyrops anguilloïdes* (15,15% des espèces) est fréquemment capturé à N'Zianouan.

Tableau 1 : Distribution des occurrences mensuelles des espèces de poissons sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020.

Familles	Espèces	% d'occurrence		
		Tiassale	Singrobo	N'Zianouan
Arapaimiidae	<i>Heterotis niloticus</i>	8,33		
Notopteridae	<i>Papyrocranus afer</i>	66,67	33,33	33,33
Mormyridae	<i>Mormyrops anguilloïdes</i>	66,67	75	66,67
	<i>Mormyrus rume</i>	75	100	66,67

	<i>Marcusenius senegalensis</i>	58,33	83,33	50
	<i>Marcusenius ussheri</i>		8,33	
Alestidae	<i>Alestes baremoze</i>		8,33	
	<i>Brycinus nurse</i>	8,33	8,33	8,33
	<i>Brycinus macrolepidotus</i>	83,33	41,67	41,67
	<i>Brycinus imberi</i>		8,33	8,33
	<i>Hydrocynus forskalii</i>	41,67		41,67
Distichodontidae	<i>Distichodus rostratus</i>	83,33	41,67	41,67
Cyprinidae	<i>Labeo parvus</i>	41,67	33,33	41,67
	<i>Labeo coubie</i>	91,67	58,33	75
	<i>Barbus bynni waldroni</i>	16,67	58,33	25
	<i>Barbus bynni occidentalis</i>	41,67	25	
Claroteidae	<i>Chrysichthys maurus</i>	8,33	8,33	
	<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	100	100	100
	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	16,67	41,67	16,67
Schilbeidae	<i>Schilbe intermedius</i>	8,33	8,33	16,67
	<i>Schilbe mandibularis</i>	83,33	50	33,33
Clariidae	<i>Clarias anguillaris</i>	33,33	33,33	
	<i>Heterobranchus isopterus</i>	58,33	50	41,67
	<i>Heterobranchus longifilis</i>	33,33		
Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i>	16,67	33,33	25
Mochokidae	<i>Synodontis bastiani</i>	83,33	91,67	83,33
	<i>Synodontis schall</i>	41,67	66,67	33,33
	<i>Synodontis punctifer</i>	8,33		
Channidae	<i>Parachanna obscura</i>	58,33	50	58,33
Latidae	<i>Lates niloticus</i>	41,67	33,33	25
Carangidae	<i>Trachinotus teraia</i>	50		41,67
Cichlidae	<i>Chromidotilapia guntheri</i>	16,67	41,67	8,33
	<i>Hemichromis bimaculatus</i>		16,67	
	<i>Hemichromis fasciatus</i>	66,67	75	66,67
	<i>Oreochromis niloticus</i>	25	41,67	41,67
	<i>Sarotherodon galilaeus</i>	33,33	50	8,33
Tableau I suite				
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	16,67		16,67
	<i>Coptodon mariae</i>	8,33		
	<i>Coptodon zillii</i>	75	75	66,67
	<i>Tylochromis jentinki</i>	33,33	50	25
Mugilidae	<i>Liza falcipinnis</i>	8,33	8,33	16,67
Gobiidae	<i>Awaous lateristriga</i>	25	16,67	25
Anabantidae	<i>Ctenopoma petherici</i>	25	50	41,67
Mastacembelidae	<i>Mastacembelus nigromarginatus</i>		8,33	
Total		44	39	33

Les espèces *Parachanna obscura*, *Marcusenius senegalensis*, *Brycinus macrolepidotus*, *Oreochromis niloticus*, *Labeo parvus*, *Trachinotus teraia*, *Ctenopoma petherici*, *Heterobranchus isopterus*, *Distichodus rostratus* et *Hydrocynus forskalii* qui constituent 30,30% des espèces sont assez fréquentes dans les captures.

On note que 24,24% des espèces composé de *Lates niloticus*, *Papyrocranus afer*, *Schilbe mandibularis*, *Tylochromis jentinki*, *Awaous lateristriga*, *Synodontis schall*, *Malapterurus electricus* et *Barbus bynni waldroni* sont accessoires dans les prises des pêcheurs. Les sept autres espèces (21,21% des espèces) apparaissent accidentellement dans les captures.

Indice de similarité

Les indices de similarité de Jaccard (J) calculés entre les trois stations d'échantillonnage pour les 12 mois d'étude restent élevés. Le tableau 2 présente la similarité des familles et espèces entre Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan. Les similarités sont plus élevées entre Tiassalé et N'Zianouan (94,44% en familles et 78,05% en espèces) et entre Singrobo et N'Zianouan (88,88% en familles et 75% en espèces). Les plus faibles similarités (84,21% en familles et 71,11% en espèces) sont observées entre Tiassalé et Singrobo. Il n'existe pas de différence significative ($\chi^2 = 0,12$; $p = 0,07$) entre les indices de similarité. Néanmoins, ces valeurs montrent une démarcation des deux stations Tiassalé et N'Zianouan de Singrobo.

Diversité

Les indices de diversité (H') (Figure 4) et l'équitabilité (E) (Figure 5) présentent des variations mensuelles. Les valeurs de l'équitabilité varient très peu d'un mois à l'autre sur le cours inférieur du fleuve Bandama. Les plus fortes valeurs ($H' = 2,58$ en mai ; $E = 0,88$ en juillet) et les plus faibles ($H' = 1,56$ en décembre ; $E = 0,79$ en juin et octobre) donnent les moyennes mensuelles suivantes : $2,23 \pm 0,37$ (H') et $0,84 \pm 0,04$ (E).

À Tiassalé, un premier pic de H' (2,54) est obtenu en août, plus faible que le deuxième (2,67) observé en janvier. Un troisième plus élevé (2,70) est noté en mai. La valeur la plus faible ($H' = 1,34$) est obtenue en décembre. La plus grande valeur de l'équitabilité ($E = 0,88$) est observée en juillet et la plus faible en juin ($E = 0,78$). Les indices moyens mensuels dans cette localité sont de $2,34 \pm 0,4$ (H') et de $0,85 \pm 0,03$ (E).

Concernant Singrobo, le pic de H' est obtenu en juillet (2,60) alors que la plus faible valeur est obtenue en octobre ($H' = 1,74$). La valeur de l'équitabilité est plus élevée en août ($E = 0,90$). La plus faible valeur est celle de novembre ($E = 0,78$). Les valeurs moyennes de H' et de E sont respectivement de $2,27 \pm 0,28$ /mois et de $0,83 \pm 0,04$ /mois.

Au niveau de N'Zianouan, on note des valeurs de H' plus élevées en septembre (2,61) et plus faible en décembre (1,28) avec une moyenne mensuelle de $2,09 \pm 0,43$. Concernant l'équitabilité, la plus forte valeur (0,92) est obtenue en décembre. Le mois d'octobre présente la plus faible valeur (0,77). La valeur moyenne de E est de $0,84 \pm 0,05$ /mois.

Tableau 2 : Richesse et similarité taxonomiques comparées des stations de Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020. (J = Indice de diversité de Jaccard)

Taxons	Localités	Richesse	Taxons communs	Taxons non communs	J (%)
Familles	Tiassalé	18	16	2	84,21
	Singrobo	17		1	
Espèces	Tiassalé	40	32	8	71,11
	Singrobo	37		5	
Familles	Tiassalé	18	17	1	94,44
	N'Zianouan	17		0	
Espèces	Tiassalé	40	32	8	78,05
	N'Zianouan	33		1	
Familles	Singrobo	17	16	1	88,88
	N'Zianouan	17		1	
Espèces	Singrobo	37	30	7	75
	N'Zianouan	33		3	

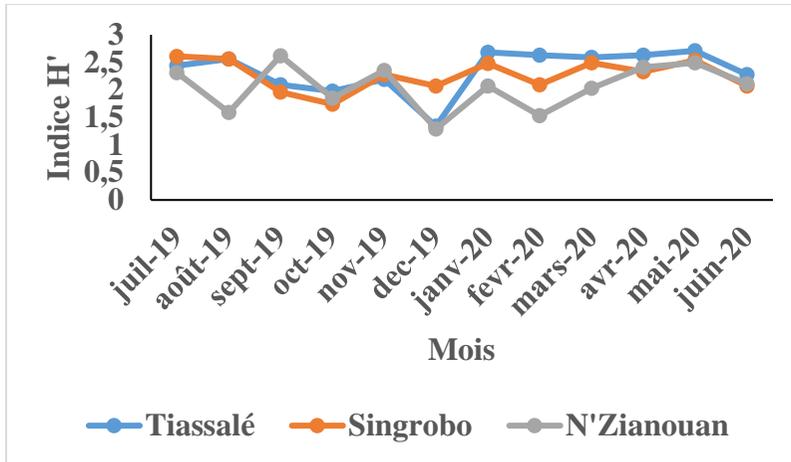


Figure 4 : Variations mensuelles des indices de Shannon calculés à Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020.

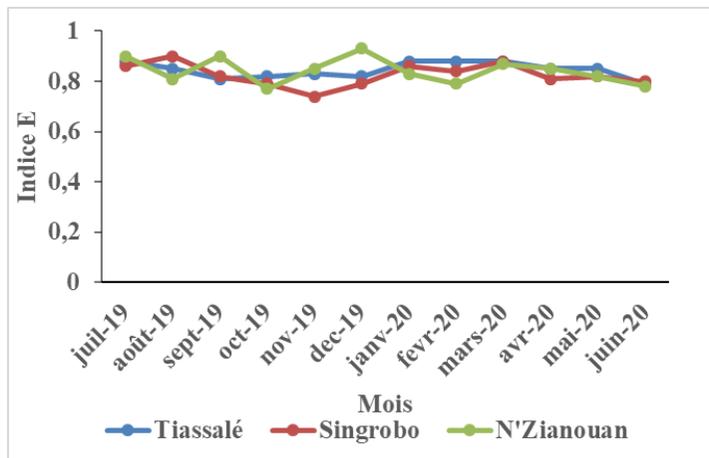


Figure 5 : Variations mensuelles des indices d'équitabilité calculés à Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020.

Les différentes valeurs des indices H' et E soumises à l'ANOVA montrent qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les trois stations d'étude avec $p = 0,155567$ pour H' et $p = 0,515174$ pour E .

Evaluation du stress écologique sur le cours inférieur du fleuve Bandama

La distribution comparée des biomasses et des abondances dans les localités de Tiassalé, Singrobo et N'Zianouan est illustrée par la figure 6. À Tiassalé, la distribution des biomasses et celle de l'abondance sont presque confondues (Graphe A). Dans les stations de Singrobo et de N'Zianouan, l'écart est beaucoup plus marqué avec la distribution des biomasses au-dessus de celle des abondances (Graphe B et C).

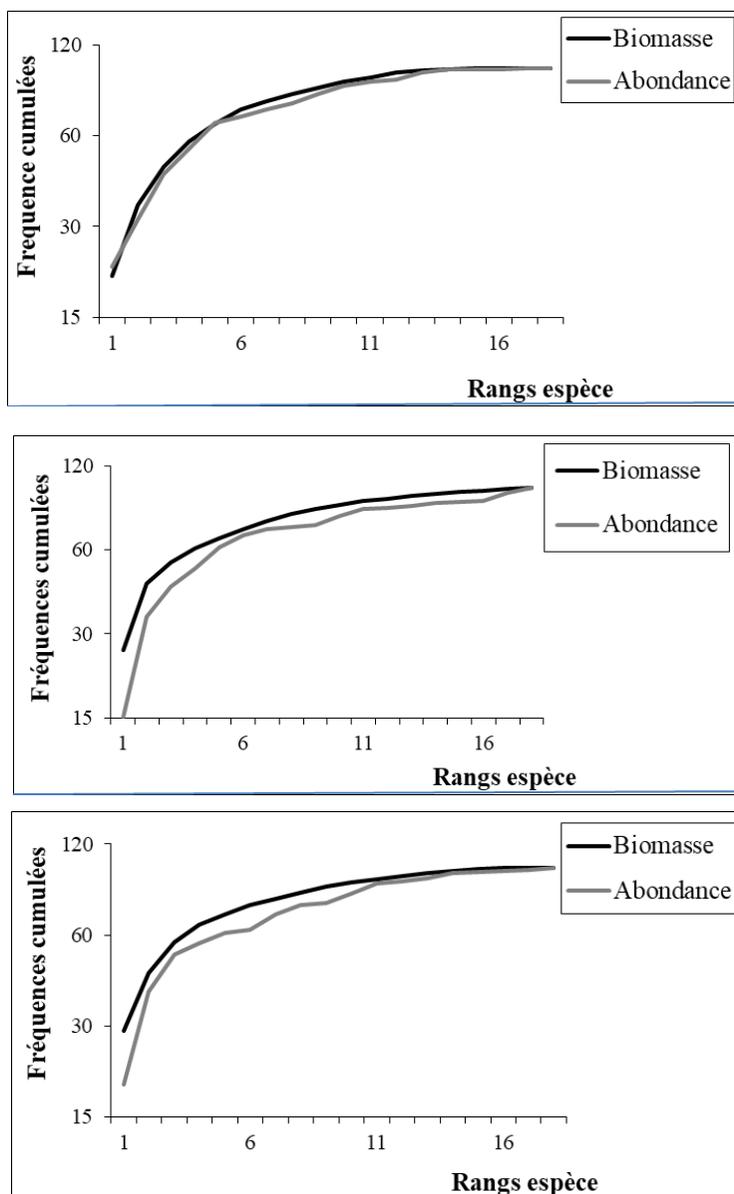


Figure 6 : Comparaison des distributions des abondances et biomasses dans les captures commerciales de poisson à Tiassalé (A), Singrobo (B) et N'Zianouan (C) sur le cours inférieur du fleuve Bandama de juillet 2019 à juin 2020. (Courbes ABC)

Fréquence des tailles des spécimens

Les résultats de variation de tailles des spécimens montrent que dans la localité de Tiassalé, le groupe constitué de *Brycinus macrolepidotus*, *Clarias anguillaris*, *Tylochromis jentinki*, *Heterobranchus isopterus*, *Schilbe*

mandibularis, *Labeo parvus* et *Chrysichthys maurus* faisant 21,21% des espèces considérées a été majoritairement capturé au stade adulte (tableau 3). Un deuxième groupe constitué d'*Auchenoglanis occidentalis*, *Hemichromis fasciatus*, *Trachinotus teraia*, *Marcusenius senegalensis*, *Mormyrops anguilloides*, *Brycinus nurse*, *Hydrocynus forskalii* (21,21% des espèces considérées) présentent majoritairement une taille d'individus sub-adultes au cours de leur capture. Les autres espèces (57,58% des espèces considérées) ont été capturées avec des jeunes individus.

Le tableau 4 montre la distribution des tailles à Singrobo. Les espèces *Lates niloticus*, *Tylochromis jentinki*, *Brycinus macrolepidotus* et *Labeo parvus* représentent 14,29% des espèces considérées. Elles sont caractérisées par des individus adultes. Les espèces *Hemichromis fasciatus*, *Coptodon zillii*, *Mormyrops anguilloides*, *Brycinus imberi*, *Brycinus nurse*, *Heterobranchus isopterus*, *Schilbe mandibularis*, *Auchenoglanis occidentalis* et *Parachanna obscura* (32,14% des espèces considérées) présentent plus d'individus sub-adultes dans les captures. Les autres individus capturés appartenant aux autres espèces considérées (53,57%) sont majoritairement des juvéniles.

Dans les débarcadères de N'Zianouan (Tableau 5), *Labeo parvus*, *Brycinus macrolepidotus*, *Lates niloticus*, *Schilbe mandibularis* et *Labeo coubie* (16,13% des espèces considérées) sont des espèces présentant des individus généralement adultes. Le groupe composé de *Brycinus imberi*, *Brycinus nurse*, *Heterobranchus isopterus*, *Hemichromis fasciatus*, *Schilbe mandibularis*, *Hydrocynus forskalii*, *Coptodon zillii*, *Tylochromis jentinki* et *Parachanna obscura* (29,03% des espèces considérées) présente des captures essentiellement constituées d'individus sub-adultes. Le dernier groupe (54,84% des espèces considérées) est constitué essentiellement de juvéniles.

Tableau 3 : Répartition selon la maturité des principales espèces de poissons capturés à la station de Tiassalé.

Espèces	Nombre	Juvenile (%)	Sub-adulte (%)	Adulte (%)
<i>Papyrocranus afer</i>	95	94,74	5,26	
<i>Mormyrops anguilloides</i>	125		68	32
<i>Mormyrus rume</i>	158	82,28	7,59	10,13
<i>Marcusenius senegalensis</i>	230	42,5	55,33	2,17
<i>Brycinus nurse</i>	5		100	
<i>Brycinus macrolepidotus</i>	400	32,5	22,5	45
<i>Hydrocynus forskalii</i>	68		92,65	7,35
<i>Distichodus rostratus</i>	359	80,87	11,88	7,25
<i>Labeo parvus</i>	181			100
<i>Labeo coubie</i>	655	52,92	13,23	33,85
<i>Barbus bynni waldroni</i>	27	100		

<i>Chrysichthys maurus</i>	15			100
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	905	67,51	31,27	1,22
<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	10		100	
<i>Schilbe intermedius</i>	18		100	
<i>Schilbe mandibularis</i>	230	2,17	45,65	52,17
<i>Clarias anguillaris</i>	42		11,9	88,1
<i>Heterobranchus isopterus</i>	125	16	36	48
<i>Synodontis bastiani</i>	528	94,7	2,27	3,03
<i>Synodontis schall</i>	500	72,2	26,8	1
<i>Parachanna obscura</i>	55	54,55	27,27	18,18
<i>Lates niloticus</i>	41	75,61		24,39
<i>Trachinotus teraia</i>	150	100		
<i>Chromidotilapia guntheri</i>	26	76,92	23,08	
<i>Hemichromis fasciatus</i>	195		97,44	2,56
<i>Oreochromis niloticus</i>	27	70,83	29,17	
<i>Sarotherodon galilaeus</i>	60	70	30	
<i>Sarotherodon melanotheron</i>	108	95,37		6,63
<i>Coptodon mariae</i>	10		100	
<i>Coptodon zillii</i>	395	49,37	39,24	11,39
<i>Tylochromis jentinki</i>	62		33,87	66,13
<i>Liza falcipinnis</i>	53	77,36	22,64	
<i>Ctenopoma petherici</i>	80	78,82	21,18	

Tableau 4 : Répartition selon la maturité des principales espèces de poissons capturés à la station de Singrobo.

Espèces	Nombre	Juvenile (%)	Sub-adulte (%)	Adulte (%)
<i>Papyrocranus afer</i>	29	100		
<i>Mormyrops anguilloides</i>	131	13,64	45,45	40,91
<i>Mormyrus rume</i>	305	86,89	13,11	
<i>Marcusenius senegalensis</i>	395	95,92	4,08	
<i>Brycinus nurse</i>	9		100	
<i>Brycinus macrolepidotus</i>	40		33,33	66,67
<i>Brycinus imberi</i>	7		100	
<i>Distichodus rostratus</i>	66	88,88	11,12	
<i>Labeo parvus</i>	230			100
<i>Labeo coubie</i>	211	50	18,75	31,25

<i>Barbus bynni waldroni</i>	65	92,31	7,69	
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	815	88,96	10,06	0,98
<i>Auchenoglanis occidentalis</i>	45		100	
<i>Schilbe mandibularis</i>	205	9,75	74,15	16,1
<i>Clarias anguillaris</i>	37	70,27	10,81	18,92
<i>Heterobranchus isopterus</i>	53	11,31	88,69	
<i>Synodontis bastiani</i>	415	92,53	7,47	
<i>Synodontis schall</i>	411	97,57	2,43	
<i>Parachanna obscura</i>	65	36,92	50,77	12,31
<i>Lates niloticus</i>	20			100
<i>Chromidotilapia guntheri</i>	165	76,36	18,18	5,46
<i>Hemichromis fasciatus</i>	241		92,12	7,88
<i>Oreochromis niloticus</i>	44	54,55	27,27	18,18
<i>Sarotherodon galilaeus</i>	66	90,92	4,54	4,54
<i>Coptodon zillii</i>	636		75,63	24,37
<i>Tylochromis jentinki</i>	65		24,62	75,38
<i>Liza falcipinnis</i>	14	100		
<i>Ctenopoma petherici</i>	125	92	8	

Tableau 5 : Répartition selon la maturité des principales espèces de poissons capturés à la station de N'Zianouan.

Espèces	Nombre	Juvenile (%)	Sub-adulte (%)	Adulte (%)
<i>Papycrocranus afer</i>	38	100		
<i>Mormyrops anguilloïdes</i>	90	55,56	40	4,44
<i>Mormyrus rumé</i>	147	89,8	10,2	
<i>Marcusenius senegalensis</i>	160	70	30	
<i>Brycinus nurse</i>	8		100	
<i>Brycinus macrolepidotus</i>	150		44,67	55,33
<i>Brycinus imberi</i>	32		84,38	15,62
<i>Hydrocynus forskalii</i>	50		100	
<i>Distichodus rostratus</i>	212	81,6	12,26	6,14
<i>Labeo parvus</i>	180		25	75
<i>Labeo coubie</i>	535	50		50

<i>Barbus bynni waldroni</i>	21	100		
<i>Chrysiichthys nigrodigitatus</i>	626	93,61	3,83	2,56
<i>Schilbe mandibularis</i>	68		50	50
<i>Heterobranchus isopterus</i>	62	19,35	64,52	16,13
<i>Synodontis bastiani</i>	401	80,05	19,95	
<i>Synodontis schall</i>	231	80,52	13,42	6,06
<i>Parachanna obscura</i>	53	37,74	37,74	24,52
<i>Lates niloticus</i>	23	17,39	4,35	78,26
<i>Trachinotus teraia</i>	37	83,78	5,41	10,81
<i>Chromidotilapia guntheri</i>	15	100		
<i>Hemichromis fasciatus</i>	175	22,85	74,29	2,86
<i>Oreochromis niloticus</i>	50	76	12	12
<i>Sarotherodon galilaeus</i>	16	75	25	
<i>Sarotherodon melanotheron</i>	111	95,5		4,5
<i>Coptodon zillii</i>	603	3,82	88,39	7,79
<i>Tylochromis jentinki</i>	33		66,67	33,33
<i>Ctenopoma petherici</i>	214	89,72	10,28	

Discussion

Variation de la faune ichthyologique et des indices biologiques

La présente richesse spécifique observée dans les captures sur le cours inférieur du fleuve Bandama inclut l'essentiel des familles de poisson de l'ensemble du bassin du fleuve Bandama. L'organisation spatio-temporelle de la faune piscicole du cours inférieur du fleuve Bandama est caractérisée par une faible variabilité. Cette observation s'est traduite par des variations non significatives de la richesse spécifique et des indices de diversité et d'équitabilité entre les trois zones d'échantillonnage. La relative homogénéité de la communauté piscicole serait en rapport avec l'échelle spatiale relativement réduite que constitue la zone d'étude. En effet, les paramètres physico-chimiques des eaux, sont quasi-similaires dans les zones prospectées (Boguhé, 2015). Cela permet vraisemblablement aux poissons de coloniser tous les biotopes du cours inférieur du fleuve Bandama par des migrations d'amplitude plus ou moins grande.

Evaluation du stress écologique

Concernant l'évaluation du stress écologique, la méthode ABC semble traduire efficacement les changements dans la structure des peuplements exploités (Blanchard *et al.*, 2004). La méthode ABC appliquée au peuplement

de Tiassalé, indique que les courbes d'abondance et de biomasse sont proches de la phase de stress léger dans la localité de Tiassalé. Ces observations montrent que ce milieu peut être considéré comme un écosystème modérément stressé, selon le modèle théorique de Warwick (1986).

Selon Jennings et Kaiser (1998) ; Jennings *et al.* (1998), dans les milieux aquatiques, l'exploitation halieutique s'exerce d'abord sur des espèces de stratégie-k. Dans ce cas, la proportion d'espèces de grande taille diminue logiquement. À l'opposé, les espèces de petite taille faiblement exploitées et libérées de la prédation se développent (Rice et Gislason, 1996; Daan *et al.*, 2005). Le peuplement se trouve alors dominé par des espèces de petite taille. Dans la localité de Tiassalé, les impacts de l'exploitation halieutique semblent avoir atteint ce niveau de modification du peuplement.

Dans les localités de Singrobo et de N'Zianouan, la courbe de biomasse est au-dessus de celle de l'abondance. Cela traduirait des milieux non stressés. La pression de pêche sur les espèces de stratégie-k serait ainsi soutenable. La forte présence dans les captures d'espèces naturellement à fortes biomasse (*Labeo coubie*, *Distichodus rostratus*, *Heterotis niloticus*) pourrait également expliquer cette situation. Une autre raison serait le comportement de certains pêcheurs qui ont tendance à jeter les plus petits individus capturés de peur de subir la loi. Néanmoins, l'écart moins important entre ces deux courbes traduit des situations qui pourraient tendre vers un état de stress si aucune mesure de protection n'est appliquée dans ces deux localités. Dans ces conditions, l'étude de la gamme de taille des individus capturés traduit mieux les effets de la pêche que la méthode ABC.

Examen des tailles des spécimens

La présente étude montre qu'un peu plus de la moitié des espèces capturées à Tiassalé (57,58%), Singrobo (53,57%) et N'Zianouan (54,84%) sont des juvéniles. Ce constat augure d'une pression de pêche élevée et finalement presque identique dans l'ensemble des trois localités du cours inférieur du fleuve Bandama. La présence remarquée des juvéniles dans les captures montre que le faible maillage des engins de pêche (10 mm ; 20 mm) utilisé dans le cours inférieur du Bandama est préjudiciable aux juvéniles. Cette situation devrait encourager les gouvernants dans leur prise de décision pour la protection de la ressource. Une telle situation a conduit Ouattara *et al.* (2006) à proposer la fermeture de la pêche sur le lac d'Ayamé pendant la saison de reproduction des poissons. Cela permettrait d'éviter le recrutement élevé de spécimens de petite taille nés avec la montée des eaux. L'application d'une telle décision sur le cours inférieur du fleuve Bandama associée à un contrôle strict des mailles des engins s'avère plus que nécessaire pour une gestion durable des ressources halieutiques.

Conclusion

Le présent travail est une contribution à la gestion responsable des ressources exploitées dans la pêche du cours inférieur du fleuve Bandama. Au terme de cette étude, quelques points sont à retenir.

En termes de composition des captures, 44 espèces appartenant à 19 familles et 31 genres composent la faune ichthyologique exploitée sur le cours inférieur du fleuve Bandama entre juillet 2019 et juin 2020. Parmi ces espèces, 6 sont plus constantes dans les débarquements des pêcheurs. Il s'agit de *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Tilapia zillii*, *Synodontis bastiani*, *Synodontis schall* et *Marcusenius senegalensis*.

La zone de Tiassalé qui présente la plus grande richesse spécifique est la plus productrice. L'essentiel de la production est fourni par les Cichlidae. L'analyse du stress écologique montre des zones de pêche proches d'un état de stress qui pourrait s'aggraver si aucune mesure de gestion n'est envisagée. Cette mesure est d'autant plus importante que plus de la moitié des individus de poisson capturés est juvénile.

References:

1. Lalèyè P., Chikou A., Philippart J-C., Teugels G., Vandewalle P. (2004). Etude de la diversité ichthyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybium*, 28 (4): 329-339.
2. Montchowui E., Chikou A., Kogbetò M.J., Lalèyè P. (2008). Biodiversity and structure of fish communities in Lake Hlan, Benin. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*, 2 (2):196-206.
3. Wu J., Wang J., He Y., Cao W. (2011). Fish assemblage structure in the Chishui River, a protected tributary of the Yangtze River. *Knowledge and Management of aquatic Ecosystems*, 400 (11):1-14.
4. Kamelan T.M., Yao S.S., Kouamé K.A., N'Zi K.G., Kouamélan E.P. (2013). Ichthyofauna of the Dodo River (Côte d'Ivoire, West Africa): update and influence of environmental variables on the distribution of species. *Journal of Applied Biosciences*, 71 (1):5773-5785.
5. Kantoussan J. (2007). Impact de la pression de pêche sur l'organisation des peuplements de poissons: Applications aux retenues artificielles de Sélingué et de Manantali, Mali Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Mention halieutique Agrocampus de Renne, France, 195p.
6. Da Costa K.S., Konan K.F. (2005). Lac Kossou: Potentiel halieutique et modalité d'un développement durable de la pêche. FAO/PMEDP, Projet Pilote Pêche Kossou GCP/INT/735/UK, Rapport. Expertise, 200p.

7. Da Costa K.S., Dietoa Y.M. (2007). Typologie de la pêche sur le lac Faé (Côte d'Ivoire) et implication pour une gestion rationnelle des ressources halieutiques. *Bulletin Français pêche et pisciculture*, 384: 1-14.
8. Tah L., Da Costa K.S., Kouassi N.J., Moreau J. (2009). Preliminary assessment of major Tilapiine fishes exploited by artisanal gillnet fishery in Lake Ayamé I (Bia basin, Côte d'Ivoire). *Journal of Fisheries International*, 4 (4): 83-90.
9. Koudou D.A. (2012). La pêche sur le lac de Taabo. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 389p.
10. Aboua R.D.B. (2012). Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 227p.
11. Paugy D., Lévêque C., Teugels G.G. (éds). (2003a). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 1. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 457p.
12. Paugy D., Lévêque C., Teugels G.G. (éds). (2003b). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 2. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 815p.
13. Aboua, B.R.D., Kien K. B., Berte S., Kouamelan E. P. (2017). Fish species, catch per unit effort (cpue) and size structure in the lower Bandama river (Côte d'Ivoire, West Africa). *International journal of biosciences*, 10(4): 102-112.
14. Djakou R., Thanon S.Y. (1988). *Écologie Afrique intertropicale*. Édition Bordas, Paris, 191p.
15. Amanieu M., Lasserre G. (1982). Organisation et évolution des peuplements lagunaires. *Oceanologica Acta*, pp 201-213.
16. Ludwig J.A., Renolds J.F. (1988). *Statistical ecology: A primer on methods and computing*. John Wiley and Sons, New York, 7p.
17. Hill M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54: 427-432.
18. Jaccard P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 44: 223-270.
19. Tah L. (2012). Exploitation du lac d'Ayamé I (Côte d'Ivoire) après le départ des pêcheurs «bozo» en 1998 et impact sur les structures démographiques des populations ichtyologiques. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 177p.
20. Warwick R.M., Clarke K.R. (1994). Relearning the AB: taxonomic changes and abundance/ biomass relationships in disturbed benthic communities. *Marine Biology*, 118: 739-744.

21. Attrill M.J., Depledge M.H. (1997). Community and population indicators of ecosystem health: target inlinks between levels of biological organization. *Aquatic Toxicology*, 38: 183-197.
22. Boguhé G.F.D.H. (2015). Biologie de la reproduction et exploitation de deux espèces de crevette du genre *Macrobrachium* : *M. macrobrachion* (Herklots, 1851) et *M. vollehovenii* (Herklots, 1857) du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 206p.
23. Blanchard F., LeLoc'h F., Hily C., Boucher J. (2004). Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish mega fauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress Series*, 280: 249-260.
24. Warwick R.M. (1986). A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92: 557-562.
25. Jennings S., Kaiser M.J. (1998). The effects of fishing on marine ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 34: 201-352.
26. Jennings S., Reynolds J.D., Mills S.C. (1998). Life history correlates of responses to fisheries exploitation, Proceedings of Royal Society. *Biology Sciences*, 265: 333-339.
27. Rice J., Gislason H. (1996). Patterns of change in the size spectra of numbers and diversity of the North Sea fish assemblage, as reflected in surveys and models. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 1214-1225.
28. Daan N., Gislason H., Pope J.G., Rice J.C. (2005). Changes in the North Sea fish community: evidence of indirect effects of fishing? *ICES Journal of Marine Science*, 62: 177-188.
29. Ouattara M., Gourène G., Vanga A.F. (2006). Propositions de fermeture saisonnière de la pêche en vue d'une exploitation durable du poisson au lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire). *Tropicultura*, 24 (1): 7-13.



Estimation Of The Value Of Goods And Services Produced By Protected Areas: Case Of The Ndock Sare Community Forest In Senegal

Mamadou Ndiaye,

Conservator of National Parks, Directorate of Community Marine Protected Areas,

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Sénégal

Saboury Ndiaye,

Assistant Professor, Training and Research Unit (UFR) of Sciences and Technologies, Assane Seck University of Ziguinchor, Senegal

Sérigne Modou Sarr,

Senior Lecturer-CAMES, Director of the Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR), Alioune Diop University of Bambey, Senegal

Malick Diouf,

Full Professor, Department of Animal Biology, Faculty of Science and Technology, Cheikh Anta Diop University of Dakar, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p282](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p282)

Submitted: 02 December 2021

Accepted: 22 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ndiaye M., Ndiaye S., Sarr S.M., & Diouf M.,(2021). *Estimation Of The Value Of Goods And Services Produced By Protected Areas: Case Of The Ndock Sare Community Forest In Senegal* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 282.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p282>

Abstract

The community forests of Senegal, and particularly those of the Groundnut Basin, play an important role in the lives of rural populations. They are significant sources of supply of various products and services. But despite their economic and ecological importance, community forests have never been the subject of an economic evaluation. This is likely to obscure the decision-making auspices of sustainable management of community forests. This study, based on vegetation surveys and socio-economic surveys, assessed the value of ecosystem goods and services. The results of the analysis showed that the forest has 21 species distributed among 08 families and ~~that~~ this diversity varies from one area to another. With this specific diversity, the basal area is

evaluated at 2.64 m²/ha and the cover of 6081.17 m²/ha for a density of 327 individuals per hectare. The forest has a carbon storage capacity evaluated at 15.32 tons. The goods and services of the forest were estimated at 3,391,757 F CFA/year. This value is divided between direct uses estimated at 1,236,575 F CFA/year, indirect uses of 168,495 F CFA/year and an existence value of 1,986,687 F CFA/year. The study also showed that the exploitation of the forest is the most viable management option, as strict conservation imposes a social cost of 370,058 CFA francs per year on the population. In the context of decentralization, these results can serve as a basis for policy dialogue and decision-making processes on the sustainable management of forest resources.

Keywords: Community Forest, Ecosystem Services, Use Values, Groundnut Basin, Fatick, Ndock Sare

Introduction

The Sahelian countries have been facing an accelerated degradation of their ecosystems for the last few decades. This phenomenon is often linked to climate change such as global warming, the advance of drought and desertification (Nabaloum, 2010). This climatic deterioration is all the more felt because it is exacerbated by particularly negative anthropic activity, which consists essentially of inappropriate agricultural practices, abusive deforestation and bush fires.

The groundnut basin covers the regions of Diourbel, Kaolack, Fatick, Kaffrine and parts of Louga and Thiès, and 70% of the population depends on agriculture and livestock (PAGERNA, 2002). This area, which is the most densely cultivated in Senegal, is not spared the consequences of ecosystem degradation. It experiences most of the problems of the Sahel: desertification, erosion, soil poverty and loss of biodiversity.

Faced with these climate changes, the populations have developed adaptation strategies that consist of creating conditions for the regeneration of ecosystems and the maintenance of biological diversity (Diop, 2010). Among these initiatives is the joint management of natural resources, which translates into the establishment of community forests that currently remain the only sources of non-timber forest products (Sanogo, 2011). Despite their commitment, some communities are unable to sustainably manage their community forest due to poor governance and insufficient technical support (Dieng, 2008). However, other communities that have benefited from technical support have succeeded in sustainably managing their set-asides (Sanogo, 2011).

The present work is part of a sustainable management of the community forest of Ndock Saré. The aim is to characterize and evaluate the

values of the forest's ecosystem goods and services in order to define a sustainable management option.

Presentation of the Ndock Sare area

The community forest of Ndock Saré (Figure 1) covers an area of 11.95 ha. It is shared by the villages of Ndock Saré, Ndock Peulh, Ndock Tamsir, Keur Médoune, Diaby Kondel and Keur Ndiouga. Administratively, the land of Ndock Sare is located in the rural community of Patar Lia, arrondissement of Ouadiour, department of Gossas, region of Fatick.

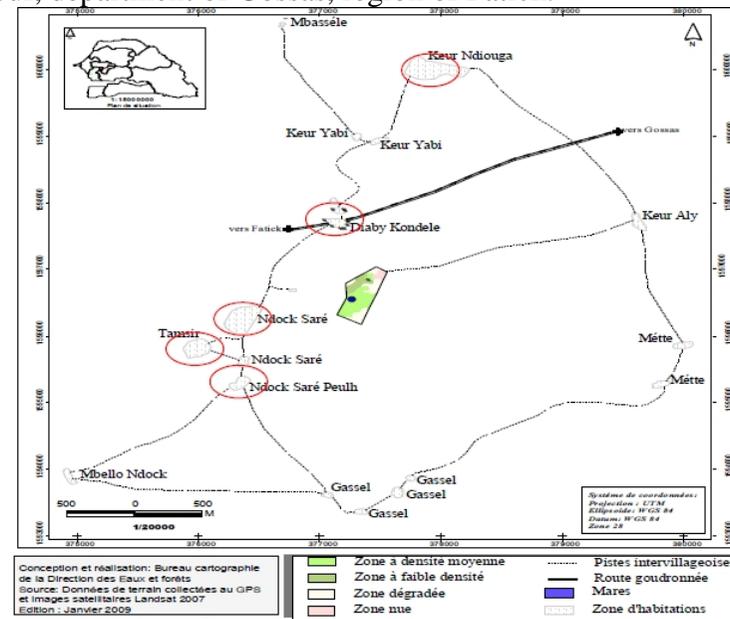


Figure 1: Presentation map of the Ndock Sare community forest

Materials and methods

We characterized the woody stand using the systematic sampling method with square plots of 30 m on each side, i.e. an area of 900 m² (Boudet, 1984). In total, 24 plots with an area of 2.16 ha were surveyed (Fig. 2).

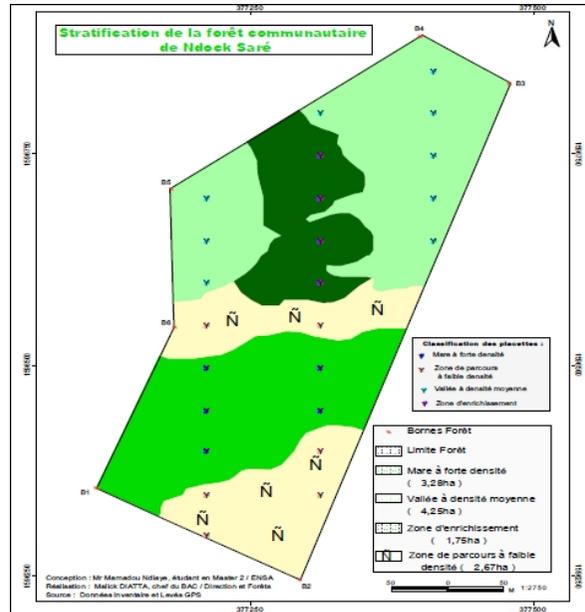


Figure 2: Parcel map of the Ndock Sare forest

For the collection of socio-economic data, sampling was done taking into account the ethnic diversity of the villages around the forest. The sampling unit was the household in each village and was selected randomly.

The Fisher et al. formula (1994) in Dione (2011) was used to ensure good sample precision. For populations less than 10,000, the sample size is given by the following formula:

$$Nf = n / (1 + n/N) \text{ with } n = 1/d^2$$

Where: Nf: desired sample size; N: population size (number of households); d: desired degree of precision. It measures the differences between the observed proportions of the sample and the theoretical proportions. The lower d is, the more representative the sample is. If d= 10%, it means that there is a 90% chance that the sample is representative. Since the sample population equals 74 households, the sample size was limited to 30 households, which corresponds to a precision level of 14%.

To this end, for each village on the outskirts of the Ndock Sare community forest considered for this study, the number of households and the corresponding sampling rate are presented in Table 1 below.

Table 1: Distribution of households by village

Villages	Number of households	Survey rate
Ndock Sare	33	36.36
Ndock Peulh	03	66.67
Ndock Tamsir	08	50
Diaby Kondel	10	40
Keur Medoune	20	40

The data were managed with the Excel spreadsheet. The statistical treatment was done with Excel and XLSTAT. With Arcview 3.2 software, we represented the plots.

For the evaluation of the aerial phytomass, the method of Brown (1997) was used. It considers that for species with a diameter at breast height (D) between 5 and 148 cm, the aboveground biomass (B.A) is given by the following allometric relationship:

$$B.A. \text{ kg} = 42.69 - 12.80D + 1.24D^2 \text{ cm} \quad (3)$$

The amount of carbon stored by a plant is obtained by multiplying its aboveground phytomass by the factor 0.45 (Diedhiou, 2010)

The estimation of the economic value of forest goods and services was done based on the components defined by Figure 3.

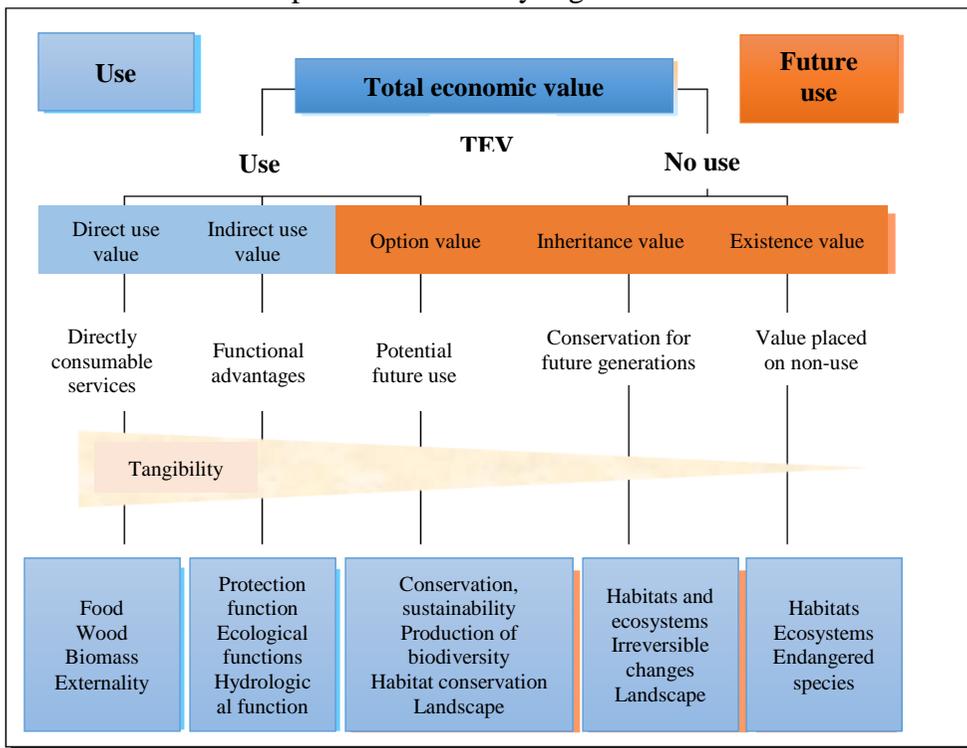


Figure 3: Total economic value of biodiversity (Centre d'analyse stratégique, 2008a).

The principles that have been associated with the different valuation methods are summarized in Table 2.

Values	Valuation methods	Principle
Direct use value		
- Non-timber forest products ; - Service and firewood	Market price method	At the end of the survey, the quantities and prices applied to the various forest products were known.

Traditional pharmaceutical products	Transportation cost method	All species used for medicinal products were identified. The time taken by traditional practitioners for harvesting was determined. A transport cost of 3 F CFA/minute was applied.
-------------------------------------	----------------------------	---

Indirect use value

Carbon sequestration	Market price method	The amount of carbon sequestered by the five dominant species (<i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Combretum micranthum</i> , <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Mitragyna inermis</i> and <i>Guiera senegalensis</i>) was multiplied by the price of a ton of carbon, which is €60.
----------------------	---------------------	--

Non-use value

Option value	Contingent valuation	The populations were invited to give their opinion on the opportunities and future uses they can expect from the forest. Then they were asked to give their CAP so that their expectations are realized.
Existence value	Contingent valuation	The populations were asked to express their willingness to pay for the conservation of the community forest.

Results

Estimation of direct forest use values

Traditional pharmaceutical products

The use of traditional pharmaceutical products is very important in the southern countries where, according to the World Health Organization (WHO) reports, 4/5 of the population depend on traditional medicines for their health.

This direct use is different from the option value that the forest ecosystem can hold as a source of genes that can be commercially exploited in the future. The following results were obtained from interviews with traditional practitioners (Table 3).

Table 3: Economic value of the ten medicinal woody species

Specis	Number of outings per year	Average time (in min.)	Economic value (in FCFA/year)
<i>Acacia adansonii</i> G & P.) Kun.	24	600	1800
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Gui.	32	960	2880
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	15	525	1575
<i>Combretum micranthum</i> (G.) Don.	36	540	1620
<i>Guiera senegalensis</i> (J.F) Gmel.	36	540	1620
<i>Capparis tomentosa</i> (Lam.)	20	500	1500
<i>Ficus gnaphalocarpa</i> (Miq.) Steud. ex Miq.	12	300	900
<i>Heeria insignis</i> (D.) Kun.	15	450	1350
<i>Celtis integrifolia</i> (Lam)	24	840	2520
<i>Hymenocardia acida</i> (Tul.)	15	450	1350
TOTAL			17 115

Since there are five people engaged in this activity in the village of Ndock Saré, the economic benefits derived from the medicinal use of the ten most exploited species are estimated at 84,075 CFA francs per year. This value, although low, should not lead one to underestimate the socio-economic importance of traditional pharmaceutical products. Indeed, traditional medicine does not correspond to the mere absorption of semi-processed natural products; it is carried out in a particular social context that contributes as much to the effectiveness of the treatment as the remedy itself.

Non-timber forest products (NTFPs)

The economic value of these harvested non-timber forest products is 87,500 F CFA/year (Table 4). This value, although substantial, does not include the value of externalities that result from the dissemination of seeds by harvesters. Thus, market prices are disconnected from both the costs of regenerating the ecosystem when use is destructive and from positive externalities when it contributes to increasing the resource.

Table 4: Total NTFP food removals at the village level

Types of NTFPs food	Average extraction (kg)	Market price (F CFA)	Economic value (FCFA)
<i>Diospyros mespiliformis</i> (Hochst.) Ex A.DC	200	50	10 000
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	50	100	5 000
<i>Ziziphus mauritiana</i> (Lam.)	300	200	60 000
<i>Acacia adansonii</i> G &P.) Kun.	250	50	12 500
TOTAL			87 500

Fuelwood and Service Wood

Our surveys showed that all family farms use fuelwood and service wood. The most commonly used species and the average quantities harvested are shown in Table 5.

Table 5: Estimated use value of wood

Species	Average amount collected per household (carts)	Price per unit (F CFA)	Economic value (F CFA)
<i>Balanites aegyptiaca</i>	5	1 500	7 500
<i>Combretum micranthum</i>	6	2 000	12 000
<i>Guiera senegalensis</i>	8	2 000	16 000
TOTAL			35 500

Source: Survey results

The economic estimate of these forest products for the 30 households surveyed gives an average value of 1,065,000 CFA francs per year.

Since all the species used for these services are found in the forest in greater numbers, by correlation, this value of direct use of the forest can be estimated at 89 100 F CFA/ha/year.

In addition to direct uses, the forest is also the object of an ecological utility whose economic evaluation resorts to other factors which go beyond the local framework of the village.

Indirect use value: carbon sequestration

Knowing the economic value of this ecological function now is therefore important for two reasons: first, so that this benefit is not overlooked in the development of a sustainable forest management approach; second, because maintaining this ecological function may, in the future, constitute a significant source of funding.

The five dominant species in the community reserve were used to estimate the economic value of this function (Table 6).

Table 6: Economic value of the carbon sequestration function

Species	Amount of carbon stored (ton)	Price per ton (F CFA)	Economic value (F CFA/year)
<i>Balanites aegyptiaca</i>	3,65	39,957.42	143,654.58
<i>Combretum micranthum</i>	0,58	39,957.42	22,827.30
<i>Guiera senegalensis</i>	1,48	39,957.42	58,248.98
<i>Mitragyna inermis</i>	7,52	39,957.42	295,967.79
<i>Diospyros mespiliformis</i>	2,09	39,957.42	82,257.01
TOTAL	15,32	39,957.42	602,955.66

Source: Survey results

Considering a parity of €1 =655.957 F CFA, the present value of the ecological function of carbon sequestration of the community reserve is estimated at 16,815 F CFA/ha/year.

Since this service is not subject to competition, it is not surprising to find a value that seems somewhat low, given the importance of this ecological function.

Existence value of the forest

Like many natural assets, the Ndock Saré community reserve generates what economists call non-use benefits for the community.

The results of the 35 people interviewed are shown in Table 7.

Table 7: Distribution of revealed consent (CTP) (F CFA/ha/year).

CTP revealed	Number of responses	Frequency (%)	CTP revealed	Number of responses	Frequency (%)
2 000	11	31.4	5 000	1	2.85
2 500	5	14.28	5 500	1	2.85
3 000	3	8.57	6 000	2	5.71
3 500	4	11.43	6 500	1	2.85

4 000	1	2.85	7 000	2	5.71
4 500	2	5.71	8 000	2	5.71

Source: study results

Given the disparity of the CTPs revealed, we consider a median value of 4 750 F CFA/ha.

In considering the area of the forest and the size of the population interviewed, the existence value of the forest is estimated at 1 986 687 F CFA/year.

These different approaches have made it possible to estimate the total economic value of the forest (Table 8).

Table 8: Total economic value of the forest (F CFA/year)

Use value	Direct use value	NTFPs for food	87 500
		Firewood and service wood	1 065 000
		Traditional pharmaceutical products	84 075
	Indirect use value	Carbon sequestration	602 955
Non-use value	Existence value		1 986 687
TOTAL			3 826 217

The total economic value of the goods and services provided by the Ndock Sare community forest amounts to 3,826,217 CFA francs per year. This estimate shows the importance of the existence value in relation to the direct use value and the indirect use value (Figure 4).

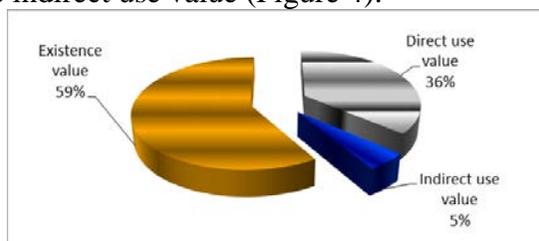


Figure 4: Distribution of total economic value of the forest

This distribution of forest values is consistent with most studies of environmental economic value estimates. Intangible values (existence and heritage) are higher than tangible values (Garba, 2009).

The value of direct uses is higher than that of indirect uses. This can be explained by the fact that the forest is destined for exploitation, contrary to most estimates that have been made on fully protected areas. The populations have more regard for direct uses.

Discussions

The results of the economic value estimation of the forest gave a direct use value higher than the indirect use value, which is in line with the

aspirations of policy makers who always give more importance to tangible values compared to non-tangible values.

This same logic is further supported by the people who, in defining the community forest utility matrix, give more importance to direct uses compared to the value of ecological functions.

However, it must be recognized that this total economic value of the forest provides a useful but insufficient indication of the importance of forest use at the local level. Indeed, in these socio-economic systems, which are largely disconnected from the market economy, market prices are not necessarily the best indicators of the value of these forest products, and moreover, the information provided by the populations is sometimes rather nuanced.

The major objective of this approach, which is not to express the richness, complexity and variability of the forest ecosystem, is therefore to reduce this economic valuation to a simple monetary estimate useful as a decision-making tool. The theoretical approach to valuation thus requires a certain number of adaptations to reality, which explains why there is no certain and definitive economic value for these resources. The various estimates proposed are therefore orders of magnitude, the reliability of which must be discussed in the light of the assumptions made in order to carry out the estimate. From a decision support perspective, the economic evaluation of ecosystem goods and services has resolutely proven the need for forest exploitation. The strategies developed for sustainable management have shown the relevance of involving all the development actors who intervene in the village of Ndock Saré.

Conclusion

The study showed that the forest generates a certain number of ecosystem goods and services, estimated at approximately 3,826,217 CFA francs per year, or 320,185.52 CFA francs per hectare per year. The economic impact of the forest is quite significant at the household level. Thus, the exploitation of forest products contributes up to 1,112,500 F CFA to household income.

However, it should be remembered that the values obtained for this environmental assessment are not necessarily exhaustive. They essentially make it possible to highlight the economic importance of biodiversity and to establish more scientific arguments to be used with political decision-makers for greater consideration of biodiversity. It is in the image of this decision making that it is appropriate today, for a sustainable management of the forest, to move to its organized exploitation, given the social cost of 370 058 F CFA borne by the populations in the dynamics of conservation. The management strategies that are defined can help optimize the income.

In addition to the ecological and economic stakes, the economic evaluation of biodiversity constitutes a decision-making tool, a new card to be played in the game of negotiations that can therefore argue in its favor. In this sense, with the Clean Development Mechanism, the evaluation of the carbon sequestration function can help negotiate financing.

The cost-benefit analysis of forest management options has shown that at present a resource harvest is more objective. In view of these promising prospects for ecological sustainability, it can probably be accepted that the forest can underpin a well-functioning economic system and thus lead to sustainable development, provided that the following actions and guidelines are undertaken.

Reference:

1. Brown S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. FAO Forestry paper, n.134, Rome, Italy.
2. Diédhiou I, 2010. Cours : changements climatiques. *Master Foresterie et Environnement. ENSA*. 186p.
3. Dieng G., 2008. Forêts Communautaires dans le Bassin Arachidier : Quelles stratégies locales pour une gestion réussie. *Mémoire de fin d'études, spécialité Eaux et Forêts : ISFAR de Bambey*, 63p.
4. Dione A., 2011. Etude de la contribution des services écosystémiques des Aires Protégées au développement local : Cas du Parc National des Oiseaux du Djoudj. *Mémoire : Economie rurale : ENSA de Thiès*, 89p.
5. Diop E., 2010. La grande muraille verte : stratégie de mise en œuvre des efforts socio-économiques de la communauté rurale de tessékéré. *Mémoire de fin d'études. Institut de Supérieure de Formation Agricole et Rurale. Université de Thiès* 52p.
6. Garba H. H. M., 2009. Estimation des valeurs des biens et services produits par les aires protégées : cas du parc régional w du niger. *Mémoire : 2iE de Ouagadougou*, 103p.
7. Nabaloum M. 2010. Impacts des changements climatiques sur la dynamique de la végétation et la production de PFNL. Mémoire de Master II de géographie à l'UFR/SH de l'Université de Ouagadougou, 98 p.
8. PAGERNA, 2002. Capitalisation des acquis, Kaolack, 57 p.
9. Sanogo D., 2011. Expériences de stratégies de gestion des espaces sylvo-pastoraux inter-villageois dans le Bassin arachidier du Sénégal. Vol. 9. N°1. Dakar. ISRA. 75p.