

European Scientific Journal, *ESJ*

May 2022

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

May 2022 edition vol. 18, No. 17

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
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

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeochea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

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

Anita Auzina,
Latvia University of Agriculture, Latvia

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

Tiffany T. Boury,
Franciscan University of Steubenville, USA

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Foggia, 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 Kvirikvaia,
Grigol Robakidze University, Georgia

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

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

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajcic,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

Leila Ghudushauri,
Tbilisi State University, Georgia

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University, Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmel Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
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 Cecilia Prado-Carpio,
Technical University of Machala, Ecuador

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafou,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

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 Guede University, Cote d'Ivoire

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Federal University of Rio de Janerio, 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

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
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

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore "Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael's Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

Monica Butnariu,

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

Davide Calandra,

University of Turin, Italy

Nicola Varrone,

University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,

University of Sonora, Mexico

Francesco D. d'Ovidio,

University of Bari "Aldo Moro", Italy

Sameer Algburi,

Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,

University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,

Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,

University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,

Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,

Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,

University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,

Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,

Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,

University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,

University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

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

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Manotar Tampubolon,
Universitas Kristen, Indonesia

Giacomo Buoncompagni,
LUMSA University of Rome, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

European Scientific Journal, ESJ
May 2022 edition Vol.18, No.17

ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Table of Contents:

Etude de l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l'Okpara à Nano au Nord Bénin.....1

Sylvestre Ogouwale

Séraphin Capo Atidegla

Luc O. C. Sintondji

Typologie Des Gites Larvaires Et Sensibilité D'anopheles Gambiae S.L. Aux Insecticides En Zone Urbaine, Peri-Urbaine Et Rurale A Oyem (Nord Du Gabon).....22

Pyazzi Obame Ondo Kutomy

Christophe Roland Zinga-Koumba

Aubin Armel Koumba

Silas Lendzele Sevidzem

Jacques François Mavoungou

Ousmane Faye

Etude Floristique Et Structurale D'une Forêt Mixte À l'Île M'bamou, République Du Congo.....50

Leckoundzou Ayessa

Félix Koubouana

Saint Fédriche Ndzai

Pierre Mbeté

Guy Foly Mpela

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo

Maximilien Mboukou

Chauvelin Douh

Traitement Des Fractures Thalamiques Du Calcanéus Par Enclouage Verrouillé À Foyer Fermé « Type Calcanail » : Résultats Clinique, Fonctionnel Et Radiologique À Propos De 16 Cas Au Centre Hospitalier De La Côte Basque (France).....68

Ulrich Florentin N'guena Yamalet

César Toutourlou

Abdoulaye Diakité

Tiburce Yafondo

Pierre Bruneteau

Mathias Blangis

Jean François Coste

Jean François Lavalley

Low-Level Laser Therapy At The Healing Process Of Grade I And II Ulcers In Patients With Diabetic Foot.....78

Gustavo Argenis

Ahtziriy Aguilar

Karen Najjar

**Fillings And Late Holocene Palaeoenvironments Of The Palustrine
Depressions Of The Lopé National Park, Middle Ogooué Valley In
Gabon.....92**

Victory Nfoumou Obame

Norbert Ondo Zue Abaga

Makaya M'voubou

**Controle Des Maladies De La Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) En
Culture Avec Trois Extraits De Plantes A Daloa (Cote D'ivoire).....111**

Yah N'guettia Marie

N'douba Amako Pauline

Koffi Ahébé Marie Hélène

Soro Senan

Kante Drissa

Koffi N'dodo Boni Clovis

**Increasing Frequency of Parkinsonian Syndrome as a Reason for
Admission to the Neurology Department of Befelatanana University
Teaching Hospital, Madagascar.....129**

Nomena Finiavana Rasaholiarison

Jemissair Glorien Lemahafaka

Lala Andriamasinavalona Rajaonarison

Manambina Ratsimandresy

Jenny Larissa Rakotomanana

Alain Djacoba Tehindrazanarivelo

Factores Pronósticos De La Saturación De Oxígeno En Pacientes Con COVID-19 Atendidos En Cuidados Intensivos En Un Hospital De México.....140

Jesús Emmanuel Corres González

Alberto Juárez-Lira

Analyse des pratiques de production et qualité des poissons fumés commercialisés au sud-Bénin.....154

Brito Thibautéon Arron Sonangnon

Aboudou Kowiou

Alidou Chérif

Goudjinou Codjo

Soumanou M. Mohamed

Evaluation De L'abondance Et La Distribution Du Bonobo (Pan Paniscus) Dans La Concession Forestière Des Communautés Locales De La Rivière Mbali.....178

Valentin Omasombo Wotoko

Jean Malekani

Norbert Mbangi

Jean-Philippe Cherel

Jean-Christophe Bokika

Julien Punga

Capacidad Antimicrobiana de Cinco Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas en Escárcega, Campeche, México.....197

Maximiliano Vanoye Eligi

Blanca del Rosario Martín Canché

José Carlos Pech Ferrer

José Alfredo García Vela

Katiuska Alejandra Torres Sauri

Evaluation Of Machine Learning Classification Methods For Rice Detection Using Earth Observation Data: Case Of Senegal.....214

Fama Mbengue

Gayane Faye

Kharouna Talla

Mamadou Adama Sarr

André Ferrari

Modou Mbaye

Mamadou Semina Dramé

Papa Sagne

Comparison of Physical Properties between Grey and Dyed Knitted Fabric.....235

Nusrath Jahan Khanam

Sushama Saha Swati

Mayesha Maliha

Nadvi Mamun Pritha



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Etude de l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l'Okpara à Nano au Nord Bénin

Sylvestre Ogouwale,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Séraphin Capo Atidegla,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Luc O. C. Sintondji,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p1](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p1)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ogouwale S., Séraphin C. A., & Luc O. C. Sintondji.,(2022). *Etude de l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l'Okpara à Nano au Nord Bénin* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p1>

Resume

Au Bénin, les pratiques agricoles actuelles caractérisées par l'agriculture itinérante sur brûlis, continuent de soumettre l'environnement à une pression anthropique importante. L'objectif de la recherche est d'apporter une contribution à la gestion des ressources naturelles et de l'occupation du sol dans le sous-Bassin versant de l'Okpara Nano. L'approche méthodologique adoptée a consisté à une description, et à une étude analytique des facteurs de la dynamique de l'occupation du sol et leurs implications sur la gestion des ressources naturelles du sous-Bassin. L'analyse des résultats a été faite à l'aide du modèle PEIR « Pression-Etat-Impact-Réponse ». Les résultats obtenus ont révélé qu'en une vingtaine d'années (1992-2012), la population des communes du sous-Bassin de Nano ont connu une augmentation de 74,48 %, passant ainsi de 155 164 habitants en 1992 à 608 015 habitants en 2012. Cette situation a conduit à une extension des espaces bâtis au sein du sous-Bassin avec un taux d'accroissement de l'ordre de 3,9 %.

Aussi, a-t-il été constaté une évolution des unités d'occupation du sol entre les années 1985 et 2014 dans le sous-Bassin versant de Nano, une nette régression des unités de végétation naturelle ou artificielle, excepté les mosaïques de cultures qui sont en augmentation.

Keywords: Sous bassin Okpara, gestion des ressources, unités d'occupation du sol, agriculture, mosaïque de cultures

Study Of The Impact Of The Dynamics Of Land Use On Natural Resources In The Okpara Sub-Basin In Nano In Northern Benin

Sylvestre Ogouwale,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Séraphin Capo Atidegla,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Luc O. C. Sintondji,

Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

Abstract

In Benin, current agricultural practices characterized by shifting slash-and-burn agriculture continue to subject the environment to significant human pressure. The objective of the research is to make a contribution to the management of natural resources and land use in the Okpara Nano sub-watershed. The methodological approach adopted consisted of a description and an analytical study of the factors of land use dynamics and their implications on the management of the natural resources of the sub-basin. The results were analyzed using the PEIR "Pressure-State-Impact-Response" model. The results obtained revealed that in about twenty years (1992-2012), the population of the municipalities of the Nano sub-basin experienced an increase of 74.48%, from 155,164 inhabitants in 1992 to 608,015 inhabitants in 2012. This situation has led to an extension of built-up areas within the sub-basin with an increase rate of around 3.9%. Also, it was noted an evolution of the units of land use between the years 1985 and 2014 in the sub-basin of Nano, a clear regression of the units of natural or artificial vegetation, except the mosaics of cultures which are increasing.

Keywords: Okpara sub-basin, resource management, land use units, agriculture, mosaic of crops

Introduction

En Afrique de l'Ouest, et particulièrement au Bénin, le changement d'occupation des terres se traduit par la déforestation et la dégradation du couvert végétal qui s'accroissent à un rythme effréné et inquiétant. La cause principale de ces facteurs est généralement l'intensification des activités anthropiques (Biaou et al., 2019). L'évolution des formations naturelles est de plus en plus critique à cause du déboisement, du surpâturage, de la surexploitation des ressources fourragères, des feux de végétation et des techniques culturales (Djohy et al., 2016). A ce sujet, Agbahungba, (2012) fait remarquer que les actions que l'homme exerce sur l'environnement sont non négligeables dans la dégradation des sols. Il faut ajouter que dans la plupart des pays et régions de ce continent, on s'attend à ce que la production agricole et l'accès à la nourriture soient sérieusement compromis par la variabilité du climat (Atidegla et al., 2017).

Au Bénin particulièrement, la destruction des ressources naturelles évolue à un rythme assez inquiétant. En 1991 par exemple, les estimations faisaient état d'une destruction annuelle moyenne de 100 000 hectares de végétation naturelle à des fins culturales (Houndagba et al., 2007). Dans une telle situation, la planification et la gestion de l'utilisation des ressources naturelles s'avère nécessaire. Ainsi, l'analyse diachronique de l'occupation du sol qui permet de faire ressortir la répartition spatiale des changements est indispensable (Tritsch et al., 2011; Sylla et al., 2019). Cela passe par le contrôle et la planification du mode d'occupation et d'utilisation des terres en raison de leurs impacts sur la qualité de l'eau de surface afin de conserver sain l'environnement et la qualité de l'eau des bassins versants (Bernier et al., 2007). Cette situation nécessite une vérification quantitative des changements spatio-temporels dans l'occupation du sol (Hoang et al., 2009).

Ces changements climatiques associés aux différentes menaces naturelles sur les ressources imposent une gestion optimale dans une perspective de durabilité de ces ressources pour la survie de l'espèce humaine qui en dépend. De plus, la péjoration pluviométrique bouleverse les calendriers agricoles, impose des modes de vie différents et donne une autre vision de la perception du climat dans les différents milieux (Atidégla et Hounmenou, 2018). L'étude intitulée Gestion Intégrée du sous-Bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano a été menée dans l'espace géographique Nikki, Pèrèrè, N'Dali, Parakou, et Tchaourou. L'objectif de la recherche est de contribuer à

la gestion des ressources naturelles et de l'occupation du sol dans le sous-Bassin versant de l'Okpara à Nano.

1. Matériel Et Méthodes

1.1. Zone D'étude

Le bassin versant de l'Okpara est situé entre 7°30' et 9°54' de latitude Nord, et 1°30' et 3°18' de longitude Est. Il s'étend sur une superficie évaluée à environ 12 710 km². Plusieurs sous-Bassins sont drainés par les eaux de ce bassin versant, dont le sous-Bassin de Nano qui fait l'objet de la présente étude. Ce sous-bassin couvre les communes de Nikki, Pèrèrè, N'Dali, Parakou, et Tchaourou. Il est situé au Nord du bassin versant de l'Okpara et couvre une superficie de 2 314 km² (Figure 1).

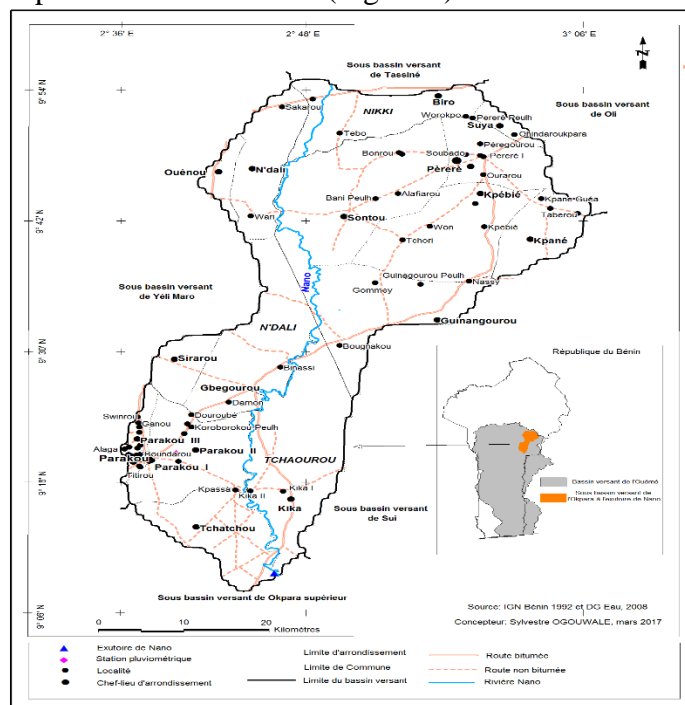


Figure 1 : Situation géographique du sous Bassin de Nano dans le Bassin versant de l'Okpara

1.1.1. Données Utilisées

Les Données Démographiques Utilisées Dans Le Cadre De Ce Travail Sont Celles Issues Du Deuxième, Troisième Et Quatrième Recensement Général De La Population Et De l'Habitat De 1992 À 2012 Réalisée Par L'insae. Concernant La Pluviométrie, Les Données Relatives Aux Hauteurs

De Pluies De 1961 À 2018, Recueillies À Météo-Bénin Ont Été Considérées. Ces Données Ont Porté Sur Les Stations Météorologiques Situées Dans Le Bassin Ou Dans Ses Limites Immédiates Dont Le Taux De Lacune N'excède Pas 5 %. Le Tableau I Présente La Liste Des Stations Qui Sont Prises En Compte.

Tableau I: Situation des stations météorologiques du sous bassin de l'Opkara à Nano

N°	Nom des stations	Type de station	Lat	Long	Altitude	Année de création
1	INA	Climatologique	9°58N	2°44E	358m	1944
2	NIKKI	Pluviométrique	9°56N	3°12E	402m	1921
3	OKPARA	Pluviométrique	9°47N	2°73N	295m	1956
4	PARAKOU	Synoptique	9°21N	2°36E	392m	1921

Les données relatives aux différentes unités d'occupation du sol, tirées des images Landsat 7- UTM 2006, disponibles à l'IGN ont été également exploitées. Ces données sont complétées par celles obtenues lors des enquêtes de terrain. Elles ont été utile dans la connaissance des pratiques culturelles et perceptions des impacts de la dégradation des ressources naturelles.

1.1.1. Techniques de collecte des données

Les données qui ont été utilisées dans le cadre de cette recherche ont été collectées à travers la recherche documentaire et les enquêtes de terrain. Pour la collecte des données en milieu réel, plusieurs techniques ont été utilisées. Il s'agit de l'approche MARP (Méthode Active de Recherche Participative), des entretiens directs, du focus group et du diagnostic participatif. Ainsi donc, un questionnaire a été adressé à la population à la base, des guides d'entretien ont été utilisés lors des rencontres avec les autorités politico-administratives et une grille d'observation pour l'identification des facteurs et manifestations sur la gestion durable des ressources naturelles du sous-Bassin de Nano.

1.1.2. Détermination de la densité de la population

La densité de population sur un espace est un indicateur de peuplement humain dont l'usage est ancien, mais qui reste largement employé pour décrire la distribution spatiale d'une population (Djohy *et al.*, 2016). Elle est un indicateur de la pression démographique et renseigne mieux sur la concentration humaine sur un espace. Elle s'exprime en habitants au kilomètre carré (habitants / km²) ou parfois en habitants à l'hectare (habitants / ha). Autrement dit, elle exprime le nombre de personnes occupant un kilomètre carré. Dans le cas de cette étude, elle est exprimée en habitants / km² selon la formule :

$$d = Pt / S$$

d = densité de la population ; *Pt* = population totale des communes pour une année donnée ; *S* = superficie totale du sous-Bassin de Nano.

1.1.3. Dynamique de l'occupation du sol

Pour mieux apprécier les mutations dans l'occupation du sol au cours des années, l'étude diachronique de l'évolution de l'occupation du sol des années 1985 et 2014 a été réalisée. Elle a permis d'analyser les changements opérés dans les faits d'occupation de l'espace dans le secteur d'étude. Pour ce faire, les cartes d'occupations du sol des années 1985 et 2014 ont été réalisées. L'appréciation des modifications observables dans l'occupation du sol, a été faite grâce à la détermination des superficies respectivement occupées par les différentes unités d'occupation du sol en 1985 et en 2014. Elle a été déterminée de la manière suivante :

Le calcul englobe le bilan, notamment les notions de régression, de stabilité ou de progression des unités d'occupation du sol. Soit U_0 -1985 : la superficie d'une unité d'occupation du sol en 1985 (U_0), U_1 -2014 : la superficie de la même unité en 2014 (U_1). $\beta U = U_1 - 2014 - U_0 - 1985$. βU , représente la variation de cette unité dans la période de 1985 à 2014. Pour cette unité de surface, il peut avoir les trois cas suivant (Obalè, 2018):

- Si $\beta U < 0$, alors il y a évolution régressive de cette unité ;
- Si $\beta U = 0$, alors il y a stabilité de cette unité ;
- Si $\beta U > 0$, alors il y a évolution progressive de cette unité ;

1.2.4. Analyse diachronique de l'occupation du sol

Il a été utilisé plusieurs types de données afin de construire les cartes. Deux types d'images satellite ont été utilisés. Il s'agit des images LANDSAT datant de 1985 et 2014 pour le sous-Bassin de Nano ; et des images issues de Google Earth, datant de 2014 pour le sous-Bassin de Nano. A partir des images LANDSAT, on a pu évaluer l'extension des unités d'occupation du sol depuis les années 1985 et sa densité.

Différents types de données cartographiques ont été récupérées. Des cartes décrivant l'ensemble de données sur les routes, les cours et plans d'eau, les limites du sous-Bassin et l'utilisation de l'espace en 1985 et 2014. Les cartes représentant les parcelles sur chaque terrain ont été réalisées à partir des données disponibles sur le secteur. Les cartes ont ensuite été dessinées sur Arc Gis.

1.2.5. Évaluation des impacts de l'occupation du sol sur les ressources naturelles

L'évaluation des impacts de l'évolution de l'occupation du sol sur la gestion des ressources naturelles du sous-bassin de l'Okpara à Nano a été faite grâce à la matrice de Léopold (1971), qui établit un lien entre les facteurs de pression et les composantes environnementales (végétation, sol, eau, etc.).

1.2.6. Traitement des données et analyse des résultats

Le dépouillement des fiches d'enquête a été fait manuellement. Les données obtenues ont ensuite été codifiées avant d'être traitées à l'ordinateur. Les logiciels Word, Excel, SPSS et Sphinx, version 2010 ont été utilisés pour la saisie, la réalisation des figures et tableau. Quant aux cartes de situation géographique et d'occupation du sol, elles ont été réalisées au logiciel Mapinfo 8. 0. et Arc Gis.

Enfin, le Modèle PEIR (Pression, Etat, Impacts, Réponses) a été utilisé pour apprécier les formes de pression qui s'exercent sur les ressources naturelles de même que les effets retours de ces pressions dans le sous-Bassin de l'Okpara à Nano.

2. Résultats

Les principaux facteurs de la pression sur les ressources naturelles du sous-Bassin de Nano identifiés au cours de cette étude sont : la croissance démographique, l'agriculture, la pêche et pisciculture, l'exploitation des carrières et l'exploitation forestière.

2.1. Évolution démographique du sous-Bassin de Nano

Les enquêtes ont permis de noter qu'en 1992 et 2002 la population du sous-bassin de Nno était respectivement évaluée à 155 164 et 250 420 habitants. Au dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH4) organisé par l'INSAE en 2013, cette population avait atteint un effectif de 608 015 habitants. La Figure 2 montre la répartition de la population du sous-Bassin versant de Nano par commune.

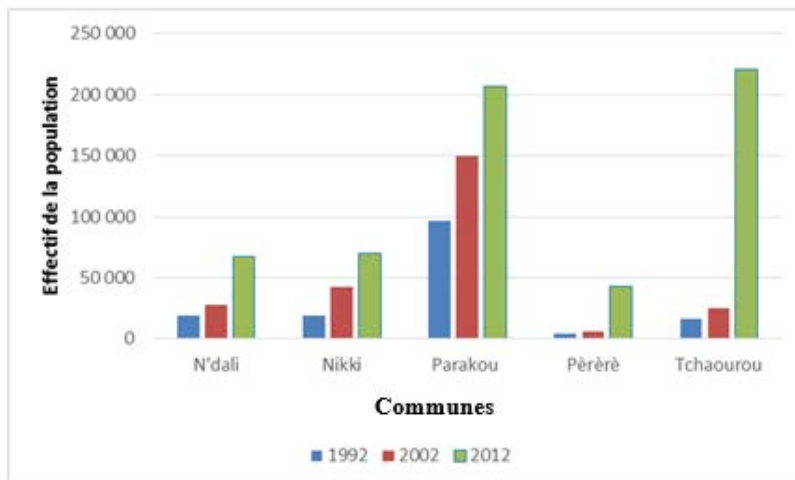


Figure 2: Évolution démographique dans les communes du sous-Bassin versant de Nano

L'analyse de la Figure 2 montre l'évolution des populations du sous-Bassin versant par commune de la décennie 1992-2002 à la décennie 2002-2012. Lorsqu'on observe les effectifs de 2002 à 2012, on constate que l'effectif des populations de chaque commune a évolué de plus de 50%. Ceci démontre une augmentation de la population au niveau de ces communes en fonction du temps. Il s'agit en fait, d'une croissance démographique au fil des années. Cette croissance démographique engendrerait une pression sur les ressources naturelles du sous-Bassin versant et par ricochet l'accentuation des dégradations de l'environnement et la destruction du couvert végétal au profit des habitations et des exploitations agricoles. Toutefois, il faut noter la répartition inégale de la population dans les cinq communes du sous-Bassin (Tableau II).

Commune	Population en millier d'habitants	hommes (en%)	femmes (en%)	Proportion agricole (en%)	Population âgées de 18 ans et plus (en%)	Population âgées de 60 ans et plus (en%)
Nikki	24753	50,01	49,99	76,07	40,65	4,89
Pèrèrè	26776	49,68	50,32	89,40	42,22	6,03
N'Dali	18002	49,56	50,44	85,14	44,41	5,06
Parakou	149819	50,11	49,89	25,09	50,19	3,71
Tchaourou	21886	49,75	50,25	59,13	44,29	5,23
Total	241236					

Il ressort du Tableau II que la commune de Parakou est la plus peuplée. 44,24 % de cette population est adulte, avec environ 5 % des personnes âgées de plus de 60 ans. La population féminine représente 50,16 % de cette population contre 49,84 % d'hommes. En moyenne, 70,19 % de la population du bassin versant du Nano est agricole.

1.2.Agriculture

L'agriculture est l'activité par excellence qui occupe les populations du sous-Bassin versant. Les travaux de terrain ont permis de cerner les réalités sur les techniques culturales et les pratiques culturales de même que le niveau d'information des acteurs de ce sous-secteur par rapport à la législation qui régit leur activité.

1.2.1. Technique culturale

Dans notre zone d'étude que constitue le sous-Bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Nano, les agriculteurs font nettement usages des techniques de rotation de cultures, d'association et de la technique de culture

itinérante sur brûlis. Près de 90 % des agriculteurs questionnés pratiquent la rotation des cultures, 82 % pratiquent l'association et seulement 62 % font usage de la technique itinérante sur brûlis. Ces statistiques montrent que ce monde de travailleurs a bien une logique paysanne claire ou est suffisamment informée des bienfaits de ces différentes techniques. En fait, l'association de cultures et la rotation sont deux techniques de gestion efficiente non seulement de la fertilité des terres, mais aussi des friches. Elles permettent d'exploiter simultanément ou de façon alternée toutes les strates de la terre tout en favorisant sa régénération. Pour le défrichement par contre, la technique de culture itinérante sur brûlis est plus utilisée. Elle consiste à couper les herbes, les arbustes et les branches de palmiers à huile déposés et séchés sur un espace donné pendant 2 à 4 semaines avant d'être mis à feu. L'objectif de cette technique est de fertiliser les sols et favoriser les semailles.

L'autre pratique culturale est l'utilisation d'herbicides par ces agriculteurs. C'est une technique qui consiste à pulvériser les mauvaises herbes d'un champ avant ou après les semis. Ce traitement a pour finalité de se débarrasser de la végétation qui occupait précédemment le site de production. Ce procédé exempte les agriculteurs de main d'œuvre pour le sarclage jusqu'à la récolte des produits agricoles. Mais il est à faire remarquer que cette situation de facilité pour l'homme n'est pas sans impact négatif sur les espèces végétales et animales dans leur écosystème. Les engrais chimiques (urée et NPK) sont aussi fréquemment utilisés pour enrichir les sols au détriment des techniques écologiques (l'assolement, l'amendement et la jachère), faute de manque de terres cultivables (Enquête de terrain, 2019). Ces techniques compromettent durablement la pérennité des espèces végétales d'une part et l'habitat de la faune d'autre part du sous-Bassin versant de Nano. Par ailleurs, l'adoption d'une technique n'implique pas que le producteur est apte ou non à gérer des risques associés à des événements météorologiques ou climatiques mais c'est tout simplement parce que la stratégie est non seulement pertinente pour lui mais plutôt une solution de survie. La Figure 3 présente les techniques culturales développées par les agriculteurs du sous-Bassin versant.

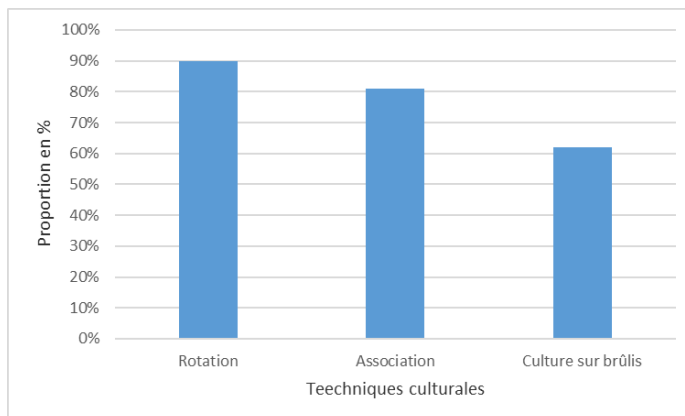


Figure 3: Techniques culturales développées par les paysans

La majorité des paysans de la zone étant frappée par le faible niveau de vie et de développement de leurs activités, ils s'adonnent à des techniques simples et peu coûteuses. Cependant, ces techniques concourent à la surexploitation des terres et par conséquent à la dégradation des ressources présente dans les petites unités exploitées.

2.2.2. Spéculations pratiquées

Au nombre des cultures fréquentes dans le sous-Bassin versant, le maïs local (Zeamays) vient en tête avec 100 % des agriculteurs qui la cultivent. On note ensuite les cultures telles que l'arachide (*Arachis hypogea*) (68 %), l'igname (*Dioscorea alata*) (66 %), le soja (*Glycine max*) (52 %), le gombo (*Hibiscus esculentus*) (46 %), le niébé (*Vigna unguiculata*) (40 %), le mil (*Pennisetum sp*) (38 %) et le coton (*Gossipiumurcicum*) avec 20 % des agriculteurs. Il faut noter que tous les producteurs de notre échantillon pratiquent toutes ces cultures. Par contre pendant la sécheresse, certaines populations pratiquent dans les bas-fonds, les cultures de contre saison comme le crin crin (*Corchorus olitorius*), le gombo (*Hibiscus esculentus*), la tomate (*Solanum lycopersicum*) et le piment (*Capsicum sp*). Le maïs, l'igname et l'arachide sont plus sollicités dans l'alimentation des populations du sous-Bassin et dans la petite transformation agro-alimentaire. Ils constituent surtout la matière première pour l'alimentation de base des populations. C'est ce qui

justifie leur production abondante. La Figure 4 montre la proportion des agriculteurs pratiquant chaque culture.

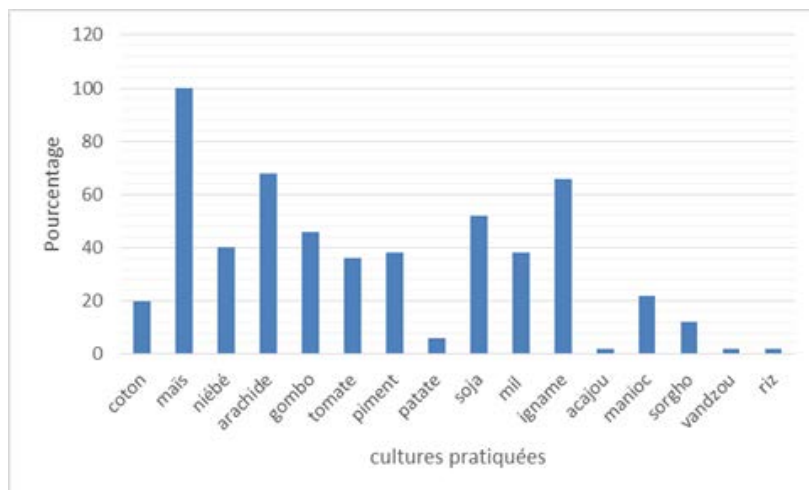


Figure 4: Proportion des agriculteurs par culture pratiquée dans le sous-Bassin versant de Nano

On constate clairement à partir de la Figure 4 que la totalité des agriculteurs cultive le maïs qui est un aliment de base dans le milieu d'étude. Ensuite suivent l'arachide, l'igname, le soja, le gombo et le niébé. Le coton qui est une culture industrielle et très consommatrice d'intrants chimiques est aussi cultivé par une proportion non moins importante d'agriculteurs. Dans les champs d'ignames, on remarque surtout comment les arbres sont fumés par la zone racinaire à côté des buttes pour faciliter leur abattage, ce qui démontre la mauvaise pratique en matière de conservation des ressources naturelles du sous-Bassin. L'igname est l'une des cultures de prestige dans le sous-Bassin de Nano qui est une zone essentiellement de l'ethnie Baatonu. Cette culture est très bien connue pour son exigence en nouvelles friches. Toutes choses qui concourent donc à la déforestation.

2.3. Élevage

Généralement, l'élevage dans le sous-Bassin est associé à l'agriculture. Les grands exploitants agricoles du sous-Bassin font aussi de l'élevage des ruminants ou de la volaille selon le cas. Les débris de récolte, de vannage des cultures servent de substrat pour les parcs de bovins qui vont les enrichir avec leur bouse afin d'en faciliter la décomposition. Le cocktail finalement obtenu sera utilisé comme fertilisant dans les champs.

L'élevage est l'activité qui succède à l'agriculture du point de vue importance économique. Les espèces animales les plus élevées sont, les petits ruminants (moutons et chèvres surtout), les volailles (poules, pintades, et canards) et les bovins (Plan de Développement Communal, 2005). L'élevage de bovins vient en tête de production dans le sous-Bassin avec 55 % des éleveurs enquêtés, suivi de celui de la volaille (45 %) et enfin les petits ruminants avec (33 %).

Les conflits entre éleveurs et agriculteurs sont légions. La quasi-totalité des éleveurs enquêtés reconnaissent la transhumance comme l'origine des conflits entre agriculteurs et éleveurs. Autrement dit, les recherches de pâturage et des points d'abreuvement des bœufs sont entre autres les principales causes des tensions entre les éleveurs et les agriculteurs. La photo 1 montre un troupeau de bœufs en déplacement dans le bassin de Nano.



Photo 1 : Troupeau de bœufs en déplacement dans le Bassin versant de Nano

Ce phénomène s'explique par la richesse du bassin en atouts naturels comme l'eau et l'humidité. Aussi, offre-t-il un environnement favorable au développement des espèces végétales très utiles dans la vie des animaux. Le sous-Bassin versant constitue donc une place attractive et stratégique pour les éleveurs nationaux et internationaux. Exceptés ceux de la région, d'autres élevages provenant du haut Nord-Bénin et des pays voisins (Burkina-Faso, Niger et Nigéria) traversent également le sous-Bassin. Ils s'y installent momentanément dans la période d'octobre-mars avant de continuer leur mouvement entre mars-avril de chaque année. Leurs installations créent des problèmes liés à l'envahissement des champs de cultures par leurs bœufs qui ravagent tout sur leur passage. Les cultures annuelles comme le niébé sont les plus menacées par ces animaux. Il faut signaler que les affrontements générés par ces situations conduisent parfois à des pertes en vies humaines.

1.3.Pêche et pisciculture

La pisciculture est une activité faiblement développée dans le sous-Bassin. Elle est pratiquée par une minorité dont les techniques piscicoles restent archaïques. Les espèces de poissons les plus élevées sont le clarias et le tilapia. Le développement de cette activité fait l'objet de certains promoteurs privés comme la ferme agro pastorale de Parakou et le projet SONGHAÏ et quelques individus dans certains bas-fonds du sous-Bassin.

Ces promoteurs ont réalisé des étangs piscicoles modernes ou traditionnels dans lesquels, ils élèvent les poissons. La ferme agro-pastorale de Parakou dispose d'une quinzaine d'étangs à son actif et une écloserie. La planche 1 présente quelques photos d'étangs, de bassins et d'écloserie pris dans le sous bassin de Nano.



Planche 1 : Etang en vidange (a), Etang traditionnel (b) et bassins piscicoles (c) dans le bassin versant

2.5.Exploitation des carrières de sables et de graviers

La pression démographique exige aujourd'hui la construction d'habitations qui nécessite l'utilisation du sable, de graviers et du bois. C'est la raison pour laquelle certains usagers mènent comme activités le dragage du sable et de graviers et, le lavage de graviers. Dans les carrières de graviers, les principaux travailleurs sont : les hommes (42,85 %), les femmes (21,15 %), les jeunes (30 %) et parfois les enfants (8 %). Les hommes et les jeunes ont pour tâche de mettre à nue les grosses masses de roches et de les casser. Ils font également le tamisage et le chargement des camions. Les femmes, par contre, ont pour rôle d'effectuer le concassage. Quant aux enfants ils font aussi l'évacuation des graviers et soutiennent leurs parents dans l'apport en eau de boisson et en nourriture. Les gains journaliers dépendent de l'activité menée sur le site. Les hommes et les jeunes font un bénéfice journalier de 2 000 à 10 000 F tandis que les femmes font un bénéfice journalier de 1 500 à 5 000 F. La planche 2 suivante montre les activités d'exploitation de sable et de gravier.



Planche 2 : Chargement de sable (a) et Concassage et tassage de gravier (b)

Contrairement à l'exploitation des graviers, l'activité dans les carrières de sable se pratique uniquement par les jeunes de 16 ans au moins. A ce niveau, la présence des femmes et des enfants est rare sauf parfois des femmes qui viennent vendre de la nourriture aux ouvriers. Les travailleurs sur les sites de sables font un bénéfice journalier de 2 000 à 10 000 F selon la demande de sable sur le marché. Le sable est souvent prélevé sur les berges de la rivière Nano ou dans les marigots asséchés.

2.6. Commerce, artisanat et tourisme dans le sous-Bassin versant

Dans le sous-Bassin versant plusieurs marchés s'animent dont des marchés agricoles par village et le grand marché Arzèkè de Parakou. Ce marché international occupe une place stratégique au Nord Bénin et constitue une zone attractive d'échanges pour les peuples voisins. Les vagues successives de migrations de part et d'autre des régions environnantes ont accéléré le développement de ce marché. Il s'anime tous les cinq jours, avec samedi comme jour du marché officiel. Il bénéficie du soutien des marchés auxiliaires comme le marché eux de Pèrèrè, N'Dali, Nikki et Tchaourou. Les marchandises les plus exposées sont entre autres : les cultures vivrières, les produits agroalimentaires, les produits d'élevage, les bijoux et articles divers, les friperies, les produits d'importations (cosmétiques, pagnes et pharmaceutiques). Autour du marché sont installés des vendeurs de divers de pièces détachées et d'appareils électroménagers. L'artisanat est fortement dominé par les ateliers de coutures, coiffures, mécaniques, menuiseries et soudures. Chaque catégorie professionnelle a une

fédération. Ces associations forment une fédération communale qui est sous la tutelle de la fédération nationale des artisans du Bénin. L'artisanat paraît le secteur le plus organisé du sous-Bassin versant.

Le tourisme est plus ou moins développé à Parakou et à Nikki qui détiennent d'impressionnants vestiges de luttes anticoloniales et du peuple Baatonu. Beaucoup de béninois non originaires des localités du sous-Bassin les visitent de même que les étrangers ou expatriés. Mais les infrastructures pour les accueillir n'existent que dans les localités urbaines du sous-Bassin telles que Parakou.

2.7. Exploitation forestière

Les activités ou sous-activités liées à l'exploitation forestière dans le sous-Bassin sont entre autres : la production du charbon, la vente du bois de feu, la vente des bois d'œuvre pour la menuiserie. L'exploitation forestière est d'une grande ampleur avec les besoins du bois pour la fabrication du charbon, la construction d'habitat et la fabrication des meubles. L'invasion des exploitants étrangers (les chinois et les indiens) du bois dans le secteur d'étude a encore accéléré le rythme d'exploitation des ressources forestières. Dans la partie urbanisée du sous-Bassin versant, des scieries sont installées au bord des voies où de millions de mètres cubes de bois sont engloutis. Chaque année, des milliers d'arbres sont abattus pour divers usages avec comme conséquences environnementales : la désertification, la destruction des berges de la rivière Nano et l'accentuation de l'érosion des terres. La pratique de cette activité a laissé désastres et amertumes au sein des communautés végétales et animales. Les Systèmes d'Information Géographique couplés aux outils d'analyse de l'écologie du paysage permettent ainsi de cartographier, de quantifier les changements dans l'utilisation/occupation du sol et d'évaluer les processus écologiques qui en résultent. La Figure 5 présente l'occupation du sol de 1985 et 2014 dans le sous- Bassin de Nano.

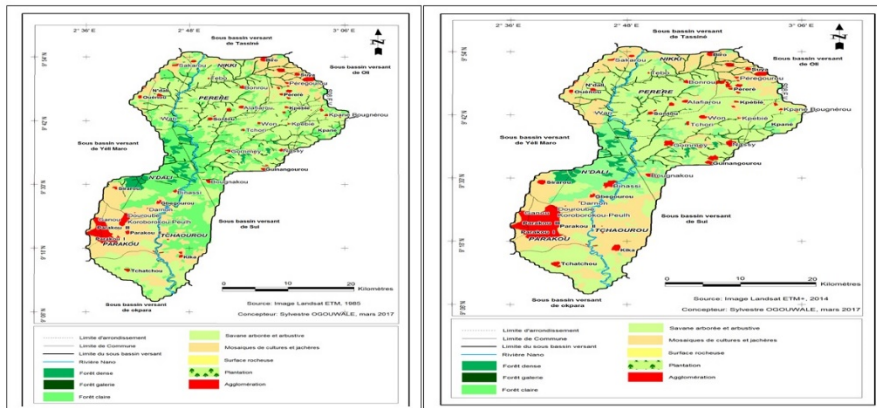


Figure 5 : Occupation du sol de 1985 et 2014 dans le sous-Bassin de Nano

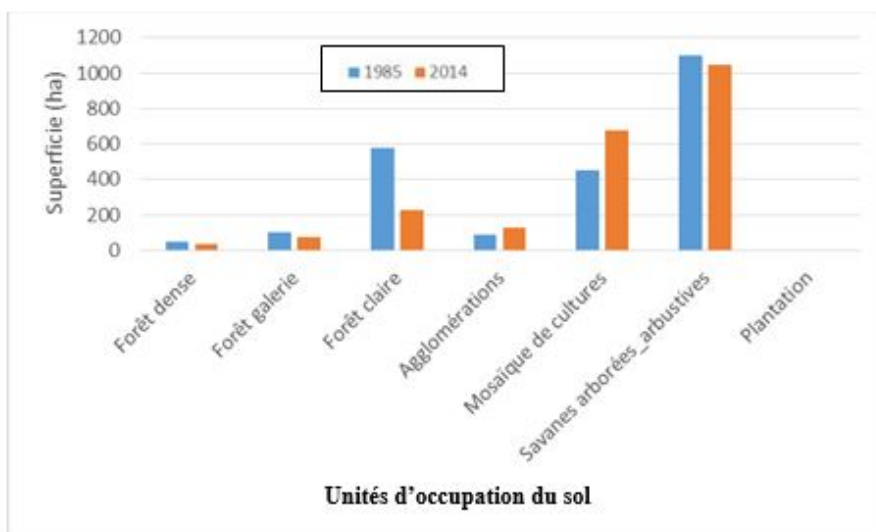


Figure 6 : Unités d'occupation du sol entre 1985 et 2014 dans le sous-Bassin versant de Nano

La lecture croisée des deux cartes présentées au niveau de la Figure 5 a permis de réaliser la Figure 6 en suivant la méthodologie présentée supra. L'observation de cette dernière figure présente les taux d'évolution des unités d'occupation du sol entre les années 1985 et 2014 dans le sous-Bassin versant de Nano. Elle indique clairement que les unités de végétation naturelle ou artificielle sont en nette régression exceptées les mosaïques de cultures qui sont en augmentation et que les constructions humaines sont inversement en nette progression. En effet, les formations naturelles (FG, FD, FCSB, SASA,

FM, SR, PE) représentées sont passées de 2 044 395,08 ha à 1 504 070,88 ha, soit une diminution de 22,62 % de l'ensemble du secteur de recherche. Cette diminution s'est faite au profit des formations agricoles (CJP, MJC et Plant) qui sont passées de 440 760,14 à 981 084,36 ha soit une extension de 38 % et aussi des agglomérations qui sont passées de 1 837,83 à 4 137,61 ha comme l'indique la Figure 6. Toute ces évolutions contrastent avec la gestion durable des ressources naturelles de façon générale et celle de la ressource en eau de façon particulière, vu que la pression sur la ressource est de fait en nette progression.

2. Discussion

L'analyse des facteurs de pression révèle que la poussée démographique et les actions anthropiques des hommes sont les principaux déterminants de la dégradation des ressources naturelles dans les communes du sous-Bassin de Nano. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Ogouwalé (2009), qui a prouvé que l'homme est le principal élément de la dégradation de son milieu. Dans la même veine, Lieugomg et Foudoussia (2006) ont montré clairement que l'effet conjugué de l'accroissement démographique et de la pauvreté conduit à une exploitation irrationnelle des ressources naturelles. Toutefois, l'auteur n'a pas mis l'accent sur le principal facteur de l'explosion démographique qui réside aujourd'hui dans le taux d'accroissement naturel (3,5 %), qui demeure élevé en raison d'une fécondité encore forte et d'une chute de la mortalité (INSAE, 2013). Dès lors, le caractère intégral de la gestion des ressources devra être une plateforme commune de prise de décisions en impliquant tous les acteurs à la base. L'exemple de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) est très édifiant avec l'adoption de la Charte de l'eau du bassin du Niger en 2011. Cette charte stipule en son article 25 que «Les Etats Parties devront garantir à tout usager le droit d'être informé de l'état de la ressource en eau et de participer à l'élaboration et à la mise en œuvre des décisions relatives à la valorisation du bassin ».

Elle doit être l'affaire de tous sans distinction aucune. Les acteurs qui gèrent ce sous-Bassin versant doivent former un maillon solide, efficace et capable de résoudre les différents problèmes qui se posent. Comme l'ont souligné Atidéglá *et al.* (2020), les stratégies d'adaptation et de gestion visent à mitiger, voire à surmonter les risques à travers des comportements résilients en vue de sauvegarder les activités agricoles, de contribuer à l'autosuffisance alimentaire et d'accroître le revenu. Le rôle du gestionnaire (associations ou usagers) ne doit pas être restreint. Il doit être élargi dans tous les secteurs d'activité dans l'optique d'impliquer tous les acteurs à divers niveaux surtout

dans les prises de décision pour une meilleure résolution des problèmes. La mise en œuvre des politiques de gestion durable du sous-Bassin versant doit être prioritaire. Il urge à l'ère de la décentralisation, la création d'une table ronde entre les usagers, les ONG et les autorités locales afin de définir des mesures et proposer des actions durables à court, à moyen et à long terme (LIFAD, 2006). Cette tâche incombe désormais aux mairies comme le notifie clairement en son chapitre 5 la loi portant gestion de l'eau en République du Bénin qui est consacrée au cadre institutionnel de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE).

Abondant dans le même sens, Ogouwalé (2013) explique que la nouvelle approche intégrée implique qu'il soit accordé aux communautés davantage de pouvoir pour leur permettre de prendre effectivement en charge leur destinée à travers l'élaboration et la mise en œuvre des plans de développement, la construction et l'entretien des voies, la collecte et le traitement des ordures, la construction d'infrastructures et d'équipements marchands socioéducatifs et sanitaires. Tels sont les grands défis, que devront relever les gestionnaires à divers niveaux pour garder l'aspect intégré de la gestion du sous-Bassin versant de Nano.

Conclusion

L'analyse de l'état d'occupation du sol dans le sous-Bassin versant de l'Okpara à Nano a montré une régression sensible des formations végétales naturelles (forêts et savanes) passant de 2 044 395,08 ha à 1 504 070,88 ha, soit une diminution de 22,62 % et une progression des paysages aménagés qui sont passés de 440 760,14 à 981 084,36 ha soit une extension de 38. %. Les taux d'évolution des unités d'occupation du sol entre les années 1985 et 2014 dans le sous-Bassin versant de Nano, indiquent clairement que les unités de végétation naturelle ou artificielle sont en nette régression exceptées les mosaïques de cultures qui sont en augmentation et que les constructions humaines sont en nette progression. Cette régression des formations végétales est particulièrement critique. Les savanes boisées et les forêts sont détruites dans le but d'obtenir des terres cultivables afin de développer particulièrement la culture du coton. Cette destruction du couvert végétal entraîne parallèlement la dégradation du sol.

Conflit D'interets

Les auteurs déclarent que cet article ne fait pas l'objet d'un conflit d'intérêt.

Contributions Des Auteurs

Cet article est le fruit d'un travail d'équipe. Celle-ci était composée de SO: Collecte de données et rédaction du manuscrit; SCA: Encadreur scientifique ; LOCS : Superviseur scientifique.

Remerciements

Les auteurs remercient les évaluateurs anonymes qui ont sensiblement contribué à l'amélioration de la qualité scientifique de cet article en consacrant leurs précieux temps à son évaluation critique.

References:

1. ABN. 2011. La charte de l'Eau du Bassin du Niger. 19p. DOI : http://www.abn.ne/attachments/article/39/Charte%20du%20Bassin%20du%20Niger%20version%20finale%20français_30-04-2008.pdf
2. Agbahungba B. 2012. Erosion pluviale et gestion des terres agricoles dans le bassin versant de l'Agbado. Mémoire de maîtrise, UAC/FLASH /DGAT, 77 p.
3. Atidéglà S. C. et Hounmenou C. 2018. Adaptation des producteurs à la variabilité climatique au sud-Bénin : cas de la plaine inondable de Gbessou Houékèkomè, *Annales des sciences agronomiques* 22 (1) ISSN 1659 – 5009, pp93-113.
4. Atidéglà C. S., Koumassi H.D. et Hounmenou C. 2020. Risques climatiques et production agricole au Bénin : effets, perceptions et stratégies d'adaptation. *Actes du 33^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, AIC 2020*, du 01 au 04 Juillet 2020, Rennes, France, Pages 83-88.
5. Atidéglà C. S., Koumassi H. D., Houssou E. S. 2017. Variabilité climatique et production maraîchère dans la plaine inondable d'Ahomey-Gblon au Bénin, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(5): 2254-2269
6. Bernier M, Duchesne S, Nguyen TD, Pham QS, Tran MY, Dang LA, Villeneuve JP. 2007. Gestion intégrée du bassin de la rivière Càu (Vietnam). In : Gestion intégrée des eaux et des sols, pré-actes du colloque des journées scientifique inter-réseaux AUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, *Pré-Actes JSIRAUF*, pp. 281-286. DOI : https://www.researchgate.net/publication/49136356_LES_CHANGE_MENTS_DE_L'OCCUPATION_DU_SOL_DANS_LE_BASSIN_VERSANT_DE_LA_RIVIERE_CAU_VIET-NAM
7. Biau S, Houeto F, Gouwakinnou G, Biau SH, AWES-SOU B. 2019. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord-Bénin. Conférence OSFACO : Des images

- satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Cotonou, Bénin. 21p. DOI : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189367>
8. Djohy GL, Totin Vodounon HS, Kinzo NE. 2016. Dynamique de l'occupation du sol et évolution des terres agricoles dans la commune de Sinendé au Nord-Benin. Cahiers du CBRST, Centre Béninois de la Recherche Scientifique et Technique, pp.101-121. DOI : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01567316/document>
 9. INSAE (2013) : Principaux indicateurs socio démographiques et économiques. Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH-4), 27p. Hoang HK, Bernier M, Villeneuve JP. 2008. Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière Càu (Viêt-Nam). Essai sur une approche diachronique ; *Revue Télédétection*, 8(4) : 27-236. DOI : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00545765/document>
 10. Issoufou O, Boubacar S, Toudou A, Boubacar Y. 2017. Modélisation des décisions des agriculteurs sur l'adoption et l'intensification des semences améliorées du niébé au Niger. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 5(4) : 405-413.
 11. Lieugong M, Foudoussia I. A. 2006. L'exploitation du bois énergie, une stratégie de survie à Meskine Baguiri (Sud Est de N'Djamena au Tchad). *Recherche Africaine*, N° 04, DOI : [Http : //www.recherches-africaines. Net / document php ? id=52](http://www.recherches-africaines.Net/document.php?id=52)
 12. LIFAD (Laboratoire d'Ingénierie, de Formation et d'Assistance en Développement Local), 2006. Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural du Bénin. Rapport d'activités, 21p.
 13. Obalè M. R. 2018. Dynamique de l'occupation du sol et problèmes fonciers dans la Commune d'Abomey. Mémoire de master en Economie des Transports et assurances, MIRD/IGATE/UAC, 84p.
 14. Ogouwalé R, Houndagba JC, Houssou CS. 2009. Dynamique hydro-climatique et stratégies de gestion des ressources en eau dans le bassin du zou. *In 2eme colloque de l'UAC des Sciences, Cultures, Technologies et Géographie*, pp 31-42.
 15. Ogouwalé R. 2013. Changements Climatiques, Dynamique des Etats de Surface et Perspectives sur les Ressources en Eau dans le Sous-bassin de l'Okpara à l'Exutoire de Kaboua. Thèse pour l'obtention du Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 205 p.

16. Oswald J, Gond V, Dolédec S, Lavelle P. 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation de sol pour le suivi des dynamiques paysagères. *Bois For. Trop.*, 307(1): 7-21. DOI: <https://doi.org/10.19182/bft2011.307.a20.484>
17. Sylla D, Ba T, Diallo MD, Mbaye T, Diallo A, Peiry JL. 2019. Dynamique de l'occupation du sol de la commune de Téssékéré de 1984 à 2015 (Ferlo Nord, Sénégal). *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024)* Vol.40 (3): 6674-6689. <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v40-3.2>
18. Tritsch I, Gond V, Oswald J, Davy D, Grenand P. 2011. Occupation du territoire et gestion des ressources naturelles en contexte Amérindien : le cas des Wayãpi et Teko de Camopi en Guyane Française. 16p. DOI :<http://asrdlf2011.com/>
19. Tsewoue MR, Tchamba M, Avana ML, Tanougong AD. 2020. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Mounjo, Région du Littoral, Cameroun : influence sur l'expansion des systèmes agroforestiers à base de bananiers. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14(2): 486-500. DOI: 10.4314/ijbcs.v14i2.15
20. Useni SY, Khoji MH, Bogaert J. 2020. Miombo woodland, an ecosystem at risk of disappearance in the Lufira Biosphere Reserve (Upper Katanga, DR Congo)? A 39-years analysis based on Landsat images. *Glob. Ecol. Conserv.*, 24(2020): e01333. DOI :<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01333>
21. Yabi JA, Bachabi FX, Labiyi I A, Ode CA, Ayena R L. 2016. Déterminants socioéconomiques de l'adoption des pratiques culturales de gestion de la fertilité des sols utilisées dans la commune de Ouaké au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(2) : 779-792. DOI : <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i2.27>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Typologie Des Gites Larvaires Et Sensibilite D'anopheles Gambiae S.L. Aux Insecticides En Zone Urbaine, Peri- Urbaine Et Rurale A Oyem (Nord Du Gabon)

Pyazzi Obame Ondo Kutomy (Doctorant),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle et Parasitaire (LEVP), Université Cheikh
Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal
Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), Libreville,
Gabon.

Christophe Roland Zinga-Koumba (Maître de Recherche),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie
Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et
Technologique, Libreville, Gabon
Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN), Libreville, Gabon.

Aubin Armel Koumba (Docteur),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie
Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et
Technologique, Libreville, Gabon.
Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Silas Lendzele Sevidzem (Docteur),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie
Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et
Technologique, Libreville, Gabon

Jacques François Mavoungou (Professeur Titulaire),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie
Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et
Technologique, Libreville, Gabon.

Ousmane Faye (Professeur Titulaire),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle et Parasitaire (LEVP), Université Cheikh
Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal.

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p22](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p22)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kutomy.O.O.P., Zinga-Koumba C.R., Armel Koumba A., Lendzele Sevidzem S., François Mavoungou J., & Faye. O.,(2022). *Typologie Des Gites Larvaires Et Sensibilite D'anopheles*

Gambiae S.L. Aux Insecticides En Zone Urbaine, Peri-Urbaine Et Rurale A Oyem (Nord Du Gabon) European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 22.
<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p22>

Resume

Contexte : Les gîtes de développement des moustiques vecteurs et leur niveau de sensibilité aux insecticides ne sont pas connus à Oyem.

Objectif : Caractériser les gîtes de reproduction des populations de moustiques d'Oyem et évaluer leur sensibilité aux insecticides utilisés en santé publique.

Matériel et méthodes : Des prospections et des collectes larvaires ont été menées en juillet 2020 (saison sèche) et de mi-novembre à mi-décembre 2020 (saison pluvieuse) dans la localité d'Oyem suivant un gradient d'anthropisation. De plus, les moustiques obtenus après émergence ont été testés au DDT 4%, à la Deltaméthrine 0,05%, à la Permethrine 0,75%, à la Lambdacyalothrine 0,05%, à la Cyfluthrine 0,15%, au Bendiocarb 0,1% et au Malathion 5% selon le protocole standardisé de l'OMS de 2017.

Résultats : Un total de 498 gîtes larvaires a été identifié dans la région d'Oyem. Ces gîtes étaient constitués de 24,9% de récipients domestiques (fûts, seaux, bidons, bassines, etc.), de pneus usés (18,2%), de marécages (9,4%), de flaques d'eau (42,2%), de lacs (1,4%), de rivières (1,6%), de caniveaux (1,4%) et de fosses septiques (1%). Près de 21 217 larves ont été collectées dont 59% appartenaient au genre *Culex*, 35% à *Anopheles* et 9% à *Aedes*. Dans la zone urbaine, les larves de *Culex* étaient les plus fréquentes (84,9%) et celles d'*Aedes* les moins rencontrées (4,5%). Cependant, dans la zone péri-urbaine, ce sont les larves d'*Anopheles* qui étaient les mieux représentées (64%) et les larves d'*Aedes* les moins collectées (2,9%). Enfin, dans la zone rurale, ce sont les larves de *Culex* qui ont été les plus récoltées (45,3%) et celles d'*Aedes* les moins observées (12,7%). Les résultats des bioéssais ont révélé que les populations d'*Anopheles gambiae* s.l. de la région d'Oyem sont résistantes au DDT, à la Deltaméthrine, à la Permethrine, à la Lambdacyalothrine et à la Cyfluthrine, mais, sensibles au Bendiocarb et au Malathion.

Conclusion : Bien que les anophèles d'Oyem soient déjà résistants aux Organochlorés et Pyréthriinoïdes, ils demeurent encore sensibles aux Carbamates et Organophosphorés. Ces deux familles d'insecticides pourraient être utilisées en pulvérisation intradomiciliaire à Oyem. Toutefois, la recherche des mécanismes à l'origine de ces résistances constatées chez les moustiques d'Oyem est nécessaire pour confirmer ou infirmer les résultats obtenus au cours des bioéssais.

Keywords: Gîtes larvaires, moustiques, *Anopheles gambiae* s.l., sensibilité, Oyem, Gabon

Typology Of Larval Habitats And Insecticide Sensitivity In Anopheles Gambiae S.L. In Urban, Peri-Urban, And Rural Areas Of Oyem (Northern Gabon)

Pyazzi Obame Ondo Kutomy (Doctorant),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle et Parasitaire (LEVP), Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal
Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), Libreville, Gabon.

Christophe Roland Zinga-Koumba (Maître de Recherche),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Libreville, Gabon
Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN), Libreville, Gabon.

Aubin Armel Koumba (Docteur),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Libreville, Gabon.

Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Silas Lendzele Sevidzem (Docteur),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Libreville, Gabon

Jacques François Mavoungou (Professeur Titulaire),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Libreville, Gabon.

Ousmane Faye (Professeur Titulaire),

Laboratoire d'Ecologie Vectorielle et Parasitaire (LEVP), Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal.

Abstract

Background: The development sites of mosquito vectors and their sensitivity level to insecticides are not known in Oyem.

Objective: To characterize the mosquito breeding sites in Oyem and to assess their sensitivity to insecticides used in public health.

Materials and methods: Larval surveys and collections were conducted in July 2020 (dry season) and from mid-November to mid-December 2020 (rainy season) in the locality of Oyem following an anthropization gradient. Moreover, mosquitoes obtained after emergence were

tested with DDT 4%, Deltamethrin 0.05%, Permethrin 0.75%, Lambdacyalothrin 0.05%, Cyfluthrin 0.15%, Bendiocarb 0.1% and Malathion 5% according to the 2017 WHO standardized protocol.

Results: A total of 498 breeding sites was identified in the Oyem region. These larval habitats consisted of 24.9% of domestic containers (barrels, buckets, cans, basins, etc.), used tires (18.2%), swamps (9.4%), puddles (42.2%), lakes (1.4%), rivers (1.6%), gutters (1.4%) and septic tanks (1%). About 21,217 larvae were collected, 59% of which belonged to the genus *Culex*, 35% to *Anopheles* and 9% to *Aedes*. In urban area, *Culex* larvae were the most frequent (84.9%) and *Aedes* larvae were the least encountered (4.5%). However, in the peri-urban area, *Anopheles* larvae were the best represented (64%) and *Aedes* larvae were the least collected (2.9%). Finally, in the rural area, *Culex* larvae were the most harvested (45.3%) and *Aedes* larvae the least observed (12.7%). The results of the bioassays revealed that populations of *Anopheles gambiae* s.l. in the Oyem region are resistant to DDT, Deltamethrin, Permethrin, Lambdacyalothrin and Cyfluthrin.

Conclusion: Although *Anopheles* in Oyem are already resistant to Organochlorines and Pyrethrinoids, they are still sensitive to Carbamates and Organophosphates. These two families of insecticides could be used for indoor residual spraying in Oyem. However, research into the mechanisms behind the resistance observed in mosquitoes from Oyem is necessary to confirm or refute the bioassay results.

Keywords: Breeding sites, mosquitoes, *Anopheles gambiae* s.l., sensitivity, Oyem, Gabon

Introduction

Actuellement, le paludisme est la plus importante maladie à transmission vectorielle et demeure un véritable problème de santé pour les populations africaines (WHO, 2019). Sur 405 000 décès palustres estimés dans le monde, l'Afrique a présenté 94% des décès globaux et 67% de morts chez les enfants de moins de 5 ans (WHO, 2019). Au Gabon, le paludisme reste également une préoccupation majeure pour les populations avec 153 666 cas et 160 décès en 2018 (MINSANTE-SNIS, 2018). Cette parasitose est véhiculée par les moustiques du genre *Anopheles*, notamment *An. gambiae*, *An. funestus*, *An. nili* et *An. moucheti*. Le contrôle de ces insectes vecteurs est principalement basé sur l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action (MILDA). Cependant, l'émergence et l'extension des phénomènes de résistance aux pyréthrinoides (Pinto *et al.*, 2006 ; Mourou *et al.*, 2010 ; Koumba *et al.* 2018a ; 2018b) ont été signalées dans le pays. Cet état de fait pourrait menacer l'efficacité des mesures de lutte

antivectorielle à base de pyréthrinoïdes mises en œuvre sur le terrain (Duvallet *et al.*, 2017 ; Koumba *et al* 2018a ; 2018b).

Des études ont mis en évidence le rôle de l'utilisation intensive des insecticides agricoles et des MILDA dans l'apparition des résistances des vecteurs aux insecticides en Afrique. Cette hypothèse sur la pression de sélection de la résistance exercée par l'usage des insecticides agricoles a été évoquée par Pinto *et al.* (2006) et soutenue par Mourou *et al.* (2010) à Libreville au Gabon. Selon Koumba *et al.* (2018a ; 2018b), la résistance aux pyréthrinoïdes observée chez les anophèles de la zone de Mouila serait due à la présence des gènes de résistance kdr-est et kdr-ouest chez ces vecteurs.

Pour garantir l'efficacité des actions de lutte contre les vecteurs du paludisme, il est judicieux de mieux connaître les gîtes larvaires des vecteurs du paludisme et leur sensibilité aux insecticides utilisés en santé publique (WHO, 2016). Cependant, de telles informations n'existent pas encore pour de nombreuses villes gabonaises dont celle d'Oyem qui constitue la quatrième ville la plus peuplée du pays et la troisième zone rurale la touchée par le paludisme (44,2%), après Lastourville (79,5%) et Makokou (53,6%) (MINSANTE-SNIS, 2018 ; Imboumy-Limoukou *et al.*, 2020). Pour pallier ce manquement, une étude entomologique a été menée dans les zones urbaines, péri-urbaines et rurales de la ville d'Oyem. L'objectif de cette étude était de caractériser les gîtes larvaires des moustiques de la localité d'Oyem (Nord du Gabon) et de déterminer leur niveau de sensibilité aux insecticides utilisés en santé publique.

1. Matériel Et Methodes

1.1. Présentation De La Région D'oyem

Cette étude a été réalisée en juillet 2020 (saison sèche) et de mi-novembre à mi-décembre 2020 (saison des pluies) dans la région d'Oyem, au Nord du Gabon. Oyem est situé entre 1° 37' 00" Nord et 11° 35' 00" Est et s'étend sur une superficie de 38 465 km². Cette localité qui est le chef-lieu de la province du Woleu-Ntem, se trouve dans la partie septentrionale du Gabon. Construite sur des terres relativement accidentées et caractérisées par les plateaux et collines à pentes douces (pouvant atteindre jusqu'à 653 m), la ville d'Oyem compte près de 60 685 habitants (DGS-RGPL, 2015). On y trouve des cours d'eau et des lacs bordés souvent de forêts marécageuses et/ou de forêts secondaires dans lesquelles les populations cultivent différentes variétés agricoles, notamment le manioc (*Manihot esculenta*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*), la banane (*Musa acuminata*), l'ananas (*Ananas comosus*), le café (*Coffea canephora*), le cacao (*Theobroma cacao*) (Obame *et al.*, 2014). Ces spéculations poussent dans un climat équatorial caractérisé par des saisons de pluies alternant avec des saisons sèches (PNUD, 2009). Les

précipitations oscillent entre 1600 et 2100 mm/an en moyenne (MDDEPIP, 2015) tandis que les températures varient entre 23 et 24°C en moyenne.

1.2. Description des zones prospectées

De manière plus précise, la présente étude a été menée dans trois (3) zones réparties suivant le gradient d'anthropisation, à savoir : la zone urbaine, la zone péri-urbaine et la zone rurale de la région d'Oyem (Figure 1, ci-après).

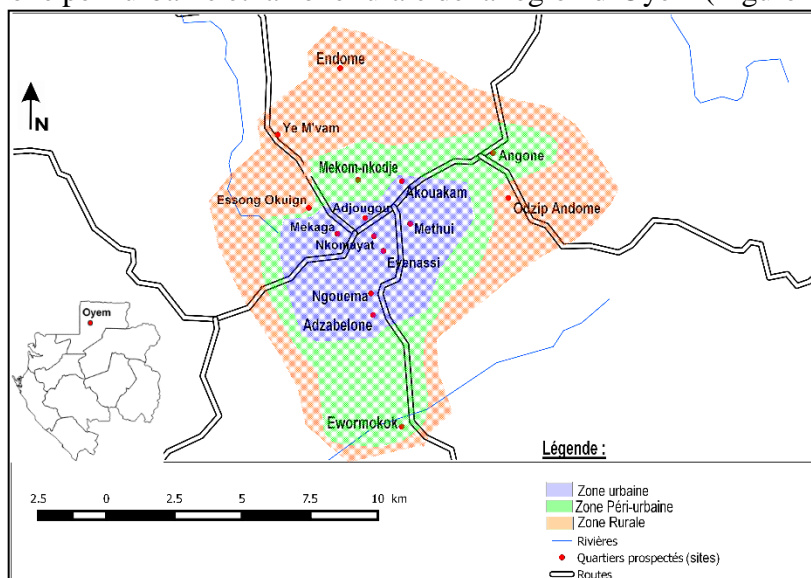


Figure 1: Carte montrant la région d'Oyem, les quartiers et villages d'étude (Obame, 2020)

Pour la zone urbaine, 8 quartiers (Akoakam, Methui, Mekaga, Ngouema, Eyehassi, Adzougou, Nkomayate et Adzabelone) ont été prospectés. Cette zone dépourvue de forêt et bien drainée, est caractérisée par une urbanisation anarchique de l'espace et l'occupation humaine des zones proches des marécages, des rivières ou des lacs. De plus, les murs des maisons sont essentiellement faits avec des briques, mais rarement, avec des planches ou tôles. Dans cette zone urbaine, on y trouve des maisons, quelques édifices de l'administration publique (gouvernorat, santé, agriculture, défense, etc.) et ceux des sociétés privées (banques, hôtels, agences de téléphonie, Société d'Eau et d'Energie, etc.). Près de 95% des résidents sont approvisionnés en eau potable par la Société d'Eau et d'Energie du Gabon (SEEG). Le ramassage des ordures ménagères dans la zone urbaine se fait dans les principaux carrefours de la ville et est à la charge de la mairie. Cependant, depuis quelques années, il n'est pas rare d'observer des retards de ramassage des immondices allant jusqu'à 2 semaines. Cette situation conjuguée au manque d'entretien des canalisations ont pour corollaires l'obturation des canaux d'évacuation des

eaux pluviales et la stagnation de ces eaux, qui favorisent la mise en place des gîtes de développement des moustiques vecteurs d'agents pathogènes responsables de multiples maladies.

Par contre, dans la zone péri-urbaine, 3 quartiers (Angone, Mekom-Nkodje et Ewormokok) ont été visités. Au sein de cette zone, les habitations humaines sont construites aussi bien avec des matériaux lourds (briques) que des matériaux légers (planches, tôles). Les administrations publiques et privées y sont très peu présentes. Seuls 50% des habitants reçoivent l'eau potable fournie par la SEEG. Le reste est contraint d'utiliser des sources d'eau naturelle et non traitée. Pour cela, l'eau puisée est stockée dans les récipients domestiques à l'intérieur ou à l'extérieur des maisons. Le ramassage des ordures fait par la mairie ne concerne pas cet espace géographique ; cela oblige les résidents à pratiquer l'assainissement individuel de leur environnement immédiat car la plupart des gens jettent les ordures derrière leurs maisons (à moins de dix mètres). En outre, cette zone est marquée par de forêts secondaires marécageuses exploitées par les populations pour la réalisation de l'agriculture paysanne (Nasr *et al.*, 1995 ; PRODIAG, 2012). C'est une zone bien drainée, avec un lac au quartier Ewormokok et de nombreuses rivières serpentant les forêts présentes. Ces conditions hydrologiques, le manque de canaux d'évacuation des eaux pluviales et la platitude du relief permettent le maintien des points d'eau propices au développement des insectes vecteurs.

Enfin, dans la zone rurale, 4 villages, notamment Andome-Odzip, Endome, Essong-Okuign et Ye'Mvam, ont été explorés. En milieu rural, les administrations publiques et privées sont complètement absentes. Les habitations sont majoritairement construites le long des routes avec des matériaux légers (planches, tôles et terre battue). En revanche, seul 1% des habitants bénéficie de l'eau potable fournie par la SEEG. Le reste des résidents (99%) s'alimentent en utilisant l'eau des pluies et les ressources hydriques souterraines provenant des pompes de l'hydraulique villageoise. Pour éviter de transporter l'eau tous les jours, les populations puisent et stockent l'eau dans les récipients domestiques (bidons, sceaux, bassines, futs, etc.). L'absence de canalisations des eaux usées oblige les résidents à faire l'assainissement individuel de leur milieu de vie. Cette zone est peuplée de forêts secondaires marécageuses où les populations font l'agriculture de type paysan (Nasr *et al.*, 1995 ; PRODIAG, 2012). Il y a aussi la présence des rivières telles que la rivière Nyè au village Essong-Okuign et la rivière Andome à Odzip-Andome.

1.3. Caractérisation des gîtes larvaires des moustiques

Au niveau de chaque quartier/village prospecté, tous les gîtes de développement des moustiques ont été explorés par observation directe. De

plus, les caractéristiques de ces gîtes, notamment la nature du gîte, l'origine, la positivité (présence de larves) et les genres de larves identifiées, ont été relevées (Koumba *et al.*, 2018c ; 2020). Par ailleurs, les coordonnées géographiques et le pH de tous les gîtes larvaires répertoriés ont été respectivement déterminés en utilisant le GPSMAP 64s et le pH-mètre de marque Hanna. Enfin, la profondeur du gîte et la distance de chaque gîte par rapport à la maison la plus proche, ont été déterminées grâce à un ruban métrique (Tia *et al.*, 2016).

1.4. Prospection larvaire et élevage des moustiques

Les prospections larvaires ont été menées dans les quartiers et les villages prospectés en 2020. Les différents gîtes larvaires de moustiques répertoriés ont été principalement les flaques, les récipients domestiques, les marécages, les rivières, les pneus, les lacs, les fosses septiques, les caniveaux et les briques. Cependant, les larves ont été collectées par la méthode de dipping (Talipouo *et al.*, 2017) dans ces gîtes et transportées au laboratoire dans des glacières. Ces larves ont été triées par genres et élevées dans des bacs d'élevage (Egbuche *et al.*, 2016). Par la suite, elles ont été nourries tous les jours avec des aliments pour poissons d'ornement (SERA Vipagran©) finement émiettée (Kone *et al.*, 2013). Après l'émergence, les moustiques adultes ont été nourris *ad libitum* avec une solution sucrée à 10% et identifiés morphologiquement sous loupe binoculaire en utilisant la clef d'identification des *Culicidae* d'Afrique centrale de Baldacchino & Paupy (2010) et celle des femelles d'anophèles d'Afrique tropicale de Coetzee (2020). Par la suite, ces adultes ont été utilisés pour les différents bioessais.

1.5. Etude de la sensibilité aux insecticides et identification des moustiques

Les données Les tests de sensibilité ont été réalisés selon la procédure recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017) en utilisant plusieurs insecticides dont le DDT 4%, la Deltaméthrine 0,05%, la Permethrine 0,75%, la Lambdacyalothrine 0,05%, la Cyfluthrine 0,15%, le Bendiocarb 0,1% et le Malathion 5% (Tableau 1, ci-après). Pour ces tests, nous avons utilisé les femelles des moustiques (F0) provenant du quartier Ngouema (zone urbaine), du quartier Ewormokok (zone péri-urbaine) et du village Odzip-Andome (zone rurale). A cet effet, 4 lots de 25 femelles adultes d'*An. gambiae*, non gorgées et âgées de 2 à 4 jours ont été exposés aux papiers imprégnés à chaque insecticide dans les tubes OMS pendant 60 minutes. En parallèle, un test identique a été exécuté avec des tubes témoins tapissés de papiers imprégnés d'huile d'olive (sans insecticide).

Tableau 1 : Insecticides utilisés pour les tests de sensibilité aux insecticides

Classes d'insecticides	Insecticides	Concentrations (%)
Organochlorés	DDT	4

Pyréthroïdes	Deltaméthrine	0,05
	Permethrine	0,75
	Lambdacyhalothrine	0,05
	Cyfluthrine	0,15
Carbamates	Bendiocarb	0,10
Organophosphorés	Malathion	5

Obame & Zinga, enquête de terrain (2020)

Les effets knock-down ont été relevés toutes les 5 minutes pendant les 20 premières minutes d'exposition des moustiques, puis toutes les 10 minutes jusqu'à la fin de la période d'exposition (60 minutes). De plus, 24 heures après l'exposition, on a enregistré le nombre de moustiques morts et ceux qui étaient vivants (Djogbenou *et al.*, 2011) ; cela a permis de calculer la mortalité post-exposition pour chaque lot. La validité des tests a été confirmée quand la mortalité des témoins est inférieure à 5%. Tous les tests de sensibilité ont été effectués dans des conditions de laboratoire suivantes : 26-29°C et 74-82% d'humidité relative.

Après les tests, tous les individus d'*Anopheles gambiae* testés provenant des quartiers et villages prospectés, ont été conditionnés en deux lots (les morts et les survivants) et conservés dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml contenant du silicagel en vue des analyses de biologie moléculaire (identification des espèces, recherche des gènes de résistance).

1.6. Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats des bioessais a été faite sur la base des critères définis par l'OMS (OMS, 2017). Ces recommandations stipulent que : si la mortalité est inférieure à 90 %, la population testée est résistante, si cette mortalité est supérieure à 98 %, la population testée est dite sensible et si cette mortalité est comprise entre 90% et 97%, alors la population testée présente une résistance probable (à confirmer).

1.7. Analyse des données

Les données obtenues ont été saisies dans le tableur Excel 2013 et analysées avec le logiciel Polo-Plus version 1.0 qui permet de déterminer les mortalités et les temps de knock-down 50% (KdT50) et 95% (KdT95). Par ailleurs, les taux de mortalité observés après 24 heures ont été calculés en divisant le nombre de moustiques morts par le nombre total de moustiques testés pour chaque insecticide. Enfin, l'indice de diversité de Margalef a été calculé pour déterminer la richesse spécifique relative aux Culicidae dans les zones urbaines, péri-urbaines et rurales selon la formule suivante : $D = (S-1) / \log N$; avec S : le nombre d'espèces et N : le nombre d'individus collectés.

2. Resultats

2.1. Répartition saisonnière des gîtes larvaires et distance aux habitations

Au cours Au total, 498 gîtes larvaires ont été identifiés au cours de cette étude. Près de 36 % (n=179) des gîtes ont été répertoriés en saison sèche et 64% (n=319) en saison des pluies. De plus, environ 53% (n= 264) de ces gîtes étaient d'origine anthropique et 47% (n=234) d'origine naturelle. La distance moyenne entre le gîte et la maison la plus proche, pour chaque zone prospectée était de 20,7 m.

2.2. Typologie des gîtes larvaires de moustiques

Au cours de cette étude, les gîtes identifiés étaient formés des récipients domestiques (seaux d'eau, bidons coupés, futs, pneus usés, bassines, etc.), des flaques d'eau, des lacs, des marécages, des rivières et des fosses septiques (Figures 3, 4, 5, 6, 7 & 8, ci-dessous). Le maximum de gîtes rencontrés était représenté par les flaques d'eau (n=210 ; 42,2%), suivis par les récipients domestiques (n=124 ; 24,9%) et les marécages (n=47 ; 9,4%). En revanche, le minimum des gîtes larvaires a été enregistré au niveau des rivières (n=8 ; 1,6%), suivies par les lacs (n=7 ; 1,4%), les caniveaux (n=7 ; 1,4%) et enfin, les fosses septiques (n=5 ; 1%) (Figure 2, ci-après). Globalement, la profondeur moyenne de l'eau des gîtes était de 0,028 m et leur pH moyen était de 7,09.

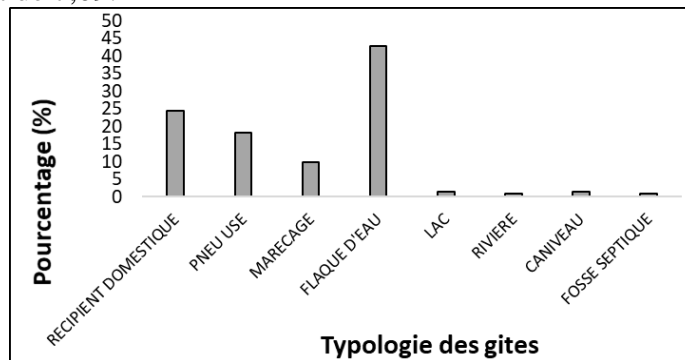


Figure 2: Répartition des gîtes larvaires des moustiques selon leur type



Figure 3 : Flaque d'eau



Figure 4 : Récipients domestiques



Figure 5 : Caniveau



Figure 6 : Lac



Figure 7 : Marécage



Figure 8 : Pneu

2.3. Répartition spatiale des gîtes par zone prospectée

Globalement, les flaques d'eau ont été les gîtes larvaires les mieux représentés aussi bien dans la zone urbaine (n=111 ; 42,2%) que dans les zones péri-urbaine (n=57 ; 45,96%) et rurale (n=42 ; 37,80%). Pour les récipients domestiques, ils ont augmenté de la zone urbaine (n=28 ; 10,65%) vers la zone péri-urbaine (n=36 ; 29,03%) pour atteindre leurs pics dans la zone rurale (n=60 ; 54,10%). Par contre, les pneus usés ont diminué de la zone urbaine (n=73 ; 27,76%) vers la zone péri-urbaine (n=17 ; 13,71%). Toutefois, une absence des pneus usés, des caniveaux et des fosses septiques a été relevée dans la zone rurale (Tableau 2, ci-après).

Tableau 2 : Répartition des gîtes larvaires selon les zones prospectées

	Zone urbaine		Zone péri-urbaine		Zone rurale	
	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
Récipients domestiques	28	10,65	36	29,03	60	54,10
Pneus	73	27,76	17	13,71	0	0
Marécages	32	12,17	9	7,26	6	5,40
Flaques d'eau	111	42,20	57	45,96	42	37,80
Lacs	4	1,52	3	2,42	0	0
Rivières	4	1,52	1	0,81	3	2,70
Caniveaux	7	2,66	0	0	0	0
Fosses septiques	4	1,52	1	0,81	0	0
Total	263	100	124	100	111	100

2.4. Répartition des gîtes positifs et négatifs selon les zones prospectées

Parmi les 498 gîtes répertoriés, 238 (48%) étaient positifs, c'est-à-dire avaient des larves de moustiques) et 260 (52%) étaient négatifs (Figure 9, ci-après). Les plus grands effectifs de gîtes positifs et négatifs ont été enregistrés dans la zone urbaine, avec respectivement 26,7% (n=133) et 27,1% (n=135). Cependant, les gîtes positifs ont été moins abondants dans la zone péri-urbaine (n=61 ; 12,2%) et la zone rurale (n=44 ; 8,8%). Enfin, le nombre de gîtes négatifs le plus faible a été observé dans la zone péri-urbaine (n=58 ; 11,6%).

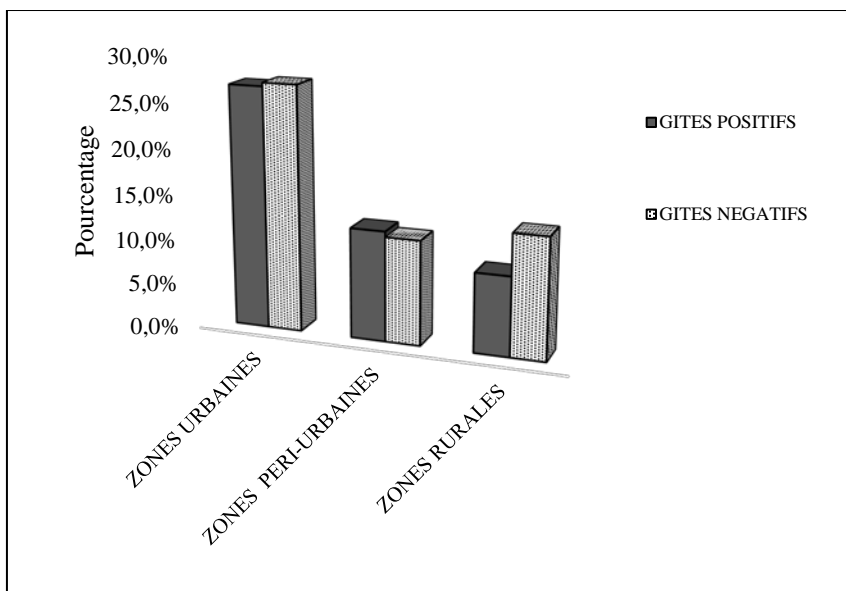


Figure 9: Pourcentage des gîtes positifs et négatifs identifiés selon les zones

Au niveau de la zone urbaine, ce sont les quartiers Ngouema, Akouakam et Adjougou qui ont présenté le maximum de gîtes larvaires positifs, avec des pourcentages respectifs de 26% (n=26), 25% (n=25) et 24% (n=24). Le quartier Methui a présenté le plus faible pourcentage de gîtes larvaires positifs prospectés (n=4 ; 3%). Les gîtes négatifs ont été plus abondants dans les quartiers Ngouema (n=29 ; 21,5%), Adzabelone (n=22 ; 16,3%) et Methui (n=20 ; 14,8%) tandis qu'au quartier Eyenassi, les gîtes négatifs ont été moins abondants (n=10 ; 7,4%).

Pour la zone péri-urbaine, le maximum de gîtes positifs a été enregistré dans le quartier Ewormokok avec un pourcentage de 55,7% (n=34) et le minimum dans le quartier Mekom Nkodje avec un pourcentage de 16,4% (n=10). Le plus grand nombre de gîtes négatifs a été observé dans le quartier Ewormokok (n=25 ; 43,1%) et le minimum dans le quartier Mekom-Nkodje (n=15 ; 5,9%).

En zone rurale, c'est le village Essong-Okuign qui a présenté le plus grand effectif de gîtes positifs avec un pourcentage de 45,5% (n=20), alors que le minimum de gîtes positifs a été enregistré dans les villages Endome et Ye'Mvam avec des pourcentages identiques de 15,9% (n=7). En revanche, le maximum de gîtes négatifs a été observé dans le village Andome Odzip (n=24 ; 100%) et le minimum dans le village Essong Okuign (n=11 ; 16,4%) (Tableau 3, ci-après).

Tableau 3 : Répartition des gîtes positifs et négatifs selon les quartiers et villages visités

ZONES	QUARTIERS/VILLAGES	GITES POSITIFS n ; (%)	GITES NEGATIFS n ; (%)
URBAINE	AKOAKAM	n=25 (18,8%)	n=11 (8,1%)
	METHUI	n=4 (3%)	n=20 (14,8%)
	MEKAGA	n=15 (11,3%)	n=14 (10,4%)
	NGOUEMA	n=26 (19,5%)	n=29 (21,5%)
	EYENASSI	n=15 (11,3%)	n=10 (7,4%)
	ADZOUGOU	n=24 (18%)	n=12 (8,9%)
	NKOMAYATE	n=12 (9%)	n=17 (12,6%)
	ADZABELONE	n=12 (9%)	n=22 (16,3%)
	TOTAL	N=133 (100%)	N=135 (100%)
PERI- URBAINE	ANGONE	n=17 (27,9%)	n=18 (31%)
	MEKOM NKODJE	n=10 (16,4%)	n=15 (25,9%)
	EWORMEKOK	n=34 (55,7%)	n=25 (43,1%)
	TOTAL	N=61 (100%)	N=58 (100%)
RURALE	ANDOME ODZIP	n=7 (100%)	n=24 (100%)
	ENDOME	n=10 (22,7%)	n=14 (20,9%)
	ESSONG - OKÜIGN	n=20 (45,5%)	n=11 (16,4%)
	YE'MVAM	n=7 (15,9%)	n=18 (26,9%)
	TOTAL	N=44 (100%)	N=67 (100%)
TOTAL DES GÎTES		N=238 (48%)	N=260 (52%)

n : nombre ; (%) : pourcentage.

2.5. Abondance des gîtes en fonction du genre de larves de moustiques

Au cours de ce travail, les gîtes de moustiques recensés étaient principalement des gîtes mixtes (n=331 ; 66,5%), les gîtes à *Culex* (n=104 ; 20,9%), les gîtes à *Anopheles* (n=38 ; 6,8%) et les gîtes à *Aedes* (n=25 ; 5%) (Figure 10, ci-après). Au total 21 217 larves (dont 33% en saison sèche et 67% en saison des pluies) ont été collectées au cours de cette étude (Figure 10, ci-après). Près de 59% de ces larves appartenaient au genre *Culex*, 35% au genre *Anopheles* et 9% au genre *Aedes*.

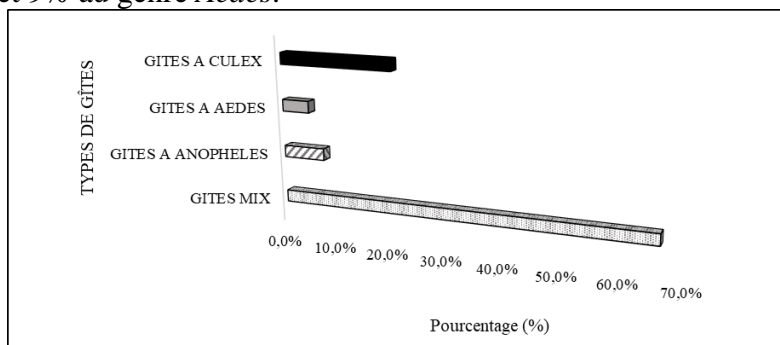


Figure 10 : Pourcentage des gîtes larvaires selon le genre de moustique identifié à Oyem

2.6. Répartition des larves de moustiques par zones prospectées

Dans la zone urbaine, les larves de *Culex* ont été les mieux représentées avec 84,9% (n=8320) alors que les larves d'*Aedes* ont les moins abondantes avec un taux de 4,5% (n=437). Par contre, au niveau de la zone péri-urbaine, les larves d'*Anopheles* ont été les plus nombreuses (64% ; n=4887) et les larves d'*Aedes* ont été peu abondantes avec 2,9% (n=223). Enfin, dans la zone rurale, ce sont les larves de *Culex* qui ont été les plus abondantes avec 45,3% (n=1746) tandis que les larves d'*Aedes* ont été peu fréquentes (12,7% ; n=490) (Tableau 4, ci-dessous).

Tableau 4 : Répartition des larves de moustiques selon les genres et les zones étudiées

	<i>Culex</i> n ; (%)	<i>Anopheles</i> n ; (%)	<i>Aedes</i> n ; (%)
ZONE URBAINE	n=8320 (84,9%)	n=1038 (10,6%)	n=437 (4,5%)
ZONE PERI-URBAINE	n=2460 (32,5%)	n=4887 (64,6%)	n=223 (2,9%)
ZONE RURALE	n=1746 (45,3%)	n=1616 (42%)	n=490 (12,7%)

n : nombre ; (%) : pourcentage

2.7. Répartition des larves de moustiques selon les types de gîtes

Les *Culicinae* (*Culex* et *Aedes*) ont été identifiés dans tous les gîtes larvaires prospectés excepté dans les rivières. En effet, ils ont été abondants

dans les gîtes d'origine anthropique dont les récipients domestiques, les pneus et les caniveaux. Les larves de *Culex* ont été plus important dans les récipients domestiques (n=3677 ; 17,3%), les pneus (n=3022 ; 14,2%), les caniveaux (n=2246 ; 10,6%) et les fosses septiques (n=1000 ; 4,7%).

Aucune larve d'*Anopheles* n'a été identifiée dans les pneus, et les caniveaux. Cependant, les larves de ce genre ont été plus nombreux dans les flaques d'eau ensoleillées et très peu ou non polluées avec un pourcentage de 32,5 % (n=6906). Par contre, les larves de *Culex* (n=1801 ; 8,7%) et d'*Aedes* (n=142 ; 0,7%) y ont été faiblement collectés (Figure 11, ci-dessous).

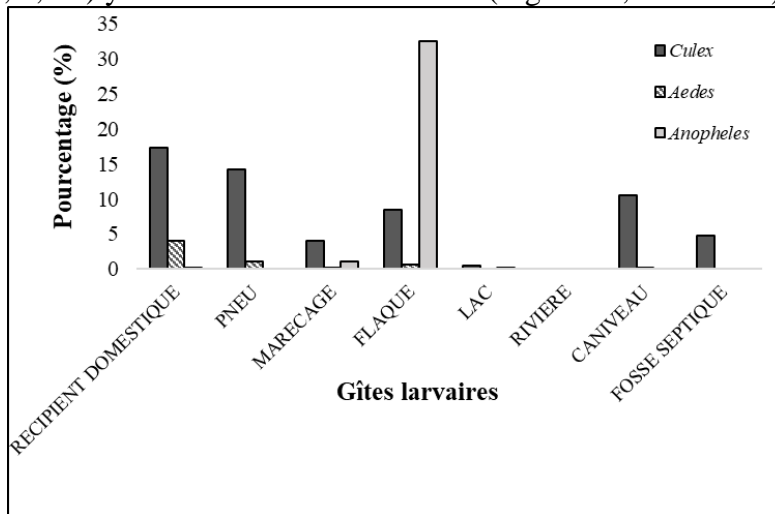


Figure 11 : Répartition des genres de larves selon la nature des gîtes

2.8. Richesse et abondance spécifiques des moustiques à Oyem

Au total, 10 610 moustiques adultes issus des larves collectées ont été identifiés. Ces moustiques appartenaient à sept (7) espèces réparties en trois (3) genres dont *Culex*, *Aedes* et *Anopheles*. Globalement, le genre *Culex* était représenté par 3 espèces, à savoir : *Culex quinquefasciatus*, *Culex poicilipes* et *Culex decens*. Par contre, le genre *Aedes* comprenait 2 espèces dont *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*. Le genre *Anopheles* a enregistré 2 espèces : *Anopheles gambiae s.l.* et *Anopheles moucheti* (Tableau 5, ci-après).

S'agissant de l'abondance spécifique des moustiques, *Culex quinquefasciatus* a été l'espèce la plus abondante avec 52,8%. Elle a été suivie par *Anopheles gambiae s.l.* (28,7%), *Culex poicilipes* (10,4%), *Aedes aegypti* (4,8%), *Aedes albopictus* (1,9%), *Culex decens* (1,2%) et *Anopheles moucheti* (0,2%) (Tableau 5, ci-après).

Tableau 5 : Abondance des espèces de moustiques après élevage dans la région d'Oyem

Espèces de moustiques	Effectif total	Pourcentage
-----------------------	----------------	-------------

<i>Culex quinquefasciatus</i>	5601	52,8%
<i>Culex poicilipes</i>	1103	10,4%
<i>Culex decens</i>	124	1,2%
<i>Aedes aegypti</i>	510	4,8%
<i>Aedes albopictus</i>	203	1,9%
<i>Anopheles gambiae s.l.</i>	3046	28,7%
<i>Anopheles moucheti</i>	23	0,2%

2.9. Abondance spécifique des moustiques selon les zones prospectées à Oyem

Dans la zone urbaine, *Cx. quinquefasciatus* a été l'espèce la plus abondante suivie de *Cx. poicilipes*. Les autres espèces de moustiques ont été faiblement représentées (Tableau 6, ci-dessous). De plus, *An. moucheti* n'a pas été collecté dans cette zone d'étude.

Dans la zone péri-urbaine et la zone rurale, c'est *An. gambiae s.l.* qui a été l'espèce la plus abondante. Toutefois, *Cx. quinquefasciatus* a été la deuxième espèce la plus fréquente en zone péri-urbaine. En outre, *An. moucheti* n'a été récolté qu'en zone rurale (Tableau 6, ci-dessous). Le maximum d'espèces a été récolté dans la zone rurale et le minimum dans les deux autres zones prospectées. L'indice de Margalef qui permet de mesurer la richesse spécifique a été de 1,3 en zone urbaine, de 1,4 en zone péri-urbaine et de 1,9 en zone rurale.

Tableau 6 : Abondance spécifique des moustiques selon les zones prospectées

ESPECES	ZONES URBAINES n ; (%)	ZONES PERI URBAINE n ; (%)	ZONES RURALES n ; (%)
<i>Cx. quinquefasciatus</i>	n=4203 (75,5%)	n=1197 (32,8%)	n=201 (14,4%)
<i>Cx. poicilipes</i>	n= 923 (16,6%)	n=120 (3,3%)	n=60 (4,3%)
<i>Cx. decens</i>	n=56 (1%)	n=30 (0,8%)	n=38 (2,7%)
<i>Ae. aegypti</i>	n=150 (2,7%)	n=130 (3,8%)	n=230 (16,5%)
<i>Ae. albopictus</i>	n=30 (0,5%)	n=31 (0,8%)	n=142 (10,2%)
<i>An. gambiae s.l.</i>	n=203 (3,6%)	n=2140 (58,7%)	n=703 (50,3%)
<i>An. moucheti</i>	0	0	n=23 (1,6%)

Total	n=5565 (100%)	n=3648 (100%)	n=1397 (100%)
Indice de Margalef	1,3	1,4	1,9

n : nombre ; (%) : pourcentage

2.10. Sensibilité des populations naturelles d'anophèles dans la région d'Oyem

Un total de 1680 femelles d'*Anopheles gambiae* s.l. sauvages âgées de 2 à 4 jours a été testé aux insecticides. Aucune correction des taux de mortalité n'a été faite par la formule d'Abbott car les taux de mortalité observés chez les témoins étaient inférieurs à 5 %. Les taux de mortalité obtenus chez les anophèles collectés dans les zones urbaine, péri-urbaine et rurale ont varié entre 3% et 25% avec le DDT 4%. Cela implique que ces vecteurs présentent une forte résistance au DDT 4% dans les trois zones prospectées. En revanche, les taux de mortalité enregistrés chez les anophèles ont été globalement inférieurs à 94% avec les Pyréthriinoïdes (Deltaméthrine 0,05%, Permethrine 0,75%, Lambdacyalothrine 0,05% et Cyfluthrine 0,15%). Ces moustiques sont donc résistants à ces Pyréthriinoïdes. La Deltaméthrine 0,05% est le Pyréthriinoïde qui a présenté le taux de mortalité le plus élevé aussi bien en zone urbaine (70%), péri-urbaine (75%) qu'en zone rurale (93%) (Tableau 7, ci-après). Toutefois, en présence des Carbamates (Bendiocarb 0,1%) et Organophosphorés (Malathion 5%), les anophèles testés ont été sensibles avec des taux de mortalité de 100% (Tableau 7, ci-après).

2.11. Effet Knock-Down (Kd) des insecticides sur les populations d'anophèles d'Oyem

Au niveau des zones urbaine et rurale, en présence du DDT 4%, les anophèles testés ont présenté des KdT50 et KdT95 supérieurs à 60 minutes (> 1 h). Par contre, aucun KdT n'a été enregistré chez les moustiques de la zone péri-urbaine. Par ailleurs, avec la Deltaméthrine les KdT50 de 35,499 min, 39,892 min et 43,284 min ont été obtenus respectivement chez les anophèles des zones urbaine, péri-urbaine et rurale. Or, ses KdT95 ont été supérieurs à 60 minutes dans les trois zones prospectées. Avec la Permethrine 0,05%, les KdT50 ont été de 50,495 min et 33,503 min respectivement dans la zone urbaine et la zone rurale. Mais, les KdT95 dans ces zones ont été supérieurs à 60 min pour cet insecticide. Cependant, dans la zone péri-urbaine, les KdT50 et KdT95 pour cet insecticide ont été supérieurs à 60 minutes. Avec la Lambdacyalothrine 0,05% et la Cyfluthrine 0,15%, des KdT50 et KdT90 supérieurs à 60 minutes ont été relevés dans les zones urbaine, péri-urbaine et rurale. Après lecture des KdT50 et KdT95, il ressort que la Deltaméthrine

0,05% a été le seul insecticide qui a assommé plus de 50% de la population d'*An. gambiae* s.l. de la région d'Oyem en moins de 1 h d'exposition (Tableau 8, ci-après).

Tableau 7 : Mortalité et statut de sensibilité des anophèles aux insecticides

INSECTICIDES	Effectifs	ZONE URBAINE		ZONE PERI-URBAINE		ZONE RURALE	
		Mortalité (%) après 24h	Statut	Mortalité (%) après 24h	Statut	Mortalité (%) après 24h	Statut
DDT 4%	80	15	Résistant	3	Résistant	25	Résistant
Deltaméthrine 0,05%	80	70	Résistant	75	Résistant	93	Résistant
Permethrine 0,75%	80	53	Résistant	53	Résistant	63	Résistant
Lambda-cyhalothrine 0,05%	80	48	Résistant	35	Résistant	18	Résistant
Cyfluthrine 0,15%	80	35	Résistant	30	Résistant	43	Résistant
Bendiocarb 0,1%	80	100	Sensible	100	Sensible	100	Sensible
Malathion 5%	80	100	Sensible	100	Sensible	100	Sensible

Tableau 8 : Effet Knock-down (Kd)

INSECTICID ES	ZONE URBAINE		ZONE PERI-URBAINE		ZONE RURALE	
	KdT 50 (IC)	KdT95 (IC)	KdT 50 (IC)	KdT95 (IC)	KdT 50 (IC)	KdT95 (IC)
DDT 4%	109,155 (82,734-179,074)	537,212 (285,262-1750,958)	No KD	No KD	156,442 (90,807-882,561)	962,636 (302,238-45955,258)
Deltamethrine 0,05%	35,499 (30,451-42,521)	140,517 (99,372-246,583)	39,892 (32,859-51,759)	147,898 (95,570-356,111)	43,284 (37,494-52,035)	156 (110,556-275,089)
Permethrine 0,75%	50,495 (40,598-71,563)	208,942 (123,848 - 617,134)	990,926 (272,410-64216,146)	114313,628 (6141,8-1702411947,01)	33,503 (31,010-36,302)	96,286 (81,866-119,156)
Lambda-cyhalothrine 0,05%	185,929 (114,320-565,855)	1242,116 (448,038-13655,929)	104,199 (79,389-166,045)	598,718 (314,483-1904,216)	200,851 (92,195-4218,579)	3419,643 (555,032-6162043,892)
Cyfluthrine 0,15%	68,064 (57,525-86,758)	332,365 (215,329 - 656,624)	152,814 (88,462-646,224)	1443,241 (418,009-45643,528)	60,478 (52,539-73,274)	257,963 (179,676-444,893)

3. Discussion

Cette étude a permis de recenser 498 gîtes larvaires dans la région d'Oyem dont 264 gîtes anthropiques et 234 naturels. Il ressort que les gîtes artificiels (seaux d'eau, bidons coupés, futs, pneus usés, bassines, fosses septiques) liés aux activités humaines sont très abondants et proches des maisons. Cette abondance des gîtes artificiels a été déjà signalée par Koumba *et al.* (2018c) dans la région de Mouila au sud du Gabon et Djegbe *et al.* (2019) au Département de l'Atlantique au sud du Bénin. Cette situation pourrait être

liée au non-respect des mesures d'hygiène appropriées dans les zones prospectées, à l'absence d'assainissement dans l'environnement immédiat des populations ou à l'urbanisation mal contrôlée (Hayett *et al.*, 2012 ; Akono Ntonga *et al.*, 2018 ; Koumba *et al.*, 2018c ; Mahamane Iro *et al.*, 2020). En outre, au cours de cette étude, on a enregistré une abondance des flaques d'eau relativement aux autres gîtes larvaires. En effet, les flaques d'eau ont été majoritaires en zones péri-urbaines et ont été suivies des récipients domestiques. La distance moyenne de ces gîtes larvaires par rapport aux maisons les plus proches a été inférieure à 400 m. Ces résultats ont été aussi observés à Mouila au sud du Gabon (Koumba *et al.*, 2018c), dans le littoral du Cameroun (Mbida Mbida *et al.*, 2017) et à Niamey au Niger (Mahamane Iro *et al.*, 2020). Ces observations mettent en relief le rôle des populations humaines de la zone d'Oyem dans la profusion des moustiques via la mise en place et le maintien de leurs gîtes larvaires. D'ailleurs, au Burkina Faso, Dambach *et al.* (2009) ont rapporté une proximité entre les sites de ponte des moustiques et les habitations. De leur côté, Koné *et al.* (2013) en Côte d'Ivoire et Koumba *et al.* (2020) à Mouila au Gabon ont trouvé des résultats similaires. Cette situation pourrait représenter un danger pour les populations humaines environnantes.

Chez certains gîtes identifiés, dont les pneus usés, les effectifs décroissent des zones urbaines vers les zones péri-urbaines. Cependant, dans la zone rurale, il y a une absence totale de ces pneus usés. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait qu'en milieu urbain, l'urbanisation est mal contrôlée et les mesures d'hygiène utilisées sont inappropriées.

En revanche, le nombre de récipients domestiques croît des zones urbaines vers les zones rurales, en passant par les zones péri-urbaines. Cela pourrait s'expliquer par les difficultés d'accès à l'eau potable en zones péri-urbaine et rurale et aux habitudes de conservation des eaux pluviales par les populations. Le plus souvent les récipients utilisés pour recueillir et garder l'eau sont non couverts. A cet effet, il est impérieux d'inciter les populations à un changement de comportement et à l'assainissement de leur environnement.

Au total, trois genres de moustiques dont *Culex*, *Aedes* et *Anopheles* ont été identifiés. On a noté une prédominance de *Culicinae* (*Culex* et *Aedes*) en zones urbaines et une abondance du genre *Anopheles* en zones péri-urbaine et rurale. La prédominance des *Culicinae* en zones urbaines est la conséquence d'une urbanisation qui s'accompagne de la pollution des collections d'eau par les déchets ménagers favorables à la prolifération des larves de *Culicinae*. (Himmi, 2007 ; Kbibch *et al.*, 2012). En Algérie, Korba *et al.* (2016) ont montré que les *Culicinae* présentent de fortes capacités d'adaptation leur permettant de se développer dans plusieurs types d'habitats comme les gîtes

pollués. Toutefois, l'abondance du genre *Anopheles* en zones péri-urbaine et rurale serait la conséquence du caractère peu pollué des gîtes larvaires de ces milieux (Mbida Mbida *et al.*, 2016). D'ailleurs, Kamdem *et al.* (2012) et Akono Ntonga *et al.* (2018) ont observé en milieux péri-urbain et rural camerounais que les gîtes colonisés par la faune anophélienne sont majoritairement constitués de flaques d'eau ensoleillées et peu polluées.

Ce travail a permis de révéler la présence de sept (7) espèces de moustiques dans la zone d'étude dont *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. poicilipes*, *Cx. decens*, *Ae. Aegypti*, *Ae. albopictus*, *An. gambiae* s.l. et *An. moucheti*. D'une manière générale, *Cx. quinquefasciatus* a été l'espèce la plus abondante dans toutes les trois zones, suivie d'*An. gambiae* s.l. Cette espèce a été trouvée avec un effectif élevé dans les gîtes artificiels (récipients domestiques, pneus, caniveaux, fosses septiques). Elle a été trouvée aussi en faible quantité dans les gîtes naturels (flaques d'eau). Cela montre sa préférence pour les gîtes anthropiques. Selon Baldet (1995) et Akono Ntonga *et al.* (2018), *Cx. quinquefasciatus* s'adapte mieux aux conditions environnementales qu'offrent la plupart des villes africaines. Mais, pour Almeida *et al.* (2020), les milieux anthropiques offrent des conditions favorables à certaines espèces. La faiblesse des effectifs des autres espèces serait probablement liée à l'assèchement de certains gîtes temporaires, ce qui a diminué le nombre de collectes, mais aussi, aux pluies qui ont occasionné le lessivage de diverses larves.

S'agissant de *Cx. poicilipes*, le maximum de ses individus a été récolté en zone urbaine, tandis que le minimum a été observé en zone rurale. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait qu'en milieu urbanisé, les gîtes larvaires où cette espèce a été collectée étaient très pollués. D'après Muturi *et al.* (2007), les larves de *Cx. poicilipes* affectionnent les gîtes de type marais herbeux y compris ceux pollués. Par ailleurs, la présence de cette espèce dans les autres milieux met en exergue sa grande plasticité (Cléments, 1963). Par ailleurs, les individus d'*Anopheles gambiae* s.l. ont été très abondants en zones péri-urbaine et rurale. Cela pourrait être liée au fait que cette espèce de moustique préfère les gîtes ensoleillés (ici les flaques d'eau). En Afrique, plusieurs études ont rapporté que les gîtes larvaires à *Anopheles* sont les flaques d'eau ensoleillées et peu polluées (Carnevale & Robert, 2009 ; Zogo *et al.*, 2019).

Les populations d'*Anopheles gambiae* s.l. provenant des zones urbaine, péri-urbaine et rurale d'Oyem ont montré des résistances aux Organochlorés (DDT4%) et Pyréthriinoïdes (Deltaméthrine 0,05%, Perméthrine 0,75%, Lambdacyalothrine 0,05%, Cyfluthrine 0,15%) avec des taux de mortalité variables suivant l'insecticide. La forte résistance au DDT

observée chez les populations d'*Anopheles gambiae* s.l. en zone péri-urbaine pourrait être liée, d'une part à l'utilisation massive d'insecticides par les agriculteurs et de celle du DDT en aspersions intra-domiciliaires lors des campagnes de lutte antivectorielle lancées en Afrique subsaharienne dans les années 1950 et 1980 (Carnevale & Mouchet, 2001). En effet, *An. gambiae*, vecteur majeur du paludisme en Afrique, est apparu résistant aux insecticides pour la première fois en 1954 au Nigeria, après les aspersions intra-domiciliaires de Dieldrine et le phénomène s'est rapidement généralisé dans tout le continent (Etang & Simard, 2002).

Par ailleurs, la résistance aux Pyréthriinoïdes observée chez les anophèles au cours de cette étude pourrait être due à l'utilisation massive de moustiquaires imprégnées à la Deltaméthrine par les ménages dans la plupart des localités du pays (FONDS MONDIAL, 2008). De plus, on a noté en zones péri-urbaine et rurale, l'utilisation des Pyréthriinoïdes (Deltaméthrine, Lambdacyalothrine) pour la protection des champs contre les insectes ravageurs. En effet, l'usage massif des Pyréthriinoïdes contre les ravageurs de culture à partir de 1970, puis leur utilisation domestique contre les moustiques à partir de 1980 (sprays, MII), a pu contribuer à la sélection de cette résistance. Cette problématique de résistance des vecteurs aux Pyréthriinoïdes est généralisée dans l'ensemble des pays littoraux de l'ouest et du centre de l'Afrique (Antonio-Nkondjio *et al.*, 2015). Cette résistance d'*An. gambiae* s.l. au DDT 4% et aux Pyréthriinoïdes a été aussi observée au Cameroun (Etang & Simard, 2002 ; Antonio-Nkondjio *et al.*, 2017), en République Démocratique du Congo (N'Do *et al.*, 2021) et en République Centrafricaine (Kamgang *et al.*, 2018).

Cependant, une sensibilité au Bendiocarb 0,1% et au Malathion 5% (mortalité = 100%) a été observée chez les populations d'*An. gambiae* s.l. issues des zones urbaines, péri-urbaines et rurales. La sensibilité de ces moustiques à ces deux insecticides pourrait être liée au fait que les Organophosphorés et les Carbamates sont encore très peu utilisés dans la lutte contre les ravageurs de culture dans la zone d'Oyem. Dans les zones agricoles de Mouila (Gabon), Koumba *et al.* (2018a) ont rapporté la sensibilité au Bendiocarb 0,1% et au Malathion 5% (mortalité = 100%) chez les populations d'*An. gambiae* s.l. issues de cette région où de nombreux insecticides agricoles sont utilisés pour la protection des végétaux.

Conclusion

Cette étude a permis d'identifier 7 espèces de moustiques regroupées en 3 genres et colonisant les différents gîtes larvaires artificiels et naturels des zones urbaines, péri-urbaines et rurales de la ville d'Oyem au nord du Gabon.

De même, il ressort de ce travail que la zone d'Oyem abrite des espèces de moustiques vecteurs potentiels de maladies à transmission vectorielle dont *Culex quinquefasciatus* et *Anopheles gambiae* s.l. Les populations d'*An. gambiae* s.l. sont résistantes aux insecticides couramment utilisés en santé publique, exceptés le Bendiocarb et le Malathion qui restent encore efficaces. Toutefois, des analyses moléculaires des échantillons de moustiques sont requises afin de rechercher les gènes responsables des résistances phénotypiques observées via les bioessais réalisés sur le terrain.

References:

1. Akono Ntonga, P., Mbida Mbida, A., Awono Ambene, P., Youmbi Enga, L., Kayoum, Y. A., & Kekeunou, S. (2018). *Habitats larvaires et sensibilité des vecteurs du paludisme aux insecticides dans des localités (semi-urbaine et rurale) de la région du littoral camerounais : Données préliminaires*. Revue d'Ecologie (Terre Vie), 73 (2), 132-141.
2. Almeida, J. F., Belchior, H. C. M., Rios-Velasquez, C. M., & PESSOA, F. A. C. (2020). *Diversity of mosquitoes (Diptera: Culicidae) collected in different types of larvitrap in an amazon rural settlement*. Plos One, 15 (10), 1-15.
3. Antonio-Nkondjio, C., Tene Fossog, B., Kopya, E., Poumachu, Y., Menze, B., Ndo, C., Tchuinkam, T., Awono-Ambene, P., & Wondji, C. S. (2015). *Rapid evolution of pyrethroid resistance prevalence in Anopheles gambiae populations from the cities of Douala and Yaoundé (Cameroon)*. Malaria Journal, 14, 155.
4. Antonio-Nkondjio, C., Sonhafouo-Chiana, N., Ngadjeu, C. S., Doumbe-Belisse, P., Talipouo, A., Djamouko-Djonkam, L., Kopya, E., Bamou, R., Awono-Ambene, P., & Wondji, C. S. (2017). *Review of the evolution of insecticide resistance in main malaria vectors in Cameroon from 1990 to 2017*. Parasites & Vectors, 10, 472-486.
5. Baldacchino, F., & Paupy, C. (2010). *Clé de détermination des Culicidae présents en Afrique Centrale et au Gabon*. Document de travail, IRD/CIRMF, 108p.
6. Baldet, T. (1995). *Étude comparative de deux stratégies de lutte contre Culex quinquefasciatus Say, 1823 par Bacillus sphaericus Neide, 1904 dans la ville de Maroua (Nord-Cameroun)*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, France, 376p.
7. Carnevale, P., & Mouchet, J. (2001). *La lutte antivectorielle au Cameroun, Passé, présent et avenir : Réflexions*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 94, 202-9.

8. Carnevale, P., & Robert, V. (2009). *Les anophèles : biologie, transmission du plasmodium et lutte antivectorielle*. Didactiques, Marseille.
9. Clements, A. (1963). *The physiology of mosquitoes*. Pergamon Press, Oxford & New York.
10. Coetzee, M. (2020). *Key to the females of Afrotropical Anopheles mosquitoes (Diptera: Culicidae)*. *Malaria Journal*, 19, 70, <https://doi.org/10.1186/s12936-020-3144-9>. Licence CC BY 4.0.
11. Dambach, P., Sie, A., Lacaux, J. P., Vignolles, C., Machault, V., & Sauerborn, R. (2009). *Using high spatial resolution remote sensing for risk mapping of malaria occurrence in the Nouna district, Burkina Faso*. *Global Health Action*, 2 (0) (2009) 1-7. DOI: 10.3402/gha.v2i0.2094.
12. DGS-RGPL (Direction Générale de la Statistique du Gabon-Recensement Général de la Population et des Logements) (2015), *Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 « RGPL » du Gabon*. Ministère de l'Economie, de la Promotion des Investissements et de la Prospective, Libreville, Gabon, 247p.
13. Djegbe, I., Toponon, T. F., Gbankoto, A., Tchigossou, G., Djossou-Hessou, D., Dossou, C., Yessoufou, A., Akogbéto, M., Djogbénou, L., & Djouaka, R. (2019). *Typologie des gîtes larvaires et résistance des vecteurs du paludisme à la deltaméthrine dans les milieux urbain et rural du Département de l'Atlantique au Sud du Bénin: Données préliminaires*. *European Scientific Journal*, 15 (33), 171-191.
14. Djogbenou, L., Pasteur, N., Akogbetto, M., Weill, M., & Chandre, F. (2011). *Insecticide resistance in the Anopheles gambiae complex in Benin: a nationwide survey*. *Medical and Veterinary Entomology*, 25, 256–267.
15. Duvallet, G., Fontenille, D., & Robert, V. (2017). *Entomologie médicale et vétérinaire*. IRD Editions, Editions Quae, Marseille, Versailles, 688p.
16. Egbuche, C. M., Ezihe, C. K., Aribodor, D. N., & Ukonze, C. B. (2016). *Survey of mosquitoes in open and closed larval habitats in Aguleri, Anambra East Local Government Area of Anambra State, South Eastern Nigeria*. *Journal of Mosquito Research*, 6 (17), 1-5.
17. Etang, J., & Simard, F. (2002). *Résistance d'Anopheles gambiae s.l. aux insecticides*. In : *Résistance des insectes aux insecticides en Afrique de l'ouest et du centre*. Actes de l'atelier, 06- 07 mars 2002, Maroua, Cameroun: Volume 1 : résumés et recommandations, Volume 2 : communications et présentations, Brévault Thierry (ed.), Nibouche Samuel (ed.), CIRAD, PRASAC, IRAD.
18. FONDS MONDIAL (2008). *Evaluation finale Quatrième Round de lutte contre le Sida, la Tuberculose et le Paludisme « Composante Paludisme » Gabon*. Fonds Mondial, 44p.

19. Hayett, B., Fouzia, D., & Noureddine, S. (2012). *Étude systématique et écologique des moustiques (Diptera: Culicidae) dans la région de Tébessa (Algérie)*. Entomologie Faunistique, 65, 99-103.
20. Himmi, O. (2007). *Les culicidés (Insectes, diptères) du Maroc : Systématique, écologie et études épidémiologiques pilotes*. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohamed V, Maroc, 363p.
21. Imboumy-Limoukou, R. K., Maghendji-Nzondo, S., Sir-Ondo-Enguier, P. N., Niemczura De Carvalho, J., Tsafack-Tegomo, N. P., Buekens, J., Okouga, A. P., Mouinga-Ondeme, A., Kwedy Nolna, S., & Lekana-Douki, J. B. (2020). *Malaria in children and women of childbearing age: infection prevalence, knowledge and use of malaria prevention tools in the province of Nyanga, Gabon*. Malaria Journal, 19, 387-394.
22. Kamdem, C., Tene Fossog, B., & Simard, F. (2012). *Anthropogenic habitat disturbance and ecological divergence between incipient species of the malaria mosquito Anopheles gambiae*. PLoS One, 7(6), e39453.
23. Kamgang, B., Tchapgá, W., Ngoagouni, C., Sangbakembi- Ngounou, C., Wondji, M., Riveron, J. M., & Wondji, C. S. (2018). *Exploring insecticide resistance mechanisms in three major malaria vectors from Bangui in Central African Republic*. Pathogens and Global Health, 112 (7), 349–359.
24. Kbibch, A., Elkharim, K., & Elkhokh, K. (2012). *Etude de l'impact des eaux usées de la ville de Souk el Arbaa sur la prolifération des moustiques (Culex pipiens)*. Science Lib, 4, 120603.
25. Kone, A. B., Konan, Y. L., Coulibaly, Z. I., Fofana, D., Guindo-Coulibaly, N., Diallo, M., Doannio, J. M. C., Ekra, K. D., & Odehouri-Koudou, P. (2013). *Evaluation entomologique du risque d'épidémie urbaine de fièvre jaune survenue en 2008 dans le district d'Abidjan, Côte d'Ivoire*. Médecine et Santé Tropicales, 23(1), 66-71. <https://doi.org/10.1684/mst.2013.0153>.
26. Korba, R. A., Alayat, M. S., Bouiba, L., Boudrissa, A., Bouslama, Z., Boukraa, S., Francis, F., Failloux, A. B., & Boubidi, S. C. (2016). *Ecological differentiation of members of the Culex pipiens complex, potential vectors of West Nile virus and Rift Valley fever virus in Algeria*. Parasites & Vectors, 9, 455-465. DOI: 10.1186/s13071-016-1725-9.
27. Koumba, A. A., Zinga Koumba, C. R., Mintsá Nguema, R., Djogbenou, L. S., Comlan, P., Gneingui, M. P., Ketoh, G. K., M'batchi, B., & Mavoungou, J. F. (2018b). *Détermination de la sensibilité d'Anopheles gambiae s.l. à quelques pyréthriñoïdes dans les zones élaéicoles à Mouila (Gabon)*. International Journal of Innovation and Scientific Research, 39(2), 110-119.

28. Koumba, A. A., Zinga Koumba, C. R., Mintsa Nguema, R., Obame Ondo, P., Bibang Bengono, G., Comlan, P., Ketoh, G. K., Djogbenou, L. S., Faye, O., M'batchi, B., & Mavoungou, J. F. (2018a). *Susceptibilité d'Anopheles gambiae s.s. et An. coluzzii aux organophosphorés et aux carbamates en zones d'exploitation industrielle de palmiers à huile à Mouila, Gabon*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 111, 176-182.
29. Koumba, A. A., Zinga-Koumba, C. R., Mintsa-Nguema, R., Ketoh, G. K., Djogbenou, L. S., & Mavoungou, J. F. (2020). *Identification et caractérisation des gîtes larvaires des moustiques en saison sèche à la périphérie de la ville de Mouila, Sud du Gabon*. Afrique SCIENCE, 16(2), 192-205.
30. Koumba, A. A., Zinga-Koumba, C. R., Mintsa-Nguema, R., Djogbenou, L. S., Obame Ondo, P., Ketoh, G. K., Comlan, P., M'batchi, B., & Mavoungou, J. F. (2018c). *Distribution spatiale et saisonnière des gîtes larvaires des moustiques dans les espaces agricoles de la zone de Mouila, Gabon*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12(4), 1754-1769.
31. Mahamane Iro, S., Alpha Seydou, Y., & Doumma, A. (2020). *Mesures des indicateurs de prolifération des larves de moustiques au niveau des mares permanentes et semi permanentes de Saga, Niger*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 14(4), 1188-1202.
32. Mbida Mbida, A., Etang, J., Akono Ntonga, P., Eboumbou Moukoko, C., Awono-Ambene, P., Tagne, D., Talipouo, A., Ekoko, W., Binyang, J., Tchoffo, R., Lehman, G., Mimpfoundi, R. (2017). *Nouvel aperçu sur l'écologie larvaire d'Anopheles coluzzii Coetzee et Wilkerson, 2013 dans l'estuaire du Wouri, Littoral-Cameroun*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 110, 92-101.
33. MDDEPIP (2015). *Notice d'impact environnemental et social (NIES) du projet concernant les travaux de pavage de 1800 mètres de voirie urbaine dans le quartier Nkomoyat (Oyem)*. Rapport final du Projet de Développement des Infrastructures Locales, Ministère du Développement Durable, de l'Economie de la Promotion des Investissements et de la Prospective, 74p.
34. MINSANTE-SNIS (2018). *Carte sanitaire 2017*. Ministère de la Santé de la République Gabonaise, Libreville, Gabon, 215p.
35. Mourou, J. R., Coffinet, T., Jarjaval, F., Pradines, B., Amalvict, R., Rogier, C., Kombila, M., & Pages, F. (2010). *Malaria transmission and insecticide resistance of Anopheles gambiae in Libreville and Port-Gentil, Gabon*. Malaria Journal, 9(32), 1-8.

36. Muturi, E., Shililu, J., Gu, W., Jacob, B., Githure, J., & Novak, R. (2007). *Larval habitat dynamics and diversity of Culex mosquitoes in rice agro-ecosystem in Mwea, Kenya*. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 76, 95-102.
37. N'do, S., Bandibabone, J. B., Soma, D. D., Musaka, B. Z., Prudhomme, J., Habamungu, C. C., Namountougou, M., Sangare, I., Kientega, M., Kabore, D. A. P., Bayili, K., Yerbanga, R. S., Diabate, A., Dabire, R. K., Ouedraogo, J. B., Belem, A. M. G., Boëte, C., Guardiola-Claramonte, M., & Chimanuka B. (2021). *Insecticide resistance profiles in malaria vector populations from Sud-Kivu in the Democratic Republic of the Congo*. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 0, 1–6.
38. Nasr, N., Delpech, B., Flitner, N., Hulshof, M., Torreilles, J. C., & Twagiramungu, F. (1995). *Quelle agriculture vivrière pour le nord du Gabon?* Agriculture et développement, N.8.
39. Obame Ondo Kutomy, P., Zinga Koumba, C. R., Mbang Nguema, O. A., Sembene, P. M., & Mavoungou, J. F. (2014). *Inventaire des mouches hématophages dans les élevages bovins, ovins et porcins à Oyem (Nord Gabon)*. Afrique SCIENCE, 10(2), 373–381.
40. OMS (2017). *Procédure pour tester la résistance aux insecticides chez les moustiques vecteurs du paludisme, seconde édition*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 48p.
41. Pinto, J., Lynd, A., Elissa, N., Donnelly, M. J., Costa, C., Gentile, G., Caccone, A., & Do Rosario, V. E. (2006). *Co-occurrence of East and West kdr mutations suggests high levels of resistance to pyrethroid insecticides in Anopheles gambiae from Libreville, Gabon*. Medical and Veterinary Entomology, 20, 27-32.
42. PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) (2009). *Programme ART GOLD GABON, Document de Marketing-Province du Woleu-Ntem*, 60p.
43. PRODIAG (2012). *Projet de Développement et d'Investissement Agricole au Gabon*, 76p.
44. Talipouo, A., Ntonga Akono, P., Tagne, D., Mbida Mbida, A., Etang, J., Tchoffo Fobasso, R., Ekoko, W., Binyang, J., & Dongmo, A. (2017). *Comparative study of Culicidae biodiversity of Manoka island and Youpwe mainland area, Littoral, Cameroon*. International Journal of Biosciences, 10(4), 9-18.
45. Tia, E., Konan, K. G., Ouassa, B. A. M., Moussa, K., Tea, S. A. R., Koffi, B., & Kadjo, K. (2016). *Evaluation au laboratoire de l'efficacité de la peinture insecticide acrylique titan® contre Anopheles gambiae, vecteur*

- majeur du paludisme en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, 12(12), 309-321.
46. WHO (2016). *World malaria report 2016*. World Health Organization, Geneva, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 186p.
47. WHO (2019). *World malaria report 2019*. World Health Organization, 2019, Geneva, 232p.
48. Zogo, B. A., Koffi, A., Ahoua Alou, P., Koné Aboubacar, L., Dosso, Y., Coulibaly, I., Fournet, F., Dahounto A., Kounbobr Dabiré, R., Baba-Moussa, L., Moiroux, N., & Pennetier, C. (2019). *Identification and characterization of Anopheles spp. breeding habitats in the Korhogo area in northern Côte d'Ivoire: a study prior to a Bti-based larviciding intervention*. Parasites Vectors, 12, 146. Doi: 10.1186/s13071-019-3404-0.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Etude Floristique Et Structurale D'une Forêt Mixte À l'Ile M'bamou, République Du Congo

Leckoundzou Ayessa, Maître-Assistant

Institut De National De Recherche Forestière (Irf), Brazzaville

Félix Koubouana, Maître De Conférences

Saint Fédriche Ndzai, Doctorant

Pierre Mbete, Maître-Assistant

Guy Foly Mpela, Doctorant

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo, Doctorant

Maximilien Mboukou, Doctorant

Chauvelin Douh, Maître-Assistant

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), ENSAF, Brazzaville, Congo ; Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p50](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p50)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ayessa L., Koubouana F., Fédriche Ndzai F., Mbete P., Foly Mpela G., Mikoungui Gomo M.S., Mboukou M., & Douh C., (2022). *Etude Floristique Et Structurale D'une Forêt Mixte À l'Ile M'bamou, République Du Congo* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 50.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p50>

Resume

La forêt joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre global ainsi qu'à la protection de la biodiversité. Réalisée dans la forêt mixte de l'Ile M'bamou, cette étude vise à contribuer à une meilleure connaissance de la flore insulaire de ladite Ile. Quatre parcelles de 50 m de côté chacune soit 2500 m² (0,25 ha) sur une superficie totale de 10000 m² (1 ha) ont été installées. Au total, 223 individus de DHP ≥ 10 cm ont été dénombrés avec 39 espèces, 37 genres et 21 familles. Les Ebenaceae (48,88 %) reste la famille dominante. Qualitativement, les Moraceae et Rubiaceae (12,82 %) sont les familles plus abondantes. L'Indice de Valeur d'Importance indique que *Diospyros alboblavescens* et *Cleistopholis glauca* sont les espèces les plus importantes.

L'indice de Shannon varie de 1,41 à 2,38 et d'Équitabilité de 0,36 à 0,64. La densité à l'hectare varie de 164 à 312 arbres et les valeurs de la surface terrière varient de 13,92 à 17,69 m²/ha. La structure diamétrique présente une forme exponentielle décroissante. Cette étude montre que la forêt de l'Île M'bamou présente une dégradation très accentuée.

Keywords: Forêt tropicale, flore, structure, espèce, Ile M'bamou.

Floristic and Structural Study of a Mixed Forest on M'bamou Island, Republic of Congo

Leckoundzou Ayessa, Maître-Assistant

Institut De National De Recherche Forestière (Irf), Brazzaville

Félix Koubouana, Maître De Conférences

Saint Fédriche Ndzai, Doctorant

Pierre Mbete, Maître-Assistant

Guy Foly Mpela, Doctorant

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo, Doctorant

Maximilien Mboukou, Doctorant

Chauvelin Douh, Maître-Assistant

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), ENSAF, Brazzaville, Congo ; Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

Abstract

The forest plays an important role in the maintenance of the global balance and in the protection of biodiversity. Carried out in the mixed forest of M'bamou Island, this study aims to contribute to a better knowledge of the island flora of the said Island. Four plots of 50 m each side, that is 2500 m² (0.25 ha) on a total area of 10000 m² (1 ha) were installed. In total, 223 individuals of DHP ≥ 10 cm were counted with 39 species, 37 genera and 21 families. Ebenaceae (48.88%) remains the dominant family. Qualitatively, Moraceae and Rubiaceae (12.82%) are the more abundant families. The Importance Value Index indicates that *Diospyros alboblavesens* and *Cleistopholis glauca* are the most important species. The Shannon Index ranges from 1.41 to 2.38 and the Equitability Index from 0.36 to 0.64. The density per hectare varies from 164 to 312 trees and the basal area values vary from 13.92 to 17.69 m²/ha. The diameter structure shows a decreasing exponential shape. This study shows that the forest of Ile M'bamou presents a

very accentuated degradation.

Keywords: Tropical Forest, flora, structure, species, M'bamou Island.

Introduction

Les forêts couvrent environ 4 milliards d'hectares soit 30 % de la surface émergée de la Terre (FAO, 2020). A toutes les échelles spatiales, les forêts jouent un rôle essentiel dans les moyens de subsistance des populations humaines ainsi que dans le bon fonctionnement des écosystèmes (Chevet, 2009 ; Boudelal, 2014 ; Mille et Louppe, 2015). Elles font l'objet d'études privilégiées en particulier sur les aspects qui portent sur son mode de gestion, sa protection, sa valorisation à des échelles intra-spécifique et interspécifique ainsi qu'à la diversité des écosystèmes et des paysages et en particulier la diversité de la strate arborée (Hakim, 2007). Les forêts gérées durablement ont de nombreuses fonctions socio-économiques et environnementales particulièrement importantes à l'échelle mondiale, nationale et locale (Chevet, 2009 ; Forni *et al.*, 2019 ; Rozendaal *et al.*, 2019). De ce fait, les forêts tropicales se trouvent au cœur des négociations internationales et font l'objet de plusieurs études pour mieux comprendre le rôle qu'elles jouent dans le développement durable, les changements climatiques et le maintien de l'équilibre global (OFAC, 2007 ; Koubouana *et al.*, 2018). Ces forêts occupent une très grande variété de milieux différents du point de vue climatique et édaphique soit 47 % des forêts du monde (UNESCO, 1979).

Cependant, la gestion durable des forêts est un enjeu plus que jamais d'actualité dans un monde où la croissance démographique et le développement économique se traduisent par des besoins croissants en produits forestiers et en espace foncier (Koubouana *et al.*, 2019 ; Forni *et al.*, 2019). En 1990, la surface forestière mondiale représentait 4.128 millions d'hectares (soit 31,6 % de la surface totale des terres émergées), contre 3.999 millions d'ha en 2015 (soit 30,6 % de la surface totale émergée des terres) (Maneau, 2019). Les forêts tropicales couvrent environ 1,7 à 2,1 milliards d'hectares, soit près de 45 à 50 % des forêts du globe et abritent plus de 50 % de l'ensemble de la biodiversité de notre planète (FAO, 2020 ; Mille et Louppe, 2015). En dépit de tout cela, cet écosystème reste le moins protégé du fait des activités anthropiques très intenses (COMIFAC, 2013). En effet, la disparition des forêts tropicales est alarmante (Rozendaal *al.*, 2019). Toutes les solutions envisagées aujourd'hui pour la conservation des forêts tropicales humides, la mise en place des réserves biologiques, l'exploitation forestière durable, la restauration des forêts dégradées ou la création de plantations forestières, nécessitent un approfondissement des connaissances sur l'écologie

et la dynamique de la régénération des espèces d'arbres dans ces écosystèmes (Ter Steeg, 1995; Janzen et Vasquez, 1991 ; Guariguata et Pinard, 1998).

La maîtrise de la gestion de l'écosystème forestier est l'un des multiples problèmes auxquels se heurtent beaucoup de pays Africains en général et le Congo en particulier. Cette gestion implique une bonne connaissance de la forêt, notamment sa composition floristique, la dispersion spatiale des arbres et sa structure (Koubouana, 1993).

La République du Congo avec une superficie forestière de 23,5 millions ha soit 65 % du territoire national (FAO, 2010), possède un potentiel estimé à environ 6.000 espèces floristiques (Moutsamboté, 2012). Parmi ces forêts, on peut citer celle de l'Ile M'bamou qui a fait l'objet de notre étude. Cette Ile connaît de nos jours une régression significative de sa superficie due à l'effet des berges, l'ensablement, et de sa couverture forestière du fait de l'agriculture itinérante sur brûlis, de l'exploitation artisanale du bois, de la coupe de bois de chauffe, du prélèvement des substances pour la pharmacopée, etc. Bien que les pressions sur les ressources naturelles ne cessent de s'accroître, les données précises sur la dynamique de végétation et sur l'appauvrissement de la biodiversité font défaut. La flore de l'Ile M'bamou a fait l'objet de quelques études, notamment celles menées par Sita (1970 ; 1972), ces études ne suffisent pas pour connaître les informations pertinentes sur la flore de cette zone. Par contre, les études sur la structure du peuplement n'y ont pas encore été réalisées. Or la végétation de l'Ile M'bamou est en phase de disparaître sans que l'on puisse connaître les informations écologiques plus détaillées et plus précises. Ce travail a pour objectif général de contribuer à la connaissance sur la richesse floristique et structurale des forêts de cette Ile. De manière spécifique, elle vise à i) - identifier les espèces caractéristiques et leur densité dans les forêts de l'Ile M'bamou, ii)- constater le niveau d'avancement de la dégradation de la forêt de cette Ile et iii)- déterminer les paramètres structuraux de la forêt étudiée.

Materiel Et Methodes

Site D'étude

L'Ile M'bamou est située sur le Stanley-Pool entre 15°29 de longitude Est et 4°17 de latitude Sud (Figure 1). Elle est plus proche de Brazzaville que de Kinshasa et un peu en amont de ces deux villes (Sita, 1970). Avec près de 30 km de long sur 13 km de large, elle occupe une large part du Stanley-Pool où après plus de 200 km de cours dans l'étroite vallée du couloir, le fleuve Congo s'étale en une nappe de 25 km de large sur plus de 35 km de long, limitée à l'Ouest aux rapides de Kintambo (Sita, 1972).

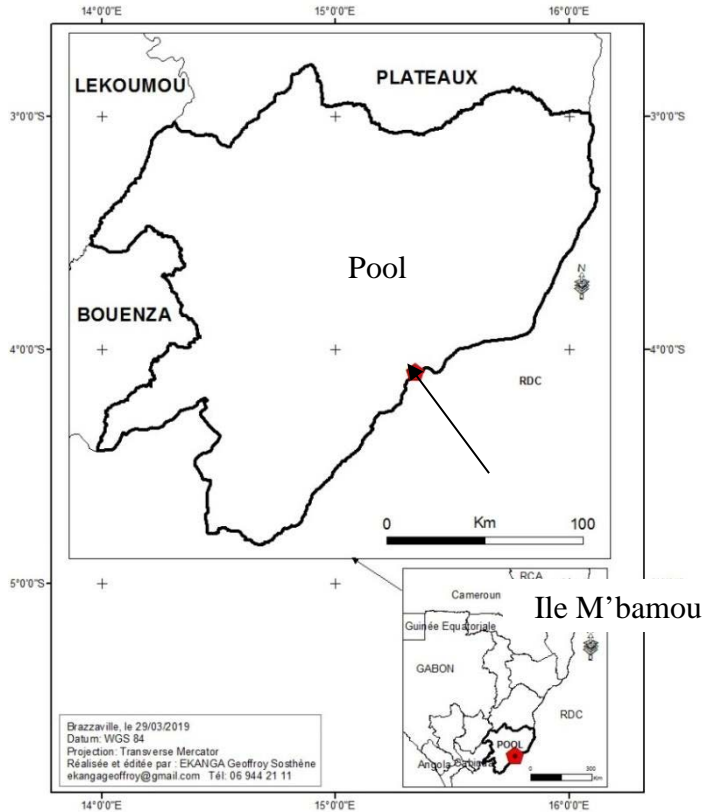


Figure 1 : Situation géographique de l'Ile M'bamou

Le climat de l'Ile M'bamou est pratiquement le même que celui de Brazzaville. Il est de type Guinéo-équatorial, sous la forme du sous-climat humide bas-congolais (Aubreville, 1949 ; Samba-Kimbata, 1978). Aucune station météorologique ne se trouve évidemment sur l'Ile, mais l'importante station qui fonctionne normalement est celle de l'aéroport Maya-Maya de Brazzaville qui fournit des données climatiques satisfaisantes. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1500 mm. Les pluies commencent très faiblement en fin septembre, s'établissent en octobre et se terminent au mois de mai. Les mois les plus arrosés sont généralement ceux de novembre et avril, avec une moyenne de 2.000 mm par contre, il y a des moyennes relativement minimales en janvier-février, caractérisant la petite saison sèche. Les mois secs sont juin, juillet, août et septembre. Les températures moyennes oscillent autour de 25°C. On note cependant des moyennes mensuelles qui atteignent parfois 27°C en saison de pluie et 21°C en saison sèche. Les mois de mars, avril et septembre sont les plus chauds ; ceux de juillet et août, les plus frais. Néanmoins, les écarts thermiques annuels ne dépassent pas 5°C. Le sol de l'Ile

M'bamou appartient à la classe des sols ferrallitiques fortement désaturés remaniés jaunes (De Champs 1969). On note trois principaux types de sols au niveau de cette Ile, à savoir : les sols peu évolués d'apport sur matériau sableux alluvial, les sols ferrallitiques fortement désaturés et le complexe de sols ferrallitiques moyennement et fortement désaturés appauvris jaunes sur matériau sableux-alluvial. L'Ile M'bamou présente dans son ensemble, des zones de forêts marécageuses, des zones de forêts sur terre ferme et des zones savaniques qui de nos jours subissent une dégradation et une déforestation importantes.

Méthodes d'étude

Installation des parcelles et collecte des données

Les relevés botaniques de cette étude ont été effectués au hasard dans les zones de forêt en suivant la physionomie et la diversité floristique: En suivant les orientations de la boussole (Nord-Sud et Est-Ouest), quatre (4) placettes de 50 m x 50 m chacune soit 2500 m² (0,25 ha) ont été délimitées sur une superficie totale de 10.000 m² soit 1 ha dans lesquelles des relevés botaniques ont été effectués. Chaque placette a été subdivisée en quatre placeaux 25 m x 25 m soit 625 m² (0,0625 ha) chacune. Dans chaque placeau, toutes les espèces d'arbres de circonférence à la hauteur de la poitrine, supérieure ou égale à 32 cm ont été dénombrés. Le diamètre de l'arbre est obtenu à partir de la relation suivante : Diamètre = circonférence/ π ($\pi = 3,14$). La mesure des arbres à contreforts ou à racines échasse est effectuée à 30 cm au-dessus de ceux-ci (Dallmeier et Devlin, 1992).

Analyse de données

Richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces de la distribution observée (Nogueira et *al.*, 2010).

Spectres écologiques : les spectres écologiques ont été calculés à partir des formules utilisées par Ndzai et *al.* (2021) suivantes :

- Le spectre brut (S_b) = $\frac{N_{ef}}{N_{te}} * 100$

avec : S_b étant le Spectre brut, N_{ef} le nombre d'espèces par famille et N_{te} le nombre total d'espèces de toutes les familles.

- Le spectre pondéré (s_p) = $\frac{N_{if}}{N_{ti}} * 100$

avec : s_p étant le Spectre pondéré, N_{if} le nombre d'individus par famille et N_{ti} le nombre total d'individus de toutes les familles.

Densité relative (D_r) a permis d'apprécier l'abondance des espèces par zone (Sonké, 2007 ; Kimpouni et *al.*, 2018).

$$Dr = \frac{\text{Nombre d'individus par espèce}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100$$

Fréquence relative (Fr) a permis d'apprécier l'hétérogénéité de la composition des espèces de l'Ile M'bamou (Nsangua et al., 2018)

$$Fr = \frac{\text{Nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente}}{\text{Nombre total des relevés}} * 100$$

Dominance relative d'une espèce

La dominance d'une espèce permet de mettre en évidence les espèces qui occupent plus de place dans l'échantillon (Ndzai et al., 2021).

$$\text{Dominance relative} = \frac{\text{Surface terrière d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale des espèces}} * 100$$

Fréquence relative (Fr)

La Fréquence relative permet d'apprécier l'hétérogénéité de la composition des espèces d'une zone donnée.

$$Fr. = \frac{\text{nombre de relevés où l'espèce est présente}}{\text{nombre total de relevés}} * 100$$

Indice de Valeur d'importance des taxons

Cet indice permet d'identifier les entités dominantes d'une communauté ou d'un compartiment, c'est-à-dire, les espèces ayant une forte valeur écologique (Ndzai et al., 2021 ; Kimpolo et al., 2021).

IVI = Densité relative (Dr) + Dominance relative (Dor) + Fréquence relative (Fr)

(IVI= Indice des Valeurs d'Importance).

La diversité floristique est évaluée par les indices de Shannon (H') et d'Equitabilité de Pielou. L'indice de Shannon provient de la théorie de l'information (Pavoine et Dufour, 2014). Cet indice varie de 0 (une seule espèce présente) à $\log_2 S$ (toutes les espèces présentes ont une même abondance). L'indice de Shannon est calculé à partir de la formule suivante :

$$H' = -\sum_{i=1} Pi \text{ Log}_2 Pi$$

Avec pi = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce, se calcule ainsi : $pi = ni/N$; S = nombre total d'espèces ; ni = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon et N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

L'Equitabilité de Pielou varie entre 0 et 1 (Jaffré et Veillon, 1995). Plus cet indice tend vers un (1), plus la dispersion des éléments de la biodiversité est équitable, plus il tend vers zéro (0), plus il y a une dominance d'une espèce par rapport aux autres c'est-à-dire une dispersion non équitable (Boudelal, 2014). Il se calcule de la façon suivante :

$$E = \frac{H'}{Hmax}$$

H'_{max} est le logarithme du nombre total d'espèces (S) $H'_{max} = \log S$

Les paramètres structuraux suivants ont permis d'apprécier l'état de la forêt de l'île M'bamou. Il s'agit :

- ✓ de la densité à l'hectare qui est le nombre d'individus à l'hectare (Kambalé, 2016, Kimpolo et al., 2021). Elle est calculée par la formule :

$d = n/S$; avec d = densité à l'hectare ; n = nombre de tiges présentes sur la surface considérée, S : surface considérée (ha) ;

- ✓ de la Surface terrière qui donne une indication sur le degré de remplissage de la forêt (Rollet, 1974). Elle s'exprime en mètre carré par hectare (m^2/ha).

$$\text{Surface terrière d'un arbre : } St = (\pi/4) \times d^2$$

d = diamètre de l'arbre à 1,30 m du sol

Surface terrière d'un peuplement (G)

$$G = \sum St \times \frac{d}{N}$$

Avec G = la surface terrière ; N = nombre total des arbres et d = densité des arbres à l'hectare

La structure diamétrique a été évaluée pour comprendre le niveau de la dégradation de cette forêt de l'île M'bamou.

Resultats

Richesse spécifique

L'étude floristique et structurale réalisée dans la forêt de l'île M'bamou sur une superficie d'un ha, a permis d'inventorier 223 arbres appartenant à 39 espèces, 37 genres et 21 familles. Cette richesse varie en fonction des parcelles d'étude (Tableau 1).

Tableau 1 : Richesse spécifique

Parcelle	Nombre d'arbres	Nombre d'espèces	Familles
P1	78	16	13
P2	56	19	14
P3	41	16	12
P4d	48	11	8
Total des parcelles	223	62	47

Spectre brut et pondéré

Les valeurs de ces deux spectres varient en fonction des familles. Elle est de 2,56 % à 12,82 % pour le spectre brut et de 0,90 % à 48,88 % pour le spectre pondéré (Figure 3).

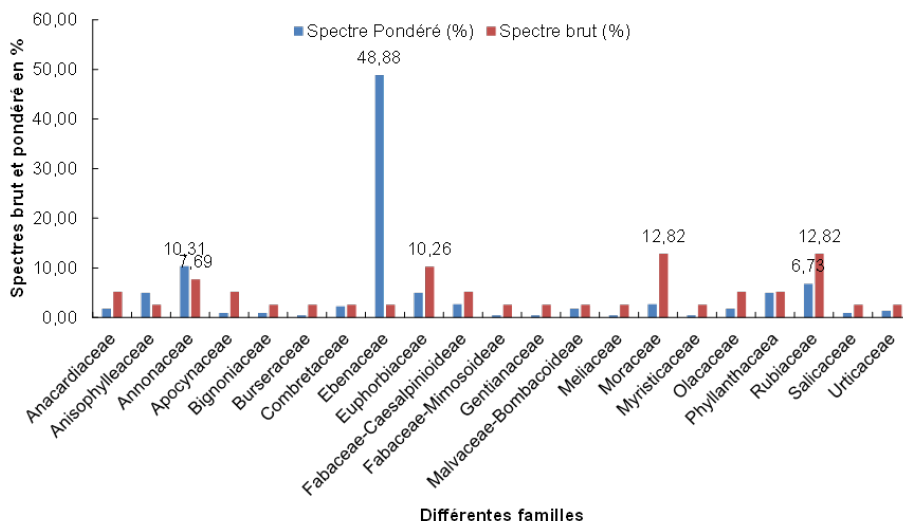


Figure 3 : Spectres brut et pondéré

Il se dégage de l'analyse de cette figure que, quantitativement (spectre pondéré), c'est la famille des Ebenaceae qui est la plus représentée avec 48,88 %, suivi des Annonaceae (10,31%) et des Rubiaceae (6,73%). Qualitativement (spectre brut), ce sont les familles des Moraceae et Rubiaceae qui dominent avec 12,82 % chacune, suivies des Euphorbiaceae (10,26 %), et des Annonaceae (7,69 %).

Paramètres écologiques

L'analyse du tableau 2 indique que, l'espèce *Diospyros alboflavescens* (Gürke) F. White est la plus importante avec 189,70 % suivie de *Cleistopholis glauca* (Benth.) Engl. & Diels) avec 118,45 %, *Guibourtia demeusei* (Harms) Léonard (87,16 %). Les autres espèces sont faiblement importantes.

Tableau 2 : Valeurs des paramètres écologiques

Espèces	Dor	Dr	Fr	IVI
<i>Diospyros alboflavescens</i> (Gürke) F. White	40,82	48,88	100	189,70
<i>Cleistopholis glauca</i> (Benth.) Engl. & Diels)	9,93	8,52	100	118,45
<i>Guibourtia demeusei</i> (Harms) J. Léonard.	9,92	2,24	75	87,16
<i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. & T. Durand) Merr.	7,22	4,93	75	87,15

<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels.	4,73	2,24	75	81,97
<i>Anisophyllea meniaudii</i> Aubrév. & Pellegr.	1,17	4,93	75	81,10
<i>Shirakiopsis elliptica</i> (Hochst.) Esser	2,05	3,14	75	80,19
<i>Maesobotrya pynaetii</i> (Baill.) Hutch.	1,39	4,04	50	55,42
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	1,85	1,79	50	53,65
<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl	2,06	1,35	50	53,41
<i>Xylopia aethiopica</i> (Dunn.) A.Rich.	1,88	1,35	50	53,23
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br.	1,51	1,35	50	52,86
<i>Strombosia glandifolia</i> Hook.f.	1,04	0,90	50	51,94
<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baill.	0,39	0,90	50	51,29
<i>Voacanga thourassii</i> Roem. & Schultes	3,16	0,45	25	28,60
<i>Homalium africanum</i> (Hook.f.) Benth.	1,99	0,90	25	27,88
<i>Maprounea membranacea</i> Pax & Hoffm.	1,53	0,45	25	26,98
<i>Lannea welwitschii</i> Hiern Engl.var.welwitschii	1,43	0,45	25	26,87
<i>Antiaris toxicaria</i> var. welwitschii (Engl.) Corner	0,89	0,45	25	26,34
<i>Chaetocarpus africanus</i> Pax	0,37	0,90	25	26,26
<i>Ficus</i> sp.	0,32	0,90	25	26,21
<i>Trichilia tessmanni</i> Harms	0,66	0,45	25	26,10
<i>Xylopia rubescens</i> Oliv.var.rubescens	0,61	0,45	25	26,06
<i>Ongokea gore</i> (Rua) Pierre	0,16	0,90	25	26,05
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	0,14	0,90	25	26,04
<i>Treculia africana</i> Dec.	0,58	0,45	25	26,03
<i>Aidia micrantha</i> (K Schum) F White var. <i>micrantha</i>	0,48	0,45	25	25,93
<i>Tetrorchidium didymostemon</i> (Baill.) Pax & K. Hoffm.	0,45	0,45	25	25,89
<i>Staudtia kamerounensis</i> Warb. Var. <i>gabonensis</i> Fouilloy	0,24	0,45	25	25,69
<i>Dialium pachyphyllum</i> Harms	0,23	0,45	25	25,68
<i>Anthocleista vogelii</i> Planch.	0,19	0,45	25	25,64
<i>Pentacletra macrophylla</i> Benth.	0,17	0,45	25	25,62
<i>Morinda morindoides</i> (Bak.) Milne-Redh.	0,09	0,45	25	25,54
<i>Ficus exasperata</i> Vahl	0,08	0,45	25	25,53
<i>Coffea</i> sp.	0,07	0,45	25	25,52
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	0,06	0,45	25	25,51
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C.C. Berg	0,05	0,45	25	25,50
<i>Picralima nitida</i> (Stapf) T. Durand & H. Durand	0,05	0,45	25	25,50
<i>Colletocema dewevrei</i> (De Wild.) E.M.A. Petit	0,05	0,45	25	25,50

Légende : Dor = Dominance relative ; Dr = Densité relative ; Fr = Fréquence relative et IVI = Indice de Valeur d'Importance

Diversité floristique

Le calcul des indices de Shannon (H') et d'Equitabilité de Pielou (E) montre que les valeurs de ces indices varient d'une parcelle à une autre et sont faibles. Elles varient de 1,41 à 2,38 pour l'indice de Shannon et de 0,36 à 0,64 pour l'indice d'Equitabilité de Pielou (**Figure 4**).

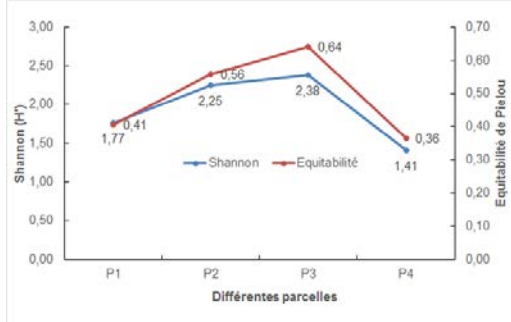


Figure 4 : Valeurs de l'indice de Shannon et d'Equitabilité de Pielou

Cette figure montre que la valeur la plus forte de H' est obtenue dans la parcelle 3, soit 2,38, suivie de la parcelle 2 (2,25) et la parcelle 1 (1,77). La plus faible valeur est obtenue dans la parcelle 4 soit 1,41. La valeur de l'indice de l'Equitabilité de Pielou est plus élevée dans la parcelle 3 avec 0,64 suivie de la parcelle 2 (0,56) et la parcelle 1 (0,41). La parcelle 4 présente la valeur la plus faible (0,36).

Nombre d'arbres par unité de surface et la surface terrière

La densité à l'hectare, le nombre d'arbres et la surface terrière varient suivant les parcelles, de 164 à 312 arbres pour la densité et de 41 à 78 arbres pour le nombre d'individus. Le tableau 3 montre que, la parcelle 1 a le plus grand nombre d'arbres à l'hectare soit 312 arbres, suivi de la parcelle 2 (224 arbres), la parcelle 4 (192 arbres). La parcelle 4 présente la densité la plus faible (164 arbres). La valeur de la surface terrière la plus élevée est obtenue dans la parcelle 4 soit 17,69 m²/ha, suivie de la parcelle 1 (16,41 m²/ha) et de la parcelle 3 (15,03 m²/ha). La parcelle 2 est celle qui présente la valeur la plus faible soit 13,92 m²/ha (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Valeurs de la Densité à l'hectare et la surface terrière

Parcelle	Nombre d'individus	Densité/ha	G (m ² /ha)
P1	78	312	16,41
P2	56	224	13,92
P3	41	164	15,03
P4	48	192	17,69

Distribution diamétrique

La forêt de l’Ile M’bamou présente une structure diamétrique de type exponentiel décroissant variant de la classe I à la classe VIII c’est-à-dire en forme de «J renversé » (Figure 5).

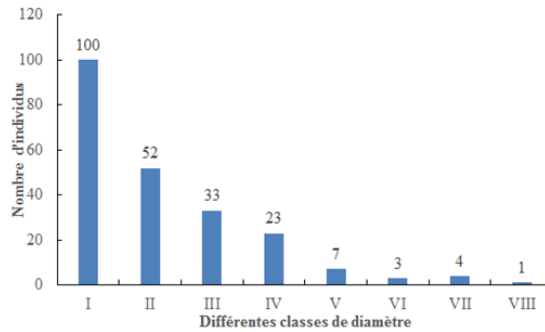


Figure 5: Distribution diamétrique

Parmi les huit (8) classes de diamètre enregistrées dans la forêt de l’Ile M’bamou, seule la classe I présente un nombre élevé d’arbres, soit (100 arbres), suivie de la classe II (52 arbres) et de la classes III (33 arbres). La classe VIII quant à elle, présente le plus faible nombre d’arbres notamment avec un seul (1) arbre.

Discussion

Il a été recensé au cours de cette étude 223 arbres appartenant à 39 espèces, 37 genres et 21 familles. Cette richesse indique que, l’Ile M’bamou dans son ensemble présente une forêt assez riche et diversifiée qui regorge un potentiel ligneux considérable, bien que les travaux aient pris en compte que les arbres de diamètre ≥ 10 cm. Une gestion durable et rationnelle ou soit la mise sous réserve de cette zone forestière pourrait être un atout nécessaire pour les populations vivant aux alentours ainsi le maintien de la biodiversité (Miabangana et Lubini, 2015).

Les Ebenaceae qui est la famille la plus représentée avec 48,88 %, suivi des Annonaceae (10,31%) présentent un nombre important des individus dans cette Ile. La forte présence de ces deux familles indique l’abondance-dominance de *Diospyros alboflavescens* (Ebenaceae) et de *Cleistopholis glauca* (Annonaceae). Ces deux espèces sont présentes également dans toute la forêt de l’Ile M’bamou dont les Indices de Valeur d’Importance sont plus élevés que ceux des autres espèces. Cette abondance-dominance ainsi que l’importance de ces deux espèces est due certainement par le type du sol qui

caractérise la végétation insulaire et les inondations quasi permanentes de certaines la pression anthropique semble être faible. Les travaux de Sita (1972) dans cette même zone dont Ile ont démontré que ces deux espèces sont caractéristiques des zones inondées ou inondables dont les populations pratiquaient l'exploitation artisanale et l'agriculture itinérante sur brûlis que sur les zones de terre ferme. Certaines espèces comme Limba (*Terminalia superba*) et Bilinga (*Nauclea diderrichii*) caractérisent la zone de forêt de terre ferme sont plus exploitées. La dominance des familles des Moraceae et Rubiaceae, et des Euphorbiaceae en espèces prouvent que l'Ile M'bamou présente une forêt qui subit de plus en plus une pression anthropique très considérable. Plusieurs auteur (Moutsamboté, 2012 ; Miabangana et Lubini, 2015 ; Koubouana et al., 2018 ; Ndzai et al., 2021 considèrent que la forte présence de ces familles caractérisent la forêt secondaire.

Cette étude indique que la forêt de l'Ile M'bamou peut être qualifiée d'une forêt à *Diospyros alboflavescens* et *Cleistopholis glauca*.

Les indices de Shannon et de l'Equitabilité de Piélou a permis de conclure que la diversité floristique de cette zone est faible. Ces indices mettent en évidence l'abondance-dominance de deux espèces (*Cleistopholis glauca* et *Diospyros alboflavescens*). Plusieurs auteurs (Kimpouni et al., 2013 ; Koubouana et al., 2016 ; Koubouana et al., 2018 ; Mikoungui et al., 2020 ; Ndzai et al., 2021) ont démontré que dans les forêts secondaires, ou dégradées, la diversité restent toujours faibles. Sur le plan qualitatif, on note une bonne diversité floristique, mais sur le plan physiologique, elle reste faible. Ces deux espèces réputées pour leur bois parfait dans leurs diverses utilisations (bois de chauffe, piquets de construction, plantes médicinales) sont beaucoup appréciées par les populations de l'Ile M'bamou. Il est donc important que, les mesures soient prises pour une gestion durable de cette Ile. Le caractère d'une forêt dégradée de la forêt de l'Ile M'bamou est confirmé par les faibles valeurs de la Densité à l'hectare. Pascal (2003) indique que, la densité à l'hectare est un paramètre important de l'évaluation de l'état d'une forêt. Cette faible densité observée dans cette zone est due certainement du fait que les populations qui y habitent, utilisent la ressource forestière d'une manière abusive. Cette dégradation est confirmée par les faibles valeurs de la surface terrière calculées dans la forêt de l'Ile M'bamou sont inférieures à 25 m²/ha. C'est-à-dire il y a beaucoup plus les arbres de petit diamètre que les gros. Les forêts dégradées d'une manière générale se traduisent par la présence de nombreux arbres de petit diamètre peu espacés, entretenant entre eux des relations de compétition intense (Pascal, 2003 ; Konan et al., 2015). La structure diamétrique a permis d'apprécier l'état de la forêt de l'Ile M'bamou. Ce résultat montre que sur les huit classes de diamètre recensées, plus de la

moitié du nombre d'individus sont de petit diamètre (classe I). Les dernières classes sont représentées que par un seul individu. Cette allure de la structure diamétrique montre une forêt en pleine reconstitution et témoigne du caractère secondaire de la forêt de l'Ile Mbamou.

Conclusion

Cette étude a montré que l'écosystème forestier de l'Ile M'bamou (village Lisanga) est caractérisé par un faible degré de diversification floristique à cause d'une forte pression anthropique. Les résultats obtenus sur une superficie d'un hectare en sont une illustration précise. L'analyse de la richesse floristique montre que la famille des Ebenaceae est la plus représentée en termes d'individus soit 48,88 %, suivie des Annonaceae (10,31 %). Par contre, les familles des Moraceae et Rubiaceae avec 12,82 % chacune, dominant qualitativement. L'Indice de Valeur de d'Importance (IVI) calculé pour cette étude montrent que les espèces *Diospyros alboflavescens* et *Cleistopholis glauca* sont les plus importantes dans l'ensemble de la zone d'étude. L'indice de Shannon est faible et varie entre 1,41 et 2,38 ce qui montre que les individus d'arbres sont inégalement répartis dans les familles botaniques recensées. Il y'a une abondance-dominance de ces deux espèces ci-dessus citées, caractéristiques d'une forêt dégradée. Ce qui signifie donc que la forêt de l'Ile M'bamou subit une pression humaine très considérable. La structure diamétrique de la forêt de l'Ile M'bamou confirme que c'est une forêt jeune en pleine reconstitution. En perspective, la mise en défend d'une partie de cette forêt, pourrait assurer la reconstitution de cet écosystème dégradé. Il est aussi nécessaire de suivre la dynamique de reconstitution afin de dégager les groupes écologiques qui se succèdent dans le temps. De même, il est intéressant d'étudier l'effet des berges sur la flore de cette Ile pour une meilleure gestion.

Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas d'intérêts concurrents

Contributions des auteurs

Les auteurs NSF, KL MGMS et MGF ont participé à la collecte des données et à l'interprétation des résultats. NSF, KF, KM et DC ont contribué à la compilation et à la relecture finale de cet article.

Remerciements

Tous les auteurs de cet article, remercient très sincèrement, les membres du Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée pour leur implication dans la rédaction de ce manuscrit.

References:

2. Aubreville A., 1949. Climat, forêt et désertification de l'Afrique Tropicale. La Rose, Paris, 35p.
3. Boudelal Mahmoud A. B., 2014. Relations structure des peuplements forestiers, biodiversité au niveau du Parc National de Tlemcen. Mémoire de Master. Université Abou BekrBelbkaid, Algérie, 120p.
4. Chevet P., F., 2009 : Synthèse n°1. Forêt et changement climatique. Direction générale de l'énergie et du climat / Service du climat et de l'efficacité énergétique / Sous-direction du climat et de la qualité de l'air. Pp : 3-7.
5. COMIFAC, 2013. Les forêts du bassin du Congo: Evolution du couvert forestier du niveau national ou régional et moteur de changement Pp.21-47
6. Dallmeier F. et Devlin F. A., 1992. Biodiversité forestière en Amérique Latine : inverser les pertes ? *Journal of tropical Forest Science*, 5(2): 232-270, 1992.
7. De Champs G., 1969. Etude pédologique de l'Ile M'bamou. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Brazzaville, République du Congo. Service – Pédologique, 20 p.
8. Denis B., 1974. Carte pédologique Brazzaville-Kinkala. Notice explicative n°52, République Populaire du Congo (échelle 1.200.000). Paris, ORSTOM.
9. FAO, 2010. Evaluation des ressources forestières mondiale. Rapport national Congo. Pp.6-19
10. FAO, 2020. Situation des forêts du monde, forêts, biodiversité et activité humaine, 223p
11. Forni E., Rossi V., Gillet J.-F., Bénédet F., Cornu G., Freycon V., Zombo I., Mazengue M., Alberny E., Mayinga M., Istace V. et Gourlet-Fleury S., 2019. Dispositifs permanents de nouvelle génération pour le suivi de la dynamique forestière en Afrique centrale : bilan en République du Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 341 : 55-70. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.341.a31760>.
12. Guariguata M. R., and Pinard M. A., 1998. Ecological knowledge of regeneration from seed in neotropical forest tree: implication for natural forest management. *Forest ecology and management* 112 (1998), 87-99.
13. Hakim Ouzennou, 2007. Indice de qualité de station des pressières noires irrégulières. Mémoire de Maitrise. Université Laval, Québec, Canada 46p.

14. Jaffré T. and Veillon J. M., 1995. Structural and floristic characteristics of a rain forest on schist in New Caledonia: a comparison with an ultramafic rain forest. *Bull. Mus. Hist. Nat., Paris* 26p.
15. Janzen D. H. & Vasquez-Yanes C., 1991. Aspect of tropical seed ecology of relevance to management of tropical forest. *Wild lands*. Pp: 137-157.
16. Kambalé K. Z., 2016. Diversité ligneuse, valeur d'usage et de stock de carbone des systèmes Agroforestiers à base de cacaoyers du territoire de Beni à l'est de la RDC. Thèse, Faculté D'agronomie et Des Sciences Agricoles, Université DSCHANG, Beni R.D. Congo, 102p.
17. Kimpolo L., Ndzai F.S. et Koubouana F. (2021). Richesse Floristique Et Stockage De Carbone De La Zone Agricole De La Forêt De Kissila Dans Le Mayombe Congolais. *European Scientific Journal, ESJ*, 17 (40), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p1>
18. Kimpouni V., Lenga-Sacadura M-Y., Mamboueni J. C. et Nsika Mikoko E. (2018). Phytodiversité Et Pharmacopée Traditionnelle De La Communauté Kaamba De Madingou (Bouenza - Congo). *European Scientific Journal*, January 2018 edition Vol.14, No.3 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n3p191 URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p191>
19. Konan D., Bakayoko A., Tra Bi F. H., Bitignon B. G. A. et Piba S. C., 2015. Dynamisme de la structure diamétrique du peuplement ligneux des différents biotopes de la forêt classée de Yapo-Abbé, Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 94:8869 – 8879 ISSN 1997-5902. DOI : 10.4314/jab.v94i1.10
20. Koubouana F., 1993. Les forêts de la Vallée du Niari (Congo) : Etudes floristique et structurales. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6, spécialité écologie, 265p.
21. Koubouana F., Atsoumpari Ngakabi L. A., Ndzai S. F. et Ifo S. A., 2019. Relationship between Tropical Forest Distribution and Soils on Different Types of Mother Rocks in the Republic of Congo. *Open Journal of Forestry*, 9, 341-354. ISSN Online: 2163-0437 ISSN Print: 2163-0429 <https://doi.org/10.4236/ojf.2019.9401>.
22. Koubouana F., Ifo S. A., Moutsambote J. M. and Mondzali R., 2016. Floristic Diversity of Forests of the Northwest Republic of the Congo. *Scientific Research Publishing. Vol. 06 No.05(2016)*, pp : 386-403. 10.4236/ojf.2016.65031
23. Koubouana F., Ifo S. A., Ndzai S. F., Stoffenne B. et Mondzali-Lénguya R., 2018. Étude comparative d'une forêt Adulte et d'une forêt dégradée au Nord de la République

- du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, V. 11. PP. 11-25, Octobre (2018) Print ISSN: 2409-1693 / Online ISSN: 2412-3005. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1436597>
24. Maneau S., 2019. Analyse des dynamiques et des facteurs liés à la régénération forestière du Miombo autour de la Réserve Nationale de Gilé au Mozambique. Mémoire de Master Environnement Ecotoxicologie Ecosystèmes. Université de Lorraine, France, 59p.
 25. Meunier Q., Moubougou C. et Doucet J. L., 2015. Les arbres utiles du Gabon. Les presses Agronomiques du Gembloux. ISBN : 978-87016-134-0.
 26. Miabangana E. S. et Lubini Ayingweu C., 2015. Analyse floristique et phytogéographique de la végétation de l'île de Loufézou à Brazzaville (République du Congo). *Geo-Eco-Trop*, 39 (1) (2015) 55-66. <http://www.geocotrop.be>.
 27. Mikoungui G. M. S., N'Zala D. et Ndzai S. F., 2020. Diversité floristique des dépendances vertes périurbaines de Brazzaville (Congo) menacées de dégradation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(7): 2567-2582. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). <http://ajol.info/index.php/ijbcs> <http://indexmedicus.afro.who.int>. <http://www.ifgdg.org>
 28. Mille G. et Louppé D., 2015. Mémento du forestier tropical. Livre, édition Quae, RD10, 78026 Versailles Cedex, France. 1198 p.
 29. Moutsamboté J. M., 2012. Etude écologique, phytogéographique et phytosociologique du Centre et du Nord-Congo, Brazzaville, (Plateaux, Cuvette, Likouala et Sangha). Thèse d'Etat, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 632p.
 30. Ndzai S. F., Koubouana F., Kimpolo L. et Kimposso E. K. O. (2021). Diversité floristique et estimation du stock de carbone organique des forêts adultes et des forêts secondaires du district de Dongou, Département de la Likouala, République du Congo. *Afrique SCIENCE* 18(2) (2021) 134 – 148. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
 31. Ndzai S. F., Koubouana F., Kimpolo L. et Kimposso E. K. O., 2021. Diversité floristique et estimation du stock de carbone organique des forêts adultes et des forêts secondaires du district de Dongou, Département de la Likouala, République du Congo. *Afrique SCIENCE* 18(2) (2021) 134 – 148. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>

32. Ngueguim J. R., Zapfack L., Youmbi E., Riera B., Onana J., Foahom B. et Makombu J. G., 2010. Diversité floristique sous canopée en plantation forestière de Mangombe-Edea (Cameroun). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14 (1), 167-176.
33. Nsangua Mposo B., Nshimba Nseyi H., Boyemba F., Katusi R., Mbayo F. et Mbuyu L., 2018. Etude de la variabilité structurale et floristique des forêts sur terre ferme en chefferie de Bahema-Boga (Province de l'Ituri, RDC). *European Scientific Journal*, Vol.14, No.30 ISSN: 1857-7881 (Print)e-ISSN 1857-7431. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n30p500
URL:<http://dx.doi.org/1019044/esj.2018.v14n30p500>
34. OFAC. 2007. Les forêts du Bassin du Congo. État des forêts 2006. Office des Publications de l'Union Européenne, Luxembourg. 258 p.
35. Pascal J. P., 2003. Notion sur les structures et dynamique des forêts tropicales humide 13p.
36. Pavoine S., Dufour A. B., 2014. Mesure de la biodiversité. Fiche TD avec le logiciel R Production+, vol. 31, p. 29-33.
37. Rollet B., 1974. L'architecture des forêts denses humides sempervirentes des plaines, Paris, 299p.
38. Rozendaal D. M. A, Bongers F., Aide M. T., Alvarez-Davila E., Ascarrunz N., Balvanera P., Beckenell J. M., et al., 2019. Récupération de la biodiversité des forêts secondaires néotropicales. *La science avance?* 5 (3), eaa03114, 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aau3114
39. Samba-Kimbata M. J., 1978. Le climat bas-congolais. Thèse de doctorat Université de Dijon, vol 2, 280p
40. Sita P., 1970. Etude de la végétation de l'Île M'bamou (Stanley-Pool). Laboratoire de Botanique. O.R.S.T.O.M. Centre de Brazzaville, 94p.
41. Sita P., 1972. Etude préliminaire de la végétation de l'Île M'bamou. Laboratoire de Botanique. O.R.S.T.O.M. Centre de Brazzaville, 55p.
42. Sonké B., 2007. Etudes floristiques et structurales des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun). Thèse de doct .ULB. Labo. Bot. Syst. & Pht. 276 p.
43. Ter Steeg H., Boot R. G. A., Brouwer L., Hummond D. S. and Vander Hout P., 1995. Basic and applied research for sound rain forest management in Guyana. *Ecological application* 5(4) Pp. 904-910.
44. UNESCO, 1979. Ecosystèmes forestiers tropicaux. Un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'UNESCO, le PNUE et la FAO, 740 p.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Traitement Des Fractures Thalamiques Du Calcanéus Par Enclouage Verrouillé À Foyer Fermé « Type Calcanail » : Résultats Clinique, Fonctionnel Et Radiologique À Propos De 16 Cas Au Centre Hospitalier De La Côte Basque (France)

Ulrich Florentin N'guena Yamalet,

Interne dans le service de traumatologie et d'orthopédie, Centre Hospitalier de la côte Basque (France)

César Toutourlou,

Interne dans le service

Abdoulaye Diakité,

Chirurgien du service

Tiburce Yafondo,

Interne dans le service

Pierre Bruneteau

Chef de service de chirurgie traumatologie-orthopédie du centre hospitalier De la côte de Basque (France)

Mathias Blangis,

Jean François Coste,

Jean François Lavalle,

Chirurgien du service

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p68](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p68)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

N'guena Yamalet U.F., Toutourlou C., Diakité A., Yafondo T., Bruneteau P., Blangis M., Coste F.J., & Lavalle F.J.,(2022) *Traitement des fractures thalamiques du calcanéus par enclouage verrouillé à foyer fermé « type calcanail » : Résultats clinique, fonctionnel et radiologique à propos de 16 cas au centre hospitalier de la côte Basque (France)* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 68.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p68>

Resume

Les fractures du calcanéum sont peu fréquentes et s'accompagnent souvent des séquelles graves. Nous rapportons une série de 16 cas, tous traités par clou verrouillé dans le service de traumatologie orthopédie du centre

hospitalier de Bayonne (France). L'objectif de ce travail rétrospectif continu était d'évaluer les résultats cliniques, fonctionnel et radiologique du traitement chirurgical des fractures articulaires du calcaneum, à travers notre série de 16 patients opérés et suivis sur une période de 5 ans, et les comparer aux données de la littérature. L'âge moyen dans notre série était de 43 ans, tous nos patients avaient bénéficié d'une réduction à foyer fermé par distraction et une ostéosynthèse par clou verrouillé. Le recul moyen était de 18 mois et les résultats fonctionnels ont été évalués selon le score de Kitaoka, excellent dans 68,75%, Bon 18,75%, moyen 6,25% un mauvais cas 6,25%.

Mots clés : Calcaneum, fracture articulaire, ostéosynthèse, clou verrouillé

Treatment of Thalamic Fractures of the Calcaneus By Nailing Closed Hearth Locked "Calcanail Type": Clinical Results, Functional And Radiological Apropos Of 16 Cases At The Hospital Center Of The Basque Coast (France)

Ulrich Florentin N'guena Yamalet,

Interne dans le service de traumatologie et d'orthopédie, Centre Hospitalier de la côte Basque (France)

César Toutourlou,

Interne dans le service

Abdoulaye Diakité,

Chirurgien du service

Tiburce Yafondo,

Interne dans le service

Pierre Bruneteau

Chef de service de chirurgie traumatologie-orthopédie du centre hospitalier De la côte de Basque (France)

Mathias Blangis,

Jean François Coste,

Jean François Lavalley,

Chirurgien du service

Abstract

Calcaneal fractures are infrequent and often have serious sequelae. We report a series of 16 cases all treated with a locked nail in the orthopedic traumatology department of the Bayonne hospital center (France). The

objective of this continuous retrospective work was to evaluate the clinical, functional and radiological results of the surgical treatment of articular fractures of the calcaneus, through our series of 16 patients operated and followed over a period of 5 years, and to compare them with the data. of literature. The mean age in our series was 43 years, all of our patients had undergone distraction, closed reduction and locked nail osteosynthesis. The mean follow-up was 18 months and the functional results were evaluated according to the Kitaoka score, excelling in 68.75%, Good 18.75%, average 6.25% a bad case 6.25%.

Keywords: Calcaneum, articular fracture, osteosynthesis, locked nail

Introduction

Les fractures du calcanéum sont peu fréquentes mais souvent graves, et représentent environ 60% des fractures du tarse et 1 à 2% de l'ensemble des fractures du squelette (**Nassreddine**, 2015). Dans 75% de cas, ces fractures sont articulaires (**Badr El alami**, 2017) ; Ces lésions touchent l'articulation sous talienne et exposent à un risque élevé d'arthrose.

Les fractures articulaires dites thalamiques constituent un défi majeur par leur mécanisme de survenue, le choix thérapeutique, et leur pronostic fonctionnel moins favorable que les fractures extra thalamiques. Le traitement est chirurgical et vise à rétablir la congruence et l'anatomie de l'articulation sous talienne, en réduisant parfaitement la facette articulaire talaire postérieure du calcanéum, de retrouver la hauteur mesurée par l'angle de Boehler. A travers ce travail les auteurs se proposent de partager leur expérience pour le clou verrouillé type calcanail qui met à l'abri des complications de la voie classique latérale dite lyonnaise en maintenant, après réduction intra focale la surface thalamique en bonne position, et la possibilité de conversion simple de cette ostéosynthèse à la reconstruction arthrolyse sous talienne, et de comparer leur résultat aux données de la littérature.

Méthode.

Il s'agit d'une étude rétrospective continue sur une période de 5 ans, allant du 01 janvier 2015 au 31 décembre 2020, d'une série de 16 patients traités et suivis dans le service de chirurgie orthopédie et traumatologie du centre hospitalier de la côte basque, avec un recul moyen de 18 mois. Tous les patients ont bénéficié dès leur arrivée des explorations radiologiques basées sur un cliché de cheville de face et profil et une incidence retro tibiale et de Broden qui nous permettait de visualiser l'articulation subtalaire, un scanner de l'arrière pied (**Image 1**). Sur le plan anatomo-pathologique, nous avons

utilisé la classification de **Duparc [2]** pour sa valeur pédagogique et la classification radiologique de Uthéza pour sa valeur dans la prise en charge chirurgicale.

L'intervention chirurgicale était pratiquée sous anesthésie générale chez tous les patients avec une durée moyenne de prise en charge post traumatique à 5 jours du fait de l'état cutané qui conditionne cette prise en charge. L'installation sur table ordinaire était en décubitus latéral avec le pied débordant la table ce qui autorisait les contrôles scopiques de profil, retro thalamique et l'incidence de Broden. Nous avons utilisé une voie d'abord mini invasive par une courte incision talonnière postérieure de 20 mm puis introduction au moteur de deux broches perpendiculaires au calcaneus et au talus, mise en place du montage du distracteur talocalcanéenne sur les broches, passage de la tréphine (**Image 3**) de 10 mm, forage du tunnel et extraction de la tréphine permettait la récupération de la carotte osseuse (greffon) qui sera utilisée en fin de l'intervention. La distraction talo calcaneenne progressive permettait la réduction de la fracture et corrigeait la perte de la hauteur du calcaneum. La réduction est contrôlée sur l'incidence scopique de profil et de Broden, mesure de la longueur du clou puis introduction et verrouillage. Le temps opératoire moyen est de 41 minute (30-60 min).

L'avantage de cette technique résidait dans le fait qu'il n'y a pas d'immobilisation complémentaire et le patient sort du bloc avec un petit pansement sans risque de nécrose cutanée, le temps opératoire court éviterait les complications. La rééducation était systématique chez tous les patients le lendemain de l'intervention, l'appui partiel a été recommandé à la sixième (6) semaine et l'appui total définitif a été autorisé à trois (3) mois. Nos résultats ont été évalués radiologiquement par mesure de l'angle de Boehler post opératoire et le score fonctionnel de Kitaoka qui tient compte de trois paramètres : Douleur, la fonction et l'alignement de l'arrière pied. Le résultat a été considéré excellent, lorsque le score global était entre 95 et 100, bon lorsqu'il était entre 80 et 90, moyen entre 50 et 79 et mauvais lorsqu'il était inférieur à 50.ss

Résultats.

Notre série était composée de 11 hommes et 5 femmes, d'âge moyen 43 ans (extrêmes 17-68 ans), les étiologies de cette lésion peu fréquente (60% de fracture de tarse) étaient dominées par chute d'un lieu élevé (9 soit 56,25%), suivie d'accident de la voie publique (5 soit 31,25%) et accident de travail (2 soit 12,50%). Le côté droit était atteint 9 fois, le côté gauche 7 fois, il n'y avait pas d'atteinte bilatérale ; des lésions cutanées étaient présentes chez nos patients, 3 cas de Mondor, 6 cas de phlyctène (**Image 2**) et 3 cas d'ecchymoses

cutanées. Des lésions associées de l'appareil locomoteur étaient observées chez 5 patients (1 entorse cheville, 1 entorse grave du rachis cervical, 1 fracture du poignet, 1 fracture de la malléole latérale, un traumatisme crânien). Sur le plan anatomo pathologique, nous avons utilisé la classification de Duparc. Les fractures étaient type III dans 13 cas, soit 81,25%, type IV dans 2 cas, soit 12,50% et type II dans 1 cas soit 6,25%. L'enfoncement thalamique était de 2eme degré dans 9 cas soit 56,25%, et 1 er degré dans 6 cas soit, 37,50% et 3eme degré dans 1 cas soit 6,25%. Selon la classification radiologique de Uthéza, l'enfoncement vertical était 7 fois soit 43,75%, suivait l'enfoncement mixte 5 fois soit 31,25% et l'enfoncement horizontal 4 fois soit 25%. L'ostéosynthèse par clou verrouillé a été pratiqué entre 4eme et 5 jours chez tous nos patients, avec recours au relèvement de l'enfoncement et apport systématique de greffon prélevé au moment de passage de tréphine. Le temps opératoire moyen pour ce type de chirurgie est de 41 minute dans notre étude, avec une durée moyenne de 6 jours d'hospitalisation.

Au recul de 18 mois, nous avons un patient qui avait bénéficié d'une immobilisation complémentaire en raison d'une entorse de cheville associée, un cas d'algodystrophie, deux patients présentaient de douleur occasionnelle mais ils ont une marche normale sur terrain irrégulier, une mobilité réduite et deux raideurs sous taliens tous ont été évolués favorablement sous traitement médical et une rééducation, un patient avait présenté une arthrose sous talienne (**Image 4**) ce qui avait motivé une arthrodèse (**Image 5**); toutes ces complications provenaient de type III de Duparc (**Tableau 1**)

L'angle de Bohler moyen au dernier recul était de 28°. L'étude de la différence entre l'angle de Boehler moyen calculé en post opératoire et en pré opératoire 0° montrait un relèvement de la surface thalamique (**Tableau 2**).

Les résultats fonctionnels ont été analysés selon la cotation de KITAOKA, la mesure de l'angle de Boehler. Nos résultats globaux étaient excellents dans 11 cas soit 68,75%, Bons dans 3 cas soit 18,75%, Moyen dans un cas soit 6,25% et un mauvais cas soit 6,25%.

Discussions

Les fractures du calcanéum sont peu fréquentes et représentent environ 60% des fractures du tarse, ce même constat a été fait par (**Eastwood,1993**), surviennent chez les sujets jeunes, âgés en moyen de 43 ans dans notre série avec une prédominance masculine, cette affirmation est confirmée également par (**Nassridine,2015**), qui ont rapporté un âge moyen de 34 ans avec une prédominance masculine, par contre leur étiologie était dominée par les accidents de la voie publique contrairement à notre série ou l'étiologie principale était une chute sur le talon.

Le traitement de cette lésion est très controversé, le symposium de la SOFCOT (société française de chirurgie d'orthopédie et de traumatologie) de 1988 préconisait un traitement chirurgical de toutes les fractures articulaires déplacées (**Badr El alami**,2017) ; (**Juliano**,2001) dans leur étude avaient recommandé une ostéosynthèse par plaque vissée et vis, (**palmer**,1948), lui aussi recommandait la même technique de fixation.

Certains auteurs ont souligné dans leurs séries, que le traitement chirurgical versus traitement fonctionnel des fractures articulaires du calcanéum a montré que le traitement chirurgical permet d'aboutir à des résultats comparables, voir supérieur au traitement fonctionnel (**Sanders**,2000) ; Actuellement l'engouement se fait autour du clou verrouillé, car ce clou présente beaucoup des avantages d'abord par la voie mini invasive au niveau de la grosse tubérosité postérieure , qui met à l'abri des complications de la classique voie latérale, et qui maintient après réduction intrafocale, la surface thalamique en bonne position et avec la possibilité de conversion simple de la reconstruction ostéosynthèse à la reconstruction arthrolyse sous talienne. Le délai de la prise en charge chirurgicale post traumatique est de l'ordre de 7è – 10 jours dans beaucoup des données de la littérature, (**Nassreddine**,2015). Ce délai est réduit à 4 à 5 jours dans notre série car avec le clou, il y'a très peu ou pas de risque de nécrose cutanée, n'exposant pas le nerf sural, les suites opératoires sont simples pas de gros pansement ni drainage, pas d'immobilisation complémentaire, contrairement à l'étude de (**Souffiane Guelzim**,2015) qui utilisent le relèvement enclouage à foyer fermé plus immobilisation complémentaire d'emblée, mettant à l'abri les complications cutanées et septiques que nous avons observé dans la série de (**Stephenson**,1987) ou le taux de nécrose cutanée était de l'ordre de 21%. Notre série n'a aucun cas de nécrose ni d'infection cutanée. La technique d'ostéosynthèse par clou verrouillé expose à un risque mineur de complication cutanée et infectieuse contrairement aux ostéosynthèses par plaque ou ce risque peut atteindre 30%, surtout lorsqu'il s'agit de plaque non adaptée comme a souligné (**Levin**,1993), à cela s'ajoute le temps opératoire moyen qui est de 41 minute dans notre série, comparable à ceux qui utilisent la vis, et une courte durée d'hospitalisation car le patient quitte l'hôpital le lendemain de son opération.

L'apport de greffon était systématique dans notre série car nous avons récupéré la carotte osseuse après passage de trephine pour le forage de tunnel du clou, cela permettait de maintenir la surface après relèvement et réduction de tassement , ce constat a été fait également par (**Wilmoth**,1931) fut le premier à proposer l'adjonction d'une greffe osseuse systématique pour combler le vide créé par le relèvement de la surface thalamique mais certains auteurs n'utilisent pas systématique la greffe osseuse à l'exemple de

(Letournel,1993). Par contre il n'y'a pas de publication qui parlent d'apport de greffon en cas d'utilisation du clou verrouillé que nous pourrions comparer avec notre résultat.

La restauration de l'angle de Boehler donne une réduction anatomique, dans notre série l'angle moyen post opératoire était à 28°. (Nouissri,2010) utilisant la plaque vissée dans sa série a rapporté une oscillation entre 16 et 28,8° degré, donc ce résultat corrobore à notre série, par contre (Stindel,2001) qui utilise la vis avait retrouvé 17 degré.

L'arthrose sous talienne constitue la complication la plus redoutable. (Galvik,2002) avaient rapporté dans sa série 5,6%. (Badr El alami,2017) dans sa série de 29 cas avait noté 13% des cas dont un a nécessité une double arthrodèse. Ce risque semble diminué dans les suites d'une ostéosynthèse par clou verrouillé << type calcanail>> à foyer fermé ; Car notre série avait noté 6,25% d'arthrose chez un seul patient qui a bénéficié d'une arthrodèse sous talienne. Nos résultats fonctionnels semblent meilleurs 68,75% Excellent résultats, 18,75% Bons résultats, 6,25% moyens résultats, un seul cas de mauvais résultat (6,25%).

Conclusion :

Le traitement chirurgical des fractures articulaires déplacées du calcaneum est recommandé par plusieurs auteurs, et a montré des résultats fonctionnel et radiologique supérieurs au traitement fonctionnel. Mais l'utilisation du clou verrouillé <<type calcanail>>à foyer fermé semble meilleur avec une correction anatomique acceptable, une absence des complications cutanées et infectieuses observées dans la voie classique latérale.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il y'a aucun conflit d'intérêt après la rédaction de cet article.

Liste de figure, image et tableau

Tableau 1 : Rapport entre les Complications et le type de fracture

Duparc Complications	Type 2	Type 3	Type 4	Total
Algodystrophie	0	1	0	1
Arthrose sous talienn	0	1	0	1
Mobilité réduite	0	1	0	1
Sans complications	1	8	2	11
Raideur	0	2	0	2
Total	1	13	2	16

Tableau 2 : Tableau montrant les angles de Boehler.

Angle Boehler pré op	Angle de Boehler post op
5	25
-5	30
-2	32
-10	32,2
0	30
0	32
18	32
-10	31
10	25
-15	30
0	28
-15	12,8
-5	30
10	32
12	25
0	30



Image 1 : scanner



Image 2 : Phlyctène.

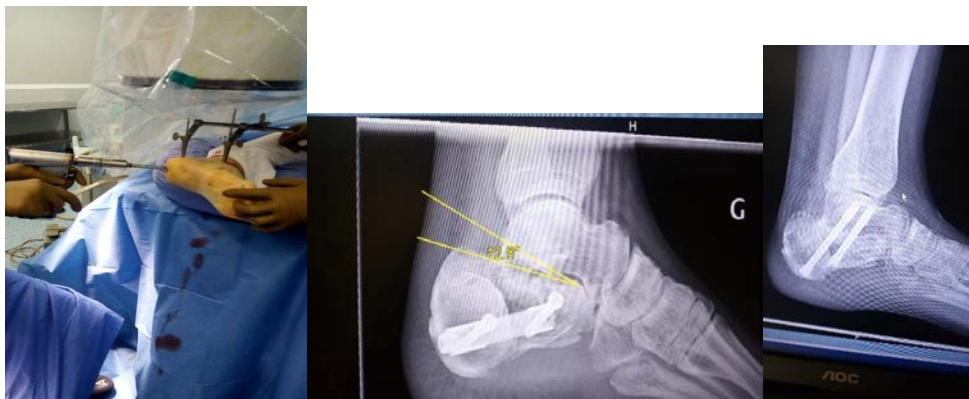


Image 3 : forage

Image 4 : échec arthroscopie

Image 5 : arthrodesis.

References:

1. Badr El alami, Aimane Naam, Mohammed Admi, Ilyas Rabhi et al: Traitement chirurgical des fractures du calcaneum à propos de 29 cas. Pan african medical journal.2017 ; 26 : 137-45.
2. Duparc J, Caffinière JY. Mécanisme, anatomopathologie, classification des fractures articulaires du calcaneum. Ann Chir. 1970 Mars; 24(5):289-30.
3. Eastwood DM, Gref PJ, Atkinsh M. Intra articular fracture of the calcaneum. J Bone Joint Surg. 1993 ;75-B(2):183-188.
4. Galvik JM, Rammelt S, Zwipp H. Percutaneous, arthroscopically assisted osteosynthesis of calcaneus fractures. Arch Orthop Trauma Surg. 2002 Nov;122(8):424-8
5. Juliano P, Nguyen HV. Fractures of the calcaneus. Orthop Clin North Am. 2001 Jan; 32(1):35-51.
6. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS and Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. Foot Ankle Int. 1994 Jul; 15(7):349-53.
7. Letournel E. Open treatment of acute calcaneal fractures. Clin Orthop Relat Res. 1993 May ;(290):60-7.
8. Levin LS, Nunley JA. The management of soft-tissue problems associated with calcaneal fractures. Clin Orthop Relat Res. 1993 May;(290):151-6.
9. Nassreddine Hammou ; Hatin Abid, Mohammed Shimi, Abdelhalim El, Ibrahim et al: Traitement chirurgical des fractures articulaires du calcaneum par plaque vissée. Pan african medical journal. 2015 ; 20 : 291-6.
10. Nouissri L. Chirurgie des fractures du calcaneum du parachutiste. Rev Int Serv Sante Forces Armees. 2010;811

11. Palmer I. The mechanism and treatment of fractures of the calcaneus. J Bone Joint Surg Am. 1948 Jan ; 30A (1) :28.
12. Sanders R. Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. J Bone Joint Surg Am. 2000 Feb; 82(2):225-50.
13. Souffiane Guelzim, Nourreddine sekkach : Technique originale de relevement enclouage à foyer fermé d'une fracture thalamique. Pan african medical journal. 2015 ;22 :179.
14. Stephenson JR. Treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneus using medial and lateral approaches, internal fixation, and early motion. J Bone Joint Surg Am. 1987 Jan; 69(1):115-30.
15. Stindel E. Les fractures thalamiques du calcanéum de l'adulte. Annales orthopédiques de l'Ouest. 2001;33:237276.
16. Wilmoth P. Traitement de fractures du calcanéum. J de Med et Chir Prat. 1931 ;(102): 328-35.
17. Zayer M. Fracture of the calcaneus: a review of 110 fractures. Acta Orthop Scand. 1969; 40(4):530-42.



Low-Level Laser Therapy At The Healing Process Of Grade I And II Ulcers In Patients With Diabetic Foot

Gustavo Argenis, (M.I.M.)

Ahtziry Aguilar, (P.S.S. Ft.)

Karen Najar, (P.S.S. Ft.)

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Hospital General de Querétaro – SESEQ, México

Sistema Universitario de Atención en Fisioterapia – SUAF-UAQ, México

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p78](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p78)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Argenis G., Aguilar A., & Najar K.,(2022). *Low-Level Laser Therapy At The Healing Process Of Grade I And II Ulcers In Patients With Diabetic Foot* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 78.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p78>

Abstract

Background: Chronic nonhealing ulcers are one of the major causes of morbidity and disability in people with diabetes mellitus (DM), which represents the most frequent cause of hospital admission in this group of DM. In terms of the acceptability, availability, and minor adverse effects, the effect of low-level laser therapy (LLLT) on diabetic foot ulcers (DFUs) has been highly documented in scientific literature. **Purpose:** The present study had the aim to evaluate the effectiveness of LLLT to promote the healing of diabetic foot ulcers. **Methods:** A quasi-experimental test-retest study was performed with a sample of 12 subjects. Before executing the research, it was submitted for review and approval by the Research Subcommittee of the Physiotherapy Degree, as well as the Research Committees of the Hospital General de Querétaro. **Results:** The average area at the beginning of the physical examination of the DFUs was 7.98cm² (SD= 8.13), and the average area after the intervention was 0.93cm² (SD= 1.64) revealing an average difference of -7.05cm² (SD= 8.1) at the end of the intervention with LLLT. The Student's t-test was then used for related samples with a calculated value of $t= 3.00$ and significance of $P=0.012$ which shows at 95%, a significant difference in the reduction of the area in square centimeters of the ulcers after the application

of therapeutic low-intensity laser. **Conclusions:** The effects and efficiency of the LLLT were demonstrated, although further study with a numerically larger sample is suggested.

Keywords: low-level laser therapy, diabetic foot ulcer, healing process.

Introduction

Worldwide between 15% to 25% of patients with DM develop diabetic foot. Within these, 1% to 4% develop diabetic foot ulcers, producing between 40% and 70% of lower limb amputations, with evidence of incidences of new episodes after an amputation (Cisneros et al., 2015).

According to International Diabetes Federation (2019), Mexico occupies the sixth position with diabetic people worldwide, with a figure of 13 million, where most of them have diabetic foot syndrome (DFS).

DFS is considered as the presence of ulceration, infection, and/or gangrene of the foot associated with diabetic neuropathy and different degrees of peripheral vascular disease, resulting from the complex interaction of different factors induced by sustained hyperglycemia (González et al., 2018).

As stated by Obeso et al., (2021), DFUs generally inflict a prolonged, recurrent hospital stay; causing in most cases the amputation of the limb. This causes a high economic and social cost and a decrease in the quality of life and lifespan of patients.

Texas wound classification system determines that a grade I ulcer is a superficial skin injury that does not involve tendons, capsules, or bone without or with infection and ischemia, and a grade II ulcer already compromises tendons or capsules without or with infection and ischemia (Pereira et al., 2018).

The management of the DFUs is a public health problem due to the frequency with which cases occur, and the burden that is generated on the health system and on the economy (ENSANUT, 2016). Conventional treatment of diabetic foot ulcers uses drugs, wound cleansing, surgical intervention, and hyperbaric oxygenation. However, these have the disadvantage of high costs and long attention spans (CENETEC, 2020).

Laser therapy is an efficient and low-cost therapeutic resource proven in the treatment of ulcers due to its ability to accelerate the repair process in different tissues through the use of low-power light sources. Its biomodular action on the tissues allows faster tissue recovery, added to an effective action to relieve pain, especially in the first fifteen days of treatment (Perea & Navarro, 2019).

The LLLT boosts the reduction of the inflammatory phase, promoting angiogenesis and the production of components of the extracellular matrix, as well as its organization. In addition to reducing the area of the lesion and accelerating the healing process, laser therapy has the advantage of being easily administered (Sandoval, 2014).

In a clinical trial carried out with 2 control groups, Mathur (2017) demonstrated a positive effect was obtained in the group treated with laser regarding the reduction of ulcers, improving significantly more than those patients who have not been treated with this therapy, which indicates that it is an effective modality to facilitate wound contraction in patients suffering from diabetes and can be used as an adjunct to the conventional mode of treatment (dressing and debridement) for diabetic wound healing.

Carvalho et al., (2016), in an experimental, randomized, controlled and prospective clinical trial; with a sample of 32 patients, proved that after 30 days it was possible to observe how the patients who had been treated with laser therapy had practically healed ulcers.

Gebala et al., (2016) found that laser increased cell proliferation and increased type I collagen content, cell migration, proliferation, and viability in fibroblasts, noting that a group treated with low-level therapy had a significant reduction in ulcer area compared to patients on conventional therapy alone.

De la Cruz et al., (2011) concluded in their study that "laser therapy as a biostimulator that promotes the hyperpolarization of the cell membrane, the acceleration of metabolic processes and the increase in the exchange of nutritional substances, which contributes to strengthening the action of immune cells".

The results in the study by Hernández et al., (2015) showed complete healing or reduction in the area of the ulcers in approximately 50% of their initial surface and in more than 50% of the patients.

The objective's study was to evaluate the effectiveness of LLLT application to promote healing of diabetic foot ulcers.

Methods

Protocol and type of study

A quasi-experimental study was performed with a sample of n=12 subjects in an age range between 30 and 60 years (SD=6.99). To carry out the research, it was submitted for review and approval by the Research Subcommittee of the Physiotherapy Degree, as well as to the Bioethics Committee of Universidad Autónoma de Querétaro; it was also submitted for review, presentation, and approval to the Research Committee of the Hospital General de Querétaro.

Criteria Selection

The patients included in the study were selected meeting the inclusion criteria: patients who were in an age range of 30 to 60 years of age; subjects who presented grade (0 to II) ulcers according to the classification scale of the University of Texas and who did not present infection in the ulcerated area; and patients who agreed to sign the informed consent once they were informed in detail about the nature of the study.

Induction to study participants

During the induction to the research project, they were instructed and made clear that the end of the project intervention was the evolution of the ulcer until its closure, reduction, and/or that it presented favorable conditions to be treated conventionally or by means of partial-thickness skin grafts, as long as a minimum of 12 attendances were met for the methodological effect of the research project itself.

Measurements and scheduling

Measurements were taken (length and width of the area) by means of a ruler graduated in centimeters of the international system of units (SI), emptying the data obtained to the app "Geometry" version 2.8.4 ARPAPLUS of the Android system that allowed the calculation of the area and perimeter of the lesion; this made possible to evaluate the evolution of the ulcer after the application of the initial and final treatment; photographic capture was made as well for the follow-up of the ulcer in each session.

The treatment program consisted of a total of 12 sessions, divided into 3 sessions per week, alternately, which took a total of 4 weeks per patient; in the other hand, for bioethical reasons and of passion for the subjects participating in the research, he dedicated himself to continuing with the application of the therapeutic laser until a total closure of the lesion was presented or a reduction greater than 50% of it was observed.

All subjects in the study group attended their scheduled sessions without absences, cancellations, setbacks, or appointment changes. It is worth mentioning that none of the subjects had secondary symptoms or adverse effects developed during or at the end of treatment; however, based on the elimination criteria, one subject was discharged due to poor glycemic control.

Medical equipment, dosage, and application methodology

The intervention was applied with medical-grade equipment that emits a low-intensity therapeutic laser with a power of 50mW and a diode applicator with a wavelength of 785nm. The dosage was 10 J/cm², at a frequency of 3000

Hz, applying it for 6 seconds per point, keeping the applicator 1cm away from the perimeter of the skin surrounding the outer edges of the ulcer.

Data analysis

A test-retest, the Student's t-test, and Wilcoxon signed-rank test analysis were used to process the information and determine the results. The variables considered were the area (cm²) of the ulcers before and after the intervention, their perimeters (cm), as well as the grade and stage according to the "Texas Scale", also both before and after the LLLT intervention.

Results

As a result of the statistical analysis, it was observed that the average area at the beginning of the assessment was 7.98cm² (SD= 8.13), and the average area after the intervention was 0.93cm² (SD= 1.64), revealing an average difference of -7.05 cm² (SD= 8.1) at the end of the intervention with laser therapy (Table No.1). The Student's t-test was subsequently used for related samples with a calculated value of $t= 3.00$ and significance of $P=0.012$, which shows (CI=95%), a significant difference in the reduction of the area in square centimeters of the ulcers after the application of LLLT.

In the analysis of the measurements of the perimeter of the ulcers before and after, statistics were also performed, showing that the average perimeter at the time of the initial assessment was 9.59 cm (SD= 6.17), the final average perimeter was 2.52 cm (SD= 4.09), obtaining a final difference of -7.26cm of average reduction (SD= 6.29), as shown in Table No. 2. In the same way, the Student's t-test was used for samples related to a value of $t= 3.99$ and significance $P= 0.002$, which states that with a (CI=95%), there was a significant difference in the reduction of the perimeter of the ulcers after the application of laser therapy.

Table No.1.- Statistical analysis of the before and after of the area of the ulcers.

Measurements	Area (cm ²) BEFORE	Area (cm ²) AFTER	Area differences (cm ²)
Sample (n)	12	12	12
Average (\bar{X})	7.98	0.93	-7.05
Standard Deviation (SD)	8.13	1.64	8.1

Source: self-made.

Table No.2.- Statistical analysis of the before and after of the perimeter of the ulcers.

Measurements	Perimeter (cm) BEFORE	Perimeter (cm) AFTER	Perimeter differences (cm)
Sample (n)	12	12	12
Average (\bar{X})	9.59	2.52	-7.26

Standard Deviation (SD)	6.17	4.09	6.29
--------------------------------	------	------	------

Source: self-made.

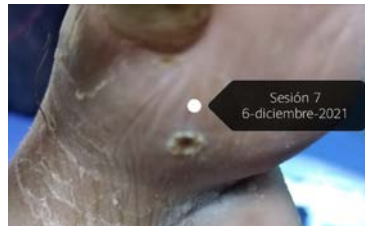
On the other hand, according to the degree and stage of the "Texas Scale" of the ulcers before and after the intervention with therapeutic laser therapy, a non-parametric test was used, so an analysis was carried out for related samples through the Wilcoxon test, obtaining a degree of significance of (P= 0.002) with a (Z= -3.07), which clearly shows that there was a decrease in the degrees of ulcers after the intervention. Likewise, with the stage of the ulcers, a result was also obtained with the Wilcoxon test (P value = 0.016) with a (Z= -2.4), which also indicates a significant decrease in the general stages of the ulcers at the end of the intervention with laser therapy compared to the initial evaluation. Based on a random selection of photographic evidence, some of them are shown below

Figure 1.



Case 1 before LLLT

Figure 2.



Case 1 at seventh session

Figure 3.



Case 3 before LLLT

Figure 4.



Case 3 at twelfth session

Figure 5.



Case 11 before LLLT

Figure 6.



Case 11 at nineteenth session

Case 9.



Case 9 before LLLT



Case 9 at twenty-ninth session

Discussion

It is convenient to observe the statistical consistency with respect to the results obtained, which provides validity to the methodology used. Also, it is necessary to make it clear that a substantially larger sample would obviously be required to have more representative reliability.

The importance of this study is in the strength of the methodology, the care of the processes involved, as well as in the details related to the infrastructure, the technology used, the object of the study focused on the before and after based on measurements of the (SI), the parameters of the therapeutic laser, the determination of the dose, in the administrative, bioethical and regulatory aspects.

Although the subject matter of LLLT is very extensive in the scientific literature and in the main scientific search engines, recent systematic review and meta-analysis studies have shown that many of them lack methodological support. In this sense, fortunately, it was possible to identify the best available sources, and based on the results of the study, it can be established that there is a high affinity in terms of the effectiveness and benefits of therapeutic laser associated with the DFUs healing process.

The limitations of the project are mainly focused on the size of the sample, which was circumscribed according to the time it took to develop the research; this has an impact on the fact that other statistical tests could even be performed that can further reinforce the importance of the efficacy of the LLLT.

Conclusions

Regardless of the limitations in terms of sample proportion, the results are considered to confirm the importance and effectiveness of low-power laser therapy applied mainly to people suffering from diabetic foot ulcers.

As reflected in the scientific literature, it can be affirmed that LLLT has positive and certainly rapid effects on the repair process of DFUs in

comparison with the recommendations and conventional treatments in the management of such conditions.

It is important to highlight that the tissue repair process can surely be related to the healthy lifestyle of patients as well as to the specific care that DM entails (glycemia level), both with that of the DFUs in terms of repair processes as carried performed by professionals, with due procedure, local hygiene, antisepsis, postures and movements that promote correct peripheral circulation, ventilation, oxygenation, venous return, lymphatic drainage, and others.

It is also concluded that the Texas scale is a meaningful reference that allows for a verification margin in terms of a more objective measurement of DFUs. In the present study, significant degrees and stage reduction were observed in both parameters, and that contrasted with the area and perimeter reductions, it is established that it is a reference scale for the study and analysis of such kinds of ulcers.

This type of study has the nobility of motivating to carry out extensive interventions even to have more consistent results, but it also has the virtue to inspire to carry out more educational and awareness campaigns about the UFDs, which allows having an impact on the prevention of these health conditions.

Also, the advantage of this study results in the fact of the importance of having an explicit methodology, but mainly in the sense of the technologies or parameters used as well as the doses that prove to be effective in order to have greater reproducibility, which translates into the prevention of progression of ulcers and therefore, prevention of diabetic foot amputations.

Due to the alarming epidemiological representativeness that DM, DFS, and UFDs entail, this type of technology and intervention can easily justify its implementation in the health system that even allows the development of cost-benefit research in terms of people's health, as well as in administrative and economics, both in the short and long term.

Evidently, the recommendation extends that the application must be carried out by a competent and qualified health professional, as well as making use of medical-grade equipment and/or technologies within pertinent regulations and procedures. Although laser therapy has few adverse effects in its correct application, there are serious precautions concerning its handling and use.

Acknowledgments

To the Research Committee of the Hospital General de Querétaro and its staff, as well as the Dean of the degree in physiotherapy; to the Sistema

Universitario de Atención en Fisioterapia and its staff. To the commitment and participation of the study participants. To all person involved and encouraged us in this project.

Human Studies

The research protocol was submitted for review and approval before its application by the Research Subcommittee of the Physiotherapy Degree, as well as the Bioethics Committee of the Universidad Autónoma de Querétaro; it was also submitted for review, presentation and approval to the Research Committee of the Hospital General de Querétaro.

Conflicts of Interests

None at all.

Author contributions

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

G. A. design of the study, process monitoring, data analysis and interpretation, writing the manuscript, and final approval.

A. A. study proposal, literature review, design of the study, scientific presentation, study intervention, data collection, writing the manuscript.

K. N. study proposal, literature review, design of the study, study intervention, data collection, writing the manuscript.

References:

1. American Diabetes Association (2018). 4. Lifestyle Management: Standards of Medical Care in Diabetes-2018. *Diabetes care*, 41(Suppl 1), S38–S50. <https://doi.org/10.2337/dc18-S004>
2. Albornoz, M., Maya, J., & Toledo, J. (2016). *Electroterapia práctica. Avances en investigación clínica*. In Elsevier.
3. Alves, A. C., Vieira, R., Leal-Junior, E., dos Santos, S., Ligeiro, A. P., Albertini, R., Junior, J., & de Carvalho, P. (2013). Effect of low-level laser therapy on the expression of inflammatory mediators and on neutrophils and macrophages in acute joint inflammation. *Arthritis research & therapy*, 15(5), R116. <https://doi.org/10.1186/ar4296>
4. Apelqvist, J., Bakker, K., van Houtum, W. H., Nabuurs-Franssen, M. H., & Schaper, N. C. (2000). International consensus and practical guidelines on the management and the prevention of the diabetic foot. International Working Group on the Diabetic Foot. *Diabetes/metabolism research and reviews*, 16 Suppl 1, S84–

- S92. [https://doi.org/10.1002/1520-7560\(200009/10\)16:1+<::aid-dmrr113>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/1520-7560(200009/10)16:1+<::aid-dmrr113>3.0.co;2-s)
5. Botas Velasco, M., Cervell Rodríguez, D., Rodríguez Montalbán, A. I., Vicente Jiménez, S., & Fernández de Valderrama Martínez, I. (2017). Actualización en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neuropatía diabética periférica. *Angiología*, 69(3), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2016.06.005>
 6. Cameron MH. (2009). Agentes físicos en rehabilitación. De la investigación a la práctica. 3.^a ed. Barcelona: Elsevier. pp. 346-69.
 7. Carvalho, AFM., Coelho, NPMF., Rebêlo, VCN., Castro, JG., Sousa, PRG., et al. (2016). Lowlevel laser therapy and *Calendula officinalis* in repairing diabetic foot ulcers. *Revista da escola de enfermagem USP*. Vol. 50, n^o4, p. 628-634. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0080-623420160000500013>.
 8. Castro-Sande, Noelia, Arantón-Areosa, Luis, & Rumbo-Prieto, JM. (2020). La terapia láser como tratamiento de elección en la onicomicosis del pie diabético. Revisión de alcance. *Enfermería dermatológica*, 14(40), e01–e10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4032365>
 9. CENETEC. (2017). Diagnóstico y tratamiento de la neuropatía diabética en adultos. Guía de Práctica Clínica: Guía de Evidencias y Recomendaciones. Cenetec. Retrieved November 15 2021, from: <http://www.cenetec.salud.gob.mx/contenidos/gpc/catalogoMaestroGPC.html>.
 10. Ceylan, Y., Hizmetli, S., & Siliğ, Y. (2004). The effects of infrared laser and medical treatments on pain and serotonin degradation products in patients with myofascial pain syndrome. A controlled trial. *Rheumatology International*, 24(5), 260–263. <https://doi.org/10.1007/s00296-003-0348-6>
 11. Cisneros, N., Ascencio, IJ., Libreros, VN., Rodríguez, H., Campos, Á., Dávila, J., Kumate, J., Borja, VH. (2016). Índice de amputaciones de extremidades inferiores en pacientes con diabetes. *Rev Med Inst Mex Seg Soc*; 54(4):472-9.
 12. Couselo, I., & Rumbo, J.M.. (2018). Riesgo de pie diabético y déficit de autocuidados en pacientes con Diabetes Mellitus Tipo 2. *Enfermería universitaria*, 15(1), 17–29. <https://dx.doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2018.1.62902>.
 13. Del Pozo, J., & Vieira V. (2016). Láser y cicatrices. *Revista de la sociedad española de heridas*. Retrieved August 22 2020, from:

- https://heridasycicatrizacion.es/images/site/archivo/2016/Revista_SEHER_8_SEPTIEMBRE_2016_12_Septiembre.pdf
14. De la Cruz., Del Olmos, DQ., Quiñones, M., Zulueta, Á. (2011). Comportamiento de las úlceras venosas de los miembros inferiores tratadas con láser de baja potencia. *Rev Cubana Angiol y Cir Vasc*. Retrieved February 02 2021, from: http://bvs.sld.cu/revistas/ang/vol13_1_12/ang03112.htm.
 15. Gæde, P., Oellgaard, J., Carstensen, B., Rossing, P., Lund-Andersen, H., Parving, H., Pedersen, O. (2016). Years of life gained by multifactorial intervention in patients with type 2 diabetes mellitus and microalbuminuria: 21 years follow-up on the Steno-2 randomised trial. *Diabetología* DOI: 59:2298-2307.
 16. Gebala-Prajsnar, K., Stanek, A., Pasek, J., Prajsnar, G., Berszakiewicz, A., Sieron, A., & Cholewka, A. (2016). Selected physical medicine interventions in the treatment of diabetic foot syndrome. *Acta Angiologica*. DOI: 10.5603/aa.2015.0024.
 17. Greaves, N. S., Iqbal, S. A., Baguneid, M., & Bayat, A. (2013). The role of skin substitutes in the management of chronic cutaneous wounds. *Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*, 21(2), 194–210. <https://doi.org/10.1111/wrr.12029>
 18. González, H., Berenguer, M., Mosquera, A., Quintana, M., Sarabia, R., & Verdú, J. (2018). Diabetic foot Classifications II. The problem remains. *Gerokomos*. 29(4):197-209
 19. Hernández, E., Khomchenko, V., Sola, A., Pikirenia, I.I., Alcolea, J.M., & Trelles, M.A.. (2015). Tratamiento de las úlceras crónicas de las piernas con láser de Er: YAG y tecnología RecoSMA. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 41(3), 271-282. <https://dx.doi.org/10.4321/S0376-78922015000300007>
 20. Huang, J., Chen, J., Xiong, S., Huang, J., & Liu, Z. (2021). The effect of low-level laser therapy on diabetic foot ulcers: A meta-analysis of randomised controlled trials. *International Wound Journal*, 18(6), 763–776. <https://doi.org/10.1111/iwj.13577>
 21. Instituto Nacional de Salud Pública. (2016). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino. Informe final de resultados. *Salud Pública México*. Retrieved September 12, 2021, from: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209093/ENSANUT.pdf>
 22. Khamseh, M. E., Kazemikho, N., Aghili, R., Forough, B., Lajevardi, M., Hashem Dabaghian, F., Goushegir, A., & Malek, M. (2011).

- Diabetic distal symmetric polyneuropathy: effect of low-intensity laser therapy. *Lasers in medical science*, 26(6), 831–835. <https://doi.org/10.1007/s10103-011-0977-z>
23. Kierszenbaum. (2016). *Sistema tegumentario – Histología y biología celular*. 4th ed., pp. 353–386.
 24. Lázaro, J., Tardáguila, A., y García, J. (2017). Actualización diagnóstica y terapéutica en el pie diabético complicado con osteomielitis. Madrid, España. *JEndocrinología, Diabetes y Nutrición* (2017) 64(2) 100-108
 25. Lavery, L. A., Armstrong, D. G., & Harkless, L. B. (1996). Classification of diabetic foot wounds. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 35(6), 528–531. [https://doi.org/10.1016/s1067-2516\(96\)80125-6](https://doi.org/10.1016/s1067-2516(96)80125-6)
 26. López, G. (2009). *Diabetes Mellitus: clasificación, fisiopatología y diagnóstico*. Medwave. <https://doi.org/10.5867/medwave.2009.12.4315>
 27. Mansilha, A. (2017). Tratamiento y gestión del pie diabético. *Angiología*, 69(1), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2016.08.012>
 28. Mansilha, A., & Brandão, D. (2013). Guidelines for treatment of patients with diabetes and infected ulcers. *The Journal of cardiovascular surgery*, 54(1 Suppl 1), 193–200.
 29. Mathur, R. K., Sahu, K., Saraf, S., Patheja, P., Khan, F., & Gupta, P. K. (2017). Low-level laser therapy as an adjunct to conventional therapy in the treatment of diabetic foot ulcers. *Lasers in Medical Science*, 32(2), 275–282. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-2109-2>.
 30. Edmonds, M., Lázaro-Martínez, J. L., Alfayate-García, J. M., Martini, J., Petit, J. M., Rayman, G., Lobmann, R., Uccioli, L., Sauvadet, A., Bohbot, S., Kerihuel, J. C., & Piaggese, A. (2018). Sucrose octasulfate dressing versus control dressing in patients with neuroischaemic diabetic foot ulcers (Explorer): an international, multicentre, double-blind, randomised, controlled trial. *The lancet. Diabetes & endocrinology*, 6(3), 186–196. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30438-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30438-2)
 31. Narayan K. M. (2016). Type 2 Diabetes: Why We Are Winning the Battle but Losing the War? 2015 Kelly West Award Lecture. *Diabetes care*, 39(5), 653–663. <https://doi.org/10.2337/dc16-0205>
 32. Nascimento, R., Ferreira, V., Bittencourt, M., et al. (2018). Terapia con láser en la curación de úlceras por presión en pacientes de ICU de baja intensidad, de Núcleo do conhecimento. Retrieved January 06

- 2021, from:
<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/salud/terapia-con-laser-de-com#4-Metodologia>.
33. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. (1996). Reunión del Consejo Directivo OPS/OMS. Washington, D.C. 39ª edición. Retrieved January 13, 2021, from: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15326:57th-directing-council&Itemid=40507&lang=es
 34. Pan American Health Organization/World Health Organization. (1902-1997). Protecting Americas health. Diabetes cases in the Americas expected to jump from 30 million to 45 million. Washington, DC.: PAHO/WHO. Retrieved March 08 2020, from: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=7460:2012-diabetes-shows-upward-trend-americas&Itemid=4327&lang=en
 35. Pereira C., N., Suh, H. P., & Hong, J. P. (JP). (2018). Úlceras del pie diabético: importancia del manejo multidisciplinario y salvataje microquirúrgico de la extremidad. *Revista Chilena de Cirugía*, 70(6), 535–543. <https://doi.org/10.4067/s0718-40262018000600535>
 36. Pérez, V., Peñaranda, M., & Torres, J.. (2017). Láser de baja potencia en la cicatrización de heridas. Junio 22, 2021, *Mediciego*.
 37. Ramos, D., & Sánchez, L. (2017). Efectos del láser terapéutico en cicatrices hipertróficas o queloides en pacientes con secuelas de quemaduras en extremidades superiores e inferiores que acuden a la fundación Ecuaquem, período octubre 2016 a febrero 2017, de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Retrieved June 02 2021, from: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7625>
 38. Rojas-Martínez, R., Basto-Abreu, A., Aguilar-Salinas, C. A., Zárate-Rojas, E., Villalpando, S., & Barrientos-Gutiérrez, T. (2018). Prevalencia de diabetes por diagnóstico médico previo en México. *Salud Pública de México*, 60(3, may-jun), 224. <https://doi.org/10.21149/8566>
 39. Cristina Sandoval Ortíz, M., Herrera Villabona, E., Marina Camargo Lemos, D., & Castellanos, R. (n.d.). Effects of low level laser therapy and high voltage stimulation on diabetic wound healing *Efectos del láser de baja potencia y alto voltaje sobre la cicatrización de úlceras diabéticas* (Vol. 46, Issue 2).
 40. Townsend, CM., Beuchamp, RD., Evers, BM., & Mattox, KL. (2016). Cicatrización de las heridas – Sabiston. Tratado de cirugía – ClinicalKey Student. Elsevier.

41. Wang, L., Hu, L., Grygorczyk, R., Shen, X., & Schwarz, W. (2015). Modulation of Extracellular ATP Content of Mast Cells and DRG Neurons by Irradiation: Studies on Underlying Mechanism of Low-Level-Laser Therapy. *Mediators of Inflammation*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/630361>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Fillings And Late Holocene Palaeoenvironments Of The Palustrine-Depressions Of The Lopé National Park, Middle Ogooué Valley In Gabon

Victory Nfoumou Obame, (Assistant)

University of Science and Technology of Masuku, Department of Geology,
Franceville, Gabon

Norbert Ondo Zue Abaga, (Master assistant)

Makaya M'voubou, (Assistant professor)

University of Science and Technology of Masuku, Department of Geology,
Franceville, Gabon

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p92](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p92)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Nfoumou Obame V., Ondo Zue Abaga N., & M'voubou M.,(2022). *Fillings And Late Holocene Palaeoenvironments Of The Palustrine Depressions Of The Lopé National Park, Middle Ogooué Valley In Gabon* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 92.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p92>

Abstract

This work is devoted to the study of fillings and late Holocene palaeoenvironments of two marshes located in the savannas of the northern part of Lopé National Park in Gabon. Sedimentological and geochemical analyzes associated with ^{14}C dating were performed on the sedimentary deposits of Yao and Vitex marshes. The results obtained were compared with these of the sedimentary core of the Lopé 2 marsh, previously analysed. All of these data show that the active filling of these marshes was carried out synchronously. The small variation observed are linked to specific physical characters to each of the marshes. This filling began between 2300 and 2000 cal years BP in all of the marshes. It started at the beginning of the humid climatic phase which followed the climatic pejoration recognized throughout the area of Atlantic Central Africa between 2500 and 2000 years BP. During this humid climatic phase, the rains were abundant and regular and the depressions were filled with sediments which are very rich coarse detrital elements from the erosion of slopes. The marshes and its banks were covered with sparse vegetation. Subsequently the sediments gradually become

depleted in coarse detrital materials and enriched with organic constituents. This evolution would indicate a gradual reduction in erosion linked to the densification of the vegetation cover on the slopes. It is mostly related to the development of vegetation in the marshy basins. This development of the vegetation and the conservation of the organic matter of the marshes are due to the perennial flooding of the palustrine depressions.

Keywords: Gabon, late Holocene, filling, marsh, organic matter, sediment

Introduction

The Holocene evolution of landscapes in Atlantic Central Africa has been the subject of several studies in recent decades (Vincens *et al.*, 1999; Maley and Chepstow-Lusty, 2001; Malounguila Nganga *et al.*, 2017; Giresse *et al.*, 2020). These studies have highlighted a major disturbance of the equatorial forest during this period. This disturbance, centered between 2500 and 2000 years BP, is characterized by the fragmentation of the forest, the expansion of the savanna or the emergence of pioneer vegetation species, accompanied by intense erosion. It was mainly caused by a dry climate linked to increased seasonality (Maley, 2001; Weldeab *et al.*, 2007). This dry climate phase has been documented in western Cameroon at Barombi Mbo between 2800 and 2000 years BP (Maley and Brenac, 1998). It has also been recorded in the Mayombe of western Congo at Kitina between 2500 and 1200 years BP (Elenga *et al.*, 1996). Studies in Gabon have shown this climatic deterioration between 2500 and 1950 years BP at lake Nguène (under rainforest) and at lake Maridor (under savanna) between 3500 and 2190 years BP (Makaya M'voubou, 2005; Giresse *et al.*, 2009). This dry climatic phase was succeeded by a wetter climate at lake Barombi Mbo around 2000 years BP (Lebamba *et al.*, 2012) and at Kitina at 1200 years BP (Bertaux *et al.*, 2000). This was also the case at Nguène at 1950 years BP and at Maridor from 2190 years BP (Giresse *et al.*, 2009).

In the Lopé National Park, the only lake sedimentary archive studied is that of Kamalété. The results obtained highlight a weakly humid climate between 1400 and 550 years BP, followed by a return to humid conditions from 550 years BP (Ngomanda *et al.*, 2005; Giresse *et al.*, 2009). Apart from lake Kamalété, the savannas of its northern part contain sedimentary archives accumulated in the marshes. Analysis of that of Lopé 2 marsh reveals a dry climatic phase recorded before 2320 cal years BP (Nfoumou Obame *et al.*, 2017). It is characterized by the formation of hydromorphic soil surmounted by a deposit of coarse sand in the depression, as well as by sparse vegetation around and inside the marsh. From 2320 cal years BP, the Lopé 2 marsh

records a humid climatic phase which is at the origin not only of the filling of the depression with sediments increasingly rich in organic matter and poor in quartz grains, but also of the densification of the vegetation of the marsh and its slopes (Nfoumou Obame *et al.*, 2017). The palustrine sedimentary archives very often record the palaeoenvironmental evolution of the depression itself or of its immediate slopes. To know the paleoenvironmental history of the region through the study of palustrine sedimentary records, it is necessary to increase the number of sampling sites and proxies. This work will aim to determine the late holocene palaeoenvironmental variations of Lopé through the analysis of the filling of the marshes of this park. To achieve this objective, sedimentological and biogeochemical analyzes were performed on sediment records from two marshes in the Lopé National Park.

1- Vegetation, Climate, Geology Of Lopé National Park And Presentation Of The Sites

The Lopé National Park (fig. 1), located in central Gabon has a landscape characterized by vegetation of the forest-savanna mosaic type (Palla *et al.*, 2011). It is covered 80% with forest and 20% with savannas which appear only in the northern and eastern zones. The marshes that are the subject of this study are located in the northern savannas where the granitoids attached to the Archean formation of the northern Gabon massif are exposed (Chevallier *et al.*, 2002). The regional climate is of the equatorial type of transition, with an annual rainfall of 1500 mm and an average monthly temperature which varies between 20.6 and 30.8°C.

The Yao marsh (S 00°10'19,5''-E 11°35'16,11'') is a depression 100 m long and 20 m wide with relatively steep slopes. This marsh is a preferential flow area for water during the rainy seasons to the outlet where it flows into a stream locally called the Yao River. The immediate edges of the marsh are completely covered with a savanna made up of grasses (*Pobeguinea arrecta* and *Peratis indica*) and shrubs (*Crosoptherix febrifuga* and *Nauclea latifolia*) which become denser as you get closer to the marsh. Behind the savanna of the western flank develops forest made up of various species. This forest connects those that have been established upstream and downstream (towards the outlet) of the marsh. The interior of the marsh is colonized by Cyperaceae.

The Vitex marsh (S 00°9'46''-E 11°35'07'') is the most northerly of those studied in this work. It is located 1 km from Yao Marsh. The Vitex marsh is a depression about 40 m wide and 220 m long with relatively steep sides. Rainwater flows preferentially there before being conveyed in a stream. A grassy and shrubby savanna covers the immediate slopes of the marsh. It is only from the outlet that a grove develops in which we find the species

characteristic of the recent colonization of the savanna by the forest (*Lophira alata*, *Paurosa guineensis*, *Aucoumea klaineana*, *Vitex doniana*). The interior of the marsh is dominated by Cyperaceae.

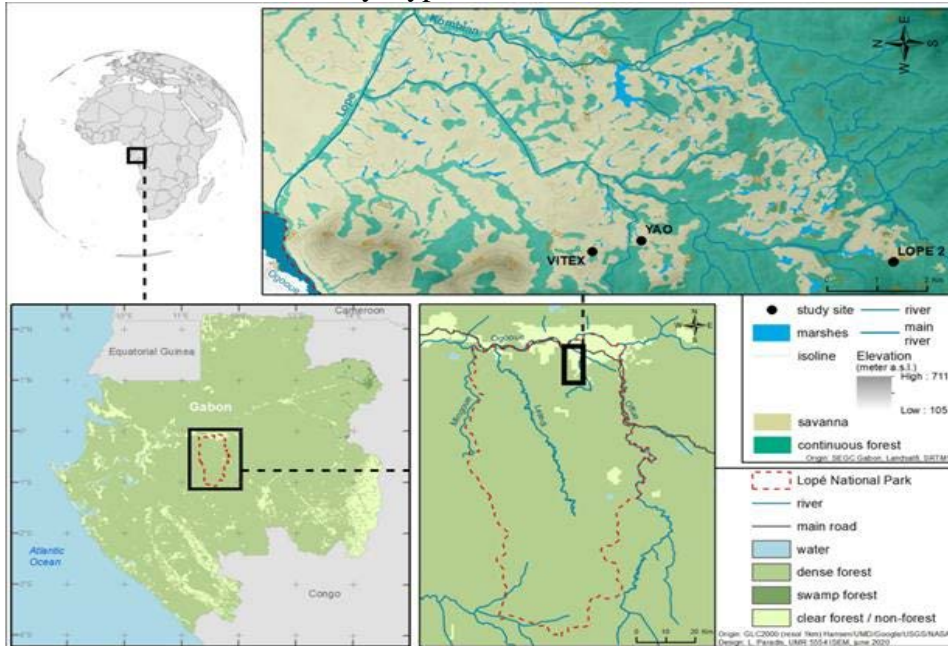


Fig. 1: Location of the Yao, Vitex and Lopé 2 marshes in the Lopé National Park (Bremond *et al.*, 2021).

2- Materiel And Methods

2.1 Description Of Cores And Radiocarbon Datings

Two sedimentary samples were taken in the central part from two marshes in the Lopé National Park using a Russian mechanical corer (one at Yao and one at Vitex). During this sampling, the samples stop when the corer encounters a very hard compact zone which is difficult to cross by the tip of the latter. The sediments sampled were the subject of sedimentology and organic geochemistry analyzes (Rock-Eval pyrolysis). These sedimentary deposits were also dated with ^{14}C by accelerator mass spectrometry (AMS) at the ^{14}C measurement laboratory in Saclay (France), the radiocarbon laboratory in Poznam (Poland) and the Beta analytic laboratory in Miami (USA). The dates (tab. 1) were calibrated using the Stuiver calibration curve (Stuiver *et al.*, 1998) for those obtained at Saclay and Poznam and by the Talma curve (Talma *et al.*, 1993) for that obtained in Miami. The age models were established using Bacon software (Blaauw and Christen, 2011).

The core collected at the Yao marsh is 190 cm long. It consists of a light

gray mud rich in plant debris and slightly quartzous between the base and 125 cm depth (unit 1), then a dark brown to light brown mud rich in plant debris (unit 2). Six samples of this core have been dated to ^{14}C , and the results show that it base is 2003 years old cal BP. The slope of the age-depth model (fig. 2) obtained from these dates varies from the base to the top of the core. Indeed, it is relatively important between 2003 and 1178 cal years BP ($57.54 \text{ cm}/10^3$ years), then stabilizes between 1178 and 719 cal years BP ($27.21 \text{ cm}/10^3$ years). From 719 cal years BP to the Present, the depth-age model exhibits its steepest slope ($177.32 \text{ cm}/10^3$ years).

Core Name	Depth (cm)	Laboratory code number	Material dated	Age ^{14}C (Years BP)	Calibrated years BP
Yao	23	A37036	Charcoal	-24,41±1,38	-28,5/-19,5
	61	Poz-69212	Indéterminate seed	160±30	138-288,2
	99	A37037	Herbaceous seed	560±30	508,7-626,2
	127,5	Beta 397649	Bulk organic matter	820±30	679,5-883,8
	140	Poz-69213	Cyperaceae seed	1295±30	1015,2-1267,7
	187,5	Beta 397650	Bulk organic matter	2080±30	1843,7-2116,3
Vitex	9,5	Poz-57546	Cyperaceae seed	-48,37±2,3	-53,7/-40,1
	51,5	Poz-52086	Cyperaceae seed	275±30	151,9-378,7
	83,5	Poz-57547	Indeterminate seed	420±25	424,6-524
	115,5	Poz-53085	Indeterminate seed	110±25	606,3-844
	125,5	Poz-53082	Indeterminate seed	950±30	738,2-915
	174,5	Poz-57548	Elais seed	1320±25	1186,8-1357,7
218,5	Poz-53083	Elais seed	2290±35	2106,8-2323,1	

Tab. 1: Datings of cores from the Yao and Vitex marshes.

The core taken from the center of the Vitex marsh is 220 cm long. It consists essentially of a mud rich in plant debris and quartzous at the base. It varies in color from light brown to dark, passing through dark gray and black. Seven samples of this core have been dated to ^{14}C , and the results show that it base is 2188 years old cal BP. The age-depth (fig. 2) model produced from these datings globally presents two slopes which are not parallel to the lithology. The lowest is between 2188 and 1265.8 cal years BP ($47.16 \text{ cm}/10^3$ years) and the highest between 1265 cal years BP and the present ($137.85 \text{ cm}/10^3$ years).

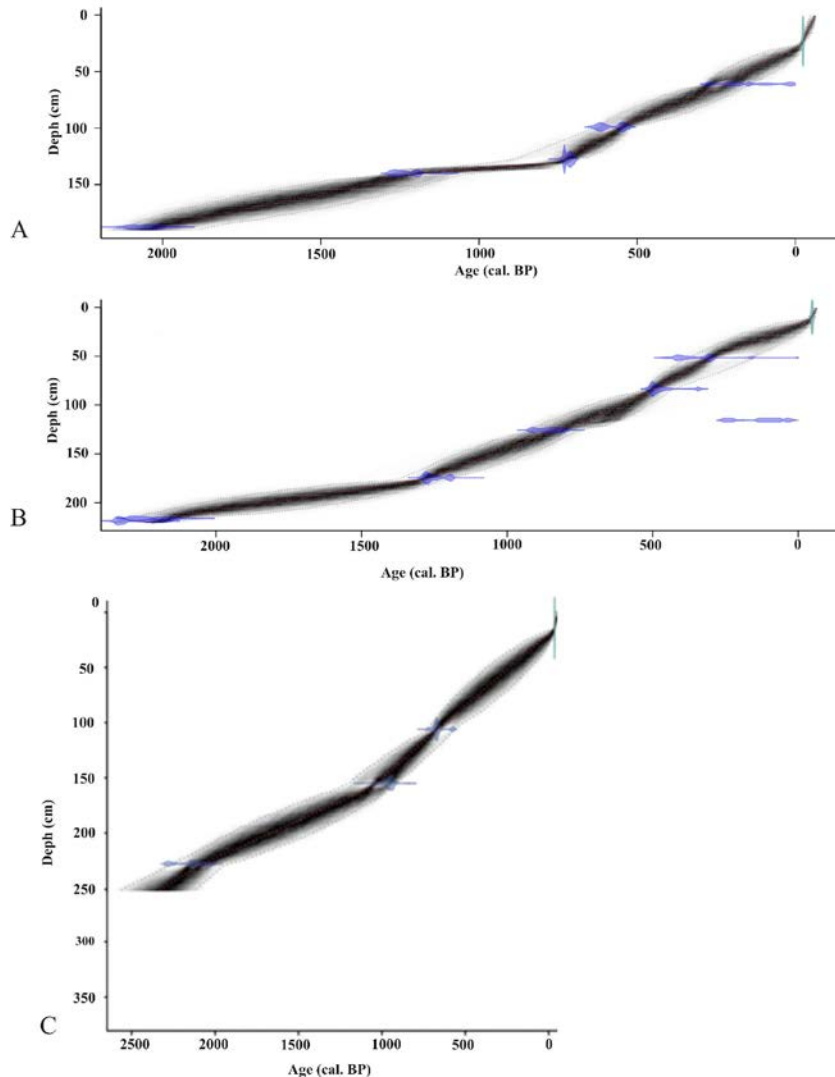


Fig. 2: Age-depth models of cores from the Yao (A), Vitex (B) and Lopé 2 (C) marshes.

2.2- Sediment analysis

The sedimentological analyzes were made on 44 samples from the Vitex marsh core and 36 from that of the Yao marsh, taken in a constant step of 5 cm. The samples taken are dried, weighed and washed through a 50 μm sieve in order to extract the fraction greater than 50 μm which will then be weighed and observed using a binocular microscope. The organic constituents of this fraction such as plant debris and charcoal are semi-quantified while the quartz grains diameters will be measured for the calculation of the clasticity index (average diameter of the four largest grains of quartz). The measured masses

(total dry samples and fraction greater than 50 μm) allow the fraction content greater than 50 μm to be calculated. The clasticity index and the content of fraction greater than 50 μm are parameters which mark the intensity of erosion and the energy of deposition (Makaya M'voubou, 2005; Giresse *et al.*, 2009). Plant debris is mainly a marker of the vegetation that develops in the marsh, but also of the humus horizons of paleosols (Kossoni, 2003, Nfoumou *et al.*, 2017). Charcoal is linked to anthropogenic fires or natural fires (Oslisly and Dechamps, 1994; Oslisly *et al.*, 2013; Bird and Calli, 1998). These analyzes were carried out at the Laboratory of the Research Unit for Earth and Environmental Sciences of the University of Science and Technology of Masuku (Gabon).

2.3- Rock-eval pyrolysis

For the Rock-Eval pyrolysis analyzes, the samples were taken in a constant step of 10 cm. Thus, 19 samples from the Yao marsh core and 22 from Vitex are analyzed. Rock-Eval pyrolysis is based on the analysis of 100 mg of sample (reduced to powder) using the RE6 pyrolyser (turbo model, Vinci Technologies®) from the Sedimentary Geochemistry Laboratory of the Institute of Sciences of Land of Lausanne (Switzerland). Standard parameters such as total organic carbon (TOC, in % of dry weight), maximum temperature (TpS2), hydrogen indices (HI, in mg HC / g TOC) and oxygen (OI, in mg O₂ / g TOC) are determined (Lafargue *et al.*, 1998; Behar *et al.*, 2001). Apart from these geochemical parameters, others can be obtained by integrating the S2 curve between 200 and 650°C. They correspond to the contributions of the various organic constituents of organic matter defined by their specific cracking temperature (Disnar *et al.*, 2003; Sebag *et al.*, 2007). Thus, Albrecht *et al.* (2014), propose a breakdown of the S2 signal into five constituents ranging from A1 to A5. I-index ($\text{Log} [(A1 + A2) / A3]$) and R-index ($[(A3 + A4 + A5) / 100]$) are calculated from these relative contributions (Albrecht *et al.*, 2014; Sebag *et al.*, 2016).

3- Filling And Paleoenvironments Of The Marshes

3.1- The Yao marsh

3.1.1- Sediment analysis results

The values of the fraction content greater than 50 μm are between 5 and 66.2% in the whole core (fig. 3). Unit 1 (from the base to 125 cm) shows the relatively low values which regularly vary between 5 and 20.1%. Unit 2 (125 cm at the top of the core) has higher values than the previous deposit. These values ranging from 13.5 to 66.2%.

The clasticity index is between 0.5 and 5.5 mm along the core. In unit 1, it has low values at the base between 187.5 and 162.5 cm depth (1.1-1.5 mm) except the peak recorded at 177.5 cm depth (2.75 mm). In the following, there is a clear increase in this parameter between 157.5 and 137.5 cm depth (2-5.5 mm) followed by a decrease between 132.5 and 127.5 cm depth (0.9-1, 6 mm). In unit 2 the values of the clasticity index vary very little (between 0.5 and 1.5 mm) and are lower than those of unit 1.

The fraction greater than 50 µm essentially contains organic constituents (plant debris and charcoal). Plant debris consisting essentially of remains of roots, stems, leaves, bark is more abundant in unit 2 than in unit 1. The charcoals are present in unit 1 between the base and 157.5 cm, while they are rare in the overlying unit.

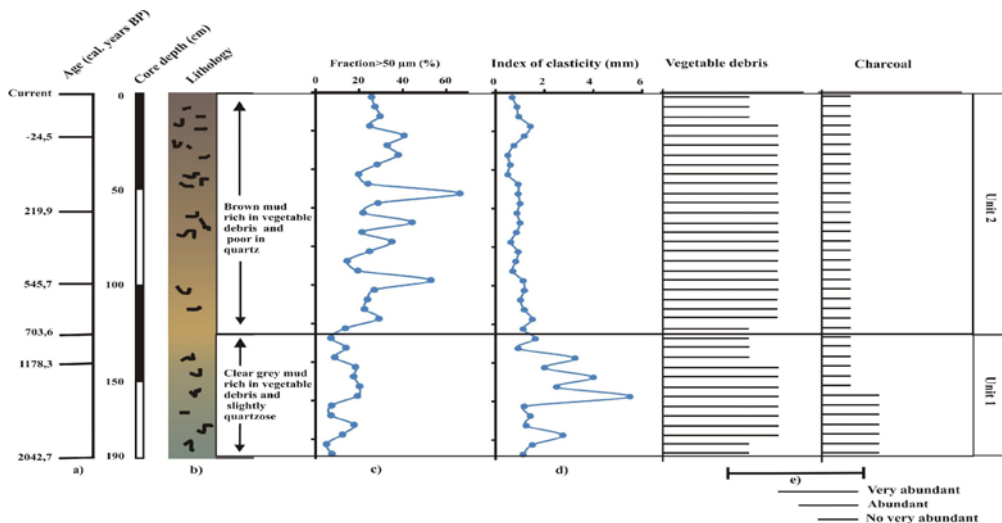


Fig. 3: Results of the sediment analysis of the core from the Yao marsh, a) Datation ¹⁴C, b) Lithology, c) Fraction>50µm, d) Index of Clasticity, e) Semi-quantitative analysis. The dates to 125 cm (703,6 cal years BP and 190 cm (2042 cal years BP) are deduced from the model age-depth.

3.1.2- Characterization of sedimentary organic matter

The results of the analysis of the core of the Yao marsh by Rock-Eval pyrolysis are summarized in the diagrams of the figure 4.

In the TOC vs TpS2 diagram we note that unit 1 has the lowest TOC (8.6% on average) and the variable TpS2 ranging from 370 to 462°C. While unit 2 shows the highest TOC (19.4 % on average) with TpS2 between 372 and 455°C.

In the HI vs OI diagram, unit 1 shows the variable HI (91.2-218.3 mg HC / g TOC) and the low OI (91.9-118.7 mg CO₂ / g TOC). Unit 2 is

characterized by the highest OI (106.3-170.3 mg CO₂ / g TOC) and HI of the core (212-294.1 mg HC / g TOC). However, it can be seen that the OI values are generally low throughout the core (IO <200 mg CO₂ / g TOC).

The I-index vs R-Index diagram reveals that unit 1 is dominated by refractory organic matter with the lowest I-indexes (0.023-0.26) and the highest R-indexes (0.52- 0.68). Unit 2 is made up of more labile organic matter with the largest I-indexes (0.25-0.52) and the lowest R-indexes in the deposit (0.31-0.52) except a sample taken at 122.5 cm which has a very low I-index (0.14) and a high R-index (0.59).

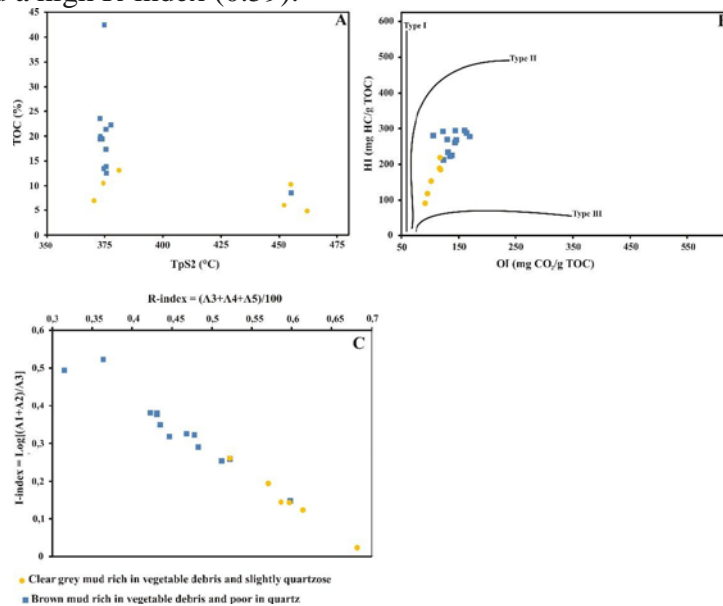


Fig. 4: Results of the analysis of the core of the Yao marsh by the Rock-Eval pyrolysis. Diagrams- (A) TOC vs TPS2; (B) HI vs OI; (C) I index vs R index.

3.1.3 - Interpretation

The analysis of the results obtained from the study of the core of the Yao marsh leads us to subdivide it into two units parallel to lithology.

Unit 1 ranges from 2042 to 703 cal years BP. It is essentially a mud rich in plant debris and slightly quartzous. The organic fraction is relatively abundant (8.6% TOC on average) and rich in refractory constituents (R-index between 0.52 and 0.68). The Rock-Eval parameters (HI between 91 and 218 mg HC / g TOC and TpS2 between 370 and 462 ° C) show that this organic matter seems to come from relatively degraded palustrine plants. The low values of IO (between 91 and 118 mg CO₂/g COT) indicate that this organic fraction degraded slowly in the oxygen poor waters of the marsh. These results can be explained by the presence of vegetation inside and on the banks of the

marsh as evidenced by the abundance of plant debris. This relatively dense vegetation only partially traps the detrital terrestrial contributions (clay, grains of quartz) resulting from the erosion of the slopes underlined by the high values of clasticity index (between 0,9 et 5,5 mm). This may therefore suggest a relatively open environment around the marsh. The relatively high sedimentation rate observed on the basal part of this unit (between 2003 and 1178 cal years BP) may be related to this erosion. The presence of vegetation inside the marsh is favored by the permanent presence of water in the depression. Indeed this water is also at the origin of the organic matter conservation in the palustrine depression. These results are linked to the occurrence of a humid climate characterised by heavy rain fall on a soil covered with sparse vegetation. The presence of charcoal testifies to the action of fire. This fire (recorded between 2000 and 1000 cal years BP) would help to maintain more or less open vegetation on the slopes of the marsh.

The second unit ranges from 703 cal years BP to the Present. It is very rich in plant debris and poor in quartz grains. The organic fraction is therefore abundant (TOC of 19.4% on average), especially towards the top. This organic fraction is rich in labile constituents and has characteristics similar to non-degraded biological contributions (litter plants) (S2a = to 52 mg HC / g TOC on average). The increase in the organic fraction and the virtual disappearance of the coarse detrital fraction may reflect a densification of the vegetation of the marsh and its banks. This densification of the marsh vegetation is also evidenced by the abundance of plant debris which constitutes almost all of the fraction greater than 50 μm of the deposit. It is the consequence of the permanent presence of water in the depression. This water promotes the conservation of organic matter in the marsh. The marked increase in the sedimentation rate recorded in this part of the core is linked to the production and conservation of this organic matter (plant debris) in the marsh. The disappearance of the coarse detrital fraction of the sediments can also be the result of the weakening of erosion due to the densification of the vegetation of the slopes. Which explains the low clasticity indices. Here, the humid climate recorded since the first deposition phase was maintained.

3.2 - The Vitex marsh

3.2.1 - Sediment analysis results

The fraction greater than 50 μm (fig. 5) has a very high value (56.8% at 217.5 cm depth) at the base of the core. In the rest of the core (from 212.5 cm depth on the surface) the values are low and fluctuate between 0.96% (at 82.5 cm depth) and 12.10 % (at 147.5 cm depth) except a 34.4 % peak at 127.5 cm depth.

The base of the core has a very high value of the clasticity index (5.25 mm at 217.5 cm depth) while the rest of the core (from 212.5 cm depth to the surface) has low values and little variable (between 0.1 and 2.05 mm).

Plant debris is abundant all along the core. However, they are more abundant from 177.5 to 112.5 cm as well as 72.5 cm depth at the surface.

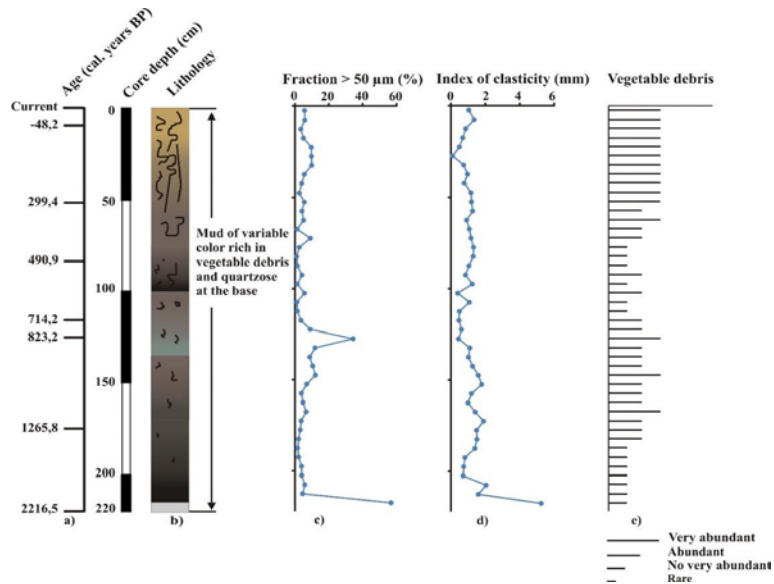


Fig. 5: Results of the sediment analysis of the core from the Vitex marsh, a) Datation ^{14}C , b) Lithology, c) Fraction $> 50\mu\text{m}$, d) Index of Clasticity, e) Semi-quantitative analysis. The date at 220 cm depth (2216,5 cal years BP) is deduced from the model age-depth.

3.2.2 - Characterization of sedimentary organic matter

The results of the analysis of the core of the Vitex marsh by Rock-Eval pyrolysis are summarized in the diagrams of the figure 6.

The TOC vs TpS2 diagram (fig. 6) shows that the samples of the Vitex marsh core are characterized by the highly variable TpS2 (363-463 ° C) and TOC (7.8-64.4%).

The HI vs OI diagram reveals that the samples of the core of the Vitex marsh are characterized by the OI (72-127 mg CO₂ / g TOC) and the HI (76-151 mg HC / g TOC) overall weak.

The I-index vs R-index diagram shows that the set of samples from the Vitex marsh core has the values of I-index (between -0.00208 and 0.34) and R-index (0.45-0.67) quite variable.

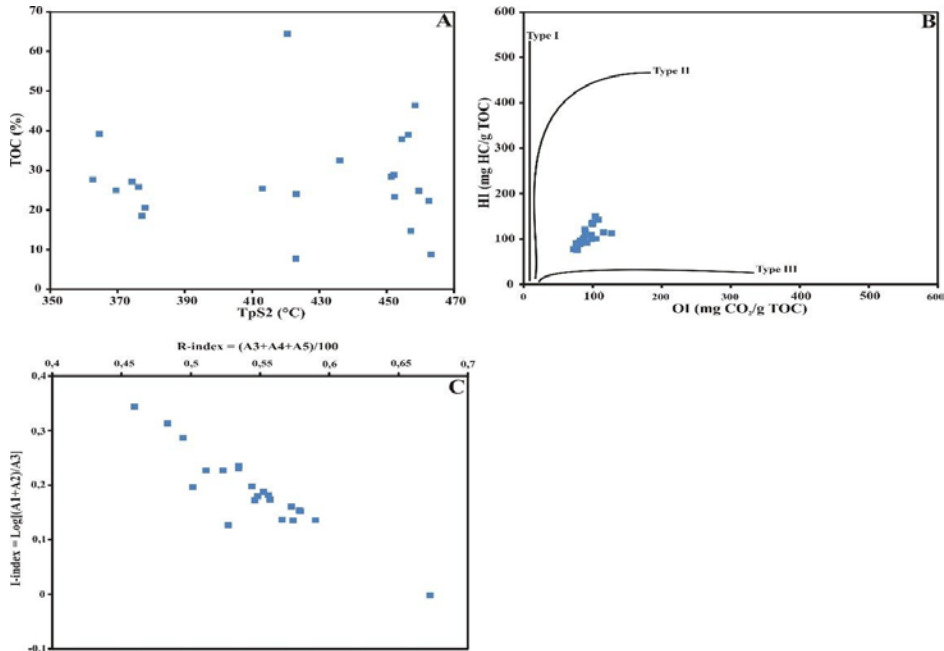


Fig. 6: Results of the Vitex marsh core analysis by Rock Eval pyrolysis. Diagrams- (A) TOC vs TPS2; (B) HI vs OI; (C) I index vs R index.

3.2.3- Interpretation

The sediments accumulation of the Vitex marsh studied was formed during last 2216 cal years BP. This deposit is rich in plant debris and quartz particles at the base. The quartz section (between 2216 and 2142 cal years BP), although not very thick, shows a fraction greater than 50 μm and a clasticity index very high compared to those of the rest of the sedimentary record. These results reflect not only significant hydrodynamics in the basin, but also incisive erosion of the slopes. This erosion shows that sparse vegetation covered the marsh and its slopes. The relatively abundant organic fraction (TOC = 7.8%) is quite rich in refractory constituents (R-index = 0.5). The Rock-Eval parameters of this fraction (HI = 113 mg HC / g TOC, OI = 127 mg CO₂ / g TOC) indicate a degraded palustrine contribution (degraded plant debris). All this information implies that this quartz level deposited between 2216 and 2142 cal years BP contains sediments which come from the erosion of the slopes (quartz grains) and the vegetation of the marsh. This still sparse vegetation does not trap the quartz flows from the erosion of the slopes.

The following filling deposit (from 2142 cal years BP to the present) shows particularly low values of the fraction greater than 50 μm and the clasticity index. Consequently, the mineral fraction consists essentially of particles lower than 50 μm (pelites). These results reflect a decrease in

hydrodynamic in the marsh. The organic fraction is very abundant there (TOC = 27.8% on average) and relatively rich in refractory constituents (R-index > 0.45). The Rock-Eval parameters are similar to those of more or less degraded biological inputs (plant debris). These results may be linked to the proliferation of marsh vegetation which obstructs the arrival of coarse particles from the slopes and banks of the marsh. This vegetation is a sign of the permanent presence of water in the depression. The increase in the sedimentation rate in this sedimentary deposit is linked to the increase in the production of organic matter in the marsh as well as to its conservation. The abundance of organic production leads us to believe that the filling of the Vitex marsh took place during a humid climatic period characterized by regular rain.

3.3- Functioning of the Lopé marshes

3.3.1- Comparison of the sedimentological and geochemical data of the cores of the Yao, Vitex and Lopé 2 marshes

Among the sedimentary cores collected in the Lopé marshes, that of the Lopé 2 marsh has recorded the longest paleoenvironmental history (fig.7) (Nfoumou Obame *et al.*, 2017, Bremond *et al.*, 2021). The base of this core (period prior to 2320 cal year BP) is a soil formation containing sand, clay but very little organic matter. This soil is topped by coarse detrital sediments. This first part of the Lopé 2 marsh sediment record is unlike any part in the Yao and Vitex marsh sedimentary records.

On the sedimentary record of the Lopé 2 marsh, between 2320 and 2034 cal years BP, the sediments are very rich in quartz, and poor in organic matter. This composition is close to that of the base of the sedimentary record of the Vitex marsh (between 2216 and 2142 cal years BP). The Yao marsh core does not contain sediments very rich in quartz.

In the upper part of the sedimentary archive of Lopé 2 marsh (from 2034 cal years BP to current), there is a gradual decrease in the quantity of quartz, which goes until it almost disappears. Organic matter increases at the top of core. This evolution in composition of the sediments of the Lopé 2 marsh is akin to those of the top part of the Vitex Marsh core (from 2142 cal years BP to current) and to the whole marsh core of the Marsh core Yao.

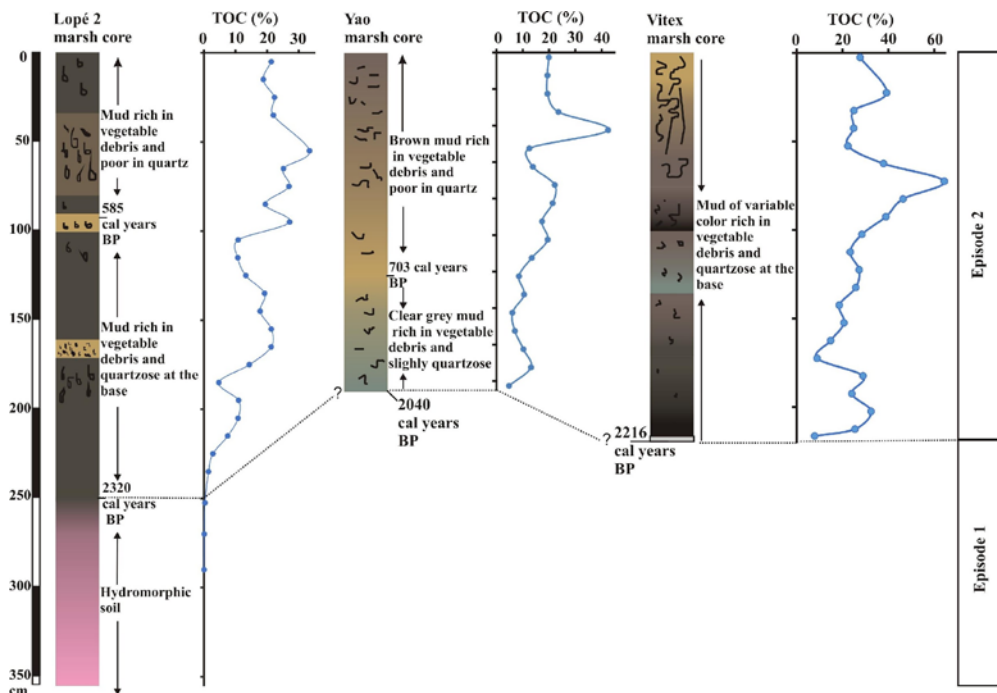
3.3.2- Discussion

The sedimentological and geochemical examination of the sedimentary core of the Yao, Vitex and Lopé 2 marshes leads to subdivide their palaeoenvironmental history into two episodes (fig. 7).

The first episode corresponds to a period when the marshes are flooded only seasonally (Nfoumou Obame *et al.*, 2017). A hydromorphic soil consisting of clay, sand and highly degraded organic matter is then formed in

the depression. This soil is surmounted by coarse detrital sediments from the incisive erosion of the slopes. Vegetation around and inside the marshes is sparse. This first episode is only highlighted in Lopé 2 marsh before 2320 cal years BP. The coarse detrital sediments on top of the hydromorphic soil corresponds to a weakly humid climatic phase, characterized by rare and intense rains, as was the case at Lake Maridor between 3500 and 2190 years BP. This relatively dry climate can be associated with the climatic deterioration recognized in Atlantic Central Africa between 2500 and 2000 years BP.

Fig. 7: Lithological and geochemical comparisons of sedimentary records from Lopé 2, Yao and Vitex marshes.



The second episode is visible in all the marshes studied. It is that of the active filling of the palustrine depressions. This filling is effective in the Lopé 2 marsh from 2320 cal years BP (Nfoumou Obame *et al.*, 2017) and in the Yao and Vitex marshes respectively from 2000 and 2200 cal years BP. Filling begins with the accumulation of coarse detrital deposits (quartz grains) resulting from the erosion of slopes still covered with sparse vegetation. These coarse deposits are more marked in the sedimentary records of the Lopé 2 (between 2320 and 2034 cal years BP) and Vitex marshes (between 2216 et 2142 cal years BP).

Subsequently, the sediments that fill the marshes are increasingly enriched with organic matter and depleted in quartz. Indeed, the permanent

presence of water in depressions will promote the development of plants around and inside marshes. This palustrine vegetation composed of hygrophilic plants constitutes a filter to the coarse detritic matter flow coming from the slopes. This favors the deposit of fine sediments (clay) accompanied by the debris of hygrophilic plants. A relative densification of the vegetation on the slopes may also have reduced the intensity of erosion. However at the Yao marsh a small erosive phase which is not visible at the Lopé 2 and Vitex marshes is recorded between 1400 and 1000 cal years BP. It could have been caused by a local event.

The main driving force behind the active and synchronous filling of the Lopé marshes was the permanent watering of these marshes. This permanent presence of water could be associated with the establishment of a humid climate characterized by fine and regular rains which affected all the marshes. The establishment of this humid climate at the origin of the filling of the Lopé marshes is contemporaneous with the return of the humid conditions recorded in several lakes in Central Africa. Indeed, at lake Barombi Mbo, this humid climate is recorded from 2000 years BP (Lebamba *et al.*, 2012) and at lake Maridor at 2190 years BP (Giresse *et al.*, 2009).

Conclusion

The analysis of the sedimentary records of the Yao and Vitex marshes has made it possible to know the functioning of the marshes of the Lopé National Park. The history of the filling of these depressions has taken place in two major episodes.

The first episode is only visible on the Lopé 2 marsh core. This episode corresponds to a period when the depressions are flooded only during the rainy seasons and exposed the rest of the year. In the depression, the hydromorphic soils are topped by sediments very rich in quartz.

The second episode is recorded in all the sites (Lopé 2, Yao and Vitex). It is that of the active and synchronous filling of marshes between 2300 and 2000 cal years BP. The depressions first fill with coarse detrital sediments from erosion of the slopes. These sediments are relatively poor in organic matter. These coarse sediments are subsequently succeeded by fine sediments which are increasingly rich in organic matter. The increase in the amount of organic matter in these sediments is due to the densification of the vegetation of the marsh and its slopes.

The filling of these marshes is made during a humid climate which permanently floods the depressions. This humid climatic phase highlighted in these Lopé marshes affected the whole region.

Acknowledgments

We would like to thank all the researchers and students of the Palaeoenvironment-Paleoecology workshop of the 2013 edition of the Ecotrop Field School in Tropical Ecology (www.ecotrop.com) for collecting the studied sediment records. We also thank the Research Unit for Earth and Environmental Sciences of the University of Science and Technology of Masuku (Gabon) for the funding which enabled us to carry out all the analyzes.

References:

1. Albrecht, R., Sebag, D. & Verrecchia, E.P. (2014). *Organic matter decomposition: bridging the gap between Rock Eval pyrolysis and chemical characterization (CPMAS ¹³C NMR)*. Biogeochemistry, 112: 101-111.
2. Behar, F., Beaumont, V. & De B. Penteado, H.L. (2001). *Rock-Eval 6 technology: performances and developments*. Oil & Gas Science and Technology 56 (2), 111–134.
3. Bertaux, J., Schwartz, D., Vincens, A., Siffedine, A., Elenga, H., Mansour, M., Mariotti, A., Fournier, M., Martin, L., Wirmann, D. & Servant, M. (2000). *Enregistrement de la phase sèche d'Afrique Centrale vers 3000 ans BP par spectrométrie IR dans les lacs Sinnda et Kitina (Sud-Congo)*. In Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux, Eds Michel Servant et Simone servant – Vildary. UNESCO, Paris : 43-49.
4. Bird, M. & Cali, J.A. (1998). *A million-year record of fire in sub-Saharan Africa*. Nature 394 (6695), 767.
5. Blaauw, M. & Christen, J.A. (2011). *Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process*. Bayesian Analysis 6 (3), 457-474.
6. Bremond, L., Oslisly, R., Sebag, D., Bentaleb, I., Favier, C., Henga-Botsikabobe, K., Makaya Mvoubou, Ngomanda, A. & Geoffroy de Saulieu, Ecotrop Team (2021). *Establishment and functioning of the savanna marshes of the Lopé National Park in Gabon since the termination of the African humid period and the arrival of humans 2500years ago. The Holocene* <https://doi.org/10.1177/09596836211003230>.
7. Chevallier L., Makanga J.F. & Thomas R.J. (2002). *Notice explicative de la carte géologique de la république Gabonaise au 1/1000000*. Direction Générale des Mines et de la Géologie du Gabon, 195 p.
8. Disnar, J.R., Guillet, B., Keravis, D., Di-Giovanni, C. & Sebag, D. (2003). *Soil organic matter (SOM) characterization by rock-Eval*

- pyrolysis: scope and limitations*. *Organic Geochemistry* 34 (3), 327–343.
9. Elenga, H., Schwartz, D., Vincens, A., Bertaux, J., de Namur, C., Martin, L. & Servant, M. (1996). *Diagramme pollinique holocène du lac Kitina (Congo): mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série 2a: Sciences de la Terre et des Planètes* 323, 403 – 410.
 10. Giresse, P., Makaya Mvoubou, Maley, J. & Ngomanda, A. (2009). *Late-Holocene equatorial environments inferred from deposition process, carbone isotopes of organic matter, and pollen in tree shallow lakes of Gabon, west-central Africa*. *Journal of Paleolimnology*, 41(2): 369-392.
 11. Giresse, P., Maley, J. & Chepstow-Lusty, A. (2020). *Understanding the 2500 yr BP rainforest crisis in West and Central Africa in the framework of the Late Holocene: Pluridisciplinary analysis and multi-archivereconstruction*. *Global and Planetary Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103257>.
 12. Kossoni, A. (2003). *Processus sédimentaires du lac Ossa (Dizangué, sud-ouest Cameroun) et évolution paléoclimatique holocène depuis 9000 ans BP*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan : 221 p.
 13. Lafargue, E., Marquis, F. Pillot, D. (1998). *Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production, and soil contamination studies*. *Oil and Gas Science and Technology - Revue de l'Institut Français du Pétrole* 53(4): 421-437.
 14. Lebamba, J., Vincens, A. & Maley, J. (2012). *Pollen, vegetation change and climate at Lake Barombi Mbo (Cameroon) during the last ca. 33,000 cal yr BP: a numerical approach*. *Climate of the Past*, 8: 59-78.
 15. Makaya M'voubou (2005). *Les paléoenvironnements sédimentaires fini-holocènes de trois lacs du Gabon (Kamalété, Nguène et Maridor). Etudes sédimentologiques et biochimiques*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, France, 249 p.
 16. Maley, J. (2001). *La destruction catastrophique des forêts d'Afrique centrale survenue il y a environ 2500 ans exerce encore une influence majeure sur la répartition actuelle des formations végétales*. In *Plant systematics and phytogeography for the understanding of African biodiversity*, Eds Robbrecht E., Degreef J. and Friis I. *Systematic and Geography of Plants*, Meise, 71: p.777-796.

17. Maley, J. & Brenac, P. (1998). *Vegetation dynamics, Palaeoenvironments and Climatic changes in the forests of West Cameroon during the last 28,000 years BP*. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99: 157-187.
18. Maley, J. & Chepstow-Lusty, A. (2001). *Elaeis guineensis Jacq. (oil palm) fluctuation in central Africa during the late Holocene: climate or human driving forces for this pioneering species?* *Vegetation History and Archaeobotany* 10, 117–120.
19. Malounguila-Nganga, D., Giresse, P., Boussafir, M. & Miyouna, T. (2017). *Late Holocene swampy forest of Loango Bay (Congo). Sedimentary environments and organic matter deposition*. *Journal of African Earth Sciences*, [doi: 10.1016/j.jafrearsci.2017.05.022](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.022).
20. Nfoumou Obame, V., Makaya M'voubou, Sebag, D., Oslisly, R., Bremond, L., Mbina MOUNGUENGUI, M. & Giresse, P. (2017). *Le rôle de l'évolution des paysages holocènes dans le comblement des bas-fonds du Parc national de la Lopé, moyenne vallée de l'Ogooué au Gabon*. *Bois et forêts des tropiques*, n°333: 67-77.
21. Ngomanda, A., Chepstow-Lusty, A., Makaya Mvoubou, Schevin, P., Maley, J., Fontugne, M., Oslisly, R. & Rabenkogo, N. (2005). *Vegetation changes during the past 1300 years in western equatorial Africa : A high resolution pollen record from Lake Kamalete, Lope Reserve, Central Gabon*. *The Holocene*, 15(7): 1021-1031.
22. Oslisly R., (2001). *The history of human settlement in the middle Ogooué valley (Gabon)*. In Weber W., White L., Vedder A., Naughtontreves L., eds., *African rain forest ecology and preservation*, Yale University Press, New Haven CT, London, p. 101-118.
23. Oslisly, R. & Dechamps, R. (1994). *Découverte d'une zone d'incendie dans la forêt ombrophile du Gabon ca 1500 BP: essai d'explication anthropique et implications paléoclimatiques*. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 318(2): 555-560.
24. Oslisly, R., White, L., Bentaleb, I., Favier, C., Fontugne, M., Gillet, J.F. & Sebag, D. (2013). *Climatic and cultural changes in the west Congo Basin forests over the past 5000 years*. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London. Series B* 368: 20120304.
25. Palla, F., Picard, N., Abernethy, K.A., Ukizintambara, T., White, E.C., Riéra, B., Rudan, J.P., White, L. (2011). *Structural and floristic typology of the forests in the forest-savanna mosaic of the Lopé National Park, Gabon*. *Plant Ecology and Evolution*, 144, p. 255-266.

26. Sebag, D., Disnar, J. R., Guillet, B., Di Giovanni, C., Verrecchia, E.P. & Durand, A. (2007). *Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis: bulk characterization and quantification of degradation*. European Journal of Soil Science, 57(3): 344–355.
27. Sebag, D., Verrecchia, E.P., Cécillon, L., Adatte, T., Albrecht, R., Aubert, M., Bureau, F., Cailleau, G., Copard, Y., Decaens, T., Disnar, J. R., Hetényi, M., Nyilas T. & Trombino, L. (2016). *Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices*. Geoderma, 284: 185-203.
28. Stuiver, M., Reimer, P.J. & Braziunas, T.F. (1998). *High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples*. Radiocarbon 40, 1127-1151.
29. Talma, A.S. & Vogel, J.C. (1993). *A simplified approach to calibrating ¹⁴C dates*. Radiocarbon 35(2):317-322.
30. Vincens, A., Schwartz, D., Elenga, H., Reynaud-Farrera, I., Alexandre, A., Bertaux, J., Mariotti, A., Martin, L., Meunier, J.D., Nguetsop, F., Servant, M., Servant-Vildary, S. & Wirrmann, D. (1999). *Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes*. Journal of Biogeography, 26, 879–885.
31. Weldeab, S., Schneider, R. & Müller, P. (2007). *Comparison of Mg/Ca-and alkenone-based sea surface temperature estimates in the fresh water-influenced Gulf of Guinea, eastern equatorial Atlantic*. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 8, 1–16.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Controle Des Maladies De La Tomate (Solanum Lycopersicum L.) En Culture Avec Trois Extraits De Plantes A Daloa (Cote D'ivoire)

***Yah N'guettia Marie,
N'douba Amako Pauline,
Koffi Ahébé Marie Hélène,
Soro Senan,
Kante Drissa,
Koffi N'dodo Boni Clovis,***

Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Laboratoire de
Physiologie et Pathologie Végétale, Daloa, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p111](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p111)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Yah N'guettia M., Amako Pauline N., Marie Hélène K.A., Senan S., Drissa K., & Boni Clovis K.,(2022). *Controle Des Maladies De La Tomate (Solanum Lycopersicum L.) En Culture Avec Trois Extraits De Plantes A Daloa (Cote D'ivoire)* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 111.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p111>

Resume

La culture de la tomate en Côte d'Ivoire est sujette aux attaques de nombreux pathogènes qui sont à l'origine de dégâts au champ et en post-récolte. Aussi pour réduire l'impact des maladies sur les cultures, différentes méthodes de lutte sont utilisées. C'est dans cette optique que cette étude a été entreprise. Elle a consisté à tester l'efficacité des extraits d'*Alchornea cordifolia* ; *Mezoneuron benthamianum*, et *Tithonia diversifolia* sur les symptômes des maladies d'une parcelle de tomate cultivée à Daloa. Les extraits poudreux de ces trois plantes ont été utilisés pour traiter un sol de culture infesté à la quantité 5 g et 15 g par poquet à différentes périodes : un mois et deux semaines avant repiquage et le jour du repiquage. Les résultats montrent que les extraits de *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* réduisent considérablement l'incidence et la sévérité des symptômes par rapport au témoin. Ainsi, le traitement du sol un mois avant le repiquage a montré des incidences plus faibles au niveau des symptômes de jaunissement

(32,27 à 55 %), de l'enroulement (30 à 45,55 %) et de flétrissement (0 à 8,33 %). Au niveau de la sévérité des symptômes foliaires, le traitement du sol le jour du repiquage a induit une sévérité moindre du jaunissement et de l'enroulement sur les plants de tomate avec *M. benthamianum* tandis que le sur le flétrissement, c'est le traitement du sol un mois avant le repiquage qui donne les plus faibles sévérités (0 à 0,5) pour tous les traitements. Au niveau des galles racinaires, le traitement du sol un mois avant le repiquage induit des faibles incidences et des symptômes moins sévères. *A. cordifolia* a été plus efficace à la quantité de 5 g/poquet. Cette étude montre que les extraits de plantes tels que *A. cordifolia*, *M. benthamianum*, et *T. diversifolia* pourraient être utilisés comme méthode efficace de contrôle des maladies de la tomate en culture.

Mots clés : Solanum lycopersicum (L.) ; Enroulement ; Jaunissement ; Flétrissement.

Control Of Tomato (Solanum Lycopersicum L.) Diseases With Three Plant Extracts In Daloa (Côte d'Ivoire)

*Yah N'guettia Marie,
N'douba Amako Pauline,
Koffi Ahébé Marie Hélène,
Soro Senan,
Kante Drissa,
Koffi N'dodo Boni Clovis,*

Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Laboratoire de
Physiologie et Pathologie Végétale, Daloa, Côte d'Ivoire

Abstract

The tomato crop in Côte d'Ivoire is subject to attack by many pathogens that cause damage in the field and post-harvest. This study consisted in testing the efficacy of extracts of *Alchornea cordifolia*; *Mezoneuron benthamianum*, *Tithonia diversifolia* on the symptoms of diseases in a tomato plot grown in Daloa. The powdery extracts of these three plants were used to treat crop soil in the quantity of 5g and 15g/pack at different periods: one and two months before transplanting and the day of transplanting. The health analysis of the plants from the infested soil after different applications of *A. cordifolia*, *M. benthamianum* and *T. diversifolia* extracts gave lower incidences and severities of symptoms compared to the control. Thus, the soil treatment one month before transplanting showed the lowest incidences of yellowing (32.27

to 55%), leaf curl (30 to 45.55%), and wilting (0 to 8.33%) symptoms. Regarding the severity of foliar symptoms, the soil treatment on the day of transplanting induced a lower severity of yellowing and leafroll on tomato plants with *M. benthamianum* while wilting, the soil treatment one month before transplanting gave the lowest severity (0 to 0.5) for all treatments. For root galls, soil treatment one month before transplanting induced low incidences and less severe symptoms. *A. cordifolia* was more effective at 5 g/pack. This study shows that plant extracts such as *A. cordifolia*, *M. benthamianum*, and *T. diversifolia* could be used as an effective method for controlling tomato diseases in cultivation.

Keywords: *Solanum lycopersicum* (L.); Leaf curl, Yellowing, Wilt.

Dans le contexte actuel de changements climatiques, l'agriculture est confrontée à deux défis majeurs qui sont éliminer la faim, la pauvreté, et préserver le fragile équilibre climatique indispensable à la survie et à la prospérité de l'humanité (FAO, 2016). Pour ce faire, la nécessité d'une transformation profonde dans le temps et dans l'espace des systèmes agricoles et alimentaires, est indispensable. Ainsi, les systèmes de culture se sont diversifiés avec l'introduction de diverses cultures y compris la production maraîchère. La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est l'une des spéculations maraîchères les plus produites dans le monde aussi bien en plein champ que dans les jardins potagers (Soro *et al.*, 2007). En effet, selon la FAO, la production de la tomate en 2014 couvrait une superficie de 3,7 millions d'hectares, avec une production estimée à plus de 159 millions de tonnes. De ce fait, la tomate reste, dans le contexte alimentaire mondial, l'un des piliers de la lutte contre l'insécurité alimentaire. Au-delà de ses vertus alimentaires, cette spéculations maraîchère possède des vertus sanitaires à cause de ses propriétés antioxydantes importantes (Barguini et Torres, 2009). En Afrique, le rendement moyen de la tomate est estimé à 10 tonnes/hectare, contre 25 tonnes/hectare environ au niveau mondial (Soro *et al.*, 2007). En Côte d'Ivoire, la production nationale de tomate est estimée à 52 000 tonnes/an (N'zi *et al.*, 2010). Cette production est très faible et est inférieure à la demande (Fondio *et al.*, 2013). La culture de la tomate, à l'instar des autres cultures maraîchères dans les régions tropicales est confrontée à de nombreuses contraintes qui réduisent la production. Ces contraintes sont entre autres, la persistance des pratiques agricoles rudimentaires, la baisse de la fertilité des sols et la forte pression parasitaire qui est influencée par les facteurs environnementaux et climatiques (De Bon *et al.*, 2018).

En vue de réduire les pertes engendrées par les maladies qui attaquent la tomate, de nombreuses méthodes de lutte, à savoir la lutte prophylactique, la lutte chimique, la lutte biologique, la lutte génétique et la lutte culturale ont été prospectées. En Côte d'Ivoire, des travaux sur l'amélioration génétique des variétés de tomate ont été effectués en vue d'une gestion efficace et durable des maladies de la tomate (Lebeau, 2010). En dépit de ces multiples méthodes de lutte, les maladies attaquent sévèrement des solanacées en Côte d'Ivoire. La lutte variétale et la lutte chimique qui sont les stratégies de lutte les plus efficaces sont souvent confrontées à des résultats mitigés à cause de la forte capacité d'adaptation des agents pathogènes (bactéries ; virus ; champignon) ; de leurs grandes diversités génétiques ; des risques sur l'environnement et la santé humaine (Ouédraogo, 2016 ; Lebeau, 2010). Au vu de ce qui précède, il apparaît primordial, dans le cadre de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté, de prospecter de nouvelles stratégies de lutte durables contre ces maladies afin d'assurer des rendements optimaux et des produits de bonne qualité. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude qui a pour objectif de contribuer à augmenter durablement les rendements de la tomate par l'utilisation des extraits de plantes à effets antiparasitaires comme moyen de lutte contre les pathogènes de la tomate.

1- Matériel et méthodes

1.1 Matériel

Le matériel biologique était composé de plants de tomate de la variété COBRA 26 et des feuilles fraîches de trois plantes : *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (Asteraceae), *Mezoneuron benthamianum* Baill. (Fabaceae) et de *Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae).

1.2 Méthodes

1.2.1 Dispositif expérimental

La parcelle expérimentale a été réalisée sur une surface de 68 m² en un bloc aléatoire complètement randomisé constitué de 6 billons de 10,5 m² (3,5 m x 3 m) espacés de 0,5 m sur la ligne et de 0,4 m entre les lignes. Chaque billon constitue un traitement et chaque traitement est constitué de deux quantités de chaque extrait de plante et du témoin non traité. Chaque traitement a été répété 2 fois.

1.2.2 Traitement du sol de culture de la tomate

Le but était de mettre en évidence la capacité des extraits de plantes à assainir le sol et limiter le développement des maladies. Trois espèces de plante à savoir *T. diversifolia*, *M. benthamianum* et *A. cordifolia* ont été utilisées sur les tomates pour évaluer leurs effets sur les maladies qui attaquent les

plantes de tomate. Pour ce faire, les feuilles de ces espèces ont été récoltées et séchées au laboratoire à température ambiante. Les feuilles ainsi séchées sont ensuite broyées dans une machine broyeuse de type RETSCH afin d'obtenir la poudre de chaque espèce. Chaque billon de la parcelle comprenait sept traitements qui sont le traitement du sol avec 5 et 15 g d'extrait poudreux de chaque plante (*T. diversifolia*, *M. benthamianum* et *A. cordifolia*) et un témoin n'ayant pas reçu d'extrait. Les quantités d'extraits pesées ont été mises dans les points de semis et mélangées au sol de culture à différentes périodes : Traitement 1 : poquets traités au repiquage ; traitement 2 : poquets traités deux semaines avant le repiquage et traitement 3 : poquets traités un mois avant le repiquage. Le repiquage a été réalisé avec des plants de tomate âgés de 21 jours à raison d'un plant par poquet et sept plants par traitement. Après le repiquage, un arrosage régulier (matin et soir) est effectué pendant les deux premières semaines et après une fois par jour. Des sarclages manuels ont été effectués afin d'éviter l'enherbement de la parcelle à partir du 15^{ème} jour après le repiquage.

1.2.3 Observations

Les observations ont été réalisées chaque deux semaines sur les parties aériennes des plantes de tomates jusqu'à la semaine 10 et sur les racines à la fin de l'expérimentation. Pour les observations des symptômes sur les racines, les plants de tomates ont été délicatement déterrés pour connaître le nombre de plants atteint de galle. Ainsi, le taux de survie des plants de tomate, l'incidence et la sévérité des symptômes foliaires et des galles racinaires ont été déterminés.

Taux de survie

Deux semaines après repiquage, le nombre de plants de tomates ayant survécu a été évalué par comptage. Le taux moyen de survie a été ainsi calculé par traitement, par concentration et pour chaque extrait de plante.

Incidence et sévérité des symptômes

L'évaluation des maladies et dégâts a consisté à l'observation des symptômes présents sur les plants de tomate et à noter l'incidence et le degré de sévérité. L'incidence a été calculée par comptage des pieds malades par types de symptôme. L'indice de sévérité des symptômes foliaires a été déterminé grâce à une échelle de notation allant de 0 à 5 (Vakalounakis et Fragkiadakakis 1999) avec 0 : plant sain ; 1 : quelques feuilles atteintes par la maladie ; 2 : la moitié des feuilles atteintes par la maladie ; 3 : plus de la moitié des feuilles atteintes par la maladie ; 4 : la plante entière atteinte par la maladie et 5 : mort de la plante. Quant aux galles racinaires, la sévérité a été évaluée selon la table d'indexation pour les nématodes à galles de Bridge et

Page (1980) cité par Coyne *et al.* (2010) en fonction de la proportion et des types de racines présentant les galles. Cette échelle de sévérité part de 0 à 10 avec 0= racines saines (pas de galles) ; 10 = présence de galles sur toutes les racines (infestation maximale de galles).

Test de détection du symptôme de flétrissement bactérien

Pour les symptômes de flétrissement, les tests de verre d'eau ont été effectués sur le terrain selon la méthode de Yabuuchi *et al.* (1996). Ce test a consisté à faire une section de la tige et de la plongée dans un verre d'eau limpide. Après 30 à 60 minutes, l'observation d'un film blanc d'exsudat dans le verre d'eau est caractéristique de la présence de la bactérie *Ralsonia solanacearum* dans la section de tige

1.2.4 Analyses des données

Le traitement des données a été effectué par le logiciel Excel pour le dépouillement des données et STATISTICA version 7.1 pour l'analyse statistique des données. L'analyse statistique a porté sur le taux de survie, l'incidence et la sévérité moyenne des différentes maladies observées sur les plantes de tomate après traitement avec les extraits de plante. Le Test ANOVA Factoriel a été utilisé pour déterminer l'effet des extraits de plante sur les paramètres mesurés. Le test LSD de Fischer a été réalisé pour classer les différents traitements en groupes homogènes, lorsqu'une différence significative était observée au seuil de 5 %.

2. Résultats et discussion

2.1 Résultats

2.1.1 Effet des extraits de *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* sur le taux de survie des plants de tomate

Le taux moyen de survie des plants de tomates a varié en fonction des traitements, des quantités et du type d'extrait de plante. Cependant l'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les paramètres mesurés (Tableau I). Les plants de tomate traités avec les extraits ont dans l'ensemble présenté un taux moyen de survie de 61,5 à 100 %. En général, tous les traitements montrent un bon taux de survie. La quantité C2 (15 g) de *M. benthamianum* et le témoin enregistrent les faibles taux de survie (66,5 %).

Tableau I : Taux de survie des plants de tomates en fonction des traitements deux semaines après repiquage

Traitements	Plantes	Quantités d'extraits	Taux de survie (%)
Témoin	NT	C0	66,5±19,05
T1	A	C1	83±0

	A	C2	100±0
	M	C1	75±11,31
	M	C2	66,5±23,33
	T	C1	91,5±12,0
	T	C2	91,5±12,02
T2	A	C1	91,5±12,02
	A	C2	100±0
	M	C1	100±0
	M	C2	83±0
	T	C1	83,5±23,33
	T	C2	91,5±12,02
T3	A	C1	75±11,31
	A	C2	83±0
	M	C1	91,5±12,02
	M	C2	100±0
	T	C1	83±0
	T	C2	100±0
P			0,1

M : *Mezoneuron benthamianum* ; A : *Alchornea cordifolia* ; T : *Tithonia diversifolia* ; NT : Non traité
 C1=5g ; C2=15g ; T1 : Traitement le jour du repiquage ; T2 : Traitement deux semaines après repiquage ;
 T3 : Traitement un mois après repiquage ; P = probabilité.

2.1.2 Effets des extraits de *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* sur les symptômes des parties aériennes et sur les racines des plants de tomate

Des symptômes de jaunissement, d'enroulement des feuilles et de flétrissements de plants ont été observés chez certaines plantes de 28 à 70 jours après repiquage (Figure 1A,C,D). Le test du verre d'eau réalisé sur les plants présentant des symptômes de flétrissement a montré la présence d'écoulement d'un exsudat caractéristique de la présence de la bactérie *Ralsonia solanacearum* (Figure 1B).

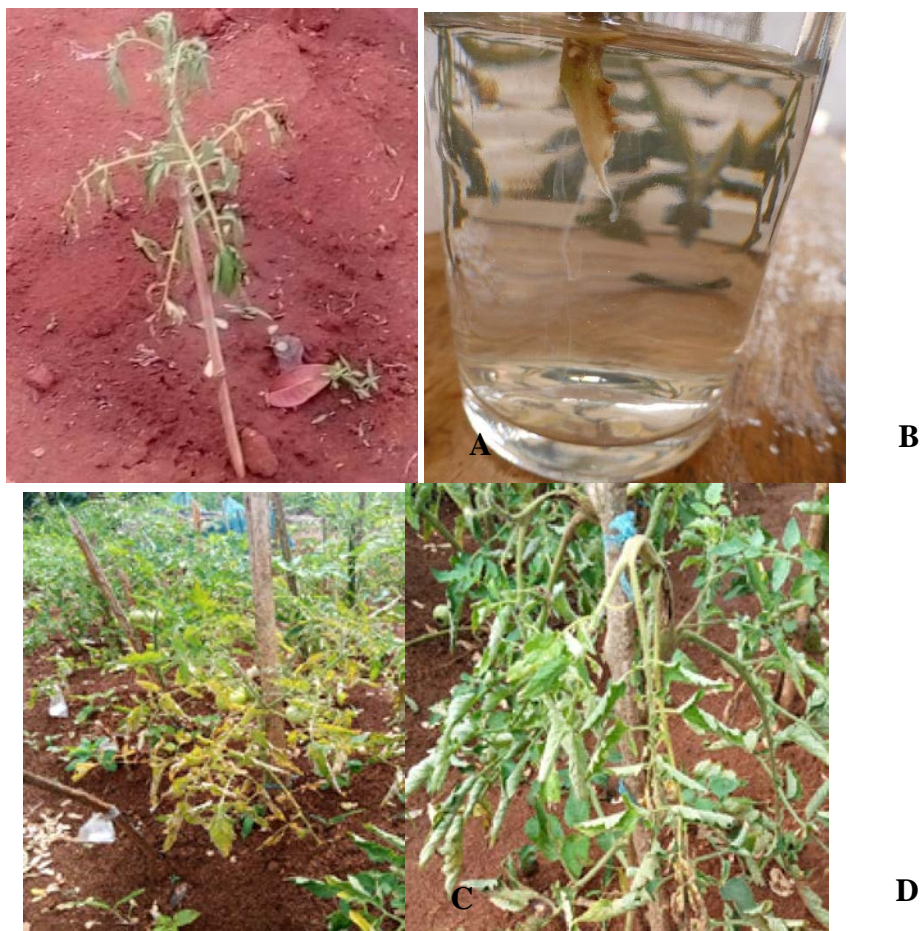


Figure 1 : Symptômes observés sur la culture de tomate
Flétrissement (A) ; Exsudat bactérien (B) ; Jaunissement (C) ; Enroulement (D) (C)

Résultats

Effet des traitements sur l'incidence des symptômes foliaires

Le traitement du sol de culture avec les différents extraits de plantes a eu un effet sur l'incidence des maladies foliaires de la tomate en fonction des traitements et des plantes utilisées (Tableau II). Ainsi, l'analyse statistique des données de l'incidence du jaunissement a montré qu'il existe une différence ($P < 0,05$) entre les différents traitements et le témoin. L'efficacité des extraits est proportionnelle aux différents traitements. La quantité 15 g de *M. benthamianum* et *A. cordifolia* du traitement 3 (sol traité un mois avant repiquage) ont enregistré les incidences les plus faibles avec les valeurs respectives de 32,77 % et 41,66 %. Les quantités C2 (15 g) de *T. diversifolia* et C1 (5g) de *M. benthamianum* du traitement 1 ont présenté les incidences les plus élevées avec des valeurs respectives 72,21 % et 74,16 %. Le traitement 3

de *M. benthamianum* à la quantité C2 (15 g) a été le plus efficace avec une faible incidence (32,72 %) de jaunissement sur les organes de plantes. L'incidence des symptômes de l'enroulement des feuilles de tomate montre des différences hautement significatives au niveau de l'analyse statistique des données (Tableau II). L'incidence des symptômes de l'enroulement sur les plantes varie d'un traitement à l'autre. La tendance est, que l'efficacité des extraits est proportionnelle aux différents traitements (plus la quantité d'extrait appliquée est élevée, plus les extraits sont efficaces). Les quantités C1 (5 g) de *M. benthamianum* et C2 (15 g) de *T. diversifolia* du traitement 3 ont révélé les incidences de l'enroulement les plus faibles, de valeurs respectives 30,55 % et 30 %. Alors que les incidences les plus élevées ont été observées pour le traitement 1 de *A. cordifolia* à la quantité C2 (15 g) et *M. benthamianum* à la quantité C2 (15 g) avec des taux d'incidences respectives de 70,83 % et 67,77 %. Le meilleur traitement reste *T. diversifolia* à la quantité (C2 = 15g) avec traitement 3 pour lequel les analyses effectuées révèlent une faible incidence de l'enroulement des feuilles des plants de tomate. Quant au symptôme du flétrissement, l'analyse statistique des données de l'incidence a montré des différences significatives entre les traitements pour le nombre de pieds flétris de 28 à 70 jours après le repiquage. Toutefois, l'ampleur de ce symptôme a été faible sur l'ensemble des traitements effectués. En effet, le traitement 3 de toutes les quantités ont enregistré les faibles incidences du flétrissement. Le traitement 2, de la quantité C2 (15 g) de *A. cordifolia* a donné un taux d'incidence intermédiaire de 16,66 % alors qu'au traitement 1, c'est *T. diversifolia* à la quantité C1 (5 g) qui enregistre l'incidence la plus élevée.

Tableau II : Incidence (%) des symptômes foliaires des plants de tomates en fonction des traitements

Traitements	Plantes	Quantités d'extraits	Jaunissement	Enroulement	Flétrissement
Témoin	NT	C0	66,33±7,44 ^{bcd}	80,87±1,15 ^g	33,33±19,24 ^c
T1	A	C1	61,1±7,85 ^{bcd}	55,55±0,00 ^{defg}	8,33±11,78 ^{ab}
	A	C2	51,66±10,21 ^{bc}	70,83±5,89 ^{fgh}	0±0 ^a
	M	C1	74,16±1,18 ^e	48,33±2,35 ^{cde}	10±14,14 ^{ab}
	M	C2	68,88±3,14 ^{bcd}	67,77±17,28 ^{fgh}	0±0 ^a
	T	C1	45±7,07 ^{ab}	63,88±3,92 ^{efg}	29,16±5,89 ^{bc}
	T	C2	72,21±7,85 ^{bcd}	55,55±7,85 ^{defg}	10±14,14 ^{ab}
T2	A	C1	42,22±3,13 ^{ab}	42,22±3,14 ^{abcd}	20±0 ^{abc}
	A	C2	52,77±3,92 ^{bc}	42,22±3,14 ^{abcd}	16,66±0 ^{abc}
	M	C1	70,55±13,35 ^{bcd}	39,44±0,78 ^{abcd}	0±0 ^a

	M	C2	48,32±13,35 ^b	47,22±3,92 ^{bcde}	0±0 ^a
	T	C1	58,88±20,42 ^{bc}	54,16±17,67 ^{def}	10±14,14 ^{ab}
	T	C2	51,10±6,28 ^a	48,88±6,28 ^{cde}	8,33±11,78 ^{ab}
T3	A	C1	55±7,07 ^{bc}	45,55±1,57 ^{abcd}	8,33±11,78 ^{ab}
	A	C2	41,66±3,92 ^{ab}	30,55±3,92 ^{ab}	0±0 ^a
	M	C1	49,99±7,85 ^b	36,66±4,71 ^{abc}	0±0 ^a
	M	C2	32,77±8,64 ^a	44,44±0,00 ^{abcd}	0±0 ^a
	T	C1	53,33±0,002 ^{bc}	33,33±0 ^{abc}	0±0 ^a
	T	C2	62,22±25,14 ^{bcd}	30±4,71 ^a	0±0 ^a
	P			0,02	0,0001

A : *Alchornea cordifolia* ; M : *Mezoneuron benthamianum* ; T : *Tithonia diversifolia* ; NT : Non traité C1=5g; C2=15g; T1 : Traitement le jour du repiquage ; T2 : Traitement deux semaines après repiquage ; T3 : Traitement un mois après repiquage ; P = probabilité. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test LSD de Fisher).

Effet des traitements sur la sévérité des symptômes foliaires.

L'effet du traitement du sol de culture avec les extraits poudreux de plantes a varié en fonction des symptômes et du type de traitement effectué (Tableau III). Les résultats de l'analyse statistique de la sévérité moyenne des symptômes du jaunissement ont montré qu'il existe une différence ($P < 0,05$) entre les traitements et le témoin. Le traitement (T3) du sol de culture un mois avant le repiquage avec *A. cordifolia* aux quantités C1 (5 g) et C2 (15 g) ont enregistré les sévérités de symptômes les plus élevées de valeurs respectives 2,5 et 2,12. Tandis les quantités C2 (15 g) de *A. cordifolia* et C2 (15 g) de *T. diversifolia* ont montré les sévérités les plus faibles pour le traitement 1 (sol traité le jour du repiquage). L'analyse statistique des données de la sévérité de l'enroulement a montré qu'il existe une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différents traitements et le témoin. Le traitement 1 de *M. benthamianum* aux quantités C1 et C2 ont eu les sévérités les plus faibles. Quant au traitement 3 de la quantité C2 de *A. cordifolia*, il a enregistré la sévérité la plus élevée de 2,93. La tendance est que les traitements sont inversement proportionnels à l'efficacité des extraits. En général, le traitement 1 de *M. benthamianum* à la quantité C2 a été plus efficace sur le symptôme de l'enroulement des feuilles de tomate. L'analyse de variance de la sévérité du flétrissement démontre des différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %. Ainsi, le traitement du sol avec les extraits poudreux (*A. cordifolia*, *M. benthamianum* ; et *T. diversifolia*) a réduit la sévérité des

symptômes. Cependant, les extraits des trois plantes ont présentées des sévérité moyenne plus faible avec le traitement 3.

Tableau III : Sévérité moyenne des symptômes foliaire des plants de tomates en fonction des traitements

Traitements	Plantes	Quantités d'extraits	Jaunissement	Enroulement	Flétrissement
Témoin	NT	C0	3,75±0,53 ^{abcd}	3,62±0,17 ^{cde}	3,1±2,33 ^C
T1	A	C1	1,12±0,53 ^{abc}	1,12±0,17 ^{bcde}	0,5±0,7 ^{ab}
	A	C2	0,5±0 ^a	0,75±0,35 ^{abc}	0±0 ^a
	M	C1	0,75±0,88 ^{ab}	0,25±0 ^{ab}	0,25±0,35 ^{ab}
	M	C2	0,87±0 ^{ab}	0±0 ^a	0±0 ^a
	T	C1	0,87±0,35 ^{ab}	1,5±1,5 ^{cde}	3,1±2,33 ^c
	T	C2	0,5±0,53 ^a	1,12±1,25 ^{bcde}	1,25±1,76 ^c
T2	A	C1	1±0 ^{ab}	0,75±0 ^{abc}	2,3±1,97 ^a
	A	C2	1,37±0,88 ^{abc}	2±0,35 ^e	0,5±0,70 ^{ab}
	M	C1	1,43±0,70 ^{abc}	0,87±0,17 ^{abc}	0±0 ^a
	M	C2	0,87±0,79 ^{ab}	1,3±0,79 ^{cde}	0±0 ^a
	T	C1	1,5±0,17 ^{abcd}	0,75±0,70 ^{abc}	0,5±0,7 ^{ab}
	T	C2	1,06±0,6 ^{ab}	1±0,35 ^{bcd}	0,5±0,7 ^{ab}
T3	A	C1	2,12±0,53 ^{cd}	1,93±0,26 ^e	0,5±0,7 ^{ab}
	A	C2	2,5±0 ^d	2,93±0,09 ^f	0±0 ^{ab}
	M	C1	1,62±0,17 ^{bcd}	1,37±0,17 ^{cde}	0±0 ^a
	M	C2	1,12±0,35 ^{abc}	1,37±0,53 ^{cde}	0±0 ^a
	T	C1	1,62±0,53 ^{bcd}	1,37±0,53 ^{cde}	0±0 ^a
	T	C2	1,5±0,53 ^{abcd}	1,87±0,88 ^{de}	0±0 ^a
P			0,020000	0,0003	0,001

A : *Alchornea cordifolia* ; M : *Mezoneuron benthamianum* ; T : *Tithonia diversifolia* ; NT : Non traité C1=5g ; C2=15g ; T1 : Traitement le jour du repiquage ; T2 : Traitement deux semaines après repiquage ; T3 : Traitement un mois après repiquage ; P = probabilité. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test LSD de Fisher).

2.1.3 Effets des extraits de *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* sur les symptômes des galles racinaires de la tomate

L'analyse statistique des données de l'incidence des galles a montré qu'il existe une différence significative ($P < 0,0001$) entre les différents traitements et le témoin. En effet, les résultats montrent que la quantité 5 g d'*A. cordifolia* est plus efficace aux traitements 2 et 3 comparativement aux quantités C1 (5

g) et C2 (15 g) des extraits des autres plantes. L'extrait de *A. cordifolia* à la quantité C2 (15 g) du traitement 3 est le plus efficace contre la formation des galles (Tableau IV).

L'analyse statistique des données relatives au niveau de sévérité a montré une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre les différents traitements et le témoin. Les plants de tomates étaient sévèrement attaqués sur le sol non traité (témoin) la moyenne de sévérité était de 4. Après les différents traitements, une faible présence des galles a été observée sur le système racinaire. La sévérité variait de niveau 0 à 2, pour les traitements 1 et 2 ; et de niveau 0 à 1 pour les traitements 3. A ce stade, le niveau de sévérité était moindre (pas de galles sur les racines). Le traitement du sol avec 5 g de poudre de *A. cordifolia* un mois et 15 jours avant le repiquage des plants de tomates (traitement 3 et 2) se révèle plus efficaces par rapport aux autres traitements (Tableau IV).

Tableau IV : Incidence et sévérité des galles racinaires des plants de tomates en fonction des traitements

Traitements	Plantes	Quantités d'extraits	Incidence des galles (%)	Sévérité des galles
Témoin	NT	C2	83,33±0 ^h	2,5±2,26 ^c
1	A	C1	58,33±11,78 ^{efgh}	1,5±1,69 ^{abc}
	A	C2	55±7,07 ^{defg}	2,12±1,55 ^{bc}
	M	C1	65±21,21 ^{fgh}	2,25±1,66 ^{bc}
	M	C2	41,65±11,78 ^{cdefg}	1,12±1,12 ^{abc}
	T	C1	18,35±2,35 ^{abc}	1,12±1,80 ^{abc}
	T	C2	66,66±0 ^{gh}	2,25±1,14 ^{bc}
2	A	C1	0±0 ^a	0±0
	A	C2	24,95±11,78 ^{abc}	1,125±1,12 ^{abc}
	M	C1	55±7,07 ^{defg}	1,5±1,41 ^{abc}
	M	C2	65±21,21 ^{fgh}	2,125±1,64 ^{bc}
	T	C1	38,35±30,64 ^{cdef}	1±1,60 ^{abc}
	T	C2	35±21,21 ^{bcde}	1,37±1,92 ^{abc}
3	A	C1	0±0 ^a	0,0±0 ^a
	A	C2	8,33±11,78 ^{ab}	0,375±1,06 ^a
	M	C1	16,65±23,57 ^{abc}	0,75±1,38 ^{ab}
	M	C2	10±14,14 ^{ab}	0,375±1,06 ^a
	T	C1	30±14,14 ^{bcd}	0,87±1,35 ^{ab}
	T	C2	8,35±11,78 ^{ab}	0,25±1,65 ^a

P

0,00010

0,0001

A : *Alchornea cordifolia* ; M : *Mezoneuron benthamianum* ; T : *Tithonia diversifolia* ; NT : Non traité C1=5g ; C2=15g ; T1 : Traitement le jour du repiquage ; T2 : Traitement deux semaines après repiquage ; T3 : Traitement un mois après repiquage ; P = probabilité. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test LSD de Fisher).

2.2 Discussion

Cette étude relative à l'efficacité des extraits de *Alchornea cordifolia*, *Mezoneuron benthamianum*, *Tithonia diversifolia* sur les maladies de la tomate a montré la capacité de ces plantes à lutter contre les maladies de la tomate en culture. Différents symptômes des maladies de la tomate ont été observés au cours de l'expérimentation. Les plants de tomates observés ont présenté des symptômes du flétrissement. Ces symptômes sont caractéristiques des maladies bactériennes. En effet, Lebeau, (2010) a attribué le ramollissement des feuilles, qui fanent, se nécrosent et qui finissent par mourir à *Ralstonia solanacearum*. Cet auteur a montré l'aptitude de cette bactérie vasculaire d'origine tellurique à provoquer des flétrissements soudains et irréversibles de l'appareil végétatif aérien de nombreuses solanacées. Les plants de tomates observés ont présenté des symptômes d'enroulement et de décoloration au niveau des feuilles. Ces symptômes sont caractéristiques des maladies virales. Selon Moriones & Navas-Castillo, (2000) après transmission par *Bemisia tabaci*, les particules virales du TYLC se multiplient dans les tissus de la plante et perturbe ainsi sa croissance.

Les résultats montrent également la capacité des trois plantes (*A. cordifolia*, *M. benthamianum*, *T. diversifolia*) de la flore ivoirienne à réduire l'incidence et la sévérité des symptômes des maladies de la tomate. Cela pourrait s'expliquer par l'inhibition de la croissance des agents pathogènes par les extraits. Ces extraits posséderaient des composés organiques naturels ayant des activités antimicrobiennes comme signalés chez d'autres plantes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Bolou *et al.* (2015), qui ont montré que les extraits de *Xylopiya aethiopica* permettaient de réduire l'incidence de la sclérotiniose ou pourriture sèche de la tomate en Côte d'Ivoire. Les symptômes de flétrissement observés sur les plants de tomate ont varié de façon significative en fonction des traitements. Selon Declert (1990), l'ampleur de cette maladie peut être plus ou moins prononcée selon les traitements. Ces flétrissements pourraient être dus à des bactéries dans la mesure où des tests préliminaires, d'identification effectués sur quelques pieds flétris se sont révélés positifs au flétrissement bactérien. D'un point de vue général, cette maladie a été d'une faible incidence sur l'ensemble des traitements. En effet selon Sood *et al* (2002), le flétrissement bactérien, causerait des pertes de plus

de 80 % des superficies de tomates. Toutefois, les témoins ont été les plus atteints. Les plantes traitées avec les extraits ont faiblement été atteintes. Tandis que les traitements avec *Alchornea* et *Mezoneuron* se sont montrés plus efficaces contre cette maladie. La réduction de l'incidence et la sévérité des maladies du flétrissement de la tomate en présence de l'extrait des plantes montre qu'il existe un principe actif qui inhiberait le développement des bactéries du sol. Ces résultats sont similaires à ceux de Adegbite et Adesiyun (2005) qui ont indiqué dans leur rapport que *A. cordifolia* et *M. benthamianum* possèdent des alcaloïdes, des flavonoïdes et d'autres produits chimiques qui leur confèrent des propriétés bactéricides. Akpheokhai *et al.* (2012) rapportent également qu'*A. cordifolia* et *M. benthamianum* en plus des alcaloïdes, des flavonoïdes, des saponines, ils contiennent aussi des amides qui sont des produits de décomposition de la matière organique. Les résultats obtenus confirment ceux de Pavaraj *et al.* (2012) et Umar (2014) qui ont indiqué que la saponine et le tanin contenus dans *A. cordifolia* et *M. benthamianum* étaient responsables de l'inhibition des bactéries.

La plupart des traitements effectués se sont montrés efficaces contre le jaunissement et l'enroulement des symptômes caractéristiques de la virose TYLCV (*Tomato Yellow Leaf Curt Virus*) qui est considérée comme l'une des maladies virales dévastatrices des cultures de tomates (Moriones *et al.*, 2000). Une réduction de l'incidence et de la sévérité de ces symptômes a été observée sur les plantes traitées. Cette réduction de la virose pourrait s'expliquer par le fait que les traitements avaient limité la propagation du vecteur et ainsi freiné l'expansion de la maladie. En effet selon Yarou *et al.* (2018), certaines plantes possèdent des propriétés toxiques, répulsives, anti-appétant contre les bioagresseurs et peuvent donc être utilisés en protection foliaire sur les cultures. N'guessan *et al.* (1992), dans ces travaux réalisés à l'IDESSA (actuel CNRA-Bouaké), avait affirmé qu'en Côte d'Ivoire, la maladie de la jaunisse en cuillère des feuilles de tomate (TYLC) sévissait plus en zone de savane qu'en zone forestière. En outre, selon N'zi *et al.* (2010), la pullulation du vecteur du virus (*B. tabacci*) intervenait plus en saison sèche et les symptômes étaient plus importants en cette saison. Aussi, les résultats montrent que le traitement du sol au jour du repiquage réduit la sévérité des symptômes des jaunissements et d'enroulement. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le principe actif des extraits est encore actif et inhiberait l'activité du vecteur.

L'utilisation d'extrait de *A. cordifolia* ; *M. benthamianum* ; *T. diversifolia*, a réduit significativement la formation des galles sur les racines de la tomate par rapport au témoin. La réduction des galles sur les racines de tomate en présence de l'extrait des plantes pourrait être expliquée par la richesse des plantes en alcaloïdes, en saponine et en quinones libres. Les

résultats obtenus confirment ceux de Pavaraj *et al.* (2012) et Umar (2014) qui ont indiqué que la saponine et le tanin contenus dans les espèces végétales étaient responsables de l'inhibition de l'éclosion de l'œuf, réduisant ainsi les individus du stade juvéniles 2 qui est le plus pathogène des nématodes. Selon Kamatchi *et al.* (2019), ces éléments chimiques sont des inhibiteurs létaux pour les juvéniles et très toxiques pour l'éclosion des œufs de *M. incognita*.

Conclusion

Cette étude, réalisée en parcelle expérimentale, a permis de mettre en évidence l'effet des extraits de *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* et d'en ressortir la nécessité de les utiliser comme méthode de lutte alternative à la lutte chimique en vue de réduire l'attaque des agents pathogènes. Tous les traitements ont réduit significativement l'incidence et la sévérité des symptômes par rapport au témoin quel que soit le paramètre considéré. L'étude a montré que le traitement avec ces plantes à effet inhibiteur des agents pathogènes. *A. cordifolia*, *M. benthamianum* et *T. diversifolia* ont réduit l'incidence et la sévérité des symptômes de flétrissement, de l'enroulement, de jaunissement des feuilles et les galles racinaires de la tomate. Parmi ces espèces végétales testées, *A. cordifolia* et *M. benthamianum* à la quantité C2 (15 g) renferment des propriétés biocides intéressants contre les maladies de la tomate. Les différents délais de traitements du sol avec les trois plantes (le jour, deux semaines et 4 semaines avant repiquage) ont également réduit l'incidence et la sévérité des maladies de la tomate. Le traitement 3 (4 semaines avant repiquage) s'est révélé plus efficace. L'utilisation de ces plantes est une alternative crédible et viable à la lutte chimique contre les ennemis des cultures de la tomate.

References

1. Adegbite A.A. et Adesiyan S.O. (2005). Root extracts of plants to control root-knot nematodes on edible soybean. *Agricultural Sciences*, 1 (1) :18-21.
2. Akpheokhai I.L., Cole A.O.C. et Fawole B. (2012). Evaluation of some plant extracts for the management of *Meloidogyne incognita* on soybeans (*Glycine max*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 8 (4) : 429-435.
3. Barguini R. et Torres E. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxydants. *Food Reviews International*, 25 (3): 313-325.
4. Bolou. B. B., Kouakou. T. H., Koffi, K. G., Kassi F., Tuo S., Chérif M., C., Bomisso, L., & Koné D. (2015). Inhibition de *Sclerotium rolfsii*

- Sacc. (Corticaceae), agent causal de la pourriture du collet de la tige de la tomate (Solanaceae), Par *Xylopi Aethiopica* (Dunal) A. Rich (Annonaceae) et *Trichoderma* Sp. *European Scientific Journal*, 11 (12) : 61-85.
5. Coyne D.L., Nicol J.M. et Claudius C.B. (2010). Les nématodes des plantes : Un guide pratique des techniques de terrain et laboratoire. Secrétariat SP-IPM, Institut International d'Agriculture Tropical (IITA), Cotonou, Benin. https://publications.cta.int/media/publications/downloads/1628_PDF.pdf
 6. De Bon H., Fondio L., Dugué Patrick, Coulibaly Z. et Biard Y. (2018). Etude d'identification et analyse des contraintes à la production maraîchère selon les grandes zones agro-climatiques de la Côte d'Ivoire. Rapport d'expertise PS n°009/FIRCA/DCARA/PRO2M/2018. <https://agritrop.cirad.fr/591600/1/Rapport%20complet%20Maraichage%20RCI%20CIRAD%20FIRCA%20VF%20%202019.pdf>
 7. Declert C. (1990). Manuel de phytopathologie maraîchère tropicale. Cultures de Côte d'Ivoire. Edition ORSTOM, Paris, France. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-02/36393.pdf
 8. FAO (2016). Situation alimentaire mondiale. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, 109 p. <https://www.fao.org/3/i6030f/i6030f.pdf>
 9. Fondio L., Djidji H.A., N'gbesso F.P.M. et Kone D. (2013). Evaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7 (3) : 1078-1086.
 10. Kamatchi K., Nattuthurai N. et Krishnamoorthy S. (2019). Evaluation of egg hatchability and larval mortality of methanolic extracts of *Chromolaena odorata* and *Annona squamosa* on *Meloidogyne incognita*. *International Journal of Life Sciences Research*, 7 (1) : 240-248.
 11. Lebeau A. (2010). Résistance de la tomate, de l'aubergine et du piment à *Ralstonia solanacearum*. Interactions entre les géniteurs de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et la cartographie des facteurs génériques impliqués chez l'aubergine. Thèse de Doctorat, option : Phytopathologie. Faculté des Sciences et Technologies,

- Université de la Réunion, Saint Denis de la Réunion.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00752358/document>
12. Moriones E. et Navas-castillo J. (2000). *Tomato yellow leaf curl virus*, an emerging virus complex causing epidemics worldwide, *Virus Research*, 71 : 123-134.
 13. N'guessan K.P., Fargette D., Fauquet C. & Tbouvenel J.C. (1992). Aspects of the epidemiology of Okra leaf curl in Côte d'Ivoire. *Tropical Management*, 38 (2) : 122-126.
 14. N'zi J.C., Kouame C., Assanvo S.P.N., Fondio L., Djidji A.H., et Sangare A. (2010). Evolution des populations de *Bemisia tabaci* Genn. selon les variétés de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) au centre de la Côte d'Ivoire. *Sciences et Nature*, 7 (1): 31-40.
 15. Ouedraogo R. (2016). Evaluation des effets de la fiente de volaille, du fumier de vache et du fumier de porc sur le flétrissement bactérien de la tomate. Mémoire d'ingénieur du développement rural, option : Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
<https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2016-OUE-EVA/IDR-2016-OUE-EVA.pdf>
 16. Pavaraj M., Bakavathiappan G. et Baskaran S. (2012). Evaluation of some plant extracts for their nematocidal properties against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Journal of Biopesticides*, 5: 106-110.
 17. Sood A.K., Kalha C.S. Parashar A., Ambardar V.K., Kumar P. et Aggarwal P. (2002). Identification of components for integrated management of bacterial wilt of tomato in Himachal Pradesh. 3rd International bacterial wilt symposium, South Africa, February 4-8, P. 34.
 18. Soro S. Doumbia M., Dao D., Tschannen A. et Girardin O. (2007). Performance de six cultivars de tomates *Lycopersicon esculentum* Mills. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature*, 4 (2) : 123 - 130.
 19. Umar I. et Mamman A. (2014). Nematicidal potential of *Faidherbia albida* fruit against *Meloidogyne javanica* on cowpea. *Pakistan Journal of Nematology*, 32 (1): 77-83.
 20. Vakalounakis D.J. et Fragkiadakis G. A. (1999). Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from cucumber : differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility, and RAPD fingerprinting. *Phytopathology*, 89 : 161-168.

21. Yabuuchi E., Kosako Y., Oyaizu H., Yano I., Hotta H., Hashimoto Y., Ezaki T et Arakawa M. (1996). Proposal of Burkholderia gen. Nov and transfert of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the types *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacia*, *comb. Microbiology and Immunology*. 36 : 1251-1275.
22. Yarou B.B., Komlan F.S., Mensah A., Alabi T. Vershggen F. et Francis F. (2017). Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest. *Biotechnology Agronomie Société Environnement*, 21 (4) :288-304.

Increasing Frequency of Parkinsonian Syndrome as a Reason for Admission to the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital, Madagascar

Nomena Finiavana Rasaholiarison (Neurologist)

Neurology Department, University of Fianarantsoa, Madagascar

Jemissair Glorien Lemahafaka (Neurologist)

Neurology Department, University of Toliara, Madagascar

Lala Andriamasinavalona Rajaonarison (Neurologist)

Neurology Department, University of Antsiranana, Madagascar

Manambina Ratsimandresy (Neurology Resident)

Jenny Larissa Rakotomanana (Internist)

Alain Djacoba Tehindrazanarivelo (Professor of Neurology)

Neurology Department, University of Antananarivo, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p129](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p129)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Finiavana Rasaholiarison N., Glorien Lemahafaka J., Andriamasinavalona Rajaonarison L., Ratsimandresy M., Larissa Rakotomanana J., & Tehindrazanarivelo A.D., (2022). *Increasing Frequency of Parkinsonian Syndrome as a Reason for Admission to the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital, Madagascar* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 129.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p129>

Abstract

The number of parkinsonian syndrome patients in Africa is increasing. This study evaluated the increasing number of parkinsonian syndrome (PS) patients admitted to a hospital in Madagascar. A comparison was carried out between parkinsonism syndrome plus (PS+) and idiopathic Parkinson's Disease (PD) cases. Retrospectively, case records of patients with parkinsonism was reviewed between 2009 and 2018 in the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital, Antananarivo. Out of the 7343 patients seen in the unit over this period, 157 patients with PS were retained. It was found that PS frequency has increased significantly as a reason for admission since 2013. PS as a reason for admission rose from 0.64 % in 2009 to 29.30 % in 2018. The median age of diagnosis of PS was 60.75 years

± 10.66 . The mean age of disease onset was 57.95 years ± 10.99 , with a mean diagnosis delay of 3.19 years and a sex ratio of 1.275. Among those with PS, 112 (71.33%) had PD and 45 (28.66%) had other parkinsonian syndromes. It was also found that patients with PD had a longer diagnosis delay ($p = 0.039$), a higher Mini-Mental Status Examination (MMSE) scores ($p = 0.035$), and they were more dopa-sensitive ($p = 0.007$) than those with other parkinsonian syndromes. In the facility in Madagascar, the number of referrals for PS and PD has increased over time and they have the same features as parkinsonian syndromes in other African countries.

Keywords: Frequency, Antananarivo, Parkinsonian Syndrome, idiopathic Parkinson's disease

Introduction

Parkinsonian syndromes (PS) are neurological disorders sharing the characteristics of bradykinesia, akinesia, resting tremor, rigidity or hypertonia (Rajput, 1992). Parkinsonian syndromes are grouped into two major etiological classes: degenerative and non-degenerative. Degenerative PS includes idiopathic Parkinson's disease (IPD) and PS plus (degenerative parkinsonism other than idiopathic Parkinson's Disease). Non-degenerative PS has secondary induced causes (Ferrazzi et al., 2015). Parkinson's syndromes are, after dementia syndromes, the most frequent neurodegenerative disorders (Vidailhet, 2018). In sub-Saharan Africa, their prevalence and incidence have been lower based on a study in Nigeria (Akinymieni, 2012). In Madagascar, a study between 2014 and 2017 found parkinsonian syndromes to be an increasingly frequent reason for consultation in Neurology unit. Lack of public awareness of the disease and the lack of referrals to specialists have created gaps in the care of PS (Rasaholiarison et al., 2019). To evaluate the frequency of patients referred as PS and assess care gaps, the characteristics of patients referred to the center with parkinsonian syndromes was examined over a period of ten years. Also, a comparison was made between the frequency of other PS (parkinsonian syndrome plus and secondary parkinsonian syndrome) and idiopathic Parkinson's disease.

Methods

The study was carried out in the Neurology Department of the Joseph Raseta Befelatanana University Teaching Hospital, Antananarivo, which is a national referral center for neurological diseases in Madagascar. A descriptive and comparative retrospective single-center study was carried out over a ten-year period from 2009 to 2018. All inpatients diagnosed with parkinsonian

syndrome seen in the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital were included, while patients with incomplete medical records were excluded in the study. It was hypothesized that there would be an annual increase in the number of patients with parkinsonism. This study examined the demographic and clinical characteristics, including age at diagnosis, duration of illness and sex (male, female), patient history (familial parkinsonism hypertension, diabetes, alcohol, or tobacco use), cognitive state as assessed by the Mini-Mental Status Examination (MMSE), presenting symptoms (neurological problem, tremor, gait disturbance, parkinsonian syndrome, stroke, rigidity, slowness, akinesia, others), existence of a typical parkinsonian syndrome (parkinsonian triad of bradykinesia, tremor, and rigidity without other signs) or parkinsonian syndrome plus on physical examination, dopa-sensitivity (dopa-sensitive, non-dopa-sensitive), and the initial treatment (dopaminergic agonists, anticholinergics, levodopa, other drugs). Finally, an assessment was done on the etiology of the PS, including idiopathic Parkinson's disease (IPD), parkinson syndrome plus (PS+) which are multiple system atrophy (MSA), progressive supranuclear palsy (PSP), dementia with Lewy bodies (DLB), cortico-basal degeneration (CBD), and parkinsonism due to secondary causes. Demographic and clinical characteristics of IPD were compared to other parkinsonian syndromes.

Xlstat software was used for data processing and statistical testing. Results are shown as the absolute value, percent, and average depending on variable type. Continuous variables were reported as the median with extremes. Significant differences in the means of continuous variables were shown by the Student's t-test ($p < 0.05$). The frequency was calculated by the number of patients in each year by the total of inpatient retained. The MMSE (Mini-Mental Status Examination) was used to assess the cognitive status with a maximum score of 30/30. Scores below 24 are abnormal and compatible with a diagnosis of dementia. The dopa sensitivity of the patients was assessed by oral administration of 100 mg of immediate-acting levodopa. A positive response was defined as an improvement in symptoms and signs 30 minutes after administration.

Results

Parkinson syndrome (PS) was identified in 160 out of 7,343 patients hospitalized for neurological disorders (2.17%). Above those 160 included, 157 patients were retained after excluding three patients with incomplete data. A male predominance was noted 88/157 (56%) with a sex ratio of 1.275. It was found that the annual frequency of PS has increased markedly since 2013 except for that in 2015. The annual frequency ranged from 1/157 (0.6%) in

2009 to 46/157 (29.3%) in 2018 (Figure 1). The mean age at onset of symptoms of PS was 57.95 ± 10.99 years. The median age at diagnosis of PS was 60.75 ± 10.66 years. The number of men with PS predominated over women (56.05%). Ninety-nine patients (63.06%) had no specific medical history, 43 (27.39%) were hypertensive, 3 (1.91%) were diabetics, 1 (0.64%) were both diabetic and hypertensive, 6 (3.82%) were alcoholic, and 5 (3.18%) had a history of familial parkinsonism time from onset of symptoms to the diagnosis of parkinsonism. The mean MMSE score for patients with Parkinson's disease was 28 (Table 1). The reasons for consultation and referral were tremor in 83 (52.86%) followed by slowness in 29 (18.47%), rigidity in 22 (14.01%), gait disorder in 18 (11.46%), parkinsonian syndrome in 3 (1.91%), stroke in 1 (0.64%), and other neurological disorders in 1 (0.64%). Among those with parkinsonian syndromes, 112 patients (71.33%) had typical parkinsonian syndrome (PD), and 45 patients (28.66%) had other parkinsonian syndromes (either parkinson syndrome plus or secondary parkinsonism). It was found that 74% of the cases were dopa-sensitive. The treatment was levodopa in most cases (97 patients, 61.8%), followed by dopamine agonists for 46 patients (29.3%), anticholinergics for 7 patients (4.5%), and other drugs for 7 patients (4.5%). The main etiologies of parkinsonian syndromes were IPD in 112 patients (71.33%), MSA in 22 patients (14.01%), PSP in 2 patients (1.27%), CBD in 2 patients (1.27%), DLB in 5 patients (3.18%), and secondary parkinsonism in 14 patients (8.91%). In comparing IPD to other PS, it was found that patients with IPD had a longer delay in diagnosis ($p = 0.039$). Hence, they were more likely to have an unremarkable past medical history ($p = 0.021$), have a higher MMSE score ($p = 0.035$), and have a more marked dopa-sensitivity ($p = 0.007$) than other patients with PS (Table 1).

Relative Frequency of Parkinsonian Syndrome

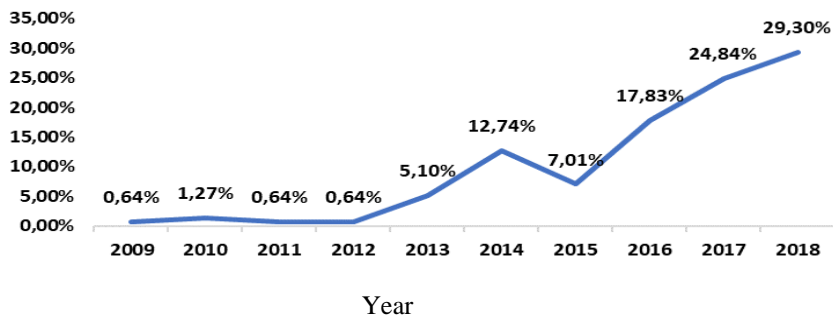


Figure 1. Increasing frequency (number of patients with PS in a year/ total number of inpatients with PS) of the parkinsonian syndrome from 2009 to 2018 in the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital, Antananarivo

Table 1. Characteristics of parkinsonian syndromes (PS) seen in the Neurology Department of Befelatanana University Teaching Hospital, Antananarivo

Variables	Total	Idiopathic Parkinson's disease (PD) (N = 112)	Secondary and atypical parkinsonism (N = 45)	p
Age (years):				
At onset	57,95 [26 ; 80]	58,57 [23 ; 80]	56,42 [26 ; 83]	0,270
At diagnosis	60,75 [26 ; 83]	61,74 [32 ; 83]	58,24 [26 ; 83]	0,061
Diagnosis delay (years)	3,19	3,43	2,5	0,039
Gender :				
Male	88 (56,05%)	57 (50,94%)	31 (68,88%)	0,05
Female	69 (43,95%)	55 (49,10%)	14 (31,11%)	
Past history :				
Without particularity	99 (63,06%)	73 (65,17%)	26 (57,77%)	0,021
Familial PS*	5 (3,18%)	3 (2,67%)	2 (4,44%)	
MMSE**	28 [11 ; 30]	29 [20 ; 30]	27,68 [11 ; 30]	0,035
Dopamine sensitivity :				
Yes	116 (73,88%)	101 (90,17%)	15 (33,33%)	0,007
No	41 (26,11%)	11 (9,82%)	30 (66,66%)	

*PS: Parkinsonian syndrome

**MMSE: Mini-Mental Status Examination

Discussion

This is the first study in Madagascar to describe the frequency of parkinsonian syndrome in patients referred to a national center over a ten-year period. Number of patients with parkinsonism increases over time, and its main etiology is Parkinson's disease (PD). Referrals for Parkinson disease have increased due to the increasing of neurologists' number in Madagascar in recent years. However, some have become interested in movement disorders.

Some of the limitations of this study include being single-centered, concerned only inpatient, and retrospective. The study may not represent the nation as a whole or the outpatient population of patients. Due to the nature of the study, changes cannot be estimated in the incidence or prevalence of parkinsonian syndrome in Madagascar.

During the study period, 160 patients out of 7,343 patients seen in the department were diagnosed with parkinsonian syndrome (2.17%). In the study of Okubadejo et al. (2010), the intra-hospital frequency of parkinsonism was 1.47%. El-Tallawy et al. (2013) found a regional prevalence of 0.31%. A higher frequency was found in this study because it was done at a neurological referral center. It was noted that the frequency of parkinsonian syndromes has increased since 2013 except in 2015. Few other studies have examined temporal trends in the frequency of parkinsonian syndromes. In this study, it is unlikely that it is due to increased incidence or prevalence but more likely due to increased patient awareness of potential for treatment of this disease and the increased number of care provider interests in PS and PD.

However, a study by Rocca et al. (2001) has shown a stable incidence of Parkinson's disease (1976-1990) in Olmstead, Minnesota. It appears that in this region of the northern United States, no new environmental risk factor for Parkinson's disease occurred during this period. The number of people with Parkinson's disease in Africa was estimated at 1.3 million patients in 2011, an increase compared to previous years. An increase in life expectancy has been observed in developing countries associated with an increase in age-related diseases such as Parkinson's disease and other parkinsonian syndromes (Cilia et al., 2011).

In this study, the mean age of onset of parkinsonian syndromes was 57.95 years \pm 10.99, while the mean age of diagnosis of parkinsonian syndromes was 60.75 \pm 10.66 years. In most patients, the onset of motor symptoms in PS is after age 40 (Kurland et al., 1969). Uitti et al. (1993), in a series of 934 PD patients, observed for over 22 years (1968-1990) a mean age at onset of 51.5 years. Feldman et al. (2011) reported a mean age at diagnosis of 75.5 \pm 8.6 years with extremes between 43 and 94 years in a prospective cohort study based on the population of Swedish twins. Bushman et al. (2016) found an average age of diagnosis of 81.9 years (\pm 6.92). In another study, Darweesh et al. (2017) found a mean age of diagnosis of 65.3 years. These differences in age of onset compared to this study may reflect the youthfulness of the national population (INSTAT, 2012-2013).

In this study, men predominated over women (56.05%). According to the study by Hughes et al. (2002), over ten years, 89 were men (62.23%). Savica et al. (2017) reported a male preponderance with 279 men (60.5%). The protective role of estrogen may contribute to this sex difference in the incidence of Parkinson's disease (Rajput et al., 2003).

For the patients, 99 (63.06%) had no past medical history, 27.39% were hypertensive, 1.91% were diabetics, 3.82% alcohol-smoking, and 3.18% had a history of familial parkinsonism. Buschmann et al. (2016) reported on

776 cases of parkinsonism with 52.1% being hypertensive, 14.2% were diabetic, 13.5% had a stroke, and 5.3% had a history of familial PD. The low rate of comorbidity in this series may be attributable to insufficient screening and investigation in the pre-hospital setting.

Hughes et al. (2002) described a diagnostic delay of 1.6 years (0-7 years). In addition, there was a diagnostic delay of 3.19 years in this study. In developed countries, the average time of diagnosis is around the first year of symptoms and no longer than the first two years after onset (Chrysostome et al., 2015). The longer delay in diagnosis in Madagascar can be explained by the few neurologists specializing in movement disorders.

The reasons for referral were tremor in 83 (52.86%) followed by slowness in 29 (18.47%), rigidity in 22 (14.01%), and walking disorders in 18 (11.46 %). According to Bostantjopoulou et al. (1991), tremor was the most frequent initial symptom observed in elderly subjects than in young subjects with IPD. Thus, this was the most numerous in the study. In the literature, the cardinal signs of parkinsonian syndrome are often present in IPD but variable in MSA, PSP, CBD, and drug-induced parkinsonism (Alvarez et al., 2007). Compared to patients with PS, 71.33% had IPD and 28.66% had other PS. There was a male predominance in both idiopathic Parkinson's disease (50.89%) and other parkinsonian syndromes (68.88%). In the study by Okobadejo et al. (2010), the intra-hospital frequency was 79% for Parkinson's disease and 21% for secondary parkinsonism predominance. In a regional study of Kano, Femi et al. (2012) found the frequency of IPD was 83.3% and 16.7% for secondary parkinsonism with a male predominance of 63.5% in IPD and 13.5% for secondary parkinsonism.

The levodopa test was positive in 116 patients (74%). This majority of dopa-sensitivity is explained by the high incidence of IPD, which is dopa-sensitive in most cases. IPD is sensitive to dopa in 70 to over 80% of cases (Wenning et al., 2000; Tolosa et al., 1975; Winikates et al., 1999). Since 74% of the cases were dopa-sensitive, treatment with levodopa was undertaken in most cases (97 patients, 61.8%), followed by dopamine agonists for 46 patients (29.3%), anticholinergics for 7 patients (4.5%), and other drugs for 7 patients (4.5%). Holden et al. (2019) studied 24 parkinsonian patients and 37.5% were on MAO-B inhibitors, 16.7% on amantadine, 16.7% on donepezil, and 4.2% on trihexyphenidyl. Levodopa remains the first-line recommendation in the symptomatic treatment of parkinsonian syndromes. Etiological treatments for neurodegenerative diseases are being developed and tested. Molecular diagnosis and treatment are emerging and will require the cooperation of primary care physicians with specialized centers (Levin et al., 2016). The main etiologies of parkinsonian syndromes were IPD in 112

patients (71.3%), MSA in 22 (14.0%), PSP in 2 patients (1.3%), CBD in 2 patients (1.27%), DLB in 5 patients (3.2%), and secondary parkinsonism in 4 patients (8.9%). El-Tallawy et al. (2013) found that 33.6% of patients had secondary parkinsonism, including 28.6% of vascular origin. Secondary parkinsonism accounts for 0.5% of Black patients and 1.15% of Whites. The incidence in Africa of Parkinson's syndrome has been increasing as the population has increased in age (Van Den Eeden et al., 2003).

Conclusion

Parkinsonian syndromes are not rare in Madagascar but may be underdiagnosed. As in other African countries, the number affected has increased. It is due to increased patient awareness of potential for treatment of this disease and increased number of neurologists. As in other African countries, a delay in diagnosis is common. The dominant etiology is idiopathic Parkinson's disease. In a country like Madagascar, establishing adequate clinical facilities for the diagnosis of parkinsonian syndromes is necessary. Thus, it is implementing a circuit of care with other disciplines (physical rehabilitation) for treatment. Parkinsonian syndromes constitute a diagnostic and treatment burden for Madagascar. A larger study on the national incidence and prevalence (inpatient and outpatient) of Parkinson's disease and other parkinsonian syndromes is needed.

References:

1. Akinyemi, R. O. (2012). Epidemiology of parkinsonism and parkinson's disease in Sub-Saharan Africa: Nigerian profile. *Journal of neurosciences in rural practice*, 3(03), 233-234.
2. Alvarez, M. V., Evidente, V. G. H., & Driver-Dunckley, E. D. (2007). Differentiating Parkinson's disease from other parkinsonian disorders. *Seminars in neurology* 27(4), 356-362.
3. Bostantjopoulou, S., Logothetis, J., Katsarou, Z., & Mentenopoulos, G. (1991). Clinical observations in early and late onset Parkinson's disease. *Functional neurology*, 6(2), 145-149.
4. Buchman, A.S., Leurgans, S.E., Yu, L., Wilson, R.S., Lim, A.S., James, B.D., Shulman, J.M. and Bennett, D.A. (2016). Incident parkinsonism in older adults without Parkinson disease. *Neurology*, 87(10), pp.1036-1044.
5. Chrysostome, V., & Tison, F. (2015). *Maladie de Parkinson, Épidémiologie*, Paris, Elsevier Manson.
6. Cilia, R., Akpalu, A., Cham, M., Bonetti, A., Amboni, M., Faceli, E., & Pezzoli, G. (2011). Parkinson's disease in sub-Saharan Africa: step-

by-step into the challenge. *Neurodegenerative Disease Management*, 1(3), 193-202.

7. Darweesh, S.K., Wolters, F.J., Postuma, R.B., Stricker, B.H., Hofman, A., Koudstaal, P.J., Ikram, M.K. & Ikram, M.A. (2017). Association between poor cognitive functioning and risk of incident parkinsonism: the Rotterdam study. *JAMA neurology*, 74(12), pp.1431-1438.
8. El-Tallawy, H. N., Farghaly, W. M., Shehata, G. A., Rageh, T. A., Hakeem, N. M. A., Abd Al Hamed, M., & Badry, R. (2013). Prevalence of Parkinson's disease and other types of Parkinsonism in Al Kharga district, Egypt. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 9, 1821.
9. Feldman, A. L., Johansson, A. L., Nise, G., Gatz, M., Pedersen, N. L., & Wirdefeldt, K. (2011). Occupational exposure in parkinsonian disorders: a 43-year prospective cohort study in men. *Parkinsonism & related disorders*, 17(9), 677-682.
10. Femi, O. L., Ibrahim, A., & Aliyu, S. (2012). Clinical profile of parkinsonian disorders in the tropics: Experience at Kano, northwestern Nigeria. *Journal of neurosciences in rural practice*, 3(03), 237-241.
11. Ferrazzi C, Heritier C, Savasta M. (2015). Dynamique des Réseaux Neuronaux du Mouvement : Maladie de Parkinson. Grenoble. <http://acces.enslyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/maladies-et-traitements/parkinson>.
12. Holden, S. K., Van Dok, E., & Pelak, V. S. (2019). Co-occurrence of convergence insufficiency and cognitive impairment in parkinsonian disorders: a pilot study. *Frontiers in neurology*, 10, 864.
13. Hughes, A. J., Daniel, S. E., Ben-Shlomo, Y., & Lees, A. J. (2002). The accuracy of diagnosis of parkinsonian syndromes in a specialist movement disorder service. *Brain*, 125(4), 861-870.
14. INSTAT (2012-2013). Résumé des rapports sur l'ENSOMD.
15. Kurland, L. T., Hauser, W. A., Okazaki, H., & Nobrega, F. T. (1969). Epidemiologic studies of parkinsonism with special reference to the cohort hypothesis. In *Third Symposium on Parkinson's Disease* (pp. 12-16). E & S Livingstone, Edinburgh.
16. Levin, J., Kurz, A., Arzberger, T., Giese, A., & Höglinger, G. U. (2016). The differential diagnosis and treatment of atypical parkinsonism. *Deutsches Ärzteblatt International*, 113(5), 61.

17. Okubadejo, N. U., Ojo, O. O., & Oshinaike, O. O. (2010). Clinical profile of parkinsonism and Parkinson's disease in Lagos, Southwestern Nigeria. *BMC neurology*, 10(1), 1-6.
18. Rajput, A. H. (1992). Frequency and cause of Parkinson's disease. *Canadian Journal of neurological sciences*, 19(S1), 103-107.
19. Rajput, A. H., Rajput, A., & Rajput, M. (2003). Epidemiology of parkinsonism. In *Handbook of Parkinson's disease* (pp. 36-61). CRC Press.
20. Rasaholiarison, NF., Razafimahefa, J., & Rakotomalala, JL., & Tehindrazanarivelo, AD. (2019). Fréquence et profil clinique de la maladie de Parkinson et des autres syndromes Parkinsoniens vus au service de neurologie de l'hôpital Befelatanana Antananarivo. *Pan Afr. Med. J*, 33, 229.
21. Rittman, T., Ghosh, B.C., McColgan, P., Breen, D.P., Evans, J., Williams-Gray, C.H., Barker, R.A., & Rowe, J.B. (2013). The Addenbrooke's Cognitive Examination for the differential diagnosis and longitudinal assessment of patients with parkinsonian disorders. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 84(5), 544-551.
22. Rocca, W. A., Bower, J. H., McDonnell, S. K., Peterson, B. J., & Maraganore, D. M. (2001). Time trends in the incidence of parkinsonism in Olmsted County, Minnesota. *Neurology*, 57(3), 462-467.
23. Savica, R., Grossardt, B.R., Bower, J.H., Ahlskog, J.E., Boeve, B.F., Graff-Radford, J., Rocca, W.A. & Mielke, M.M. (2017). Survival and causes of death among people with clinically diagnosed synucleinopathies with parkinsonism: a population-based study. *JAMA neurology*, 74(7), pp.839-846.
24. Tolosa, ES., Martin, WE., & Cohen, HP. (1975). Patterns of clinical response and plasma dopa levels in Parkinson's disease. *Neurology*, 25, 177183.
25. Uitti, R. J., Ahlskog, J. E., Maraganore, D. M., Muenter, M. D., Atkinson, E. J., Cha, R. H., & O'Brien, P. C. (1993). Levodopa therapy and survival in idiopathic Parkinson's disease: Olmsted County project. *Neurology*, 43(10), 1918-1918.
26. Van Den Eeden, S. K., Tanner, C. M., Bernstein, A. L., Fross, R. D., Leimpeter, A., Bloch, D. A., & Nelson, L. M. (2003). Incidence of Parkinson's disease: variation by age, gender, and race/ethnicity. *American journal of epidemiology*, 157(11), 1015-1022.

27. Vidailhet, M. (2018). Epidemiologie de la maladie de Parkinson, données nationales. BEH, 8-9, 126.
28. Wenning, G. K., Ben-Shlomo, Y., Hughes, A., Daniel, S. E., Lees, A., & Quinn, N. P. (2000). What clinical features are most useful to distinguish definite multiple system atrophy from Parkinson's disease? *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 68(4), 434-440.
29. Winikates, J., & Jankovic, J. (1999). Clinical correlates of vascular parkinsonism. *Archives of neurology*, 56(1), 98-102.

Factores Pronósticos De La Saturación De Oxígeno En Pacientes Con COVID-19 Atendidos En Cuidados Intensivos En Un Hospital De México

Jesús Emmanuel Corres González,

Licenciado en Enfermería

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

Alberto Juárez-Lira,

Doctor en Ciencias de la Salud

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p140](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p140)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Emmanuel Corres González J., & Juárez-Lira A.,(2022). *Etude Floristique Et Structurale D'une Forêt Mixte À l'Ile M'bamou, République Du Congo* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 140.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p140>

Resumen

Introducción. El COVID-19 es una enfermedad que ha causado problemas nacionales e internacionales de salud pública, afectando a las áreas sanitaria, económica y social. **Objetivo.** Analizar los factores pronósticos de la saturación de oxígeno según la gasometría arterial en pacientes con COVID-19 atendidos en la unidad de cuidados intensivos. **Metodología.** Estudio transversal llevado a cabo en el Hospital General de Querétaro, México en el área de terapia intensiva con pacientes positivos a COVID-19 del periodo del 4 de mayo del 2020 al 24 de mayo del 2021, considerando un total de 165 pacientes; el tipo de muestro fue no probabilístico según criterio. **Resultados.** Son capaces de predecir la saturación de oxígeno la presión arterial de oxígeno entre la fracción inspirada de oxígeno, la glucosa capilar y las plaquetas. **Conclusiones.** Los datos analizados sugieren la posibilidad de considerar su aplicación en áreas hospitalarias para prevenir la gravedad en pacientes con COVID-19; es necesario continuar documentando más resultados.

Palabras clave: COVID-19, saturación de oxígeno, pronóstico, gasometría arterial.

Prognostic Factors of Oxygen Saturation in Patients with COVID-19 Attended in Intensive Care in A Hospital in México

Jesús Emmanuel Corres González,

Licenciado en Enfermería

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

Alberto Juárez-Lira,

Doctor en Ciencias de la Salud

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Abstract

Introduction. COVID-19 is a disease that has caused national and international public health problems, affecting health, economic and social areas. **Objective.** To analyze the prognostic factors of oxygen saturation according to arterial blood gases in patients with COVID-19 attended in the intensive care unit. **Methodology.** Cross-sectional study carried out at the General Hospital of Queretaro, Mexico in the intensive care area with COVID-19 positive patients from May 4, 2020 to May 24, 2021, considering a total of 165 patients; the type of sampling was non-probabilistic according to criteria. **Results.** Are able to predict oxygen saturation arterial oxygen pressure between inspired oxygen fraction, capillary glucose and platelets. **Conclusions.** The data analyzed suggest the possibility of considering its application in hospital areas to prevent severity in patients with COVID-19; it is necessary to continue documenting more results.

Keywords: COVID-19, oxygen saturation, prognosis, arterial blood gasometry.

Introducción

Actualmente, existe todavía este problema de salud pública mundial, principalmente por la forma de transmisión tan rápida de contagio, que es por gotas o aerosoles, cuando una persona de manera directa tose, estornuda, habla, escupe y tiene contacto con otra persona o de manera indirecta que se tiene contacto con alguna superficie en donde se esparció el virus y tiene contacto con mucosa oral, nasal, ocular o por fómites. (Ge et al., 2020)

El 31 de diciembre de 2019 La Comisión Municipal de Salud de Wuhan provincia de Hubei, China notifica un conglomerado de casos de neumonía en la ciudad. Posteriormente se determina que están causados por un nuevo coronavirus. El 11 de marzo de 2020 la OMS profundamente preocupada por los alarmantes niveles de propagación de la enfermedad y por su gravedad, determina en su evaluación que la COVID-19 puede caracterizarse como una pandemia. (COVID-19, s/f) El primer caso de COVID-19 se detectó en México el 27 de febrero de 2020. (Suárez et al., 2020) En el Estado de Querétaro el primer caso de COVID-19 fue el 11 de marzo del 2020. (Staff, 2020)

La fisiopatología de la enfermedad se caracteriza principalmente en 3 fases, la primera o también llamada fase temprana es en donde se activa el sistema inmune que es la innata, se empiezan a presentar síntomas leves como tos, fiebre, cansancio, la segunda fase o llamada fase pulmonar se trata de la respuesta inmune adaptativa inicia una inflamación tisular en los pulmones, aquí se presenta como primer síntoma la dificultad respiratoria; la tercera fase o llamada fase hiper inflamatoria se caracteriza por una falla multiorgánica, que empeora cada vez más el aspecto pulmonar, empieza a haber un decaimiento en linfocitos T-CD4 y T-CD8. (Alves Cunha et al., 2020)

El cuadro clínico va a depender de cada persona se clasifica en 5, infección asintomática, leve, moderada, grave y crítica; la infección leve es como un cuadro gripal común, el cuadro moderado se presenta con neumonía presenta tos, fiebre, dificultad respiratoria, mialgias; la infección grave presenta síntomas de fiebre, tos, diarrea, dificultad respiratoria, saturación de oxígeno menor al 92% y la infección crítica ya está en riesgo la vida del paciente. (Souza et al., 2020)

La saturación de oxígeno es de suma importancia porque es una gran herramienta médica para diagnosticar o valorar a los pacientes, algo muy común que sucede en la actual enfermedad es un término llamado hipoxia silenciosa en donde se presenta cantidad baja de saturación periférica de oxígeno sin tener ni un síntoma es el porqué de la importancia de valorar la saturación de oxígeno y al presentar niveles bajos de saturación de oxígeno se puede sospechar altamente de COVID-19. (Quaresima & Ferrari, 2020)

El periodo de incubación que es el rango de tiempo en el que aparece el primer signo o síntoma siendo ya infectado y puede contagiar. La línea media de tiempo es de 3 a 6 días, puede llegar a presentarse el primer síntoma hasta los 13 días. Los principales síntomas que en su mayoría son más comunes es fiebre, tos y dificultad respiratoria, diarrea es en muy pocos casos. En estudios de laboratorio se caracteriza leucopenia, linfopenia, trombocitopenia, niveles elevados de lactato deshidrogenasa. De manera

radiológica la tomografía computarizada es una gran herramienta para diagnosticar el COVID-19. (Bassetti et al., 2020)

Los factores de riesgo para presentar una enfermedad grave del nuevo coronavirus es ser persona adulta mayor, tener comorbilidades como lo es hipertensión, diabetes mellitus, enfermedad cardiopulmonar obstructiva, enfermedad cardiovascular, este tipo de pacientes muy probablemente van a tener complicaciones y eso puede ocasionar hasta la muerte. (Huang et al., 2020)

El COVID-19 se puede diagnosticar de diferentes formas, el primero es en base al cuadro clínico que se ha explicado anteriormente, el segundo es por un estudio llamado RT-PCR en el cual se trata de tomar una muestra con un hisopo nasofaríngeo y oro faríngeo el cual se estudia y se detectan los genes del virus que principalmente es el gen E pero puede llegar a tener falsos negativos, esta prueba va a depender de diferentes aspectos para que sea certera, va a depender de la carga viral del paciente puede que salga negativo que se realice en pacientes asintomáticos o que tengan leves síntomas; otro tipo de diagnóstico es con la tomografía computarizada el cual se valoran los hallazgos que tenga y se diagnostique. En pacientes COVID-19 los principales hallazgos que se encuentran son opacidades en vidrio esmerilado que son áreas de opacidad pulmonar muy blancas que no ocultan las estructuras bronquiales ni los vasos sanguíneos, consolidación en el parénquima que es un área de opacidad pulmonar que oculta las estructuras bronquiales y los vasos sanguíneos como a la vez opacidades lineales, engrosamiento de la pared bronquial. Otro tipo de diagnóstico es el ensayo serológico o también llamada prueba rápida serológica el cual es un dispositivo pequeño que detectan los anticuerpos contra el virus para estas pruebas se puede realizar con plasma o con sangre total, la prueba serológica mide la IgM, IgG e IgE, es positivo si el resultado muestra IgM o IgG; no es certera esta prueba se recomienda no hacerla, si llegara a ser positiva la prueba serológica rápida se debe de realizar otro tipo de diagnóstico para corroborar el resultado. (Long et al., 2020)

En pacientes positivos a COVID-19 el intercambio de gases debería ser evaluado siempre que sea posible a través de gasometrías arteriales, con monitorización por pulsioximetría entre dichas determinaciones. Esta conducta se ve facilitada en pacientes con un catéter arterial. En general se utiliza como variable principal la Presion parcial de oxígeno (PaO_2), y el cálculo de la relación entre esta y la fracción inspiratoria de oxígeno (PaO_2/FiO_2 o $PaFi$). Este cociente se utiliza habitualmente en el Síndrome de Dificultad Respiratoria (SDRA) para definir su gravedad (se considera grave a partir de $PaFi < 100$). (Gea et al., 2020)

La gasometría arterial es una prueba que permite analizar, de manera simultánea, el estado ventilatorio, el estado de oxigenación y el estado ácido-base. Tiene 5 componentes básicos el pH determina la acidez o la alcalinidad de la sangre, la PaCO₂ determina la presión que ejerce el dióxido de carbono (CO₂) disuelto en la sangre arterial, la PaO₂ determina la presión parcial que ejerce el oxígeno disuelto en la sangre arterial, el HCO₃ determina la concentración de iones de bicarbonato, la SaO₂ determina el porcentaje de la hemoglobina saturada con oxígeno. (Yan et al., 2022)

En unidades de terapia intensiva el pilar para el tratamiento es el soporte hemodinámico y ventilatorio en los pacientes. Hemodinamicamente en pacientes con COVID-19 presentan un síndrome respiratorio agudo grave se caracteriza por hipoxemia de inicio agudo esto se puede calcular mediante gasometría arterial o saturación periférica de oxígeno se pueden dividir en 3 grupos de hipoxemia según Berlin, Leve: PaO₂/FiO₂ > 200 y < 300 con uso de presión positiva al final de la espiración (PEEP) o presión positiva continua en la vía respiratoria (CPAP) > 5 cmH₂O. Moderado: PaO₂/FiO₂ > 100 y < 200 con uso de PEEP o CPAP > 5 cmH₂O. Grave: PaO₂/FiO₂ < 100 con uso de PEEP o CPAP > 5 cmH₂O. La mortalidad y el riesgo de que disminuya la saturación de oxígeno incrementa, si disminuye la PaO₂/FiO₂. La hipoxia es grave y prevalece conforme se va perdiendo la regulación de la perfusión pulmonar, se produce una gran vasoconstricción hipóxica y los neumocitos con efecto citopático viral producen una hiperinflamación que continúa en etapas avanzadas, lo que resulta en un compromiso pulmonar grave. (Carrillo-Esper et al., 2020)

Metodología

Se trata de un estudio transversal, llevado a cabo en el Hospital General de Querétaro, México en el área de terapia intensiva con pacientes positivos a COVID-19 del periodo del 4 de mayo del 2020 al 24 de mayo del 2021, considerando un total de 165 pacientes registrados.

El estudio fue aprobado por un Comité de Bioética y por el Comité Estatal de Investigación de la Secretaría de Salud del Estado de Querétaro; además, se tramita el permiso para acceder al área de archivo del Hospital General de Querétaro.

El tipo de muestro fue no probabilístico según criterio. Los expedientes se revisaron de acuerdo a criterios de inclusión (mayor de 18 años, de cualquier sexo y con diagnóstico documentado para COVID-19 mediante prueba de RT-PCR, atendido en el servicio de terapia intensiva en el periodo referido) y exclusión (datos incompletos en expediente clínico y sin firma de consentimiento informado por familiar del paciente). Las variables a estudiar

en los expedientes clínicos fueron el registro al ingreso del servicio de terapia intensiva de la saturación de oxígeno (variable endógena) y el resto de variables exógenas de interés para el estudio: edad, sexo, desenlace (alta o defunción) comorbilidades, antecedentes personales no patológicos, antecedentes heredo familiares, tensión arterial sistólica y diastólica, frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, temperatura corporal, saturación periférica de oxígeno, glucosa capilar, pH, presión parcial de dióxido de carbono, presión parcial de oxígeno, potasio sérico, calcio sérico, glucosa sérica, lactato deshidrogenasa, bicarbonato, exceso de base, fracción inspirada de oxígeno, presión parcial de oxígeno / fracción inspirada de oxígeno, eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, plaquetas, leucocitos, linfocitos, neutrofilos, proteína C reactiva, troponina, ferritina, procalcitonina, nitrógeno ureico, urea u creatinina.

Se construyó una base de datos con el programa estadístico IBM SPSS v.26 (licencia universitaria) para realizar los análisis correspondientes. Para el análisis descriptivo, se empleó media y desviación estándar para las variables numéricas; para las variables categóricas, se presenta frecuencias absolutas y porcentajes. Tras verificar los supuestos de linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad de los residuos y colinealidad, se construye un modelo de regresión lineal múltiple con el método escalonado o por pasos donde se analizó las posibles variables predictoras de la baja saturación de oxígeno. El nivel de significancia establecido fue de 0.05.

Resultados

Tabla 1. Características basales de los pacientes con COVID-19 atendidos en terapia intensiva

No. (%)		Total (n = 165)
Género	Masculino	103 (62.4)
	Femenino	62 (37.6)
Desenlace	Alta	44 (38.6)
	Defunción	70 (61.4)
Comorbilidades	Ninguna	25 (33.3)
	Obesidad	12 (7.3)
	Diabetes Mellitus tipo 1	1 (1.3)
	Diabetes Mellitus tipo 2	22 (29.3)
	Hipertensión Arterial Sistólica	9 (12)
	Enfermedades cardiovasculares	1 (1.3)
	Inmunocompromiso	1 (1.3)
	Asma	1 (1.3)
	Epilepsia	2 (2.7)

Enfermedad Renal Crónica	1(1.3)
Antecedentes Personales No Patológicos	
Ninguno	41 (54.7)
Tabaquismo	20 (26.7)
Alcoholismo	6 (8)
Quirúrgicos	2 (2.7)
Humo de leña	2 (2.7)
Zoonosis	3 (4)
2 dosis de vacuna	1(1.3)
Antecedentes Heredo Familiares	
Sin antecedentes	50 (66.7)
Padre y Madre con DM2	9 (12)
Padre con DM2	8 (10.7)
Madre con DM2	5 (6.7)
Padre y Madre con HAS	2 (2.7)
Madre con HAS	1 (1.3)
	x (s)
Saturación de oxígeno (%)	73.3 (11.6)
Edad (años)	52.4 (13.2)
Tensión arterial sistólica (mmHg)	122.1 (17)
Tensión arterial diastólica (mmHg)	68.0 (10.3)
Frecuencia cardiaca (latidos por min)	93.3 (20.5)
Frecuencia respiratoria (respiraciones por min)	31.45 (6.3)
Temperatura corporal (°C)	36.5 (0.83)
Saturación periférica de oxígeno (%)	75.3 (10.5)
Glucosa capilar (mg/dl)	186 (86.6)
pH	7.3 (0.11)
Presión parcial de dióxido de carbono (mmHg)	34.7 (14.6)
Presión parcial de oxígeno (mmHg)	53.8 (19.1)
Potasio (mmol/L)	3.4 (0.8)
Calcio (mmol/L)	0.6 (0.2)
Glucosa sérica (mg/dl)	170 (101.1)
Lactato deshidrogenasa (mmol/L)	1.7 (2.0)
Bicarbonato (mmol/L)	20.8 (6.2)
Exceso de base (mmol/L)	-2.2 (5.8)
Fracción Inspirada de oxígeno	72.8 (26.9)
Presión parcial de oxígeno / Fracción inspirada de oxígeno	92.9 (59.4)
Eritrocitos (10 ⁶ /u)	4.56 (0.8)
Hemoglobina (g/dL)	13.6 (2.9)
Hematocrito (%)	41.1 (7.2)
Plaquetas (10 ³ /u)	221 (119.7)
Leucocito (10 ³ /u)	11 (5.23)
Linfocitos (%)	9.3 (6.2)
Neutrófilos (%)	64.8 (34.1)
Proteína C reactiva (mg/dL)	111.9 (41)
Troponina (pg/mL)	244 (437)

Ferritina (ng/mL)	1566(1737.5)
Procalcitonina (ng/mL)	1.1 (3.9)
Nitrógeno ureico (mg/dL)	30.8 (21.4)
Urea (mg/dL)	62.8 (46.8)
Creatinina (mg/dL)	1.3 (1.9)

Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple con el objetivo de probar un modelo de predicción de la saturación de oxígeno a partir de todas las demás variables obtenidas en este estudio. En primer lugar, se determinó la forma funcional (linealidad) de las variables predictoras y la saturación de oxígeno mediante el análisis de la varianza (Tabla 2) con el estadístico F (13.43) y su p-valor (<0.001) siendo estadísticamente significativos.

Tabla 2. Análisis de la varianza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
3	Regresión	3520.126	3	1173.375	13.435	<0.001
	Residuo	5152.859	59	87.337		
	Total	8672.984	62			

En segundo lugar, se utilizó el procedimiento de regresión “por pasos” o “escalonado” para la obtención de los coeficientes del modelo los cuales señalan que solo la Presion parcial de oxígeno entre la fraccion inspirada de oxígeno (PaFi), la glucemia capilar y las plaquetas son capaces de predecir la saturación de oxígeno. (Tabla 3)

Tabla 3 Estimación del modelo

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t
		B	Desv. Error	Beta	
3	(Constante)	78.763	3.449		22.839
	PAFI	0.102	0.021	0.528	4.918
	Glucosa (mg/dl)	-0.042	0.012	-0.375	-3.496
	Plaquetas	-0.031	0.011	-0.292	-2.887

El coeficiente de determinación (r^2) ajustado, tiene en cuenta solo las variables que afectan a la saturación de oxígeno y que en este modelo es del 37.6% de capacidad predictiva. (Tabla 4)

Tabla 4. Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
3	0.637	0.406	0.376	9.345	1.99

Para garantizar la validez del modelo, se comprobaron los supuestos del modelo de regresión lineal: la independencia de los errores entre sí (no autocorrelación) se estudió con la prueba de Durbin-Watson y se obtuvo un valor de 1.99 que permite asumir independencia entre los residuos. La colinealidad se evaluó mediante los índices de condición que no supero el valor de 7 (tabla 5).

Tabla 5. Diagnósticos de colinealidad

Modelo	Dimensión	Autovalor	Índice de condición	Proporciones de varianza		
				(Constante)	PaFI	Glucosa (mg/dl)
3	1	3.455	1.000	0.01	0.02	0.02
	2	0.282	3.498	0.01	0.30	0.08
	3	0.180	4.379	0.01	0.46	0.85
	4	0.082	6.474	0.97	0.22	0.05

PaFI: Presión parcial de oxígeno entre Fracción inspirada de oxígeno

Discusión

En el presente estudio, la edad promedio de los pacientes contagiados a COVID-19 ingresados al área de terapia intensiva del Hospital General de Querétaro la edad mediana fue de 53 años, valor que se encuentra ligeramente cercano a (Hueda-Zavaleta et al., 2021) que encontraron en sus pacientes hospitalizados por COVID-19 una mediana de 61 años en dicho estudio menciona que tener una saturación menor de 90% existe mayor probabilidad de gravedad, la saturación de oxígeno de los pacientes que fueron atendidos en la terapia intensiva la media fue de 75%.

La mayoría de los pacientes hospitalizados en el área de terapia intensiva fue del género masculino (62.4%) y el género femenino (37.6%) estos hallazgos concuerdan con la información de (Acosta et al., 2020), quienes encontraron una mayor frecuencia de pacientes del sexo masculino del (76%). Sin embargo, al analizar la edad y el sexo no se encontró significancia estadística.

Las comorbilidades más frecuentes destacaron la diabetes mellitus tipo 2 (29.3%), obesidad (16%), hipertensión arterial (12%) que son resultados similares a los resultados obtenidos en un hospital en Perú, estas comorbilidades fueron mencionados como factor pronóstico para desarrollar enfermedad grave por COVID-19 y que disminuya la saturación de oxígeno. (Llaro-Sánchez et al., 2020)

En los resultados que tuvieron significancia estadística como primera variable que predice la disminución de saturación de oxígeno fue la PAFI en el estudio presento una mediana de (70), en un estudio de la Universidad de Antioquia menciona que en un estudio con 27 pacientes presentaron una

PAFI < 200 mmHg tienden a empeorar su estado de salud y disminuir su saturación de oxígeno. (Antioquia, 2020)

La glicemia capilar elevada en la investigación fue la segunda con significancia estadística con una media de (186mg/dl), en un estudio en un hospital de Perú menciona que la hiperglicemia está sumamente a aumentar la morbimortalidad por COVID-19 no específicamente a disminuir la saturación de oxígeno, menciona que en el hospital se presentó el (16.3%) de pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2, menciona que puede estar sumamente relacionada con el uso de corticoides. (Paz-Ibarra & Paz-Ibarra, 2020)

De acuerdo a investigaciones de diferentes autores descritos anteriormente ninguno menciona que esté relacionado con los hallazgos de la presente investigación, sin embargo, el más cercano a los demás estudios son los estados de hiperglicemia, es decir, a pacientes que presentan Diabetes Mellitus tipo 2 pero solo demuestran que existe más riesgo de llegar a una gravedad por COVID-19 como lo menciona (Williamson et al., 2020) la gravedad por COVID-19 se asocia más por ser hombre, tener vejez y tener Diabetes Mellitus 2.

En un estado realizado por (Calvillo-Batlles et al., 2022) menciona que hizo modelos de predicción para presentar una enfermedad grave por COVID-19 en dicha investigación indica que la saturación de oxígeno entre la fracción inspirada de oxígeno o también llamada SaFI que está en gran relación con la presión parcial de oxígeno arterial entre la fracción inspirada de oxígeno (PaFI) es el predictor más fuerte, sus resultados fueron el SatO₂/FiO₂ (33 %), el índice basado en CNN para la consolidación pulmonar (13 %), el LDH (12 %), la edad (9 %), el recuento de linfocitos (9 %) , la PCR (7%), el índice de opacidades pulmonares basado en CNN (3%), el nivel de dímero D (3%) y el recuento de plaquetas (2%) fueron, en este orden, los predictores más importantes de resultado del nivel de gravedad para el grupo de pacientes más grave, sin embargo, no menciona algo relacionado sobre la gasometría arterial o en específico la Presión parcial de oxígeno arterial entre la fracción inspirada de oxígeno PaFI que fue lo que se descubrió en la investigación que presenta gran relación para predecir la disminución de la saturación de oxígeno y tiene gran relación con la investigación porque menciona que las plaquetas es un predictor y uno de los resultados fueron la disminución de los niveles de plaquetas solo que fue en menor porcentaje la capacidad predictiva,

Conclusiones

A partir de los resultados encontrados, esta investigación respalda lo siguiente: la población masculina presenta mayor riesgo de enfermar, sin embargo, existen factores asociados a un peor pronóstico de mortalidad, como

ser mayor de 50 años, ingresar por el servicio de emergencia con una saturación menor de 80 % y tener comorbilidades agregadas como obesidad, diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial.

Además, esta investigación respalda los factores pronósticos de saturación de oxígeno según gasometría arterial que presentar disminución de la Presión parcial de oxígeno entre la fracción inspirada de oxígeno (PaFI) tiene gran relación para predecir la disminución de la saturación de oxígeno en la población, como segunda variable presentar hiperglucemias derivada por la enfermedad Diabetes Mellitus tipo 2 y/o el uso de corticoides tiene suma relación en la disminución de la saturación de oxígeno, presentar niveles bajos de plaquetas va a disminuir la saturación de oxígeno. Los datos analizados, sugieren la posibilidad de considerar aplicarlos en áreas hospitalarias para prevenir la gravedad a los pacientes por COVID.19; se requiere continuar documentando mayores evidencias al respecto.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al personal del Hospital General de Querétaro, en particular a la Jefatura de Enseñanza y Sub-Jefatura de Enseñanza en Enfermería, por el apoyo para concretar de la investigación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. El análisis se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como posible conflicto de interés.

References:

1. Acosta, G., Escobar, G., Bernaola, G., Alfaro, J., Taype, W., Marcos, C., Amado, J., Acosta, G., Escobar, G., Bernaola, G., Alfaro, J., Taype, W., Marcos, C., & Amado, J. (2020). Caracterización de pacientes con COVID-19 grave atendidos en un hospital de referencia nacional del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 37(2), 253–258. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.372.5437>
2. Alves Cunha, A. L., Quispe Cornejo, A. A., Ávila Hilari, A., Valdivia Cayoja, A., Chino Mendoza, J. M., & Vera Carrasco, O. (2020). Breve historia y fisiopatología del covid-19. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 61(1), 130–143.
3. Antioquia, U. de. (2020). Terapia de oxígeno de alto flujo y sistemas de presión positiva continua en pacientes adultos con COVID-19. *Síntesis rápida. Terapia de oxígeno de alto flujo y sistemas de presión*

- positiva continua en pacientes adultos con COVID-19. *Síntesis rápida*, 32–32.
4. Bassetti, M., Vena, A., & Giacobbe, D. R. (2020). The novel Chinese coronavirus (2019-nCoV) infections: Challenges for fighting the storm. *European Journal of Clinical Investigation*, 50(3). <https://doi.org/10.1111/eci.13209>
 5. Calvillo-Batlés, P., Cerdá-Alberich, L., Fonfría-Esparcia, C., Carreres-Ortega, A., Muñoz-Núñez, C. F., Trilles-Olaso, L., & Martí-Bonmatí, L. (2022). Development of severity and mortality prediction models for covid-19 patients at emergency department including the chest x-ray. *Radiología (English Edition)*. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2021.09.004>
 6. Carrillo-Esper, R., Mejía-Gómez, L., Monares-Zepeda, E., Chavarría-Martínez, U., Díaz-Carrillo, A., Ayala-León, M., Zamora-Gómez, S., Sánchez-Díaz, J. S., Lomelí-Terán, M., Briones-Garduño, J. C., & Pérez-Calatayud, Á. A. (2020). Abordaje hemodinámico y ventilatorio en pacientes con COVID-19. *Cirugía Y Cirujanos*, 88(6), 805–817. <https://doi.org/10.24875/CIRU.20000301>
 7. COVID-19: Cronología de la actuación de la OMS. (s/f). Recuperado el 1 de abril de 2022, de <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
 8. Ge, Z., Yang, L., Xia, J., Fu, X., & Zhang, Y. (2020). Possible aerosol transmission of COVID-19 and special precautions in dentistry. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 1–8. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2010010>
 9. Gea, J., Ferrer, A., & Martínez-Llorens, J. M. (2020). Posibles limitaciones en la utilización de la presión arterial de oxígeno en procesos respiratorios por SARS-CoV-2. *Archivos de Bronconeumología*, 56, 9–10. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2020.05.022>
 10. Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., ... Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
 11. Hueda-Zavaleta, M., Copaja-Corzo, C., Bardales-Silva, F., Flores-Palacios, R., Barreto-Rocchetti, L., & Benites-Zapata, V. A. (2021). Factores asociados a la muerte por COVID-19 en pacientes admitidos en un hospital público en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina*

- Experimental y Salud Pública, 38, 214–223.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.382.7158>
12. Llaro-Sánchez, M. K., Gamarra-Villegas, B. E., Campos-Correa, K. E., Llaro-Sánchez, M. K., Gamarra-Villegas, B. E., & Campos-Correa, K. E. (2020). Características clínico-epidemiológicas y análisis de sobrevida en fallecidos por COVID-19 atendidos en establecimientos de la Red Sabogal-Callao 2020. *Horizonte Médico (Lima)*, 20(2).
<https://doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n2.03>
 13. Long, C., Xu, H., Shen, Q., Zhang, X., Fan, B., Wang, C., Zeng, B., Li, Z., Li, X., & Li, H. (2020). Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): RRT-PCR or CT? *European Journal of Radiology*, 126, 108961. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108961>
 14. Paz-Ibarra, J., & Paz-Ibarra, J. (2020). Manejo de la diabetes mellitus en tiempos de COVID-19. *Acta Médica Peruana*, 37(2), 176–185.
<https://doi.org/10.35663/amp.2020.372.962>
 15. Quaresima, V., & Ferrari, M. (2020). COVID-19: Efficacy of prehospital pulse oximetry for early detection of silent hypoxemia. *Critical Care (London, England)*, 24(1), 501.
<https://doi.org/10.1186/s13054-020-03185-x>
 16. Souza, T. H. de, Nadal, J. A., Nogueira, R. J. N., Pereira, R. M., & Brandão, M. B. (2020). Clinical Manifestations of Children with COVID-19: A Systematic Review. *MedRxiv*, 2020.04.01.20049833.
<https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20049833>
 17. Staff, F. (2020, marzo 12). Querétaro confirma el primer caso de Covid-19. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/actualidad-queretaro-confirma-caso-covid-19/>
 18. Suárez, V., Suarez Quezada, M., Oros Ruiz, S., & Ronquillo De Jesús, E. (2020). Epidemiología de COVID-19 en México: Del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Revista Clínica Espanola*, 220(8), 463–471.
<https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.05.007>
 19. Williamson, E. J., Walker, A. J., Bhaskaran, K., Bacon, S., Bates, C., Morton, C. E., Curtis, H. J., Mehrkar, A., Evans, D., Inglesby, P., Cockburn, J., McDonald, H. I., MacKenna, B., Tomlinson, L., Douglas, I. J., Rentsch, C. T., Mathur, R., Wong, A. Y. S., Grieve, R., ... Goldacre, B. (2020). Factors associated with COVID-19-related death using OpenSAFELY. *Nature*, 584(7821), 430–436.
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2521-4>
 20. Yan Y., Xie Y., Wang Y., Chen X., Sun Y., Du Z., & Li X. (2022). [Diagnostic value of mechanical power in patients with moderate to

severe acute respiratory distress syndrome: An analysis using the data from MIMIC-III]. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue*, 35–40.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Analyse des pratiques de production et qualité des poissons fumés commercialisés au sud-Bénin

Brito Thibautéon Arron Sonangnon

Direction de la pêche et des Produits Halieutiques, Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche,

Aboudou Kowiou

Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire (URGEA),
Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA),
Département de Génie de Technologie Alimentaire, École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin.

Programme Technologies Agricole et Alimentaire de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin Porto-Novo, Benin ;

Alidou Chérif

Goudjinou Codjo

Soumanou M. Mohamed

¹Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire (URGEA),
Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA),
Département de Génie de Technologie Alimentaire, École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p154](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p154)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Emmanuel Corres González J., & Juárez-Lira A.,(2022). *Etude Floristique Et Structurale D'une Forêt Mixte À l'Ile M'bamou, République Du Congo* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p154>

Resume

Cette étude vise à analyser les pratiques de production et évaluer la qualité des poissons fumés commercialisés au Sud-Bénin. A cet effet, une enquête a été réalisée auprès de trente (30) transformatrices spécialisées dans le fumage du poisson. Les données relatives aux espèces de poissons fumés, aux

procédés et équipements de fumage puis aux contraintes des transformatrices de poisson ont été collectées sur cinq (05) sites de fumage préalablement identifiés (Calavi Kpota, Xwlacodji, Bohicon, Dangbo et Comé) à raison de six (06) transformatrices par site. Les qualités physicochimiques et microbiologiques de 60 échantillons constitués de quatre (04) espèces de poissons (Clarias, Tilapias, Maquereaux et Chinchards) les plus fumées et collectées de façon aléatoire ont été évaluées suivant des méthodes standards. Les résultats obtenus ont montré que les Clarias et Tilapias puis les Maquereaux et Chinchards sont respectivement les deux espèces de poissons locaux et importés les plus fumées dans la zone d'étude selon 65% des productrices. L'étude a permis de répertorier quatre technologies de fumage de poisson au Sud du Bénin : la technologie artisanale TA1 la plus pratiquée (100 % des transformatrices) suivie de la technologie TA2 (3,33%) puis les technologies semi-améliorées TSA1 (16,66%) et TSA2 (6,66%). Les technologies artisanales TA1 et TA2 sont essentiellement basées sur l'utilisation des foyers en tonneau métallique (100 %), en terre cuite et barrique (76,66%) et des foyers Nansou (3,33 %) tandis que les semi-améliorées TSA1 et TSA2 utilisent respectivement les fours FTT-Thiaroye et QualiSani avec du charbon comme combustible. L'analyse de la qualité physicochimique a révélé une variabilité entre les pH (6,24 à 7,4), les teneurs en eau (24,2 à 54,34 %), en protéines (38,64 à 53,68 %) et en lipides (2,38 à 16,63 %) des poissons fumés. Les indices de peroxyde des différentes huiles (11,63 à 23,85 meq O₂/kg) indiquent un début d'altération dans les poissons fumés collectés. Les résultats microbiologiques ont montré la présence, des Germes Aérobie Mésophile Totales (GAMT) (2,2 à 7,2 10⁵ UFC/g), des Coliformes totaux (1,5 à 4,2 10³ UFC/g), des Coliformes fécaux (<1 à 8,210¹ UFC/g) et des Escherichia coli (2,8 à 8,2 UFC/g) pour la majorité des échantillons et présentent des valeurs non conformes à la norme exceptés les salmonelles qui sont absents. La nécessité d'améliorer les différentes pratiques s'avère donc nécessaire en vue d'obtenir les produits finis de qualité.

Mots clés: Pratiques de fumage, qualité, *Trachurus trachurus*, *Scromber scombrus*, *Oreochromis aureus*, *Clarias ariepinus*

Analysis of production practices and quality of smoked fish marketed in southern Benin

Brito Thibautéon Arron Sonangnon

Direction de la pêche et des Produits Halieutiques, Ministère de
l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche,

Aboudou Kowiou

Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire (URGEA),
Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA),
Département de Génie de Technologie Alimentaire, École Polytechnique
d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou,
Bénin.

Programme Technologies Agricole et Alimentaire de l'Institut National des
Recherches Agricoles du Bénin Porto-Novo, Benin ;

Alidou Chérif

Goudjinou Codjo

Soumanou M. Mohamed

¹Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire (URGEA),
Laboratoire d'Étude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA),
Département de Génie de Technologie Alimentaire, École Polytechnique
d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP
2009 Cotonou, Bénin

Abstract

This study aims to analyze production practices and assess the quality of smoked fish marketed in southern Benin. To this end, a survey was conducted among thirty (30) processors specializing in the smoking of fish. Data relating to the species of smoked fish, the smoking processes and equipment and then the constraints of the fish processors were collected on five (05) previously identified smoking sites (Calavi Kpota, Xwlacodji, Bohicon, Dangbo and Comé) at a rate of six (06) transformers per site. The physicochemical and microbiological qualities of 60 samples made up of four (04) species of fish (Clarias, Tilapias, Mackerel and Horse mackerel) the most smoked and collected at random were evaluated using standard methods. The results obtained showed that Clarias and Tilapias then Mackerel and Horse mackerel are respectively the two most smoked local and imported fish species in the study area according to 65% of the producers. The study made it possible to identify four fish smoking technologies in southern Benin: the most widely practiced artisanal TA1 technology (100% of women processors) followed by

TA2 technology (3.33%) then the semi-improved TSA1 technologies (16.66%) and TSA2 (6.66%). The TA1 and TA2 artisanal technologies are essentially based on the use of metal barrel stoves (100%), terracotta and barrel (76.66%) and Nansou stoves (3.33%) while the semi-improved TSA1 and TSA2 respectively use the FTT-Thiaroye and QualiSani ovens with coal as fuel. The analysis of the physicochemical quality revealed a variability between the pH (6.24 to 7.4), the water content (24.2 to 54.34%), protein (38.64 to 53.68%) and lipids (2.38 to 16.63%) of smoked fish. The peroxide indices of the different oils (11.63 to 23.85 meq O₂/kg) indicate the onset of spoilage in smoked fish. The microbiological results showed the presence of Total Mesophilic Aerobic Germs (GAMT) (2.2 to 7.2 10⁵ CFU/g), Total Coliforms (1.5 to 4.2 10³ CFU/g), Faecal Coliforms (<1 to 8.210¹ CFU/g) and Escherichia coli (2.8 to 8.2 CFU/g) for the majority of the samples and show values that do not comply with the standard except salmonella which are absent. The need to improve the various practices is therefore necessary in order to obtain quality finished products.

Keywords: Smoking practices, quality, *Trachurus trachurus*, *Scromber scrombrus*, *Oreochromis aureus*, *Clarias ariepinus*

Introduction

Le rythme croissant de la démographie augmente la demande d'aliments et nécessite une production supplémentaire de vivres (Guy et Mongbo, 2020). Pour satisfaire à ces besoins alimentaires, les populations font recours aux ressources naturelles disponibles qui sont essentiellement constituées des produits agricoles, d'élevage et de la pêche (FAO, 2016 ; MAEP, 2017). Parmi celles-ci, les produits halieutiques en l'occurrence le poisson, constituent des sources vitales et d'emplois pour des millions de personnes, dont beaucoup parviennent difficilement à en tirer des moyens d'existence décents (FIDA, 2019 ; Latifou et al., 2020). En effet, le poisson joue un rôle important dans les pays à faible revenu car il renferme la plupart des vitamines et oligoéléments nécessaires pour combler certaines carences plus graves et plus répandues (Abdoullahhil et al., 2018). En dépit de ses potentialités nutritionnelles, d'énormes pertes post captures sont enregistrées dans la filière pêche car le poisson est une denrée hautement périssable à cause de ses teneurs en protéines et en eau très élevées. ces pertes sont estimées à 50 % et à 20 % respectivement pour l'Afrique et le Bénin (FAO, 2016). Ce qui entraîne généralement un manque à gagner et une diminution de la quantité de poissons disponibles pour l'alimentation. La transformation du poisson devient donc impérieuse afin de réduire ces pertes post captures et d'assurer

la sécurité alimentaire des populations. Cependant, les techniques traditionnelles de transformation et de conservation utilisées ces dernières années sont essentiellement le fumage, le salage, la fermentation, le séchage, la friture, la réfrigération et la congélation (Anihouvi et al., 2006 ; Depo et al., 2019). Le fumage qui consiste à exposer le produit à la fumée provenant de bois ou d'autres combustibles se démarque des autres procédés de transformation en raison de sa pratique facile, de son coût relativement abordable et de la consommation directe du produit fini. Au Bénin, le fumage du poisson se fait essentiellement de façon artisanale avec une diversité d'opérations unitaires et de l'utilisation de combustibles puis des fumoirs de tout genre. Ces différentes pratiques ne garantissent pas toujours la qualité du poisson fumé et pourraient avoir des effets néfastes aussi bien sur la santé des transformatrices et des consommateurs que sur l'environnement (Djessouho, 2015).

Face à ce constat, plusieurs travaux d'amélioration des différents fumoirs existants et de mise au point de nouveaux prototypes (fours FTT - Thiaroye, fours Chorckor, fours QualiSani etc.) ont été réalisés en vue de réduire la quantité de fumée, la pénibilité du travail, la quantité de combustibles utilisés, la durée de fumage et de garantir la qualité organoleptique des produits finis (Rivier et al., 2009 ; Ekomy et al., 2013 ; Chabi et al, 2014 ; Ndiaye et al., 2014). Malgré, tous ces efforts de recherche, les transformatrices manifestent toujours leur réticence à adopter ces nouveaux équipements et continuent d'utiliser leurs anciennes pratiques. Il est alors nécessaire de faire le diagnostic des différents procédés et équipements de fumage en vue d'améliorer les technologies de production des poissons fumés. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude qui vise à analyser les pratiques de fumage des poissons locaux et importés commercialisés au sud-Bénin et évaluer les qualités microbiologique et physico-chimique des produits finis.

Matériel et méthodes

Zone d'étude et échantillonnage

L'enquête a été réalisée entre le 03 Mai et le 16 Juin 2016 dans cinq (05) communes du Sud du Bénin, reconnues comme zones de forte production de poissons fumés. Il s'agit de la commune d'Abomey-Calavi, de Bohicon, de Comé, de Cotonou et de Dangbo (Figure1). Les informations ont été collectées auprès de 30 transformatrices de poissons sur cinq (05) sites de fumage préalablement identifiés (Calavi Kpota, Xwlacodji, Bohicon, Dangbo et Comé) suivant la méthode dite « boule de neige » sur la base d'un questionnaire semi ouvert. Les informations relatives aux caractéristiques

sociodémographiques, aux espèces de poissons transformés, aux procédés et équipements de fumage puis aux difficultés des transformatrices de poisson ont été recueillies. Quatre (04) espèces de poissons reconnues comme les plus consommées : Clarias (*Clarias ariepinus*), Tilapias (*Oreochromis aureus*), Maquereaux (*Scromber scrombrus*), et Chinchards (*Trachurus trachurus*) ont été prélevées auprès des transformatrices sur les différents sites de fumage dans les sachets alimentaires et stockées au laboratoire à -5°C .

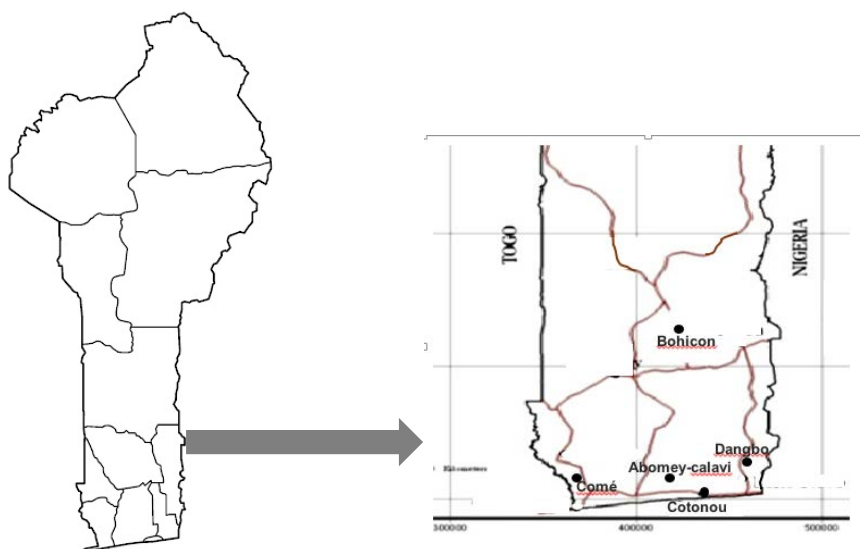


Figure1 : Zones d'étude

Détermination de la qualité physicochimique et microbiologique des espèces de poissons fumés

Les teneurs en eau et en cendres des échantillons de poissons fumés ont été déterminées selon la méthode AOAC (1995). La teneur en protéines est déterminée suivant la norme française NF V 18-100 en utilisant la méthode de Kjeldahl. Le pH des échantillons a été mesuré grâce à l'appareil Inolab pH 730 (WTW D-82362 Weillheim, Allemagne) calibré avec des standards pH 4,01 (STP4, WTW, Allemagne) et pH 7,00 (STP7, WTW, Allemagne). Les analyses microbiologiques ont porté sur le dénombrement des Germes Aérobie Mésophile Totaux (GAMT), des Coliformes totaux et fécaux, des *Escherichia coli* et des Salmonella suivant les méthodes standards. Les germes aérobies mésophiles totales et les salmonelles ont été déterminés respectivement par la norme NF V08-051 et NF V 08 – 052. Cette évaluation a été réalisée en utilisant comme supports, les techniques standards d'analyse rapportées par Joffin et Joffin (2003). L'interprétation des résultats a été faite

suivant le plan à deux classes de Adjou et al. (2013). Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux a été effectué selon la méthode NPP décrite par la norme NF ISO 4831 et celle effectuée par comptage des colonies obtenues à 44°C selon la méthode spécifiée par la norme NF V 08-060.

Traitement des données et analyses statistiques

Après encodage, les fiches d'enquête ont été dépouillées et les données ont été enregistrées dans une base Excel. Ces données ont été analysées par la statistique descriptive (fréquences, moyennes, écart-types). L'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée avec le logiciel SPSS version 21. Les données d'analyses microbiologiques et physico-chimiques ont été soumises au Test de Student- Newman-Keuls avec un niveau de signification de 5%.

Résultats et Discussion

Caractéristiques sociodémographiques des productrices

La connaissance des caractéristiques socio-démographiques des enquêtées revêt un caractère important dans le diagnostic des techniques de production ou de transformation. La figure 2 présente les caractéristiques sociodémographiques des productrices de poissons fumés commercialisés au Sud du Bénin. L'étude a révélé que le fumage du poisson est une activité essentiellement féminine (100 %) dont 50 % des transformatrices ont un âge compris entre 31 et 40 ans suivies de 16,66 % qui ont un âge compris entre 41 et 50 ans. Cette activité pratiquée essentiellement par les femmes pourrait être expliquée par le fait que les hommes n'aiment pas s'adonner à cette activité. Les productrices ayant moins de 20 ans (6,66 %) et plus de 60 ans (3,33 %) sont minoritairement représentées. Les résultats ont montré que ces femmes sont regroupées sous le statut marié (60 %) et célibataire (16,66 %). Plus de la moitié des transformatrices (52 %) n'ont aucun niveau d'instruction. Concernant la religion, près de la moitié des transformatrices enquêtées (46,66 %) pratique la religion catholique, 26,66 % adoptent les religions traditionnelles, 13,33 % sont des protestantes méthodistes contre 10 % des enquêtées qui pratiquent autres religions. La religion islamique est minoritaire pratiquée (3,33 %). Les productrices interviewées sont constituées des ethnies Xwéla et Xwla et sont les plus représentées (26,66 et 33,33 % respectivement). L'étude a montré que 90 % des transformatrices ont pour activité principale la transformation et la commercialisation de poissons. Soixante-neuf sur cent (69,60 %) des productrices étaient des fumeuses de poissons depuis 10 à 25 ans tandis que 24,50 % exercent l'activité de production depuis plus de 25 ans. La majorité des enquêtées (63,33 %) et surtout celles des ethnies Xwéla et Xlwa témoignent que le fumage du poisson est une activité héritée de leurs parents. Les résultats de l'enquête ont permis d'identifier six principaux

acteurs économiques dans la filière : les pêcheurs, les transformatrices, les employés, les mareyeurs, les commerçants de gros, les commerçants de détail et les consommateurs.

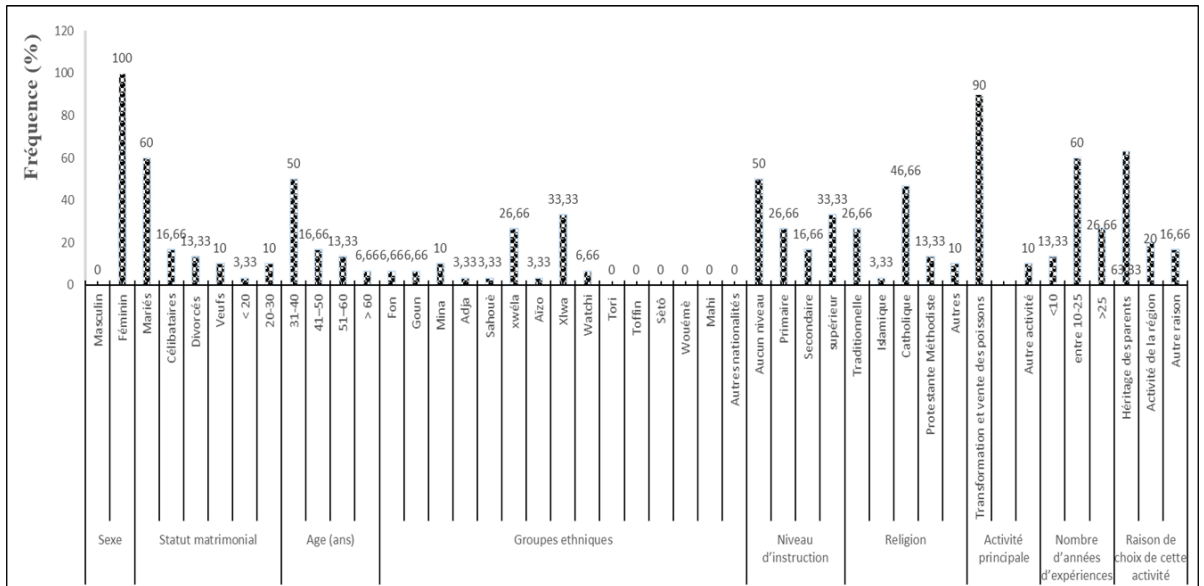


Figure 2 : Caractéristiques socio-démographiques des transformatrices enquêtées (n= 30)

Tableau 1: Espèces de poissons fumés et leur fréquence d'identification par site de fumage

Espèces de poissons	Noms communs	Noms scientifiques	Fréquentation (%) par site de fumage					Moy
			Xwladodji	Comé	Calavi Kpota	Dangbo	Bohicon	
Eau marine	Bonite	<i>Sarda sarda</i>	8,4	7,1	7, 22	8,11	7,13	7,68
	Chinchard	<i>Trachurus trachurus</i>	18,1	23,83	20,12	22,15	21,2	21,08
	Dorade	<i>Pagellus bogaraveo</i>	8, 31	7,65	8,89	6,081	7,02	7,41
	Mademoiselle	<i>Apsilus fuscus</i>	8,01	7,15	7,58	8,12	7,12	8,04
	Heck	<i>Merluccius australis</i>	6,1	5,5	3,36	7,04	5,54	5,5
	Maquereau	<i>Scromber scrombrus</i>	28,43	20,21	19,16	21,57	22,1	22,29
	Machoirons	<i>Arius heudelotii</i>	2,9	1,21	2,8	2,3	2,04	2,33
	Avion	<i>Cheilopogon melanurus</i>	3,61	1,78	1,94	2,01	1,01	2,07
	Requin	<i>Rhizoprionodon acutus</i>	5,22	1,11	2,65	00	00	1,24
	Capitaine	<i>Galeoides decadactylus</i>	3,41	1,23	2,76	2,07	2,09	2,33
	Spractus	<i>Spractus spractus</i>	1,35	1,7	2,12	2,1	2,1	2,36
	Auxide	<i>Auxis thazard</i>	1,12	00	0,98	2,1	00	0,84
	Brama	<i>Brama brama</i>	10,61	6,43	8,1	6,88	5,88	7,58
	Emissolle lisse	<i>Mustelus mustelus</i>	2,64	00	6,43	00	00	1,17
	Poisson guitare à lunaire	<i>Rhinobatos albomaculatus norma</i>	2,47	1,02	6,75	00	00	2,03
Pastenague marguerite	<i>Dasyatis margarita</i>	2,89	00	8,47	00	2,53	2,77	
Raie papillon	<i>Gymnura altavela</i>	5,81	2,45	00	3,41	00	2,33	
Poule de mer	<i>Cephalacanthus volitans</i>	3,68	00	1,12	2,89	00	1,53	
Eaux douce et saumâtre	Poisson ceinture	<i>Trichiurus lepturus</i>	9,09	8,98	8,08	6,44	5,23	7,56
	Poisson volant	<i>Exocoetus volitans</i>	7,33	5,72	5,27	4,97	4,35	5,52
	Sardinelle	<i>Sardinella aurita</i>	17,01	14,11	16,23	13,57	14,42	15
	Carpe noire	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	5,32	4,26	6,56	5,46	6,47	5,61
	Clarias	<i>Clarias ariepinus</i>	35,01	28,05	32,04	28,13	28,63	30,37
	Tilapia	<i>Oreochromis aureus</i>	25,00	27,03	26,02	24,01	23,00	25,01
	Aiguillette sénégalaise	<i>Strongylura senegalensis</i>	1,44	00	5,44	00	2,76	4,14
	Poisson serpent	<i>Dalophis cephalopeltis</i>	00	00	4,44	2,43	1,34	3,95
	Breton africain	<i>Monodactylus sebae</i>	1,21	00	3,21	00	00	1,42
Thazard blanc	<i>Scomberomorus tritor</i>	1,54	1,54	7,44	5,43	3,84	1,42	

Pratiques de fumage des poissons locaux et importés commercialisés au Sud-Bénin

L'analyse des pratiques de transformation a révélé que le fumage de poisson se fait suivant quatre (04) technologies qui se distinguent par les prétraitements, les fumoirs et selon le type de poisson (Figure 1, 2 et 3). La technologie artisanale TA1 (100%) est la plus pratiquée suivie de la technologie TA2 (3,33%), de la technologie TSA1 (16,66%) et de la technologie TSA2 (6,66%).

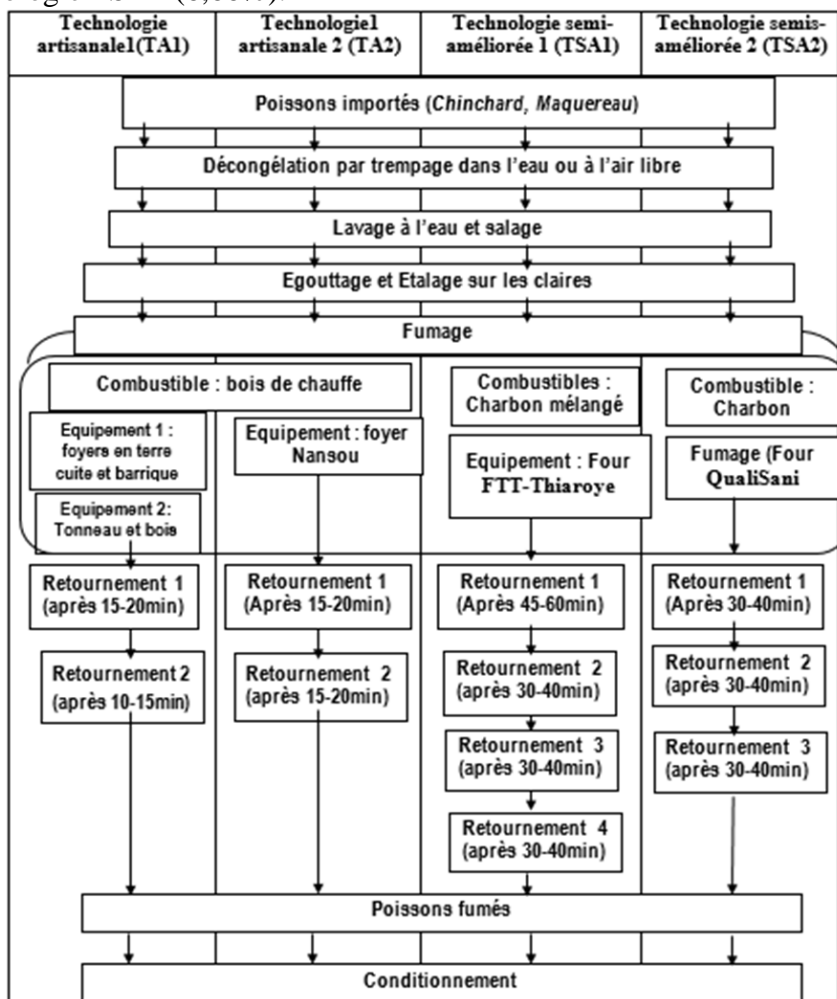


Figure 1 : Récapitulatif des procédés de fumage de poissons importés (Chinchard, Maquereau)

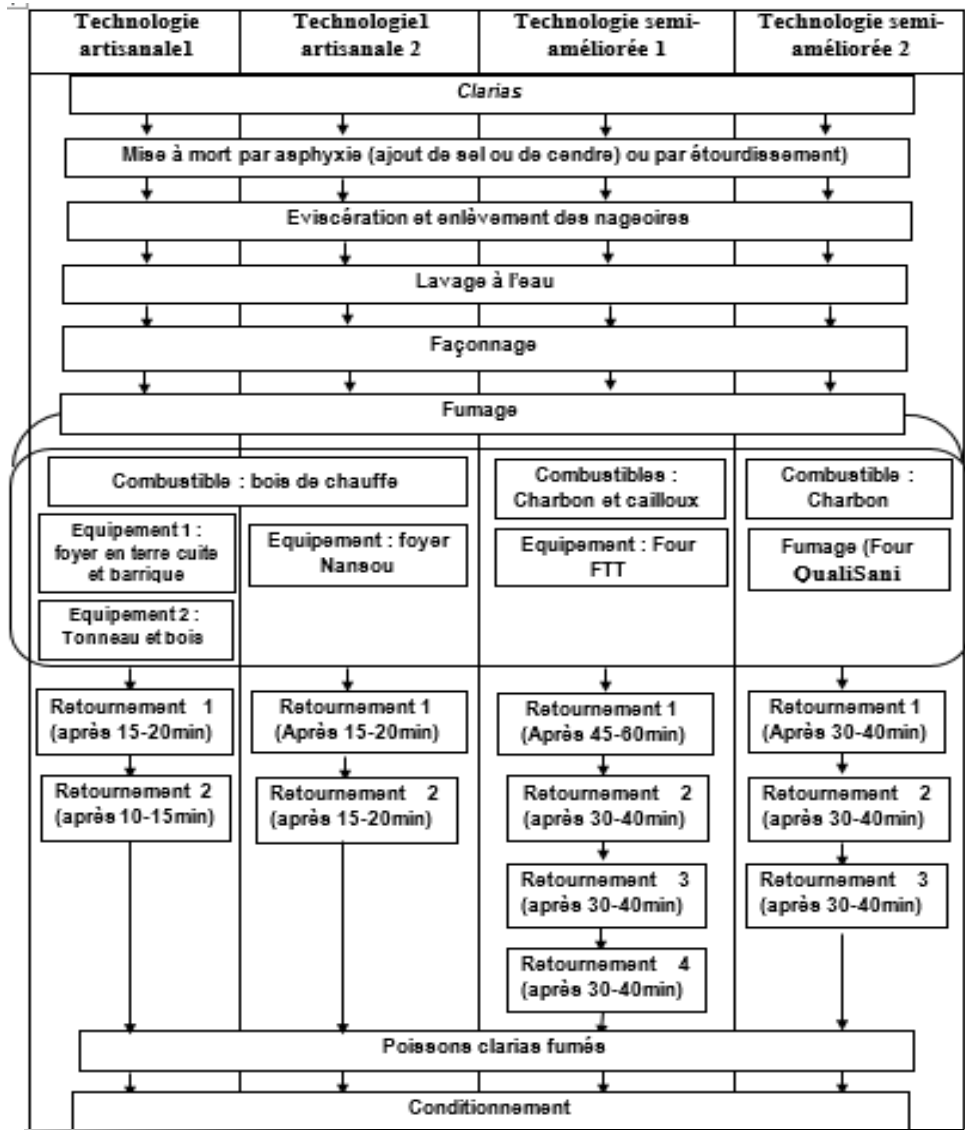


Figure 2 : Récapitulatif des procédés de fumage du clarias

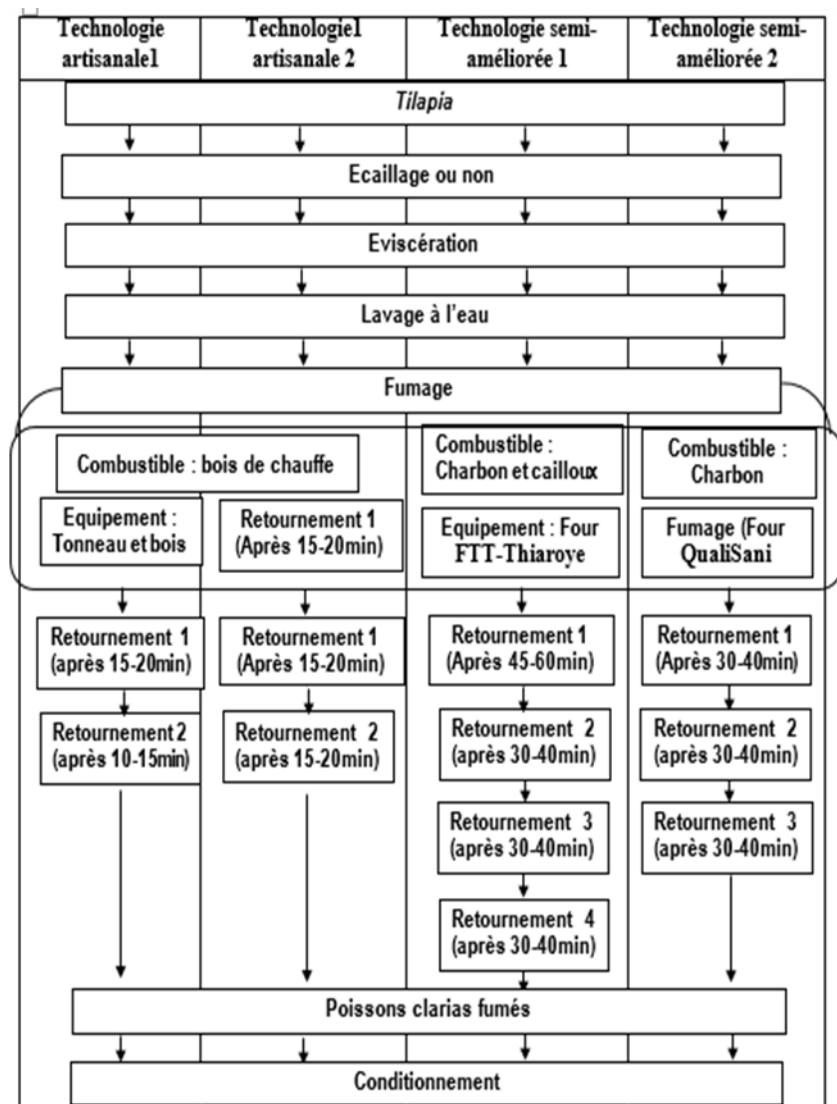


Figure 3 : Récapitulatif des procédés de fumage du *Tilapia*

Prétraitements des poissons importés et locaux

L'étude a montré une variabilité entre les variantes de prétraitements des poissons avant le fumage. En effet, les transmatrices enquêtées ont révélé que les poissons frais importés (*Chinchard*, *Maquereau*) approvisionnés dans les poissonneries ou les chambres froides subissent une décongélation par trempage dans l'eau (85, 25 %) ou à l'air libre (24,5 %). Aussi, d'après 100% des enquêtés, ils sont lavés, égouttés puis étalés sur les claies avant d'être fumés (figure 1). Ces prétraitements diffèrent de ceux des

poissons locaux puisque 92,35 % des transformatrices ont rapporté qu'à l'exception des deux opérations communes du lavage et de l'égouttage, le clarias est mise à mort par asphyxie (ajout du sel (17,45 %), de cendre (56 %)) et par étourdissement en assénant un coup sur sa tête (26,55 %) (Figure 2). Quant à l'espèce du Tilapia, il est écaillé et éviscéré ou non avant le fumage proprement dit (Figure 3). Les différentes variantes de prétraitements des poissons importés sont pratiquées majoritairement par les transformatrices de Calavi Kpota (80 %), de Xwlacodji (95%), de Bohicon (84,25 %), de Dangbo (75,32 %) et de Comé (90 %). Seules les transformatrices des sites de Dangbo (66,52 %), de Bohicon et de Comé (60 %) adoptent les variantes de prétraitement de Tilapia. On note que les variantes des prétraitements du poisson importé sont pratiquées par les transformatrices des sites de Calavi Kpota (85%), Xwlacodji (80%), Dangbo (87,21 %) et de Comé (60 %). Par ailleurs, les variantes de prétraitements des quatre (04) technologies (TA1, TA2, TSA1 et TSA2) ne varient pas quelles que soient les pratiques de fumage des poissons locaux et importés.

Fumage proprement dit des poissons

Le procédé de fumage pratiqué au Sud du Bénin consiste à soumettre les poissons à l'action de la fumée et est subdivisé en fonction des types de fumeurs et de combustibles utilisés. Pour les technologies artisanales (TA1 et TA2), le fumage se fait respectivement sur des foyers en tonneau métallique (100 %), en terres cuites et barrique (76,66%) d'une part, et d'autre part sur les foyers Nansou (3,33 %) utilisant comme combustibles les bois de chauffe et autres. L'analyse des résultats a montré que les foyers en tonneau sont majoritairement utilisés par 90 % des transformatrices des sites de Calavi Kpota (100%), de Xwlacodji (90%), Bohicon (95 %), Dangbo (95%) et de Comé (85 %). En effet, le dispositif de fumage en tonneau métallique est un foyer fait d'un tonneau en fer dépourvu des deux bases de manière à disposer les grillages sur la partie supérieure et les combustibles en bas (figure 5). Quant aux foyers en terre cuite et en terre barrique, ils sont fabriqués respectivement avec les matériaux de maçonnerie (briques en terre stabilisées, sable et ciment) et la terre de barre. Pour ces dispositifs artisanaux, les transformatrices utilisent majoritairement comme combustibles ; les coques de noix de palme, les coques de coco, les cartons usagés ayant servi d'emballages industriels, les rafs de maïs, Les rafs de coco, les bois de teck, les bois d'acacia, etc. Selon 100% des transformatrices, ces dispositifs permettent un fumage très rapide des poissons. Cependant, les 75,30 % estiment que les poissons fumés au moyen de ces dispositifs ne sont pas aussi attractifs du point de vue couleur de la peau et odeur du poisson. De plus, ils

émettent beaucoup de fumées qui polluent l'environnement immédiat des transformatrices, ce qui pourrait non seulement les intoxiquer mais aussi contribuer à l'augmentation de l'effet de serre. Concernant les fours Nansou ou foyers métalliques (Figure 6), sa partie inférieure moins large est doublée de barre de terre mélangée au ciment afin de réduire la dissipation d'énergie. L'une des limites majeures de ce fumoir est la mauvaise répartition de la chaleur qui se trouve plus intense dans la partie centrale des grillages qu'à leurs extrémités, ce qui retarde le fumage. De plus, selon 100% des transformatrices, les poissons fumés par ces fours ont pratiquement le même aspect que ceux obtenus en utilisant les autres foyers artisanaux.



Figure 5: Foyer en tonneau de fer



Figure 6 : Four Nansou

Quant aux technologies semi améliorées (TSA1 et TSA2), elles sont caractérisées respectivement par l'utilisation des fours FTT-Thiaroye (16,66 %) et QualiSani (6,66 %). Le four FTT-Thiaroye (Figure 7) utilise le charbon de bois mélangé au caillou (conservation de la chaleur) comme combustible tandis que le four QualiSani (Figure 8) actuellement en cours d'expérimentation en phase pilote est uniquement au charbon. Le four FTT Thiaroye est composé d'un fourneau à braise (muni d'un soufflet) surmonté d'une plaque de collecte de graisse placée en dessous d'un distributeur d'air chaud qui porte les claies superposées les unes sur les autres et d'un générateur indirect de fumée. La plaque de collecte de graisse est conçue et montée de sorte que les graisses issues des poissons soient évacuées par un orifice les empêchant ainsi de tomber dans la braise. Toutefois, une partie non négligeable de ses graisses est brûlée au contact de la plaque chauffée par le fourneau. Selon 95,33 % des utilisatrices, ce dispositif consomme moins de combustibles, pollue moins l'atmosphère et permet d'avoir des poissons fumés beaucoup plus attrayants. Cependant, toutes ces transformatrices affirment qu'il est très lent par rapport aux autres dispositifs, ce qui limite exclusivement

son utilisation aux exigences de qualité des produits finis recherchée par certains clients.



Figure 7 : Fumoir FTT Thiaroye



Figure 8 : Fumoir OualiSani

Caractéristiques physico-chimiques des poissons fumés

Les caractéristiques physicochimiques des poissons locaux et importés fumés et collectés au Sud du Bénin sont présentées dans le tableau 4. Le pH des différentes espèces de poissons fumés dans les zones d'études est compris entre 6,3 et 7,4. L'analyse statistique a montré qu'il existe une différence significative entre les différentes valeurs du pH. Cette différence serait liée au type de poissons, à l'espèce et aux réactions biochimiques qui se sont produites dans la chair de ces poissons frais avant ou après le fumage. Par ailleurs, seule l'espèce de poisson local *Oreochromis aureus* fumé a présenté un pH légèrement élevé. Les faibles valeurs enregistrées pour les espèces de poissons fumés (*Clarias gariepinus*, *Trachurus trachurus*, *Scomber scombrus*) pourraient s'expliquer par l'altération de la qualité du poisson notamment la formation des composés basiques volatiles (Goulas et Kontominas, 2005). L'analyse des résultats a montré que les valeurs du pH des différents poissons les plus fumés au Sud du Bénin respectent la norme. Concernant les teneurs

en eau, en protéines et en cendres des espèces de poissons fumés, ces valeurs ont varié respectivement de 24,2 à 54,34 %, de 38,64 à 53,12 % et de 2,02 à 6,76 %. L'analyse de la variance a révélé une différence significative ($P < 0,05$) entre les teneurs en eau des espèces de poissons locaux et importés. Les différentes teneurs en eau enregistrées pour l'espèce de poissons *Oreochromis aureus* seraient dues aux variabilités de pratiques de fumage recensées au Sud du Bénin. Seules les teneurs en eau de l'espèce de poisson *Scomber scombrus* obtenues sont légèrement similaires à celles rapportées par Aremu et al. (2014) pour les poissons fumés au Nigéria. Comparées à la norme du codex alimentarius (CODEX STAN 212-1999), les poissons fumés commercialisés au Sud du Bénin ont présenté des valeurs ne respectant pas la norme. Les fortes teneurs en protéines de *Scomber scombrus* obtenues dans la présente étude sont supérieures à celle (18,20 %) rapportée par Popelka et al. (2021) lors de son étude sur l'effet des méthodes de fumage et de stockage sur la qualité microbiologique et physicochimique des espèces de poisson *Scomber scombrus*. Ces résultats confirment les faibles teneurs en eau observées pour les différentes espèces de poisson. Concernant les teneurs en cendres, de fortes teneurs ont été trouvées pour les espèces de poissons *Oreochromis aureus* et *Trachurus trachurus* quelle que soit la zone d'étude. Des résultats très similaires ont été rapportés pour les deux autres espèces par Olaoye et al. (2018) et Ogunbambo et al. (2012). Les teneurs en lipides des différentes espèces de poissons ont varié de 2,38 à 16,63 % quelle que soit la zone d'étude. Les résultats obtenus ont révélé une différence significative au seuil de 5% entre les différentes teneurs en lipides. Les échantillons d'huiles issus des poissons fumés prélevés auprès des transformatrices ont présenté des indices de peroxyde variant de 11,63 à 23,85 meq O₂/kg. Les indices de peroxyde des huiles issues des poissons importés sont légèrement inférieurs à ceux des poissons locaux. Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées par Connell (1999) qui a rapporté que lorsque l'indice de peroxyde est au-dessus de la valeur comprise entre 10 et 20 meq O₂/kg, le poisson présente un goût et une odeur de rance. Les mêmes observations ont été faites par Daramola et al. (2007) en étudiant les modifications physicochimiques et sensorielles dans les poissons fumés stockés à température ambiante. Ceci pourrait expliquer par la forte température du fumage qui constitue l'un des facteurs clés d'oxydation des lipides contenus dans les poissons (Knockaert, 1990). La maîtrise des conditions de fumage dans les zones de forte transformation du poisson frais en poisson fumé s'avère nécessaire pour une bonne qualité des produits dérivés.

Sites	Types de poissons	Espèces de poissons	Teneur en eau (%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Cendres (%)	pH	Indice de Peroxyde (meq O ₂ /kg)
Bohicon	Poissons locaux	<i>Oreochromis aureus</i>	51,78±0,3 ^a	38,54± 0,04b	3,53±0,13a	6,45± 0,17b	7,2±0,02b	15,45± 0,17b
		<i>Clarias gariepinus</i>	26,34±0,3 ^a	49,56±0,13a	9,92± 0,01b	3,54± 0,32b	6,61±0,3a	20,54± 0,32a
	Poissons importés	<i>Trachurus trachurus</i>	36,54± 0,1c	52,36± 0,07b	3,09± 0,05b	6,14± 0,24b	6,32± 0,07b	10,14± 0,24c
		<i>Scomber scombrus</i>	33,54± 0,07b	40,35± 0,04b	16,63± 0,09b	2,23± 0,43b	6,4± 0,2b	13,23± 0,43c
Calavi Kpota	Poissons locaux	<i>Oreochromis aureus</i>	53,4± 0,1a	39,23± 0,02b	3,02± 0,25c	5,64±0,1b	7,4± 0,07b	14,64±0,1c
		<i>Clarias gariepinus</i>	25,3± 0,02a	54,35± 0,03c	9,76± 0,21b	3,57± 0,3b	6,72± 0,01b	21,57± 0,3a
	Poissons importés	<i>Trachurus trachurus</i>	32,8±0,5	53,12± 0,07b	2,97± 0,14b	6,63± 0,09b	6,24± 0,01b	11,63± 0,09c
		<i>Scomber scombrus</i>	32,52± 0,1c	45,35± 0,2b	15,68± 0,32b	2,81± 0,02b	6,3± 0,2b	12,81± 0,02c
Xwalcodji,	Poissons locaux	<i>Oreochromis aureus</i>	54,34± 0,2b	38,64± 0,5b	3,61±0,31a	5,97± 0,04b	7,1± 0,01b	15,97± 0,04b
		<i>Clarias gariepinus</i>	25,3± 0,04b	52,02±0,021b	9,19±0,06a	3,85± 0,07b	6,62± 0,04b	23,85± 0,07a
	Poissons importés	<i>Trachurus trachurus</i>	39,85± 0,01b	51,34± 0,07b	3,06± 0,21b	6,31± 0,05b	6,25± 0,02b	12,31± 0,05c
		<i>Scomber scombrus</i>	33,58± 0,07b	43,65±0,36a	15,97± 0,63b	2,02± 0,07b	6,5± 0,1c	14,02± 0,07c
Comé	Poissons locaux	<i>Oreochromis aureus</i>	51,65± 0,04b	39,03± 0,1	2,86± 0,34b	5,67± 0,1c	7,12± 0,1a	16,67± 0,1c
		<i>Clarias gariepinus</i>	24,2± 0,1c	51,53± 0,07b	9,94± 0,15c	2,96± 0,43b	6,4± 0,07b	22,96± 0,43a
	Poissons importés	<i>Trachurus trachurus</i>	30,63± 0,1c	53,68± 0,14b	3,03± 0,13b	6,23± 0,76b	6,45±0,20	13,23± 0,76c
		<i>Scomber scombrus</i>	33,15± 0,07b	49,46±0,3a	15,98± 0,11b	2,65± 0,1b	6,3± 0,01b	17,65± 0,1b
Dangbo	Poissons locaux	<i>Oreochromis aureus</i>	52,43± 0,03c	38,64± 0,35b	3,32± 0,4b	6,67± 0,03c	7,3± 0,2b	18,67± 0,03b
		<i>Clarias gariepinus</i>	23,1± 0,04b	52,97± 0,04b	9,02±0,03a	3,13±0,2b	6,38± 0,1a	23,13±0,2a
	Poissons importés	<i>Trachurus trachurus</i>	32,63± 0,1c	52,65± 0,07b	2,38± 0,02b	6,76± 0,8b	6,56±0,11	14,76± 0,8c
		<i>Scomber scombrus</i>	34,35± 0,07b	49,82± 0,15b	16,11±0,1a	2,36± 0,16b	6,5± 0,07b	16,36± 0,16b

Tableau 4a : Caractéristiques physicochimiques des poissons fumés collectés dans les zones enquêtées.

Qualité microbiologique des poissons fumés

Les résultats obtenus sur la flore d'altération et les germes indicateurs de contamination microbienne des poissons fumés prélevés dans les zones d'enquête ont révélé que les charges microbiennes varient en fonction du site de fumage et du type de poisson (tableau 4). Statistiquement, les échantillons présentent de fortes valeurs de GAMT et des coliformes totaux qui varient respectivement de $2,3 \cdot 10^5$ à $7,2 \cdot 10^5$ UFC/g et de $1,8 \cdot 10^1$ à $4,2 \cdot 10^1$ UFC/g. Ces valeurs sont supérieures à celles recommandées par la norme AFNOR (2000) et seraient dues à la variabilité des technologies de fumage, à la non maîtrise des bonnes pratiques d'hygiène et à l'insalubrité de l'environnement des plateformes de transformation etc. Pour les coliformes fécaux, les résultats des échantillons traités ont révélé que les poissons locaux prélevés sur tous les sites de fumage ont une charge microbienne supérieure à 10 UFC/g. En effet, la présence des coliformes témoigne des mauvaises conditions de l'hygiène des transformatrices et de l'environnement dans lequel cette activité se pratique (Brito et al., 2021). Leur présence est due à une contamination d'origine fécale. Exceptés les échantillons de poissons importés prélevés sur les sites de Bohicon, de Calavi Kpota et de Xwlacodji, les mêmes observations ont été faites pour tous les autres échantillons. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que les poissons importés ne sont pas eviscérés au cours de la transformation, donc moins de contact. Les résultats de dénombrement de *Escherichia coli* dans les différents échantillons de poissons montrent des charges microbiennes inférieures à 10 UFC/g recommandé par la norme AFNOR (2000). Par ailleurs, On note une absence des germes potentiellement pathogènes (*Salmonella*) dans tous les échantillons de poissons fumés quel que soit le site de fumage. Des résultats similaires ont été trouvés par Djinou (2001), Goueu (2006), Oulaï et al. (2007) et Degnon et al. (2013).

Tableau 4 : Flore d'altération et germes indicateurs de contamination microbienne des poissons fumés collectés dans les zones enquêtées

Sites	Types de poissons	Espèces de poissons	GAMT	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	<i>Escherichia Coli</i>	<i>Salmonella</i>
Bohicon	Poissons locaux	Tilapia	2,9 10 ⁵ ±0,03 ^b	1,8 10 ³ ±0,41 ^b	3,1 10 ¹ ±0,61 ^b	4,2 ±0,61 ^b	absent
		Clarias	3,8 10 ⁵ ±0,05 ^b	4,2 10 ³ ±0,10 ^b	3,9 10 ¹ ±1,91 ^b	6,2±1,91 ^b	absent
	Poissons importés	Chinchard	2,5 10 ⁵ ±0,01 ^a	3,2 10 ³ ±0,20 ^a	7,3±1,91 ^b	2,8±1,91 ^b	absent
		Maquereau	2,8 10 ⁵ ±0,65 ^a	2,3 10 ³ ±0,01 ^a	3,2±1,91 ^b	6,3±1,91 ^b	absent
Calavi Kpota	Poissons locaux	Tilapia	3,3 10 ⁵ ±0,45 ^b	3,3 10 ³ ±0,41 ^b	3,8 10 ¹ ±0,61 ^b	7,6±0,61 ^b	absent
		Clarias	2,8 10 ⁵ ±0,13 ^b	2,6 10 ³ ±0,10 ^b	2,1 10 ¹ ±1,91 ^b	8,2±1,91 ^b	absent
	Poissons importés	Chinchard	2,6 10 ⁵ ±0,17 ^a	1,7 10 ³ ±0,20 ^a	2,6±1,91 ^b	2,9±1,91 ^b	absent
		Maquereau	2,3 10 ⁵ ±0,65 ^a	1,8 10 ³ ±0,01 ^a	1,3±1,91 ^b	6,2±1,91 ^b	absent
Xwlacodji	Poissons locaux	Tilapia	3,2 10 ⁵ ±0,61 ^b	2,3 10 ³ ±0,41 ^b	2,4 10 ¹ ±0,61 ^b	4,3±0,61 ^b	absent
		Clarias	2,9 10 ⁵ ±0,18 ^b	2,2 10 ³ ±0,10 ^b	3,2 10 ¹ ±1,91 ^b	3,4±1,91 ^b	absent
	Poissons importés	Chinchard	2,4 10 ⁵ ±0,34 ^a	1,8 10 ³ ±0,20 ^a	<1 ^a	8,1±1,91 ^b	absent
		Maquereau	2,2 10 ⁵ ±0,65 ^a	1,6 10 ³ ±0,01 ^a	<1 ^a	3,1±0,61 ^b	absent
Comé	Poissons locaux	Tilapia	3,6 10 ⁵ ±0,45 ^b	2,1 10 ³ ±0,41 ^b	3,6 10 ¹ ±0,61 ^b	2,9±0,61 ^b	absent
		Clarias	2,6 10 ⁵ ±0,35 ^b	2,3 10 ³ ±0,10 ^b	3,0 10 ¹ ±1,91 ^b	5,2±1,91 ^b	absent
	Poissons importés	Chinchard	4,6 10 ⁵ ±0,16 ^a	4,2 10 ³ ±0,20 ^a	8,210 ¹ ±1,91 ^b	7,3±1,91 ^b	absent
		Maquereau	7,2 10 ⁵ ±0,12 ^a	1,5 10 ³ ±0,01 ^a	7,610 ¹ ±1,91 ^b	2,9±1,91 ^b	absent
Dangbo	Poissons locaux	Tilapia	3,3 10 ⁵ ±0,03 ^b	2,6 10 ³ ±0,41 ^b	3,6 10 ¹ ±0,61 ^b	3,5±0,61 ^b	absent
		Clarias	2,6 10 ⁵ ±0,13 ^b	2,3 10 ³ ±0,10 ^b	3,9 10 ¹ ±1,91 ^b	2,8±1,91 ^b	absent
	Poissons importés	Chinchard	2,7 10 ⁵ ±0,14 ^a	1,9 10 ³ ±0,20 ^a	1,610 ¹ ±1,91 ^b	7,5±1,91 ^b	absent
		Maquereau	2,4 10 ⁵ ±0,2 ^a	1,5 10 ³ ±0,01 ^a	4,310 ¹ ±1,91 ^b	4,6±1,91 ^b	absent
Critères microbiologiques (AFNOR 2000)			10 ³	10	10	10	Absence/25g

Analyse des différentes pratiques de fumage des poissons locaux et importés

L'analyse critique des variantes de prétraitements et du fumage proprement dit a permis de retenir quatre technologies de fumage dont deux artisanales (TA1 et TA2) et deux semi améliorées au Bénin. Les deux variantes TA1 et TA2 caractérisées par l'utilisation du bois de chauffe comme combustible se différencient respectivement par les foyers en terre cuite et brique et en tonneaux puis les foyers Nansou. Les technologies semi-améliorées sont celles utilisant les fours FTT Thiaroye et QualiSani avec comme combustible le charbon. Malgré les avantages que présentent les technologies semi-améliorées (réduction de la quantité de combustible et d'échappement de la fumée et faible quantité des contaminants chimiques) (Ndiaye et *al.*, 2014 ; Raffray, 2019); Ekomy et *al.*, 2013), elles sont très peu pratiquées par les transformatrices (selon 90% des enquêtés) à cause de sa faible capacité horaire de production, sa texture non attrayante, et l'absence de l'opération de grillage qui procure un goût et une coloration spécifique de la surface des produits (Akakpo et *al.*, 2020). En effet, au cours du fumage, la méthode de retournement des poissons entraîne des pertes de chaleur et une déformation des poissons occasionnant des pertes de produits. Par contre, les foyers traditionnels ont une capacité horaire moyenne de production beaucoup plus élevée que celles des fumoirs semi-améliorés mais n'assurent pas une bonne qualité des produits finis et ne réduisent pas les difficultés de contrôle de la température. Par ailleurs, la non maîtrise des opérations unitaires critiques du pré fumage (décongélation, la mise à mort, l'éviscération, l'écaillage et le salage) et des conditions de fumage proprement dit (température et durée) pourrait engendrer des défauts de qualité des produits finis. En effet, la décongélation et l'éviscération réduisent les risques d'autolyse des parois musculaires par les enzymes digestives, ce qui permet de ralentir la putréfaction du poisson (Lefève et Bugeon, 2008). Excepté la couleur, l'arôme et la flaveur dont le salage confère aux produits, ce processus inhibe la multiplication des microorganismes (Anses, 2010). Assogba et *al.* (2018) ont aussi rapporté que différentes températures appliquées lors du fumage séchage (75°C à 80°C) et le séchage au four (35°C à 42°C) peuvent causer les variations observées pour la teneur en protéine (Oparaku et Nwaka, 2013). Cependant, l'amélioration des conditions de prétraitements et du fumage des deux technologies (TA1 et TSA1) utilisant respectivement le fumoir en tonneau et le four FTT Thiaroye s'impose en vue d'augmenter la capacité horaire de production et d'obtenir des produits finis de qualité.

Conclusion

La présente étude réalisée au Sud du Bénin, révèle que les poissons locaux et importés les plus fumés sont respectivement le Clarias et le Tilapias puis le Maquereaux et Chinchards. Les pratiques de fumage adoptées par les transformatrices varient selon l'espèce et le type de poisson. On note une variabilité de technologies de fumage de poissons allant des technologies artisanales aux semi améliorées. Les méthodes traditionnelles caractérisées par l'utilisation des foyers artisanaux sont adoptées par la majorité des transformatrices. Ces dispositifs artisanaux sont rapides dans le fumage mais polluent l'environnement immédiat des transformatrices par émission d'une grande quantité de fumée et ne garantissent pas aux produits finis une meilleure qualité physico-chimique. Malgré l'avantage que présentent les technologies semi-améliorées (moins de fumée, réduction des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les produits finis, préservation de la santé des transformatrices), elles sont moins utilisées en raison de la complexité du dispositif et la cherté des combustibles (charbon de bois). Suite aux différents résultats obtenus, il serait opportun de faire le diagnostic des différentes technologies et pratiques afin d'identifier les points critiques pour des améliorations.

Remerciements

Les remerciements vont à l'endroit du personnel de la Direction des pêches et de la pêche et des Produits Halieutiques du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche du Bénin.

References:

1. Adjou, E.S., Kouton, S., Dahouenon-Ahoussi, E., Soumanou, M.M & Sohounhloue, D.C.K. (2013). *Effect of Essential Oil from fresh Leaves of Ocimum gratissimum L. on Mycoflora during Storage of Peanut in Benin*. Mycotoxin Research, 29: 29-38.
2. AFNOR (1996). *Analyse microbiologique. T2 : contrôle de la qualité des produits alimentaires*.- Paris : AFNOR édition, 545p.
3. Akakpo, A., Edikou, S., Diantom, A. & Osseyi, E. (2020). *Diagnostic des pratiques de fumage de la viande de Poulet (gallus gallus) dans la ville de Lome au Togo*, Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev. 2020; 20(6): 16738-16760 <https://doi.org/10.18697/ajfand.94.19230>
4. Anihouvi, V.B, Hounhouigan, J.D. & Ayernor, G.S. (2006). *Quality characteristics of Lanhouin: a traditionally processed fermented fish product in the republic of Benin*. African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development, 6(1) : 1-15.

5. ANSES. 2015. *Définition des denrées périssables et très périssables. Avis de l'Anses, saisine n° 2014-SA-0061*. https://www.a.fr/fr/system/files/BIORISK2014sa00_61.pdf.
6. AOAC. (1995). *Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists Chemists International*, (16th edn). AOAC International Arlington, VA, 250p.
7. Aremu, M.O., Majabi, G.O., Oko O.J., Opaluwa, O.D., Gav, .BL. & Osinfade, B.G. (2014). *Physicochemical analysis of different sources of drinking water in Okene Local Government Area of Kogi State, Nigeria*. Journal of Civil and Environmental Research, 6(5) :143-150.
8. Assogba, M. H. M., Ahounou, S. G., Bonou, G. A., Salifou, C. F. A., Dahouda, M., Chikou, A., Farougou, S. & Youssao abdou karim I. (2018). *Qualité de la Chair des Poissons : Facteurs de Variations et Impacts des Procédés de Transformation et de Conservation*, International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), Vol. 10 No. 2 pp. 333-358, <http://ijpsat.ijsh-t-journals.org>
9. Assogba, M.H.M., Salifou, C.F.A., Tobada, P., Aboudou, A.K., Bakary, A.B., Dahouda, M., Chikou, A., Farougou, S. & Karim, I.Y.A. (2020). *Impact of break in cold chain on the technological and organoleptic qualities of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*) and Horse Mackerel (*Trachurus trachurus*) in South Benin*. Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences, 9 (5) : 1242–1248.
10. Ayoubi, H.E. & Failler, P. (2013). *Industrie des pêches et de l'aquaculture au Bénin*. Rapport n°5 de la revue de l'industrie des pêches et de l'aquaculture dans la zone de la COMHAFAT, 19p.
11. Chabi, N.W., Konfo, C.T.R., Emonde, P.D.M., Capo-Chichi, M.T. and Chabi Sika, K.J.K., Alamou, Y., Keke, M., Dahouenon-Ahoussi, E. & Baba-Moussa, L.S. (2014). *Performance d'un dispositif amélioré de fumage (four Chorkor) sur la qualité du poisson fumé dans la commune d'Aplahoué (Sud-est du Bénin)* ; International Journal of Innovation and Applied Studies, 9 :1383-1391.
12. Degnon, R.G., Agossou, V., Adjou, E.S, Dahouenon-Ahoussi, E., Soumanou, M.M. & Sohounhloue, D.C.K. (2013). *Évaluation de la qualité microbiologique du chinchard (*Trachurus trachurus*) au cours du processus de fumage* ; Journal of Applied Biosciences 67 : 5210-5218.
13. Depo, A.A., Dossou, J. & Anihouvi, V. (2019). *Itinéraire technique et évaluation de la qualité des poissons-chats (*Clarias gariepinus*) fumés*

- et commercialisés au Bénin. Sciences de la vie de la terre et agronomie, 7 : 29-34.*
14. Djessouho, D.O.C. (2015). *Analyse socio-économique du fumage du poisson de la pêche artisanale maritime sur le littoral du Bénin.* Mémoire de fin d'étude en Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage, Agro Campus Ouest (Renne), 56p.
 15. Djinou, H.P.A.B. (2001). *Etude de la qualité microbiologique du poisson fumé artisanalement en Côte d'Ivoire et destiné à l'exportation.* Thèse en Médecine Vétérinaire de l'Ecole Inter Etats des Sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 231p.
 16. Ekomy, A.S, Bruneau, D, Mbega, D.J & Aregba, W. (2013). *Nouveau concept de séchage et de fumage artisanal des aliments : application en milieu de pêche artisanale au Gabon.* Afrique SCIENCE, 09 (3) : 45-55.
 17. FAO. (2016). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous.* Rome, 224 p.
 18. FIDA. (2019). *L'avantage de la pêche et de l'aquaculture Faire progresser la sécurité alimentaire, la nutrition, les revenus et l'autonomisation.* Fonds international de développement agricole. Rome, 48p.
 19. Joffin, C. & Joffin, J.N. (2003). *Microbiologie alimentaire.* Biologie et Technique, 5è édition, CRDP Aquitaine, 212p.
 20. Goueu, B. (2006). *Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité microbiologique du poisson fumé en Côte d'Ivoire et destiné à l'exportation.* Thèse de doctorat en Médecine Vétérinaire de l'Ecole Inter Etats des Sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, pp. 55 - 127.
 21. Guy, E. E. & Mongbo L.R. (2020). *Dynamique démographique, Nutrition Et Alimentation dans La Commune De Karimama Au Benin.* European Scientific Journal September edition, 16 (27): 331-353
 22. Hissein, O.A., Tapsoba, F., Guira, F., Zongo, C., Abakar, L.I & Tidjani, A. (2018). *Technologies, qualité et importance socioéconomique du poisson séché,* Afrique Revue des Sciences et de la Technologie Synthèse, 37: 49-63.
 23. Huss, H.H., Reilly, A. & Embarek, B.P.K. (2000). *Prevention and control of hazards in seafood.* Food Control, 11 (2) : 149-156.
 24. Knockaert, F. (1994).« *Le fumage par atomisation* ». Rapport Ifremer
Avril

25. Latifou, A. B, Toko, I.I, Elegbe, H.A, Pelebe, R.O.E, Tougan, P.U, Boni, A.R, Ahyi, V, Hossou, E.S, Vissiennon, Z. & Chikou, A. (2020). *Les Produits Halieutiques au Bénin : Sources d'Approvisionnement et Statistiques*. International Journal of Progressive Sciences and Technologies 21 (1) :152-167.
26. Lefèvre, F. & Bugeon. J. (2008). *Déterminisme biologique de la qualité des poissons in 12^{ème} Sciences du Muscle et Technologies des Viandes*. p. 139-146.
27. MAEP. (2017). *Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017 -2021*, 131p.
28. Ndiaye, O., Sodoke, B., & Diei-Ouadi, Y. (2014). *La technique FAO-Thiaroye de transformation (FTT-Thiaroye)*. Rome, FAO. 67 p.
29. Oparaku, N.F. & Nwaka FC. (2013). *Effect of processing on the nutritional qualities of three fish species (Synodontis clarias, Trachurus trecae and Clarias gariepinus)*. International Journal of Biology and Biological Sciences 2(10) : p. 143149.
30. Oulaï, S.F., Koffi, R.A., Koussemon, M., Djè, M., Kakou, C. & Kamenan, A. (2007). *Evaluation de la qualité microbiologique des poissons Etmalosa fimbriata et Sardinella aurita fumés traditionnellement*. Microbiologie et Hygiène Alimentaire, 19(55) :37-42.
31. Raffray, G. (2014). *Outils d'aide à la décision pour la conception de procédés agroalimentaires au Sud : application au procédé combiné de séchage, cuisson et fumage de produits carnés* (Thèse de doctorat). Montpellier(France) <http://www.theses.fr/2014NSAM0066>. Accessed on October 23,
32. Rivier, M, Kebe, F & Goli, T. (2009). *Fumage de poissons en Afrique de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportation*, Rapport intermédiaire, AUF/CIRAD, 18p.
33. SALIFOU, C.F.A., AHOUNOU, S.G., KIKI, P.S., HOGBONOUTO, E.B., GADE, K.A.I & YOUSAO, A.K.I. (2020). *Caractérisation des techniques de fumage des poissons au sud*, Journal International de la Recherche Scientifique, 1(2) : 41-47.
34. Šašinka, Č., Stachoň, Z., Čeněk, J., Šašinková, A., Popelka S. & Ugwitz, P. (2021). *A comparison of the performance on extrinsic and intrinsic cartographic visualizations through correctness, response time and cognitive processing*. PLoS ONE, 16(4):1-23.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Evaluation De L'abondance Et La Distribution Du Bonobo (Pan Paniscus) Dans La Concession Forestière Des Communautés Locales De La Rivière Mbali

Valentin Omasombo Wotoko,

Doctorant en biologie de la conservation ; Département de Biologie, Faculté
des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI,
Reponsable de la conservation et de la foresterie communautaire, ONG
Mbou-Mon-Tour (MMT), République Démocratique du Congo

Jean Malekani,

Professeurs au Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de
Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI,

Julien Punga,

Professeurs au Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de
Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI,

Norbert Mbangi,

Professeur au Département de l'Environnement, Faculté des Sciences,
Université de Mbandaka, B.P. 10 Mbandaka

Jean-Philippe Cherel,

Ingénieur de recherche en traitement d'images/SIG, Département de
Géographie-Aménagement, Université Paul Valéry, Montpellier-France

Jean-Christophe Bokika,

Président du Commuté Exécutif de l'ONG Mbou-Mon-Tour (MMT),
République Démocratique du Congo

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p178](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p178)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Omasombo Wotoko V., Malekani J., Punga J., Mbangi N., Cherel J.P., & Bokika J.C., (2022).
*Evaluation De L'abondance Et La Distribution Du Bonobo (Pan Paniscus) Dans La
Concession Forestière Des Communautés Locales De La Rivière Mbali* European Scientific
Journal, ESJ, 18 (17), 178.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p178>

Resume

La Concession Forestière des Communautés Locales de la rivière Mbali est une aire de conservation communautaire créée par les communautés

locales des villages: Bodzuna, Embirima, Mbee, Mpelu, Makaa et Nkala pour non seulement assurer la conservation du bonobo mais aussi valoriser cette espèce comme un moteur de développement local. Elle s'étend sur une superficie de 500Km² située entre les latitudes -2,46506 et -2,33667 et les longitudes 16,28110 et 16,27334 dans le groupement Mbe-Nkuru ; chefferie-secteur des Batékes nord, territoire de Bolobo, Province de Mai-Ndombe en République Démocratique du Congo. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les populations de bonobos et de documenter les différents types d'habitats utilisés par cette espèce. Ce qui permettra d'aider les communautés locales à bien aménager et gérer leur concession d'une part et d'autres parts à suivre les populations des bonobos conservées ; un inventaire axé sur le comptage des nids sur base d'un passage unique « Standing Crop Nest Counts » a été effectué pour estimer les densités des populations des bonobos et documenter les différents habitats utilisés par cette espèce. Au total 32 transect de 1 km chacun ont été parcouru du 4 août au 30 septembre 2014. Les résultats de cette étude montrent que la densité des bonobos dans cette zone de conservation est de l'ordre de 1,51 individu/km². Ces bonobos sont distribués dans toute la zone mais utilisent plus les forêts à marantacées, les forêts primaires à sous-bois ouverts et les forêts primaires à sous-bois fermés pour la nidification. Il est fortement recommandé de valoriser les résultats de cette étude par le développement des actions de conservation à mener et la mise en place d'un programme de suivi annuel pour évaluer l'efficacité des mesures de conservation adoptées.

Mots clés : Abondance, distribution, Bonobo, communauté locale

Abundance and Distribution of Bonobo (*Pan paniscus*) in the Forest Concession of the local communities of the Mbali River Par

Valentin Omasombo Wotoko,

Doctorant en biologie de la conservation ; Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, Kinshasa XI,
Reponsable de la conservation et de la foresterie communautaire, ONG Mbou-Mon-Tour (MMT), République Démocratique du Congo

Jean Malekani,

Professeurs au Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI,

Julien Punga,

Professeurs au Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI,

Norbert Mbangi,

Professeur au Département de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Mbandaka, B.P. 10 Mbandaka

Jean-Philippe Cherel,

Ingénieur de recherche en traitement d'images/SIG, Département de Géographie-Aménagement, Université Paul Valéry, Montpellier-France

Jean-Christophe Bokika,

Président du Commuté Exécutif de l'ONG Mbou-Mon-Tour (MMT), République Démocratique du Congo

Abstract

The Mbali River Local Community Forest Concession is a community conservation area created by the local communities of Bodzuna, Embirima, Mbee, Mpelu, Makaa and Nkala villages to not only ensure the conservation of the bonobo but also to promote this species as a driver of local development. It covers an area of 500 km² located between latitudes -2.46506 and -2.33667 and longitudes 16.28110 and 16.27334 in the Mbe-Nkuru grouping; Bateke North chiefdom, Bolobo territory, Mai-Ndombe Province in the Democratic Republic of Congo. The main objective of this study is to assess bonobo populations and document the different types of habitats used by this species. This will help the local communities to properly manage their concession on the one hand and to monitor the bonobo populations conserved on the other hand; an inventory based on the counting of nests on the basis of a unique passage "Standing Crop Nest Counts" was carried out to estimate the densities of bonobo populations and to document the different habitats used by this

species. A total of 32 transects of 1 km each were surveyed from August 4 to September 30, 2014. The results of this study show that the density of bonobos in this conservation area is about 1.51 individuals/km². These bonobos are distributed throughout the area but use more marantaceous forests, primary forests with open undergrowth and primary forests with closed undergrowth for nesting. It is strongly recommended that the results of this study be used to develop conservation actions to be carried out and to set up an annual monitoring program to evaluate the effectiveness of the conservation measures adopted.

Keywords: Abondance, distribution, Bonobo, communauté locale

Introduction

Le Bonobo (*Pan paniscus*) est une espèce de grand singe endémique de la République Démocratique du Congo (RDC). Cette espèce est totalement protégée par les lois congolaises et figure dans l'appendice 12, classe A de la CITES comme espèce en danger (UICN et ICCN, 2012). Si l'état actuel des populations de bonobos n'est pas bien connu dans des sites où l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) et ses partenaires de conservation sont actifs, les acteurs de terrain sont unanimement d'accord sur le fait que les populations des bonobos sont en déclin. Cette espèce est menacée par la chasse et de la disparition des tabous sur la chasse, la déforestation et la dégradation de leurs habitats, la croissance démographique humaine, l'instabilité politique, la pauvreté et les épidémies (UICN et ICCN, 2012). Toutes ces menaces appellent à une action immédiate pour sauver le plus proche parent évolutif de l'humanité de l'augmentation des risques d'extinction. Cependant, ces appels à des mesures de conservation d'urgence pour sauver les bonobos doivent porter sur les liens entre les populations de bonobos et les communautés locales pour être efficace.

Et pourtant, les populations des bonobos du groupement Mbee-Nkuru de la chefferie-secteur des Batékés-nord en territoire de Bolobo ont survécu dans les écosystèmes de mosaïque forêt-savane grâce à un tabou alimentaire qui lui assure une protection vis à vis des populations autochtones. Dans cette région, le bonobo est en effet considéré comme un proche parent, comme un humain qui aurait fui en forêt il y a longtemps pour échapper à ses créanciers ; car la loi coutumière de l'époque faisait d'un débiteur insolvable l'esclave de son créancier. La consommation du bonobo est donc un tabou alimentaire chez les Batéké car il ne saurait être question de manger la chair d'un parent. Par contre, ces bonobos sont menacés à la suite de l'arrivée des sociétés d'élevage et d'exploitation forestière comme SAF-BOIS qui ont recruté une main

d'œuvre non autochtone qui ne respecte pas ce tabou (MMT, 2015) Ainsi, à la recherche des initiatives basées sur la nature pour assurer la sécurisation foncière de leurs terroirs forestiers et avoir la maîtrise de la gestion de leurs espaces; les communautés locales de Mbee-Nkuru se sont appuyées sur l'article 22 du code forestier congolais. Elles ont pour ce fait, demandé et reçu de l'Etat congolais 500Km² de leurs forêts pour lutter à la fois contre les menaces qui pèsent sur leur patrimoine culturel (bonobo) et la pauvreté et se mobilisent pour valoriser les bonobos de leurs terroirs comme un moteur de développement socioéconomique local. La revalorisation des usages et coutumes, l'observance des lois, la connaissance de l'écologie de l'espèce et des relations bonobo-humain, la surveillance communautaire participative, la promotion des nouvelles méthodes d'utilisation des terres, le développement des activités alternatives et de l'écotourisme source des revenus sont les approches privilégiées pour conserver cette fin (Omasombo, 2014). Le souci est de pouvoir favoriser l'émergence des politiques de conservation efficaces et des programmes optimisés de monitoring de cette espèce à forte valeur patrimoniale par le développement d'un plan de conservation viable qui doit s'inscrire dans une perspective de développement durable et qui doit intégrer le respect de pratiques de gestion durable des terres.

Dans ce contexte, le développement d'un plan de conservation du bonobo viable dans ce socio-écosystème de mosaïque forêt-savane anthropisé doit s'inscrire dans une perspective de développement des liens entre le système humain (communauté, société et économie) et le système naturel (écosystème dont bonobo inclus). Et pourtant, la méconnaissance des paramètres tels que la densité, l'abondance et la distribution des populations de cette espèce pourraient constituer un obstacle majeur pour le développement et à la mise en œuvre de la stratégie de conservation efficace de cette espèce dans ce socio écosystème.

Quelques travaux ont été réalisés sur les bonobos dans la CFCL-RM. Maloueki et collègues (2013) ont évalué la densité des bonobos dans les forêts de Embirima et de Nkala ; Serckx (2014) a identifié les besoins étho-écologiques d'une population de bonobos vivant dans les mosaïques de forêts-savanes de villages Mpelu et Nkala et Pennec et collègues (2016) ont identifié et décrit la composition et la structure floristique floristiques de types de végétation de la forêt de Manzano dans le village Embirima. Toutes ces études ont été réalisées chacune dans une zone isolée de la CFCL-RM et ne permettent pas de donner un aperçu sur l'ensemble des populations de bonobos habitant cette aire de conservation communautaire dont la communauté locale cherche à valoriser. Cette étude porte sur l'abondance et la distribution des bonobos dans la CFCL-RM. L'objectif principal de cette

étude était d'évaluer les populations de bonobos et de documenter les différents types d'habitats utilisés par cette espèce. Ces informations permettront aux communautés locales de bien aménager et gérer leur concession d'une part et d'autres parts à suivre les populations conservées, à évaluer l'impact de menaces particulières et à élaborer et à évaluer l'efficacité des mesures de conservation adoptées pour assurer une meilleure protection du bonobo.

3. Materiel et méthodes

3.1. Présentation du milieu d'étude

Cette étude a été réalisée dans la Concession Forestière des Communautés Locales de la rivière Mbali (CFCL-RM). C'est une aire de conservation communautaire formée par six terroirs villageois dénommés terroirs villageois de: Bodzuna, Embirima, Mbee, Mpelu, Makaa et Nkala. Elle s'étend sur une superficie de 500Km² située entre les latitudes -2,46506 et -2,33667 et les longitudes 16,28110 et 16,27334 dans le groupement Mbe-Nkuru ; chefferie-secteur des Batékes nord, territoire de Bolobo, Province de Mai-Ndombe en République Démocratique du Congo (fig. 1).

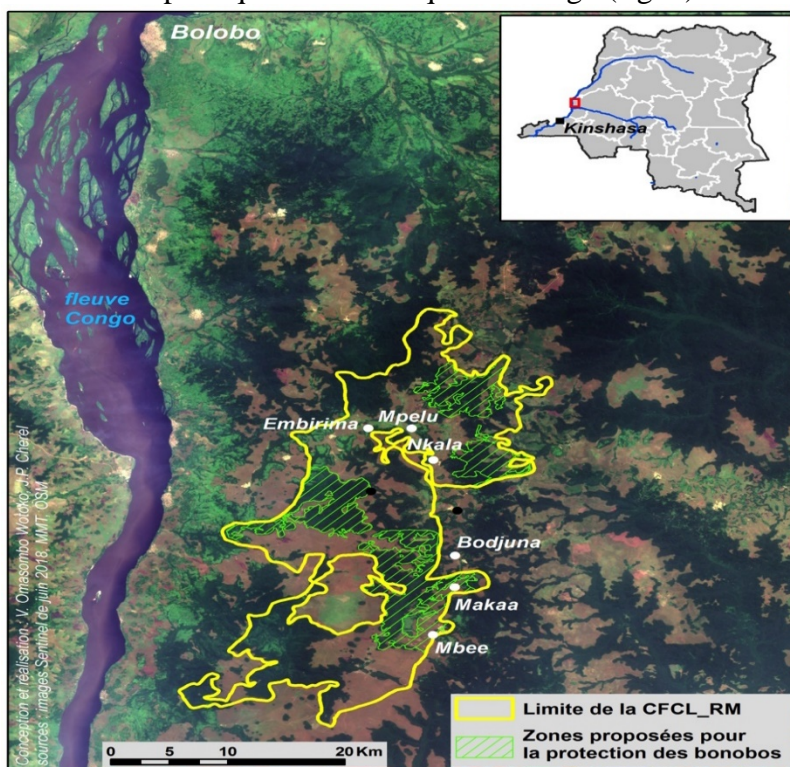


Figure n° 1. La concession forestière des communautés locales de la rivière Mbali (CFCL-RM)

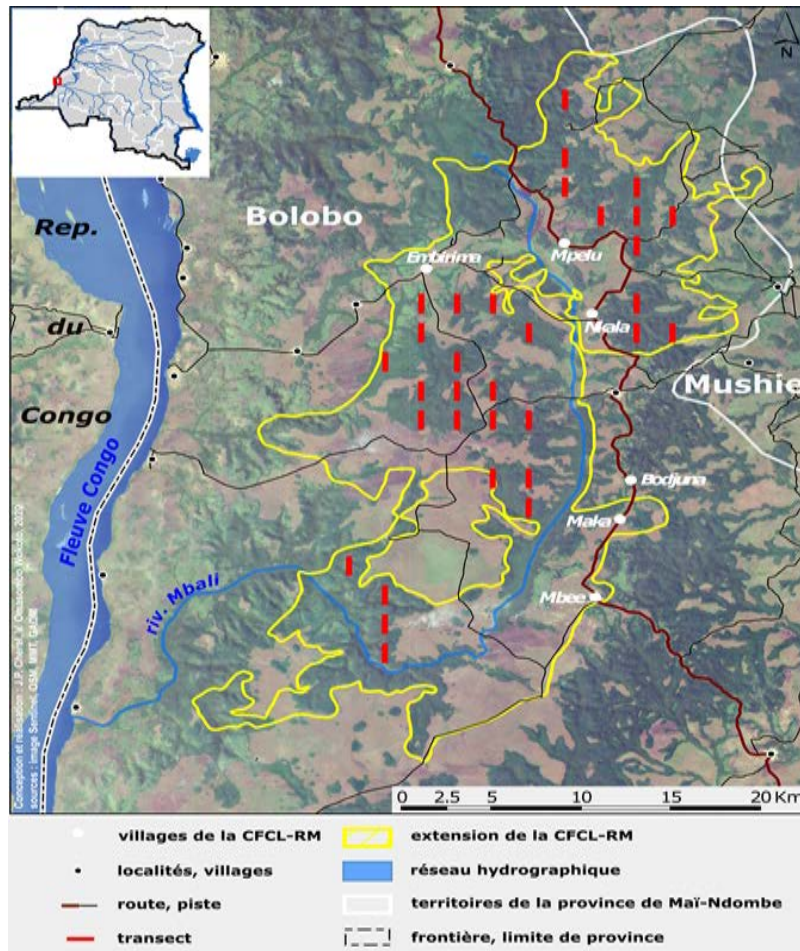
La CFCL-RM fait partie intégrante de la cuvette centrale congolaise sur une altitude allant de 300-500 mètres (Inogwabini et al. 2008). Le sol de cette zone appartient aux sols sableux à faible teneur en argile (types ARENO-Ferrals), issus des formations du Kalahari avec un taux de fertilité allant de moyen à mauvais ((Sys, 1960). En dehors des délimitations à l'ouest par le fleuve Congo et au sud par la rivière Kasai, le système hydrologique de la CFCL-RM n'est pas développé, car il n'est composé que de la rivière Mbali qui la parcourt du nord à l'ouest (en lui donnant son nom) et de ruisseaux non navigables (Omasombo, 2014). Le climat de cette zone est du type d'AW4 selon la classification de Köppen (Gafuene et Lukoki, 2012). Ce climat est caractérisé par des pluies abondantes tout au long de l'année avec deux saisons des pluies de la mi-septembre à la mi-décembre et de mars à mai et deux saisons sèches de janvier à février et Juin à Août (Inongwabi et al, 2008). La pluviométrie varie entre 1500 et 1600 mm par an (Inongwabi et al, 2008). La température moyenne mensuelle est stable autour de 25 ° C (Vancutsem et al, 2006) tandis que la température moyenne journalière varie entre 20°C et 30°C (Bultot, 1977) et l'humidité relative moyenne atteint 87% (Inogwabini et al, 2008). La végétation de la zone est du type mosaïque de forêt-savane avec environ 40% de savanes et 60% de forêts comprenant des forêts inondables et de terre ferme (Bastin, 2014). La faune est riche et diversifiée (Inogwabini et al, 2008). La principale ethnie qui habite les villages dont les terroirs ont servi à la création de la CFCL-RM est celle Batékés (Papy, 1999). Aux côtés de cette ethnie l'on retrouve quelques immigrés travailleurs de la Société Générale d'Elevage au Congo (SOGENAC) et certains anciens travailleurs des sociétés d'exploitation forestière qui ont existé dans la région (Omasombo, 2014).

3.2. Collecte des données

La méthode de transect linéaire (Ghiglieri 1984; Barnes et Jansen, 1987) a été utilisée pour la collecte des données. Cette méthode consiste à faire des observations d'un animal, un nid ou une trace de présence (crotte, etc, ...) depuis la ligne médiane du transect (layon) et à noter toutes les distances perpendiculaires relatives à chaque observation. La méthode de transect linéaire est particulièrement adaptée dans les habitats forestiers où la visibilité est réduite et où la probabilité de détection d'un objet diminue rapidement en fonction de l'éloignement de l'observateur. Elle est en effet basée sur l'hypothèse que la probabilité de détecter un animal, un nid ou une trace de présence (crotte, etc, ...) décroît avec la distance perpendiculaire à l'observateur (Whitesides *et al*, 1988 ; Buckland *et al*, 2004). Dans cette

étude, nous avons utilisé les nids qui sont des indices indiscutables de la présence de bonobo dans le site.

La technique de comptage des nids sur la base d'un passage unique (Kühl et al, 2008) adapté à la zone a été privilégiée pour le comptage des signes des bonobos le long des transects. Le comptage des nids de bonobo a été effectué du 4 août au 30 septembre 2014 le long de 32 transects de 1 km de long et distants de 1 km l'un de l'autre (fig.2). Ces transects ont été générés à partir des résultats des premiers inventaires réalisés dans la zone (Nsomba, 2011) et ont été parcourus à la vitesse maximale de 500 m/h dans le but de rechercher les nids. Lors de parcours de chaque transect, la rencontre d'un nid de bonobo constituait un événement qui était géo référencié à l'aide d'un GPS MAP 60 CSX. Les bonobos étant des animaux vivant en communauté, la découverte d'un nid nous conduisait à la recherche des autres nids du même groupe. Le nid est une structure construite par de branches, brindilles et feuilles manipulées (pliées, cassées et transférées) dans un arbre afin d'établir un site de nidification ; le groupe des nids par contre est l'ensemble de nids construits au même endroit et à la même heure par plusieurs individus simultanément et à proximité immédiate et le site de nidification est la zone du domaine vital dans laquelle se trouve un groupe de nids (Fruth, 1995). Les définitions de site des nids et de paramètres du nid utilisées dans cette étude sont seules définies par Mohncke et Fruth (2008). Pour chaque site des nids, les paramètres de nid suivants ont été collectés : le type de végétation où se trouvent les nids ; le nombre des nids par site, la position du nid par rapport au transect (à droite ou à gauche), la distance perpendiculaire du centre de transect à chaque nid mesurée à l'aide d'un penta-décamètre, le nombre des nids par site et l'âge du nid.



3.3. Traitement des données

3.3.1. Réalisation de la carte de distribution des bonobos

Les différentes coordonnées géographiques relevées ont été matérialisées sur une carte, et reliées entre elles pour retrouver les trajets réellement effectués. Les observations rattachées ont permis d'évaluer la distance parcourue dans chacun d'eux. Ces observations ont été par la suite regroupées par site. La carte de distribution des bonobos a par la suite été réalisée à l'aide des logiciels ArcGIS 10.0 et Excel.

3.3.2. Estimations des densités

L'échantillonnage selon le logiciel Distance donne des estimations statistiques de la diminution de la probabilité de détection en fonction de l'éloignement de l'observateur et en déduit l'abondance réelle de l'objet

(Buckland *et al.* 1993, 2001). Pour estimer les densités de populations animales (ou celles de leurs signes, tels que les crottes ou nids), on utilise les distances perpendiculaires depuis le transect pour estimer une fonction décrivant la probabilité de voir un animal (ou un signe) à une distance donnée du transect appelée probabilité de détection. Les estimations de densité et leurs coefficients de variation associés à des intervalles de confiance à 95% ont été calculés avec le logiciel DISTANCE 6.0 (Buckland *et al.*, 2001). Dans cette étude, le nid est l'indice de présence qui a été utilisé pour estimer les densités des bonobos. La probabilité de détecter un nid était modélisée en fonction de la distance perpendiculaire (Buckland *et al.*, 2001) du fait que le regroupement de distance perpendiculaire par catégorie proposé par le logiciel n'était pas parfait (Thomas *et al.*, 2006). Nous avons ainsi ajusté manuellement les catégories (nombre et largeur des intervalles) pour obtenir un histogramme plus cohérent avec la courbe de détection. Ainsi, pour s'assurer d'une estimation robuste de la détection et donc de la demi-largeur de détection efficace, nous avons tronqué nos données pour ne garder que les nids qui avaient une probabilité de détection supérieure à 0,15. De ce fait, plusieurs modèles de fonction de détection ont été considérés pour le calcul de densité (*Half-normal cosine*, *Uniform cosine*, *Uniform simple polynomial*, *Hazard rate cosine*) et la sélection du modèle adéquat a été basée sur le critère d'information d'Akaike le plus bas (Buckland *et al.*, 2001; Burnham and Anderson 2002). La formule suivante a été utilisée pour les estimations des densités:

$$DN = \frac{N}{2LWP} \quad (1)$$
 où DN : densité de nids (Km^{-2}) ; N : nombre de nids, L : longueur du transect (Km) ; W : largeur échantillonnée (Km), P : probabilité de détection. La conversion de la densité des nids à celle des individus a nécessité la connaissance des taux de création et de dégradation des nids (Kühl *et al.*, 2007) et pour cela, nous avons utilisé la formule suivante (Buckland *et al.*, 2001) :

$$D_B = \frac{D_N}{p * r * t} \quad (2)$$
 où D_B est la densité des bonobos, D_N est la

densité des nids; p est la proportion des constructeurs des nids (parce que tous les bonobos ne construisent pas les nids car les bébés sont portés par leurs mamans et dorment avec dans les mêmes nids); r est le taux de production des nids par individus par jour et t est la durée moyenne de vie des nids en jours. Les paramètres p , r et t sont sujets de variabilité à travers les sites d'études et de ce fait nécessite d'être mesurés dans chaque site spécifique. Vu que les bonobos de la CFCL-RM ne sont pas encore totalement habitués pour

permettre d'estimer ces paramètres, nous avons utilisé le taux de création des nids de 1.3 et la proportion de constructeurs des nids de 0.75 calculés selon Fruth(1995) dans la forêt de Lomako et le taux de décomposition des nids de 183 jours selon Serckx et al. (2014) dans la même zone d'étude.

4. Résultats

4.1. Distribution des bonobos

Au total 290 nids regroupés en 49 sites des nids ont été recensés dans neuf types d'habitats recensés dans la zone d'étude. Le nombre des nids par site a varié de 1 à 21 avec en moyenne $5,92 \pm 3,1$ nids par site. Nous avons ainsi enregistré 3 sites de nids dans la forêt à lianes (amplitude : 3-4), 16 dans la forêt à Marantacées (amplitude : 1-21), 1 dans la forêt mono dominante à *Gilbertiodendron dewevrei* (amplitude : 2), 6 dans la forêt primaire mixte à sous-bois fermé (amplitude : 2-5) et 10 dans la forêt primaire mixte à sous-bois ouvert (amplitude : 1-10). Le Test de Kruskal Wallis a montré qu'il existe une différence significative entre les tailles de groupes des nids dans les différents habitats ($H = 83.7$; $p < 0.0001$ $N= 290$). La distribution spatio-temporelle de sites des nids et des nids est représentée dans la figure n°3.

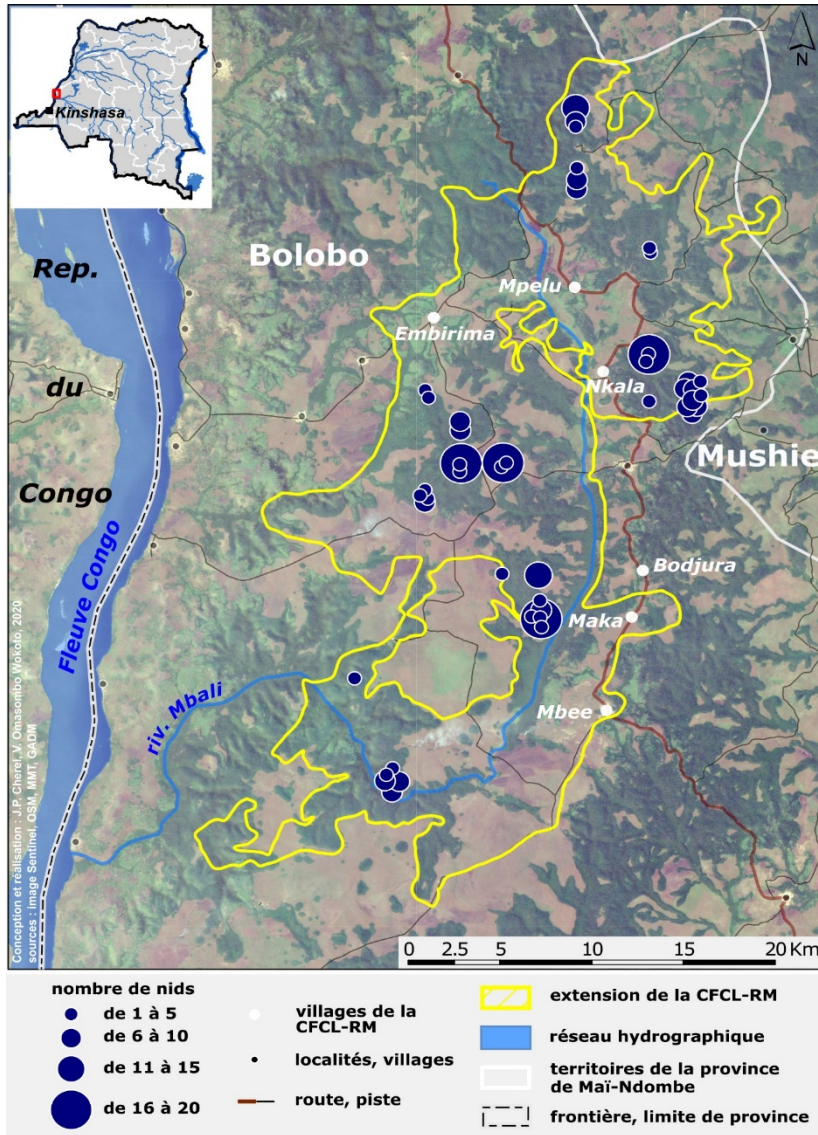


Figure n°3. Carte de distribution de sites des nids et des nids du Bonobo dans la CFCL-RM

4.2. Densités des bonobos

Nous avons tronqué les données de nos transects à une distance perpendiculaire de 35 mètres pour estimer les densités des bonobos, ce qui a diminué le nombre des nids de 290 à 267 et nous avons ensuite modélisé ces données avec Half-normal key, Cosine adjustment. La largeur effective était de 19, 39 m et nous avons obtenu une probabilité de détection moyenne de 0, 54 (fig.4).

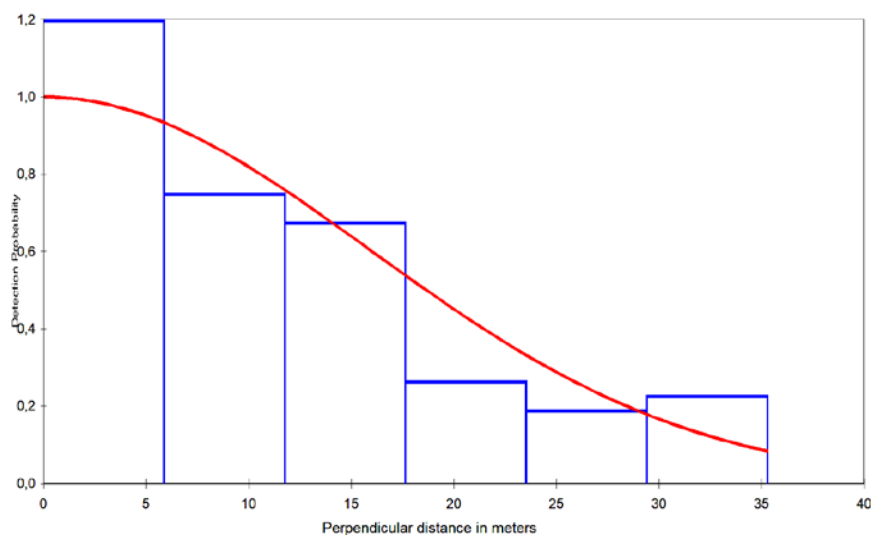


Figure 4. Evolution de la probabilité de détection des nids en fonction de la distance perpendiculaire

Les statistiques d'estimation des densités obtenues au travers du programme DISTANCE 6.0 donnent une densité moyenne des bonobos de 1,51 individu/km² avec un nombre d'individus moyen estimé à 755 pour toute la CFCL-RM (Tab. 1).

Tableau n°1. Densité des bonobos et nombre d'individus obtenus

Paramètre	Valeur estimée	Erreur standard	Coefficient de variation	Intervalle de confiance (95%)	
				Minima	Maxima
Densité (ind/km ²)	1,51	3,111	52,27	0,23	0,85
Nombre	755	2,809	45,396	320	1395

5. Discussions

Notre étude fournit les premières données de base sur l'abondance et la distribution des bonobos dans la CFCL-RM. Nous avons trouvé une densité de 1,51 individu par kilomètre carré dans cette aire de conservation communautaire. Les résultats de cette étude suggèrent que ces populations des bonobos ont survécu dans la CFCL-RM pour ces trois raisons suivantes:

- ✓ La présence d'un écosystème du type mosaïque forêt-savane avec faune et flore diversifiées;
- ✓ La présence de la population autochtone Batéké, qui détenaient et imposaient un tabou alimentaire sur le bonobo, leur patrimoine culturel bien avant que d'autres populations immigrerent dans la région. Cette population autochtone continue à détenir et à imposer ce tabou malgré

l’envahissement de la région par des populations allochtones qui ne respectent pas du tout ce tabou;

- ✓ La présence de ressources alimentaires essentielles telles que la végétation terrestre herbacée qui joue un rôle clé dans la distribution des bonobos ; cas de *Haumania* dans les forêts à marantacées.

Avec une densité évaluée à 1,51 individu par kilomètre carré, nos estimations sont inférieures aux 2,2 individus/km² (Inogwabini *et al*, 2007). Elles sont toutefois supérieures au 0,63 individu/km² (Serckx *et al*, 2014) et au 0,21 individu/km² (Maloueki *et al*, 2013). Bien que toutes les recherches menées pour parvenir à ces différentes estimations aient utilisé la méthode de transect linéaire pour évaluer les densités des bonobos dans cette zone de la CFCL-RM, les différences enregistrées peuvent être attribuées aux efforts de recherche fournis par chaque étude qui diffèrent par le nombre de transects choisis et par le nombre de fois où les transect ont été parcourus (3 fois) pour Serckx *et collègues* (2014), (une seule fois) pour Inogwabini et collaborateurs (2007) ; Maloueki et collègues (2013) et cette étude. Le tableau ci-dessous (tab.2) donne les densités des bonobos au travers les différents sites de la République Démocratique du Congo

Tableau n°2. Densités des bonobos dans les différents sites au travers son aire de distribution

Densité des bonobos en km ²	Lieu de l'étude	Auteurs
0,41 individu/km ²	Parc National de la Salonga	Grossmann <i>et al</i> , 2008
0,43 individu/km ²	Région de Lokofe-Lilungu-Ikomaloki	Sabater-Pi et Vea, 1990
0,45 individu/km ²	Région de Yalosidi	Uehera, 1988
0,7 individu/km ²	Réserve de Faune de Lomako-Yokokala	Omasombo <i>et al</i> , 2005
0,72 individu/km ²	Partie nord du Parc National de la Salonga	Reinartz <i>et al</i> , 2006
0,73 individu/km ²	Lui-kotal, partie sud du Parc National de la Salonga	Mohneke et Fruth, 2008
1,04 individus/km ²	Ecotone de mosaïque forêt-savane à Lukuru	Thompson, 1997
1,51 individus/km ²	CFCL-RM	Cette étude
1,78 individus/km ²	Région de Wamba	Kano, 1992

Ces différences dans les estimations dans les différents sites pourront être attribuées à plusieurs facteurs suivants qui peuvent évidemment avoir des effets isolés et/ou combinés:

- ✓ différences dans les méthodes d'inventaires,
- ✓ différences dans les saisons lors des inventaires,
- ✓ différences dans les types d'habitats,
- ✓ différences dans les activités humaines et la pression anthropique sur les différents sites d'étude,
- ✓ différence dans le temps d'études

Notre estimation des densités de 1,51 individus/km² dans la CFCL-RM vient enrichir la base de données des inventaires de bonobos dans les zones prioritaires de l'aire de distribution de cette espèce. Les résultats de cette étude permettront au gestionnaire de cette aire de conservation communautaire d'assurer le suivi de ces populations des bonobos, de formuler des mesures adéquates de conservation à appliquer sur le site et de suivre et évaluer l'efficacité des activités de conservation menées dans le site

6. Conclusion et perspectives

Les résultats de cette étude confirment la présence des bonobos dans la CFCL-RM. La densité d'individus est de l'ordre de 1,51 individus/km² avec un nombre d'individus moyen estimé à 755. Ces bonobos sont distribués sur toute l'étendue de la CFCL-RM et construisent plus des nids dans les forêts à marantacées, les forêts primaires à sous-bois ouverts et les forêts primaires à sous-bois fermés. Afin d'assurer une meilleure protection des bonobos dans la CFCL-RM et de valoriser cette espèce comme moteur de développement local, il est vivement recommandé, non seulement d'avoir une meilleure connaissance des tendances démographiques des populations des bonobos dans cette zone mais aussi de mettre en place un système de suivi écologique mensuel. Ces exercices permettront de suivre les tendances évolutives de ces populations et de connaître leurs distributions spatio-temporaires et leurs régimes alimentaires saisonniers.

7. Remerciements

Nos sincères remerciements à l'ONG MBOU-MON-TOUR et particulièrement à son Président du Comité Exécutif qui nous ont accordé l'autorisation de recherche et le support logistique et financier pour conduire nos recherches. Nos remerciements vont également à l'endroit de la population locale du groupement Mbee-nkuru avec qui nous avons passé des

très bons moments dans leurs villages durant nos recherches et à tous les pisteurs qui nous ont accompagnés en forêt pour la collecte des données.

References:

1. Barnes, R. F. W., K. Beardsley, F. Michelmore, K. L. Barnes, M. P. T. 121qaAlers, and A. Blom. (1997). "Estimating forest elephant numbers with dung counts and a geographic informationsystem." *Journal of Wildlife Management* 61:1384-1393.
2. Bastin, J.-F. et al. (2014). Aboveground biomass mapping of African forest mosaics using canopy texture analysis: toward a regional approach. *Ecol. Appl.* 24, 1984–2001.
3. Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DL, Thomas L. 2001. Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. Vol. xv. Oxford; New York: Oxford University Press. 432p.
4. Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P. and Laake, J.L. (1993). *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman and Hall, London. Free download <http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance.book/>
5. Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. and Thomas, L. (2004). *Advanced Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman and Hall, London
6. Bultot, F. (1977). Atlas climatique du bassin zaïrois. Volume 4. Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo belge (I.N.E.A.C.) : Bruxelles
7. Burnham, K. P., and Anderson D. R. (2002). Model selection and inference: A practical information-theoretic approach. Page 353. Springer, New York.
8. Fruth, B. (1995). Nests and nest groups in wild bonobos: Ecological and Behavioural correlates. Ph.D. thesis, Ludwig-Maximilian University, Munich.
9. Gafuene NG, Lukoki LF. (2012). Usages thérapeutiques des plantes médicinales utilisées à Mbankana au Plateau de Batéké en République Démocratique du Congo. *Ann Fac Sci* 77-109.
10. Ghieglieri, M. P. (1984). *The Chimpanzees of Kibale Forest*. Columbia Univ. Press, New York.
11. Grossmann, F., Hart, J.A., Vosper, A. and Ilambu, O. (2008). Range occupation and population estimates of bonobos in the Salonga National Park: application to large-scale surveys of bonobos in the

- Democratic Republic of Congo. In: T. Furuichi and J. Thompson (eds.), *The Bonobos. Behavior, Ecology, and Conservation*, pp.189–216. Springer, New York.
12. Inogwabini B, Bewa M, Longwango M, Abokome M, Vuvu M (2008). The Bonobos of the Lake Tumba - Lake Maindombe Hinterland: threats and opportunities for population conservation. In: Furuichi T, Thompson J, editors. *The bonobos: behavior, ecology, and conservation*. New York: Springer. P 273-290.
 13. Inogwabini, B.I., Matungila, B., Mbende, L. Abokome, M. & Tshimanga, W.T (2007). The great apes in the Lac Tumba landscape, Democratic Republic of Congo: newly described populations. *Oryx*. Volume 41: 532-538
 14. Kano T, Mulavwa M (1992) Appendix In: Kano T, editors. *The Last Ape: Pygmy Chimpanzee behavior and Ecology*. Stanford: Stanford University Press. pp. 225–232.
 15. Kühl, H. (2008). *Best-practice Guidelines for Surveys and Monitoring of Great Ape Populations (Vol. 36): IUCN*.
 16. Kühl, H.S, Todd, A., Boesch, C. and Walsh, P.D. (2007). Manipulating dung decay time for efficient large-mammal density estimation: gorillas and dung height. *Ecological Applications* 17:2403–2414.
 17. Maloueki Ulrich, Simon-Pierre Kumugo Ndimbo, Jean Mukulire Malekani et Bekeli Nseu Mbomba (2013). Estimation de la densité par comptage des nids des Bonobos (*Pan paniscus*) dans la région de Bolobo des localités de Nkala et Embirima, République Démocratique du Congo: résultats préliminaires. *Revue de primatologie* 5 Varia
 18. MMT (2015). Document stratégique de Mbou-Mon-Tour. 26p
 19. Mohnke, M. and Fruth, B. (2008). Bonobo (*Pan paniscus*) density estimation in the SW-Salonga National Park, Democratic Republic of Congo: Common methodology revisited. In: T. Furuichi and J. Thompson (eds.), *The Bonobos. Behavior, Ecology, and Conservation*, pp.151–166. Springer, New York.
 20. Nsomba Many M.M. (2011). Conservation des populations de bonobo, *Pan paniscus* (Pongidea, Primates) par la création de la Réserve Communautaire des bonobos dans le Territoire de Bolobo « RECOBOBO » dans la Province de Bandundu en R.D.C. Mémoire de Master professionnel en gestion des ressources naturelles et de la biodiversité. Université d'Abomey-Calavi. 46p
 21. Omasombo V, Bokelo D, Dupain J (2005). Current status of bonobos and other large mammals in the proposed forest reserve of Iomako-

- yokokala, equateur province, Democratic Republic of Congo. Pan Africa News 12, 14-17
22. Omasombo V., (2014). Rapport sur les inventaires des bonobos dans la future Concession Forestière des Communautés Locales de Mbee-Nkuru dans la chefferie des Batéke Nord à Bolobo, Province de Bandundu en République Démocratique du Congo.28p
 23. Papy L. (1999). Le peuple Batéké (Afrique Equatoriale Française). Revue de géographie jointe au Bulletin de la Société de géographie de Lyon et de la région lyonnaise, 25, 66-67
 24. Pennec Flora, Sabrina Krief, Annette Hladik, Constantin Lubini Ayingweu, Sarah Bortolamiol, Jean-Christophe Bokika Ngawolo & Victor Narat (2016). Floristic and structural vegetation typology of Bonobo habitats in a forest-savanna mosaic (Bolobo Territory, D.R.Congo). Plant Ecology and Evolution 149 (2): 199–215. <http://dx.doi.org/10.5091/plecevo.2016.1157>
 25. Reinartz GE, Inogwabini BI, Ngamankosi M, Wema LW (2006) Effects of Forest Type and Human Presence on Bonobo (*Pan paniscus*) Density in the Salonga National Park. Int J Primatol 27: 1229–1231.
 26. Sabater Pi, J. & Veà, J.J. (1990). Nest building and population estimates of the bonobo from the Lofeke-Lilungu-Ikomaloki region of Zaire. Primate Conservation. Volume 11:43-48.
 27. Serckx A, Huynen M-C, Bastin J-F, et al. (2014). Nesting patterns of bonobos (*Pan paniscus*) in relation to fruit availability in a forest-savannah mosaic. PloS ONE 9: e93742.
 28. Serckx A. (2014). PhD Thesis. Eco-ethology of a population of bonobos (*Pan paniscus*) living in the western forest savannah mosaics of the Democratic Republic of Congo. University of Liege 277 pp.
 29. Thomas, D. L. & Taylor, E. J. (2006) Study designs and tests for comparing resource Use and Availability II. Journal of Wildlife Management, 70, 324-336.
 30. Thompson, J.A.M., 1997, The History, Taxonomy and Ecology of the Bonobo (*Pan paniscus* Schwarz, 1929) with a First Description of a Wild Population Living in a Forest/Savanna Mosaic Habitat. Ph.D. dissertation, The University of Oxford.
 31. Uehera S. (1988). Grouping patterns of wild pygmy chimpanzees (*Pan paniscus*) observed at marsh grassland amidst the tropical rain forest of Yalosidi, Republic of Zaire. Prhnates, 29: 41-52.
 32. UICN et ICCN (2012). Bonobo (*Pan paniscus*): Stratégie de Conservation 2012–2022. Gland, Suisse: Groupe de spécialistes des

- primates de la CSE/UICN & Institut Congolais pour la Conservation de la Nature. 68 pp.
33. Vancutsem, C., Pekel, J.F, Kibambe, L.J.P., Blaes, X., de Wasseige, C. et Defourny, P (2006). République Démocratique du Congo: carte d'occupation du sol. Presses Universitaire de Louvain, Bruxelles, Belgique.
 34. Whitesides, G.H., Oates, J.F., Green, S. and Kluberanz, R.P. (1988). Estimating primate densities from transects in a West African rainforest: a comparison of techniques. *Journal of Animal Ecology* 57:345–367.

Capacidad Antimicrobiana de Cinco Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas en Escárcega, Campeche, México

Maximiliano Vanoye Eligio (Doctor en Ciencias)

Blanca del Rosario Martín Canché (Maestra en Gestión y Administración de Proyectos)

José Carlos Pech Ferrer (Ingeniero en Alimentos)

Martín Gabriel Chan Palomo (Ingeniero Químico Bromatólogo Biólogo)

José Alfredo García Vela (Ingeniero Bioquímico)

Katuska Alejandra Torres Sauri (Maestra en Educación)

Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B. Col Unidad, Escuerzo y Trabajo No. 1. Escárcega, Campeche.

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p197](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p197)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Vanoye Eligio M., Martín Canché. B, José Carlos. F, Chan Palomo M.G., Alfredo García Vela & Torres Sauri K.A., (2022). *Capacidad Antimicrobiana de Cinco Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas en Escárcega, Campeche, México* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 197.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p197>

Resumen

Los aceites esenciales son mejor conocidos como fracciones líquidas volátiles generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, estos son utilizados como alternativa de conservación de los alimentos debido a sus propiedades antimicrobianas que inhiben el crecimiento de cualquier agente contaminante. Por ello, el objetivo del trabajo fue evaluar la capacidad antimicrobiana de cinco aceites esenciales de especies aromáticas para la conservación de las frutas y verduras expuestas a condiciones ambientales propicias para la propagación de microorganismos. Para el logro de este trabajo de investigación se seleccionaron cinco especies de plantas aromáticas; pimienta (*Piper nigrum* L. 1753), ruda (*Ruta graveolens* L. 1753), zacate limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. 1906), zorrilla (*Cestrum racemosum* Ruiz and Pav. 1799) y albahaca (*Ocimum basilicum* L. 1753), en el municipio de Escárcega, Campeche, México. La extracción de aceites esenciales se realizó a partir de las hojas valorando su capacidad

antimicrobiana (desvío microbiano). Los resultados demostraron que cuatro de las cinco especies presentan actividad antimicrobiana principalmente; los aceites de albahaca y zorrilla en concentraciones de 1:5 y 1:10, inhibieron el crecimiento de microorganismos presentando un comportamiento antimicrobiano frente a las coliformes totales. Para el caso del zacate limón y la albahaca, ambos presentaron actividad fungicida, debido a la nula presencia de hongos y levaduras tras su aplicación. A diferencia de la ruda que en concentraciones menores no se recomienda para conservación de los alimentos, debido a que presentó crecimiento de microorganismos, siendo recomendada sólo para uso fungicida. Por tal motivo, las diluciones aplicadas con función antimicrobiana utilizadas para el recubrimiento de los alimentos son efectivas en altas concentraciones, según el análisis visual de la capacidad antimicrobiana en frutas y verduras, para el control de propagación microbiana. Por lo anterior se sugiere el uso de estos aceites esenciales en el control del crecimiento de los microorganismos expuestos a condiciones ambientales, propiciando la vida en anaquel de estos alimentos.

Keywords: efecto antimicrobiano; microorganismos; antifúngicos; frutas; Campeche

Antimicrobial Capacity of Five Essential Oils of Aromatic Plants in Escarcega, Campeche, Mexico

Maximiliano Vanoye Eligio (Doctor en Ciencias)

Blanca del Rosario Martín Canché (Maestra en Gestión y Administración de Proyectos)

José Carlos Pech Ferrer1 (Ingeniero en Alimentos)

Martín Gabriel Chan Palomo1 (Ingeniero Químico Bromatólogo Biólogo)

José Alfredo García Vela1 (Ingeniero Bioquímico)

Katiuska Alejandra Torres Sauri1 (Maestra en Educación)

Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B. Col Unidad, Escuerzo y Trabajo No. 1. Escárcega, Campeche

Abstract

Essential oils are better known as volatile liquid fractions, generally distillable by steam distillation, these are used as an alternative for food preservation due to their antimicrobial properties that inhibit the growth of any contaminating agent. Therefore, the objective of the work was to evaluate the antimicrobial capacity of five essential oils of aromatic species for the

conservation of fruits and vegetables exposed to environmental conditions conducive to the propagation of microorganisms. For the achievement of this research work, five species of aromatic plants were selected; pepper (*Piper nigrum* L. 1753), rue (*Ruta graveolens* L. 1753), lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. 1906), skunk (*Cestrum racemosum* Ruiz and Pav. 1799) and basil (*Ocimum basilicum* L. 1753), in the municipality of Escarcega, Campeche, Mexico. The extraction of essential oils was carried out from the leaves, assessing their antimicrobial capacity (microbial diversion). The results showed that four of the five species present mainly antimicrobial activity; basil and zorrilla oils at concentrations of 1:5 and 1:10, inhibited the growth of microorganisms, presenting antimicrobial behavior against total coliforms. In the case of lemongrass and basil, both presented fungicidal activity, due to the null presence of fungi and yeasts after their application. For this reason, the applied dilutions with antimicrobial function used for the coating of foods are effective in high concentrations, according to the visual analysis of the antimicrobial capacity in fruits and vegetables, for the control of microbial propagation. Therefore, the use of these essential oils is suggested to control the growth of microorganisms exposed to environmental conditions, favoring the shelf life of these foods.

Keywords: antimicrobial effect; microorganisms; antifungals; fruits; Campeche

Introducción

Los productos de origen natural han sido utilizados por el hombre desde tiempos remotos (Lahlou, 2004). Aunque los avances tecnológicos y de síntesis orgánica fina han desplazado su uso a través de sustancias artificiales, los consumidores hoy día prefieren los productos de origen natural. Esto ha dado paso a un desarrollo importante de la agroindustria de plantas aromáticas y medicinales a nivel mundial (Martínez, Stashenko, Castañeda & Muñoz, 2007). De igual manera, las plantas aromáticas presentan actividad antimicrobiana, por lo que los extractos y/o aceites esenciales obtenidos de cualquier órgano de diversas especies han sido evaluados para diversas aplicaciones (Ordaz *et al.*, 2011). Tal actividad antimicrobiana por lo general es atribuida a los compuestos fenólicos presentes (Adams, 2004; Ordaz *et al.*, 2011), los cuales son el producto final del metabolismo secundario de las plantas aromáticas (Alzamora, Morales, Armas & Fernández, 2001; Ordaz *et al.*, 2011). Los aceites esenciales son generalmente destilables por arrastre de vapor (Martínez, 2003; Maguna *et al.*, 2006); son importantes en las distintas áreas de la industria, teniendo como característica general un olor agradable,

aunque existen algunos de olor relativamente desagradable (ajo, cebolla). Además, se ha demostrado que los aceites esenciales presentan diversas cualidades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, insecticidas y propiedades antioxidantes (Maguna *et al.*, 2006; Celis *et al.*, 2007; Olivero-Verbel *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2009; Hernández-Ochoa *et al.*, 2011). Se han hecho trabajos para demostrar tales cualidades, por ejemplo, con la menta (*Mentha piperita* L.), Orégano (*Origanum* sp.) y, salvia (*Salvia fruticosa* Mill) (Pitarokili *et al.*, 2002; İşcan *et al.*, 2002). Otros autores enumeran las propiedades como carminativos, antiinflamatorios, antiespasmódicos, antieméticos, analgésicos, emenagogos, estimulantes, antigripales, entre otros. Por su parte, Guerrero y Núñez García (1991) realizaron estudios con hojas de Orégano (*Origanum vulgare* L.) por su aplicación en el campo farmacéutico, debido a las propiedades tónicas, amargo-excitantes, antisépticas, diuréticas y antiespasmódicas. Paredes Aguilar *et al.* (2007) evaluaron el efecto antimicrobiano del orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer) y su aceite esencial sobre especies de *Vibrio*. De la misma manera, García-Camarillo *et al.* (2006) reportaron que los aceites esenciales de canela y orégano presentaron un efecto antifúngico sobre *Aspergillus flavus* Link. Soliman y Badaea (2002) detectaron que la canela inhibió completamente el desarrollo de *Aspergillus flavus* en unas dosis más altas. En otro estudio, Barrera y García (2018) demostraron que los aceites esenciales de *Cinnamomum zeylanicum* Blume, *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et Perry y *Teloxys ambrosioides* L. Weber, inhiben el crecimiento micelial del hongo *Fusarium* sp. La capacidad antimicrobiana de los aceites esenciales ha sido demostrada por varios autores (Hernández Díaz & Rodríguez Jorge, 2001; Leyva *et al.*, 2009), por lo que son utilizados en diversos productos alimenticios (Moré Palos & Colom Gorgues, 2002; Ramírez *et al.*, 2009). Por otro lado, la aplicación de los aceites esenciales, específicamente en la conservación de frutas y hortalizas también ha sido demostrada; tal es el caso que los aceites esenciales presentes en las nueces muestran actividad antifúngica, (Vásquez-Barrios, Martínez-Peniche & Fernández-Escartín, 2001; Ruiqian *et al.*, 2004; Yazdanpanah *et al.*, 2005). En este sentido, y con la finalidad de evitar la contaminación de frutas y verduras por microorganismos se ha utilizado como antimicrobianos naturales; el coriandro o cilantro (*Coriandrum sativum* L.), el romero (*Rosmarinus officinalis* Linn), la menta piperita (*Mentha piperita* L.), la salvia (*Salvia officinalis* L.) y el tomillo (*Thymus vulgaris* L.). En el estado de Campeche existe una gran variedad de plantas aromáticas, a las cuales no se les ha dado utilidad en la industria alimentaria y que pueden tener gran potencial como antimicrobianos en la conservación de frutas y hortalizas. Es por ello que la presente investigación es identificar la capacidad

antimicrobiana de cinco aceites esenciales y/o extractos de plantas aromáticas en Escárcega, Campeche.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio. El estudio se realizó en el municipio de Escárcega, Campeche, el cual cuenta con una selva mediana subperennifolia, con temperatura cálida sub-húmeda y lluvias en verano. Las especies vegetales predominantes son los árboles de Chechén, *Metopium brownei* (Jacq.); Chaca, *Bursera simaruba* (L.); Pukté, *Bucida buceras* L.; Jabín, *Piscidia piscibula* (L.); Chicle o chicozapote, *Manilkara zapota* (L.); Ramón, *Brosimum alicastrum* Sw.; Siricote, *Cordia dodecandra* A. y Yax-nik, *Vitex gaumeri* Greenm, entre otros (García-Ramírez *et al.*, 2016). En este tipo de vegetación crecen las especies de la Pimienta, *Piper nigrum* L.; Ruda, *Ruta graveolens* L.; Zacate limón, *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, y Zorrillo o Zorrilla *Cestrum racemosum*, las cuales fueron seleccionadas en este estudio.

Obtención de la materia prima. Para la obtención de la materia prima los ejemplares fueron colectados en diversos puntos de la ciudad, creciendo en vegetación secundaria, traspatios o huertos familiares.

Obtención de aceites esenciales. La obtención de los sustratos de prueba correspondiente a los aceites esenciales, inicia con el lavado de las hojas de cinco especies conocidas como: pimienta (*Piper nigrum*), ruda (*Ruta graveolens*), zacate limón (*Cymbopogon citratus*), zorrilla (*Cestrum racemosum*) y albahaca (*Ocimum basilicum*), colectadas en el municipio de Escárcega, Campeche, México. Posterior a la limpieza de las hojas se procede a la disección y ruptura de ellas para realizar una mezcla de los sólidos obtenidos con una parte proporcional de solvente que extraiga los aceites esenciales de interés para el estudio. La mezcla en estudio son contenidos en recipientes de laboratorio con graduación y tapa de cierre hermético. Los volúmenes del ítem para cada fracción vegetal en estudio, se preparan de acuerdo a las características estructurales de aceites que las contienen, por otra parte para el solvente de extracción se empleó alcohol etílico al 70 %, dentro de las siguientes consideraciones: en la extracción del material vegetal/etanol de la ruda, se consideró el macerado de 500 g de la hoja triturada con 350 ml de alcohol etílico, para el zacate limón se emplearon 600 g en 770 ml del solvente, en el caso del zorrillo se usó 650 g de material vegetal en 800 ml del alcohol, se consideraron 650 g de albahaca con 800 ml del solvente y 800 g de hojas de pimienta en maceración con 1,100 ml del disolvente. La extracción de los aceites ocurrieron al dejar reposar la mezcla por 30 minutos, posteriormente verter cada sobrenadante que integran los aceites extraídos, en

un embudo de extracción, donde se agita vigorosamente la mezcla por lapsos de 10 segundos durante 5 repeticiones, abriendo la llave para desfogue del embudo de extracción en cada una de cada repetición; la razón de agitación vigorosa de la mezcla es para romper aún más los ácidos grasos disueltos en el solvente utilizado, al término del proceso anterior se deja reposar la mezcla durante 24 horas para conseguir una mayor separación de los aceites extraídos. Pasado el tiempo de reposo de la mezcla, se filtró por medio de un embudo de porcelana buschner conteniendo una fibra de ceda y colectando el residuo en un matraz Kitasato para eliminar residuos de sólidos que afecten la calidad del aceite; en seguida, el aceite contenido en la disolución de extracción, se concentra más al destilar el alcohol excedente en la mezcla, por medio de un rotavapor durante 15 minutos a 70 °C y con rotación del matraz de mezcla a 20 RPM. Por último, el sustrato obtenido de la destilación se centrifuga por 30 minutos a 3,500 rpm como última etapa de purificación de los aceites de interés, donde se obtienen densidades de los sustratos entre 0.910-0.970 g/ml. A cada sustrato de aceite esencial obtenido se le realizó su capacidad antimicrobiana, respecto a bacterias coliformes totales; así como para hongos y levaduras. La muestra sometida a prueba se basó en poner en competencia la eficiencia del aceite esencial respecto al microorganismo de interés en una prueba de vaciado de placa aplicando metodologías descritas en normas oficiales mexicanas. La prueba de vaciado de placa establece preparar la muestra e inocular un mililitro de dicha muestra en una placa Petri de 90 X 18 mm con aproximadamente 20 ml del medio de cultivo correspondiente en una incubadora específica por el tiempo establecido por la metodología relacionada. La muestra se procesó por duplicado, empleando como control positivo el microorganismo a valorar y el control de esterilidad del medio de cultivo con la solución para disolver el sustrato en prueba. Dentro del mismo contexto, las determinaciones consideraron probar las diluciones 1:10, 1:100 y 1:1000 del sustrato en solución estándar reguladora de fosfatos. En el caso de la capacidad antimicrobiana para coliformes totales se utilizó la metodología descrita en la NOM-113-SSA1-1994 con el medio de cultivo Agar Violeta Rojo Bilis, incubando a 35 ± 1 °C durante 24-48 horas. Para la capacidad antimicrobiana en hongos y levaduras se utilizó la metodología descrita en la NOM-111-SSA1-1994 con el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar, incubando a 25 ± 1 °C durante 72-96 horas.

De igual forma se realizó la evaluación de apreciación visual de la capacidad antimicrobiana sobre frutas y verduras aplicando en distintas concentraciones 1:5, 1:10 respectivamente de aceite esencial, por medio de aspersión sobre productos agrícolas (mango y tomate), finalmente analizando visualmente de un rango de tiempo de 48 a 120 hrs post- aplicación la presencia o ausencia de

microorganismos en los alimentos. Cabe señalar que se utilizó como testigo al tomate para contrastar los resultados de la prueba experimental.

Como parte de la validación de resultados se empleó el ANOVA (análisis de varianza de dos vías), las cuales permitió evaluar diferencias significativas entre las diferentes concentraciones aplicadas en mango y tomate.

Resultados y discusión

En el presente estudio se analizó la actividad antimicrobiana de cinco aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas, siendo la albahaca y orégano las que han sido evaluadas ampliamente (De Souza Prestes et al., 2007; Murillo et al., 2008; Beltrán *et al.*, 2010; González-Zúñiga *et al.*, 2011; Rojas *et al.*, 2012; Carrillo, 2020). De cada especie estudiada se obtuvo el aceite esencial para valorar la capacidad antimicrobiana. De las cinco especies, la *Ruta graveolens*, fue de la que se obtuvo mayor porcentaje de aceite (6%), seguida por la *Cestrum racemosum* y *Cymbopogon citratus* (5%), y al final la *Ocimum basilicum* y la *Piper nigrum* (4%). Por lo que la última especie, según (León Mendoza, C., 2017), menciona que no presenta inhibición significativa en el crecimiento micelial en las concentraciones empleadas en comparación con la especie de romero (*Rosmarinus officinalis*), a diferencia del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) inhibiendo el crecimiento micelial al 100% frente a los hongos fitopatógenos aislados en todas sus concentraciones. Sin embargo, se ha demostrado por (Navas & Morales, 2009), que sometiendo en distintas extracciones la *Piper nigrum*, se obtiene resultados significativos como efecto antimicrobiano, destacando que el mayor halo de inhibición lo presentó el extracto etanólico obtenido en el equipo Goldfish sobre el crecimiento de *Bacillus cereus* (18mm), seguido por el mismo extracto pero empleando el equipo Soxhlet sobre *Streptococcus spp.*, siendo una opción para emplearlas como inhibidor de bacterias en la industria alimentaria.

En distintas investigaciones han determinado que las especies en estudio ayudan a inhibir el crecimiento microbiano, como *Staphylococcus aureus*, *S. entérica*, *Listeria monocytogenes*, entre otras (Carrillo Valarezo, E. B., 2020). Finalmente, las concentraciones de los aceites extraídos de las especies en estudio, difieren en la inhibición de los microorganismos que afectan los alimentos, por lo que a mayor concentración se observó que inhiben casi en su totalidad el crecimiento microbiano. Por lo que es importante que, al momento de extraer aceites esenciales, estos mantengan una pureza de 95%, o en su caso realizar combinaciones a partir de este tipo de especies de plantas, lo cual incrementa su capacidad antimicrobiana (Corrales, 2018; Carrillo Valarezo, 2020).

Las pruebas microbiológicas indican que en general los aceites esenciales a altas concentraciones inhiben la actividad antimicrobiana. En el caso del aceite de zacate limón, este aceite cumple la función como fungicida en concentraciones de 1:5 y 1:10. En el caso del aceite de la albahaca en concentraciones de 1:5 y 1:10 presentó la misma situación del zacate limón como fungicida. De igual manera, los aceites esenciales presentaron un comportamiento antimicrobiano frente a las coliformes totales, los cuales se pueden presentar tanto en los alimentos como en el agua de consumo doméstico (Martín-Canché, *et al.*, 2021), la albahaca en concentraciones de 1:5 y 1:10 inhibió el crecimiento de dichos microorganismos. Los resultados de los aceites esenciales de zacate limón y albahaca coinciden con otros estudios, en los cuales se apreció visualmente que los aceites esenciales no permitieron el crecimiento de hongos y levaduras (Albado *et al.*, 2001; Gestélum *et al.*, 2007). Cabe señalar que la *Ocimum basilicum*, actuó tanto sobre la bacteria Gram positiva como sobre las Gram negativas, por lo que se concluye que dicha muestra inhibe dicho crecimiento (Rivas *et al.*, 2015). De acuerdo al desvío microbiano el aceite de ruda en concentraciones de 1:5 y 1:10 no presentó crecimiento de hongos y levaduras, sugiriendo que al no haber crecimiento en estas concentraciones se puede emplear como fungicida. Asimismo, esta especie a concentraciones de 1:5 inhibió el crecimiento de coliformes totales, mientras que a una concentración de 1:10 se observó crecimiento de coliformes totales, por lo que el aceite de ruda podría sugerirse como fungicida, pero no como bactericida. El efecto antifúngico de la ruda (*Ruta graveolens*) ha sido demostrado con otra especie de ruda (*Ruta chalepensis*) al inhibir el crecimiento de *Alternaria solani* Sorauer, hongo fitopatógeno que afecta principalmente a solanáceas y entre ellas al tomate y la papa (Duarte *et al.*, 2013).

Respecto a los análisis con el aceite de la zorrilla en las concentraciones de 1:5 y 1:10 se observó que no hubo crecimiento alguno de hongos, levaduras y coliformes totales, por lo que bajo estas condiciones se considera que el aceite de la zorrilla tiene efecto fungicida e inhibe el crecimiento de las coliformes totales. Además, de poseer propiedades como agentes antimicrobianos y conservadores de alimentos, es apreciado por su alto contenido en citral y amplia gama de componentes benéficos para la salud (Martínez *et al.*, 2018). Asu vez se reporta que los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y limoncillo (*C. citratus*) ocasionaron una inhibición total del crecimiento micelial in vitro de *C. acutatum* durante las primeras 72 horas de análisis, superando incluso la actividad mostrada por el Manzate® en las concentraciones evaluadas (Alzate *et al.*, 2009).

De manera general, los resultados obtenidos fueron similares a los reportados por varios investigadores, ya que indicaron la presencia de actividad antimicrobiana en especies de la familia Lamiaceae (especie *Ocimum*). Por su parte, Pérez y Anesini (1994) estudiaron la actividad antibacteriana en extractos acuosos y obtuvieron resultados negativos y mostraron la actividad antimicrobiana del extracto en etanol al 40 % de las hojas del *Psidium guajava* L. observándose una respuesta de inhibición bacteriana en todos los casos.

Desvío microbiano. Además de conocer el porcentaje de aceites esenciales que contiene cada una de las especies que se estudiaron, se le realizó un desvío microbiano. Los resultados indican que la ruda fue la única especie que mostró contaminación, es decir, no presenta cualidades antimicrobianas, mientras que las otras cuatro especies (albahaca, pimienta, zacate limón y zorrilla) sí mostraron cualidades antimicrobianas. Por lo que, en el área de industria alimentaria, específicamente en la conservación a la intemperie de frutas y verduras los resultados no son concluyentes, ya que los factores ambientales afectan la estabilidad de los productos naturales. Con este estudio, solo se pueden proponer a estos aceites como candidatos para el desarrollo de productos aplicables a la conservación de alimentos.

Análisis visual de la capacidad antimicrobiana en frutas y verduras. La evaluación de la capacidad antimicrobiana sobre frutas y verduras de los aceites esenciales obtenidos en este estudio, se realizó mediante la observación visual, tras aplicarse por aspersion sobre dos productos agrícolas (mango y tomate). La observación visual realizada a las 48 horas post-aplicación demostró que en la gran mayoría de éstas no hubo crecimiento microbiano, excepto en los tomates rociados con ruda y albahaca en concentraciones de 1/10. Cabe mencionar que los tomates en donde se reportó crecimiento microbiano se detectaron que presentaban alteraciones en la parte externa del fruto, lo que favoreció un fácil y rápido crecimiento microbiano. Finalmente, en la observación realizada a las 120 horas no se detectó contaminación microbiana en las diferentes frutas y verduras rociadas con los aceites esenciales mencionados en sus diferentes concentraciones. Es necesario mencionar que en el testigo en tomate si se confirmó contaminación microbiana, lo que indica que los aceites esenciales si presentan capacidad antimicrobiana.

Análisis microbiológico mediante un ANOVA de dos vías. En relación al análisis microbiológico para determinar la capacidad antimicrobiana de cinco tipos de aceites esenciales el análisis de varianza (ANOVA) mostró que no existe diferencia significativa entre las diferentes concentraciones aplicadas de los diferentes aceites esenciales sobre mango y tomate como se muestra en el cuadro 3. En este mismo análisis se pudo observar que si existe diferencia significativa entre el efecto de los distintos los aceites esenciales, siendo que la capacidad antimicrobiana observada en tomate fue mayor al aplicar los aceites esenciales de albahaca, ruda y zorrilla. En el caso del mango, el aceite esencial de zacate limón fue el que mostró la mayor significancia, ya que en las tres concentraciones aplicadas no se detectó crecimiento microbiano. Los resultados fueron similares a otros estudios relacionados con el aceite esencial de la albahaca (Beltrán et al., 2010). En relación a la ruda (*Ruta graveolens* L.), la cual presenta diversos metabolitos secundarios, fumarocumarinas, alcaloides y flavonoides (García Luján, Martínez et al., 2010), los estudios encontrados son pocos o casi nulos. En el caso de la zorrilla esta especie no ha sido estudiada con fines de uso en la industria alimentaria, sin embargo, los resultados en el estudio arrojaron datos similares para albahaca y orégano. Respecto al zacate limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), presentó valores favorables en cuanto a su actividad antimicrobiana, como se ha reportado en estudios anteriores (Hernández et al., 2001), en el que se observó la inhibición del crecimiento de *Bacillus subtilis* y el hongo dermatofito *T. mentagrophytes*. También, se demuestra que frente a *Lactobacillus acidophilus* y a *Candida albicans* el mayor efecto lo tuvo la hierba luisa (*Cymbopogon citratus*). El aceite esencial de orégano y hierba luisa tienen mayor efectividad antibacteriana y antifúngica a diferencia de los controles positivos empleados en el estudio (Maraví Inga, 2012).

Cuadro 1. Análisis de varianza de dos vías para determinar la capacidad antimicrobiana de cinco aceites esenciales a diferentes concentraciones.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS VÍAS A LAS 48 HORAS EN MANGO

	<i>Fcal</i>	<i>Valor crítico para F Tablas</i>
Aceites Esenciales	8.5	3.83785335
Concentraciones	1	4.45897011

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS VÍAS A LAS 48 HORAS EN TOMATE

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Fcal</i>	<i>Valor crítico para F Tablas</i>
Aceites Esenciales	10	3.83785335
Concentraciones	1	4.45897011

Conclusiones

El estudio contribuyó al conocimiento de algunas de las especies aromáticas que crecen en la región. La efectividad antimicrobiana que presentaron las especies en estudio ante cierto tipo de bacterias y hongos se pudo comprobar a través de pruebas microbiológicas. Cuatro especies se consideran que presentan excelentes resultados para ser utilizados en manejo poscosecha de frutas y verduras de la región. Sin embargo, es necesario realizar pruebas microbiológicas y nuevos bioensayos para identificar específicamente a los microorganismos que pudieran inhibir, así como su eficacia biocontroladora bajo las condiciones ambientales naturales de los sitios en donde se aplicarían.

Agradecimientos

A la facilidades y apoyos otorgados al Proyecto “Capacidad Antimicrobiana de Aceites Esenciales y/o extractos vegetales de especies aromáticas silvestres en el almacenamiento de frutas y verduras en Escárcega, Campeche, el cual fue aprobado ante TecNM con clave 260.15-PD. Asimismo, al Instituto Tecnológico Superior de Escárcega por brindar su apoyo en la ejecución del proyecto.

References:

1. Adams, R. P. (2004). Identification of essential oil components by gas chromatography/quadropole mass spectroscopy, Allured Publishing Corporation, *Carol Stream*, Illinois, 456 p. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-feb7acb0-2895-33d8-8f72-32d49950ead1>.
2. Albado Plaus, E., Saez Flores, G., & Grabiél Ataucusi, S. (2001). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). *Revista Medica Herediana*, 12(1), 16-19. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1018-130X2001000100004&script=sci_arttext.
3. Alzamora, L., Morales, L., Armas, L., & Fernández, G. (2001). Actividad antimicrobiana in vitro de los aceites esenciales extraídos de algunas plantas aromáticas. *An. Fac. Med.*, 62, 156-161. <http://www.redalyc.org/pdf/379/37962208.pdf>.
4. Alzate, D. A., Mier, G. I., Afanador, L., Durango, D. L., & Garcia, C. M. (2009). Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y sus componentes mayoritarios. *Vitae*, 16(1), 116-125.

5. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000100014
6. Barrera Necha, L. L., & García Barrera, L. J. (2018). Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. Aislado de papaya (*Carica papaya*). *Revista UDO Agrícola*, 8(1), 33-41. <http://e.freewebhostingarea.com/outside-access-blocked/insert-it-into-a-webpage-under-the-same-account.gif>.
7. Beltrán Cifuentes, M. C., Peláez Gutiérrez, E. C., Estrada Álvarez, J. M., Escobar Ríos, J. A., Serna Ángel, L., & Ríos Morales, D. (2010). Estudio farmacognóstico para el cuidado de la salud a partir de aceites esenciales obtenidos por destilación de arrastre de vapor. *Investigaciones Andina*, 12(20), 8-18. <http://www.scielo.org.co/pdf/inan/v12n20/v12n20a02.pdf>
8. Celis, C. N., Escobar Rivero, P., Isaza, J. H., Martínez, J. R., & Stashenko, E. (2007). Estudio comparativo de la composición y actividad biológica de los aceites esenciales extraídos de *Lippia alba*, *Lippia organoides* y *Phyla dulcis*, especies de la familia Verbenaceae. *Scientia et Technica*, 1(33), 38-47. <http://www.redalyc.org/pdf/849/84903324.pdf>
9. Carrillo Valarezo, E. B. (2020). Evaluación de la capacidad inhibitoria de mezcla de aceites esenciales de albahaca (*Ocimum basilicum*) y orégano (*Origanum vulgare*) en *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella typhimurium* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química). <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50594>
10. Corrales, A. (2018). Microorganismos asociados a daños en frutas y vegetales frescos en una planta de procesamiento (Doctoral dissertation, Universidad de Panamá). <http://up-rid.up.ac.pa/1490/1/anel%20corrales.pdf>
11. De Souza Prestes, L., Frascolla, R., Santin, R., Ziemann dos Santos, M. A., Costa Schram, R., Alves Rodrigues, M. R., ... & Araújo Meireles, M. C. (2008). Actividad de extractos de orégano y tomillo frente a microorganismos asociados con otitis externa. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13(4), 0-0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962008000400003&script=sci_arttext&lng=en
12. Duarte, Y., Pino, O., Infante, D., Sánchez, Y., Travieso, M. D. C., & Martínez, B. (2013). Efecto in vitro de aceites esenciales sobre *Alternaria solani* Sorauer. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1), 54-

59. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522013000100007.
13. García López, A., Vizoso Parra, Á., Ramos Ruiz, A., & Piloto, J. (2000). Estudio toxicogenético de un extracto fluido de *ocimum basilicum* L. (albahaca blanca). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 5(3), 78-83. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962000000300002&script=sci_arttext&tlng=en.
14. García Luján, C., Martínez, A., Ortega, J. L., & Castro, F. (2010). Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Química Viva*, 9(2). <http://www.redalyc.org/pdf/863/86314868005.pdf>.
15. García-Ramírez, M. D. J., Ruíz-Cancino, E., Coronado-Blanco, J. M., & Khalaim, A. I. (2016). Ichneumonidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) from Escarcega, Campeche, Mexico: new records of species. *CienciaUAT*, 10(2), 6-12.
16. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200778582016000100006&script=sci_abstract&tlng=en
17. García-Camarillo, E. A., Quezada-Viay, M. Y., Moreno-Lara, J., Sánchez-Hernández, G., Moreno-Martínez, E., & Pérez-Reyes, M. C. (2006). Actividad antifúngica de aceites esenciales de Canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y Orégano (*Origanum vulgare* L.) y su efecto sobre la producción de Aflatoxinas en Nuez Pecanera [*Carya illinoensis* (F.A. Wangenh) K. Koch] *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24 (1), 8-12. <http://www.redalyc.org/pdf/612/61224102.pdf>.
18. González-Zúñiga, J. A., González-Sánchez, H. M., González-Palomares, S., Rosales-Reyes, T., & Andrade-González, I. (2011). Microextracción en fase sólida de compuestos volátiles en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Universitaria*, 21(1), 17-22. <http://www.redalyc.org/html/416/41618395001/>.
19. Guerrero, L., & Núñez García, M. J. (1991). Obtención de Aceites Esenciales de Eucalipto y Orégano. *Industria Farmacéutica*, 1, 73-79.
20. Hernández Díaz, L., & Rodríguez Jorge, M. (2001). Actividad antimicrobiana de plantas que crecen en Cuba. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 6(2), 44-47. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962001000200002.
21. Hernández-Ochoa, L., Gonzales-Gonzales, A., Gutiérrez-Mendez, N., Muñoz-Castellanos, L. N., & Quintero-Ramos, A. (2011). Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a

- diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(3), 455-463. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382011000300011&script=sci_arttext.
22. İşcan, G., Kirimer, N., Kürkcüoğlu, M., Başer, H. C., & DEMİrci, F. (2002). Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(14), 3943-3946. http://jonnsaromatherapy.com/pdf/GC-MS_Mentha_piperita_2002_01.pdf.
 23. Lahlou, M. (2004). Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6), 435-448. <http://johnsilvius.cedarville.org/2130/pet02.pdf>
 24. Leyva, M., Marquetti, M. C., Tacoronte, J. E., Scull, R., Tiomno, O., Mesa, A., & Montada, D. (2009). Actividad larvica de aceites esenciales de plantas contra *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). *Rev Biomed*, 20, 5-13. <http://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2009/bio091b.pdf>.
 25. León Mendoza, C. (2017). Determinación de la acción antifúngica de los aceites esenciales de pimienta negra (*piper nigrum*), romero (*rosmarinus officinalis*) y orégano (*organum vulgare*) sobre hongos post cosecha en ají paprika (*capsicum annum* L.). <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1000>
 26. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1000>
 27. Maguna, F. P., Romero, A. M., Garro, O. A., & Okulik, N. B. (2006). Actividad Antimicrobiana de un grupo de Terpenoides. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas en Internet. Argentina: Facultad de Agroindustrias*. <http://200.45.54.140/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/08-Exactas/2006-E-057.pdf>
 28. Maraví Inga, G. G. (2012). Efecto antibacteriano y antifúngico del aceite esencial de *Mentha piperita* (menta), *Origanum vulgare* (orégano) y *Cymbopogon citratus* (hierba luisa) sobre *Streptococcus mutans* ATCC 25175, *Lactobacillus acidophilus* ATCC 10746 y *Candida albicans* ATCC 90028.
 29. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/48>
 30. Martín-Canché B.R., Vanoye Eligio M., Chan Palom M.G., Guillen Taje J.L & Ángeles Aguilar Sánchez J. (2021). Análisis De Las Variables Físico-Químicas Y Microbiológicas De Las Lagunas Del

Municipio De Escárcega, Campeche, México. European Scientific Journal, ESJ, 17(25), 116.
<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p116>

31. Martínez, J. R., Stashenko, E., Castañeda, M. I., & Muñoz, A. (2007). Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas colombianas. *Scientia et Technica*, 1(33), 165-166.
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5845>.
32. Martínez, M. A. (2003). Aceites Esenciales. *Facultad Química Farmacéutica*. Universidad de Antioquia. Medellín.
[http://www.academia.edu/download/34940812/ALCALOIDES .pdf](http://www.academia.edu/download/34940812/ALCALOIDES.pdf).
33. MARTINEZ, U. R., PALACIOS, M. E. A., RAMOS, D. H., & CASTILLO, G. Z. (2018). Viabilidad del uso de zacate limón (*Cymbopogon citratus*) en la elaboración de alimentos funcionales.
34. <http://189.240.194.249/handle/123456789/1201>
35. Moré Palos, E., & Colom Gorgues, A. (2002). Distribución comercial de plantas aromáticas y medicinales en Cataluña. Investigación agraria. *Producción y Protección Vegetales*, 17(1), 43-66.
http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/aromaticas_1161160167703.pdf.
36. Murillo, E., Fernandez, K., Sierra, D., & Viña, A. (2008). Caracterización físico-química del aceite esencial de albahaca. II. *Revista Colombiana de Química*, 33(2), 139-148.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/viewFile/774/1251>.
37. Navas, M. C., & Morales, G. B. (2009). Comparación de dos equipos de extracción por reflujo en la actividad antibacteriana de los extractos acuoso, etanólico y clorofórmico de *Piper nigrum* L. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(3), 705-710.
38. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3358661>
39. Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., Jaramillo-Colorado, B., & Stashenko, E. (2009). Repellent activity of the essential oils from *Lippia origanoides*, *Citrus sinensis* and *Cymbopogon nardus* cultivated in Colombia against *Tribolium castaneum*, Herbst. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 41(3), 244-250.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-08072009000300006.
40. Ordaz, G., D'Armas, H., Yáñez, D., & Moreno, S. (2011). *Helicteres guazumifolia* (Sterculiaceae), *Piper tuberculatum* (Piperaceae),

- Scoparia dulcis* (Arecaceae) y *Solanum subinerme* (Solanaceae), recolectadas en Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 59 (2), 585-595. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442011000200005&script=sci_arttext&tlng=en.
41. Paredes Aguilar, M. D. L. C., Gastélum Franco, M. G., Silva Vázquez, R., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2007). Efecto antimicrobiano del orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer) y de su aceite esencial sobre cinco especies del género *Vibrio*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3). <http://www.redalyc.org/html/610/61003008/>.
42. Pérez, C., & Anesini, C. (1994). Inhibition of *Pseudomona aeruginosa* by argentinian medicinal plants. *Fitoterapia*, 65, 169-72.
43. Pitarokili, D., Couladis, M., Petsikos-Panayotarou, N., & Tzakou, O. (2002). Composition and antifungal activity on soil-borne pathogens of the essential oil of *Salvia sclarea* from Greece. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(23), 6688-6691. <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf020422n>.
44. Ramírez, L. S., Isaza, J. H., Veloza, L. Í., Stashenko, E., & Marín, D. (2009). Actividad antibacteriana de aceites esenciales de *Lippia origanoides* de diferentes orígenes de Colombia. *Ciencia*, 17(4), 313 – 321. <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9960>.
45. Rojas, M. M., Sánchez, Y., Abreu, Y., Espinosa, I., Correa, T. M., & Pino, O. (2012). Caracterización química y actividad antibacteriana de aceites esenciales de *Ocimum basilicum* L. y *Ocimum basilicum* Var. *genovese* L. *Revista de Protección Vegetal*, 27(2), 130-134. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522012000200010&script=sci_arttext&tlng=pt.
46. Ruiqian, L., Qian, Y., Thanaboripat, D., & Thansukon, P. (2004). Biocontrol of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production. *KMITL Science Journal*, 4, 1685-2044. <http://www.thaiscience.info/journals/Article/KLST/10424419.pdf>.
47. Rivas, K., Rivas, C., & Gamboa, L. (2015). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Multiciencias*, 15(3), 281-289.
48. <https://www.redalyc.org/pdf/904/904444727006.pdf>
49. Soliman, K.M., & Badaea, R.I. (2002). Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 1669-1675.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691502001205>.

50. Vásquez-Barrios, M.E., Martínez-Peniche, R., & Fernández-Escartín, E. (2001). Development of toxigenic *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* on kernels of native pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] genotypes under different water activities. *Scientia Horticulturae*, 89, 55-169.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423800002259>.

51. Yazdanpanah, H., Mohammadi, T., Abouhossain, G., & Cheraghali, A. M. (2005). Effect of roasting on degradation of aflatoxins in contaminated pistachio nuts. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 1135-1139.

http://topnutakk.com/uploads/8/9/7/5/89751365/effect_of_roasting_on_degradation_of_aflatoxins_in_contaminated_pistachio_nuts.pdf



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Evaluation Of Machine Learning Classification Methods For Rice Detection Using Earth Observation Data: Case Of Senegal

Fama Mbengue,

Laboratoire de Télédétection Appliquée-LTA, Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar, Sénégal
Département de Physique, Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar, Sénégal

Gayane Faye,

Laboratoire de Télédétection Appliquée-LTA Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar, Sénégal

Kharouna Talla,

Département de Physique, Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar

Mamadou Adama Sarr,

Université Gaston Berger (UGB) de Saint-Louis, Sénégal

André Ferrari,

Université cote d'Azur, OCA, UMR Lagrange, France

Modou Mbaye,

Omar Marigo,

Aissata Thiam,

Laboratoire de Télédétection Appliquée-LTA, Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta DIOP (UCAD) de Dakar, Sénégal

Mamadou Semina Dramé,

Laboratoire de Physique de l'atmosphère et de l'océan-Simeon Fongang, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Senegal

Papa Sagne,

Laboratoire de Biostratigraphie-Sédimentologie, Département de Géologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Laboratoire de Télédétection Appliquée, Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p214](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p214)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Mbengue F., Faye G., Talla K., Adama Sarr M., Ferrari A., Modou M., Marigo O., Aissata T., Semina Dramé M., & Sagne P., (2022). *Evaluation Of Machine Learning Classification Methods For Rice Detection Using Earth Observation Data: Case Of Senegal* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 214 <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p214>

Abstract

Agriculture is considered one of the most vulnerable sectors to climate change. In addition to rainfed agriculture, irrigated crops such as rice have been developed in recent decades along the Senegal River. This new crop requires reliable information and monitoring systems. Remote sensing data have proven to be very useful for mapping and monitoring rice fields. In this study, a rice classification system based on machine learning to recognize and categorize rice is proposed. Physical interpretations of rice with other land cover classes in relation to the spectral signature should identify the optimal periods for mapping rice plots using three machine learning methods including Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Classification and Regression Trees (CART). The database is composed of field data collected by GPS and high spatial resolution (10 to 30 m) satellite data acquired between January and May 2018. The analysis of the spectral signature of different land cover show that the ability to differentiate rice from other classes depends on the level of rice development. The results show the efficiency of the three classification algorithms with overall accuracies and Kappa coefficients for SVM (96.2%, 94.5%), for CART (97.6%, 96.5%) and for RF (98% 97.1%) respectively. Unmixing analysis was made to verify the classification and compare the accuracy of these three algorithms according to their performance.

Keywords: Rice agriculture, Senegal River Delta, Machine Learning, sentinel-2, Google Earth Engine

Introduction

Rice is one of the most important crops in the world, and it is the food staple for nearly 40% of the world's population (Lacharme, 2001). Senegal is one of the largest consumers of rice in West Africa. The average annual rice consumption per person is between 60 and 90 kg (Mendez Del Villar et al., 2011). Rice is grown mainly in the Senegal River valley in the north and in the Anambée basin in the south of the country. According to projections, production in the river valley should cover 57% of the country's needs, given the favorable conditions for double-cropping rice based on the SAED Final Report (2019).

Earth Observation data are increasingly becoming a real source of information for monitoring rice crops (Kuenzer & Knauer, 2013; Le Toan et al., 1997). Indeed, different methods of discrimination analysis related to rice varieties are presented in the scientific literature (Belder et al., 2004; Bouman et al.,

2007; Kshirsagar & Pandey, 1995; Kuenzer & Knauer, 2013; Radanielina et al., 2013; Singh et al., 2000; Tuong et al., 2005; Wassmann et al., 2004).

Research in this area can still be improved. Remote sensing promises scalable, low-cost, and unbiased estimates of rice area to support, augment, improve, or even replace survey and statistical methods (Gumma et al., 2014). However, there are technical challenges to the development of rice information systems at the national scale.

The aim of this study is to evaluate different machine learning methods for optimizing rice crop monitoring in northern Senegal using land observation data.

In Senegal, rice production systems are largely dominated by small-scale family farms. Therefore, there are three main types of rice production in Senegal:

- Traditional or rainfed lowland or upland rice production in the southern regions (Fatick, Ziguinchor, Sédhiou, Kolda, Tambacounda, and Kédougou).
- Irrigated rice cultivation in the Senegal River valley and in the Anambé basin.

Rice is an herbaceous plant with a round stem covered with flat sessile leaves and a terminal panicle. Under favorable and exceptional climatic conditions, the plant can grow for more than one year. The overall growth duration of a rice variety can be divided into 4 components: a basic vegetative phase, a phase of sensitivity to photoperiodism (if the variety is photoperiodic), a phase of sensitivity to temperature, and a reproductive phase from panicle initiation to maturity (Lancashire et al., 1991).

In the transplanted system, the rice plants are grown in a seedbed for about 20 days, with transplanting in a hillside configuration. Before transplanting, the rice field is flooded with water to depths ranging from 2 to 15 cm (Boschetti et al., 2014). This deliberate agronomic flooding is a key component of most remote sensing rice detection algorithms (Veloso et al., 2017). After transplanting, the recommended practice is to maintain the water level at about 3 cm and gradually increase it to 5-10 cm with increasing plant height. For rice established by direct seeding, rice seeds are sown at a higher density per unit area directly into moist soil or soil with a water level of 2-5 cm (Torbick et al., 2017). Due to the higher population density under direct seeding, tillers production is suppressed (Yoshida et al., 1971). The increase in leaf volume in the canopy is mainly due to the appearance and growth of leaves from the main culms. Keeping the water level low for the first 10 days after transplanting or for 21 days of direct seeding is recommended for crop management.

Materials and Methods

Presentation of the Study Area

The Senegal River Delta (**Figure 1**) extends from Dagana to the mouth of the river and covers an area of 394,530 ha. It is characterized by a Sahelian climate dominated by a short rainy season (July to October) and a long dry season (November to June). Rainfall is low and highly variable with annual totals of about 200 mm. (Touré, 2018). The average annual temperature is relatively high, sometimes exceeding 40°C in Podor department (ANDS, 2020).

The Senegal River delta is made up of a mosaic of morphological units ranging from dune formations, inter-dunes, levees, settling basins, mud flats, and littoral units (strips and beaches) (Michel and Sall). The ecosystems of the delta, like all ecosystems, are dependent on rainfall. It is a very dynamic area because many hydro-agricultural developments have been carried out there over the past decades for rice production. The area to be studied covers the rice plots located in the commune of Diama and Ronkhe in the department of Dagana.

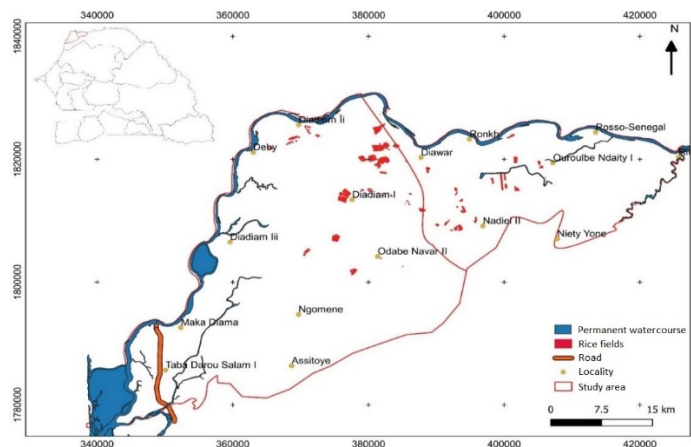


Figure 1. Map of study area

The Data

A total of 38 blocks of rice (one or more sticky fields), sown at different dates (in red in **Figure 1**), were digitized to serve as a training and test base (Table 1). These are field boundaries (or groups of fields) delineated in the field with a GPS (**Figure 2**). The rice field samples were divided into three blocks according to the date of sowing (see **Table 1**). For each land use type as well (Rice, soil bare, water, urban and other vegetation consisting of other crops and natural vegetation), training zones are labeled based on visual interpretation on Google Earth platform images.

Sentinel-2 optical data of level1 C/S2 are used in this study. These data were taken between January 1 and May 31, 2018, for a total of 66 images (Table 2). The access to these data and their pre-processing are made from the Google Earth Engine (GEE) platform. For each decade, a synthesis image (average image) is calculated (see **Table 2**).

Table 1. The Data

Block number	Number of parcels	Sowing dates	Total Parcels	Sown
Block 1	02	2018/02/04	46	
	06	2018/02/10		
	26	2018/02/11		
	01	2018/02/12		
	03	2018/02/13		
Block 2	07	2018/02/14	66	
	11	2018/02/15		
	02	2018/02/17		
	35	2018/02/19		
	08	2018/02/20		
	03	2018/02/21		
Block 3	05	2018/02/22	667	
	02	2018/02/24		
	121	2018/02/25		
	42	2018/02/26		
	03	2018/02/27		
	187	2018/02/28		
	144	2018/03/01		
	61	2018/03/02		
	23	2018/03/03		
56	2018/03/04			
30	2018/03/05			



Figure 2. Rice polygon sample

Table 2. Satellite and field data

Satellite images		66 Images Sentinel-2 Level-1C				
Month	January	February	March	April	May	
Dates of acquisition	//////////	2018/02/02(3)	2018/03/04(3)	2018/04/03 (2)	2018/05/03 (3)	
	2018/01/08(3)	//////////	2018/03/09(3)	2018/04/08 (1)	2018/05/08 (3)	
	//////////	2018/02/12(3)	2018/03/14(3)	2018/04/13 (3)	2018/05/13 (3)	
	2018 /01/18(3)	2018/02/17(2)	2018/03/19(3)	2018/04/18 (2)	2018/05/18 (3)	
	2018/01/23(3)	2018/02/22(3)	//////////	//////////	2018/05/23 (3)	
	2018/01/28(3)	2018/02/27(3)	2018/03/29(2)	//////////	2018/05/28 (3)	
Images divide into decades	j1 :1 st decad	f1: 1 st decad	ms1 :1 st decad	a1: 1 st decad	ma1: 1 st decad	
	j2: 2 nd decad	f2: 2 nd decad	ms2 :2 nd decad	a2: 2 nd decad	ma2: 2 nd decad	
	j3: 3 rd decad	f3: 3 rd decad			ma3: 3 rd decad	

Method

The method is based on the following phases:

1. Compute a number of spectral indices for each pixel (NDVI, NDWI and EVI):

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index (Rouse Jr et al., 1974)) is the most commonly used vegetation index in remote sensing:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

The NDWI (Normalized Difference Water Index (Gao, 1996)) is an index that uses the mid-infrared band instead of red, which varies with the water content of the vegetation:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} = \frac{B8 - B12}{B8 + B12} \quad (2)$$

The Enhanced Vegetation Index (EVI) is designed to minimize saturation and background effects in NDVI (Huete et al., 2002):

$$EVI = 2.5 \times \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)} \right) \quad (3)$$

2. Extract from the Google Earth Engine (GEE) platform the pixel values (for all calculated bands and indices) of the control plots for all images (between January and May) using 20069 training polygons. For each block, the pixel values over the entire period and for all bands and indices are extracted for the spectral analysis.

3. Analyze the spectral profiles of the different classes at different phases of rice cultivation (January to May) to identify the most discriminating bands and the optimal period to better differentiate rice from other classes (bare soil, built-up, other vegetation and water). As a reminder, the spectral signature represents the measurement of energy in relation to the different wavelengths returned by a target.

Each object has its own spectral signature. Thus, this step consists of determining the most suitable period for classification and selection of the images of the most discriminating period but also the most relevant bands and/or indices.

4. Do the unmixing which consists, for each pixel, to estimate the contribution of each of the five classes. This linear spectral mixing model is based on the assumption that each pixel is a mixture of "pure" spectra. The pure spectra, called endmembers, are estimated from the values of the training areas.

5. Use GEE to perform supervised classification using the most relevant data. The first step is to manually create different training data. Using the geometry tools and the Sentinel-2 composite as a background, digitize the training polygons. This known sample set will be partitioned into training and test sets. For this purpose, 2/3 of the samples are used as training base. Finally, evaluate the accuracy of each of the three classifications using 1/3 of the field samples as a validation basis. Indeed, in this study, the field samples are divided into two bases: 70% as training base and 30% as test data (Genuer & Poggi, 2017). This makes it possible to estimate the errors of each model.

Three types of pixel-based classifications are tested in this study:

- Classification And Regression Trees (CART), introduced by Breiman et al. (1984), which builds tree-based predictors for both regression and classification. CART is a machine learning algorithm that can take non-linear patterns in the data. The general principle of CART is to recursively partition the input data X (X : pixel value) in a binary fashion, and then determine an optimal sub-partition for prediction. It uses in situ data to build a descriptive and predictive model of a relationship between a set of predictors and a categorical variable (Steinberg et al., 2012).
- The Random Forest classifier is a collection of random trees whose predictions are used to compute a mean (regression) or vote on a label (classification). The only parameter of the classifier is the number of trees (k). The RF creates different trees using a number of subsets of features. Each tree produces a classification result, and the classification model result depends on the majority of votes (Liu et al., 2012).
- Support vector machines (SVM) were initially proposed by Vapnik (1999) to solve classification and regression analysis

problems (Jha & Raha, 2013). SVM is a supervised learning technique that is trained to classify different categories of data from various disciplines. SVM creates a hyperplane or multiple hyperplanes in a high-dimensional space, and the best hyperplane among them is the one that optimally divides the data into different classes with the largest separation between classes (Schiilkop et al., 1995). The theory and detailed mathematical explanation of SVMs have been demonstrated in many previous studies (Ben-Hur & Weston, 2010; Cortes & Vapnik, 1995; Foody & Mathur, 2004). The basic linear SVM was used. All simulations were performed using the freely available LibSVM package (Chang & Lin, 2011).

This paper proposes a rice classification system based on machine learning to recognize and categorize rice. Physical interpretations of rice with other land cover classes in relation to the spectral signature should identify the optimal periods for mapping rice plots using three learning methods including Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Classification and Regression Trees (CART). The database is composed of field collection and Sentinel-2 multispectral imager (MSI) Level-1C satellite data. Although the classification can correctly detect most rice-growing areas, certain types of vegetation cover can lead to classification errors. Wet or seasonal areas subject to drying followed by sudden vegetation growth can contribute to increased omission errors. The solution is to use multi-temporal optical images acquired at appropriate times, often outside the rice growing season, to exclude some non-rice growing areas. Furthermore, this study examines the suitability of sentinel-2 optical spatial data and the effectiveness of three machine learning methods in predicting the appropriate period for rice field mapping.

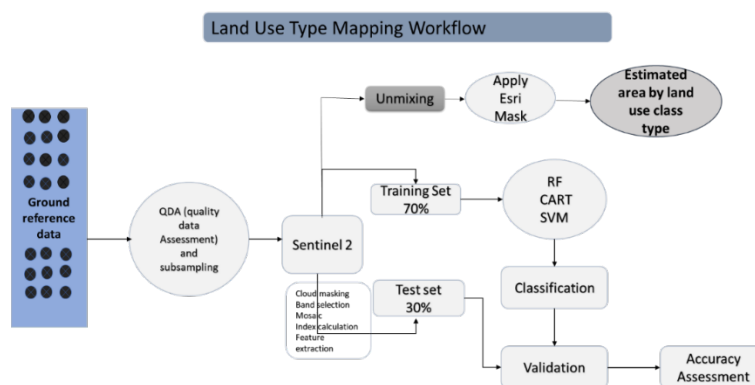


Figure 3. Flow chart of the method

Results and Discussions

Temporal Analysis of the Spectral Signatures of the Different Classes

The curves in **Figure 4** show the distributions of radiometric values for each land cover class for each decade from January to May 2018.

In January (the pre-sowing period), the reflectance of the rice fields merges with that of the urban and natural vegetation except for strips B2 to B5, where the natural vegetation has a lower response than the rice fields. This reflectance corresponds to the period when the fields are plowed and developed, and others are occupied by grasses. From February onwards, there is a decrease in rice reflectance, particularly for strips B7, B8, B8A, B11 and B12, with a wide distribution of values. This may be due to the fact that during this period, some rice fields are sown (early sowing) and not recommended, while others remain uncultivated. The same situation was observed in March and until early April. From the second dekad of April, the distribution of radiometric values of the rice fields remains low compared to the vegetation, with a spectral signature quite identical to that of the other vegetation, but with lower values. This phase is the reproductive phase where the temporal signature of the canopy is similar to that of rice. This shows that the development of rice goes hand in hand with that of the vegetation. However, weed control makes the rice plots more open and therefore less reflective than the other vegetated areas.

This difference in reflectance between rice and vegetation is reduced in the last decade of May, becoming almost zero in early June, corresponding to the maturity of the rice.

These curves show that during the vegetative period of rice, it is possible to discriminate rice with spectral bands B6, B7, B8, B8A, B11, and B12.

Indeed, the reflectance spectrum of the vegetation cover is the result of a complex relationship between its biophysical and biochemical attributes (Yang et al., 2007). As a result, the analysis of the separability of the radiometric values of rice fields with other land cover classes should help identify the optimal periods for mapping rice plots. The structure of a vegetation cover is not related to plant organs, but concerns the plant or stand. It takes into account both canopy structure parameters, such as leaf area index or leaf tilt angle, and the spatial organization of stands, their arrangement, density, as well as the rate of ground cover according to phenological stage. It should be noted that the life span of tropical rice varies from 110 - 120 days to 150 days (Jay & David, 2002; Le Toan et al., 1997; Nguyen, 2016), from germination to maturity in general.

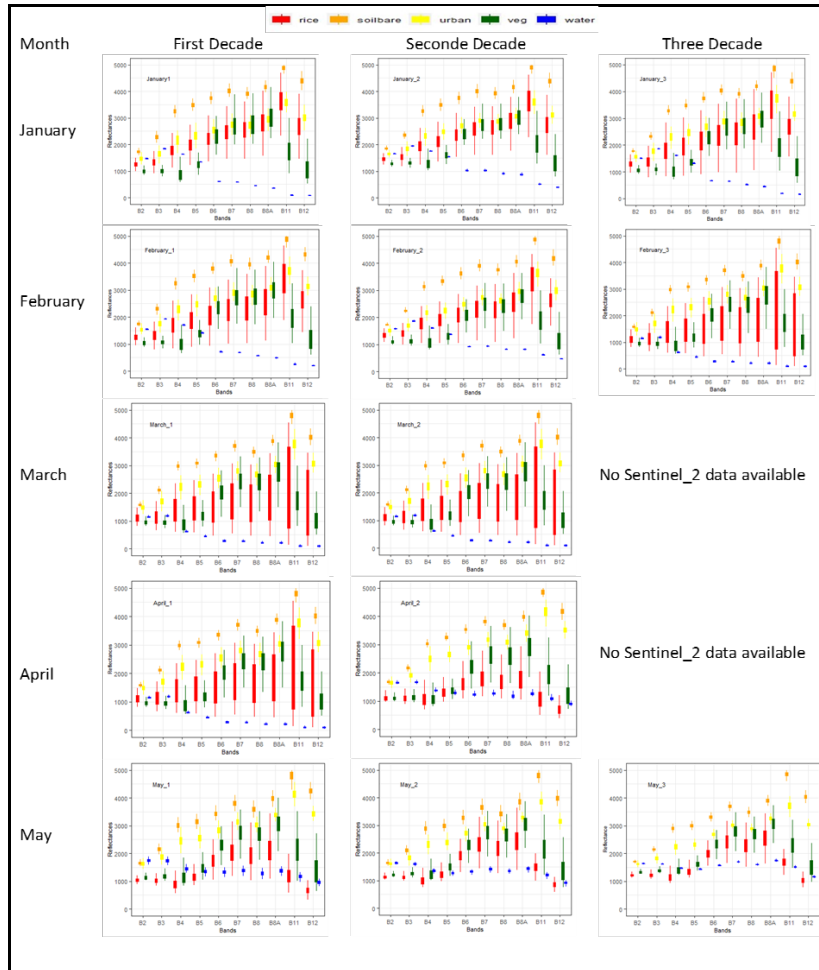


Figure 4. Distributions of radiometric values of each land cover class for each decade from January to May

Class Separability Analysis

The spectral analysis of the different land cover classes is not sufficient as a result to discriminate rice from other land cover classes. This is because rice discrimination appears to be quite difficult. One solution is to analyze the separability index of rice from other classes, given by the following formula:

Separability Index

$$= abs \left(\left((mean_{rice} - mean_{otherclass}) \right) \left(ecartype_{rice} - ecartype_{otherclass} \right) \right) \quad (4)$$

For two classes to be separable, their separability index must be greater than one (01), and the greater the separability index, the more easily the two classes can be separated.

Pre-sowing Analysis

In the pre-sowing period (January), plots planned for rice cultivation are indistinguishable from urban areas and other crops. With the exception of the NDVI and NDWI indices, the separability index between rice plots and other vegetation is greater than two (02). However, these two indices, like the NDVI, mix rice fields with bare soil. It was also noted that for band B4 and the EVI, rice-growing areas are mixed with water. This can be explained by the fact that the rice plots are flooded before the planting period (see **Figure 5**).



Figure 5. Index of separability between rice and other classes before sowing

Analysis During and After Sowing

- **Block 1:** Sowing date from February 2 to 14 (first and second dekad of February). During the sowing period, the observation was the same as before sowing, i.e., only the NDVI and NDWI indices make it possible to discriminate rice fields from other vegetation. However, from the first dekad after sowing (3rd dekad of February), all the separability indices between rice and other land uses are higher than 01 for bands B6, B7, B8, B8A, and NVDI. This situation continues until the third dekad of March. At the beginning of

April, it was observed that almost all the bands and indices discriminate rice from the other classes, except for band B5, which confuses it with water, and NDVI and EVI, which confuse rice with other vegetation. From the month of May, corresponding to the 7th dekad since the start of sowing in this block, the confusion between rice and other vegetation becomes significant and concerns almost all bands and indices except B2, B3, B4, and B5 (see **Figure 6**).

- **Block 2:** Sowing between February 15 and 24 (2nd and 3rd dekad of February). The curves of the first dekad of February, which belongs to the period before sowing, are identical to those of January. From the third dekad of February, corresponding to the end of sowing for this block, it was noted that there was a positive evolution of rice separability with the separability indices of bands B6, B7, B8, B8A, and the NDVI higher than 01. This situation is maintained throughout March and until the first dekad of April, when all the bands from B2 to B8A and the NDVI discriminate well between rice and the other classes, except for water in band B5. Beyond this period, it is no longer possible to separate rice from other vegetation (see **Figure 6**).

- **Block 3:** Sowing between February 25 and March 5 (between the 3rd dekad of February and the 1st dekad of March). The observation before and during sowing remains the same as that observed on the first two blocks. However, unlike the first two blocks, only the first dekad of April here is favorable for differentiating rice from the other classes which are from bands B6, B7, B8, and B8A. Unfortunately, the lack of data during the third dekad of March due to clouds means that it is not possible to analyze the situation in the second dekad after the end of planting for this block.



Figure 6. Separability index between rice and other classes before sowing (gray) during sowing (yellow) and after sowing (blue and green). The blue is the optimal period to discriminate.

It can be concluded that during the pre-sowing period (Figure 4), there is no band or index to discriminate rice-growing areas from other land-use classes. Mapping the area sown before the sowing period is therefore not an easy task using Sentinel-2 data. In summary, however, analysis of Figure 5 shows that the second dekad of April is the best time to map rice plots in this area of the Delta. The images acquired during this dekad will be used for classification according to the three selected classifier models (SVM, RF, CART).

Results of the Classification

The comparison of the three Machine Learning methods shows the result with different accuracies for each land use class (**Table 3**). This phase of validation of the 30% of the tested samples helped to obtain the results of precisions and kappa coefficients of each model.

Table 1. Comparing the accuracies of the three methods

Algorithm	Rice (0)	Soil bare (1)	Water (2)	Other Vegetation
CART	91,33	99,22	99,78	98,04
RF	90,88	99,70	99,78	98,81
SVM	81,25	99,76	1	97,90

For the RF method (Azzari & Lobell, 2017; Huang et al., 2017; Parente et al., 2019; Teluguntla et al., 2018; Zhang et al., 2018), it was noted that there were some confusion between the rice class and other vegetation (9100 square meter of rice is considered vegetation). There are also confusions between rice and other classes such as bare soil (3200 square meter of bare soil are classified as rice). There is also confusion between water and vegetation due to the presence of aquatic vegetation in the area. The results show that the RF algorithm gives an overall accuracy of 98% with a kappa index of 97.1% (**Figure 7**).

With the CART method, as with RF, there is confusion between the different classes with 9500 square meter of rice being confused with vegetation and 2200 square meter with bare soil. The CART algorithm gives an overall accuracy of 97.6% and a kappa index of 96.5% (Figure 7). It should be noted that while CART handles missing values well in prediction, random forests, which are unpruned sets of trees, essentially lose this property (Genuer & Poggi, 2017).

For the SVM method, there was a strong confusion between the rice class and other vegetation with 19400 square meter of rice considered as other vegetation.

SVMs are particularly attractive in the field of remote sensing because of their ability to generalize well even with limited samples, which is common in remote sensing applications. However, they also suffer from parameter

assignment problems that can significantly affect the results obtained. The SVM classifier has an overall accuracy of 96.2% and a kappa index of 94.5% (Figure 7).

The classifiers (CART and RF) correctly predict rice at 91.33% and 90.88% respectively (Table 3). Previous studies have suggested that the number of random drill decision trees is generally proportional to the accuracy of the classifier (Rodriguez-Galiano et al., 2012). Foody and Mathur (2006) proposed to focus on mixed pixel training samples rather than the more tedious conventional pure pixel acquisition assuming an SVM classifier. The results of this study suggest that the Random Forest classifier performs as well as SVMs in terms of classification accuracy and training time.

The performance of Random Forest improves as the number of trees increases. However, the performance improves when NDVI, NDWI, and EVI bands (Ferrant et al., 2017; Kuenzer & Knauer, 2013; Xiao et al., 2006) are added to the selected sentinel-2 bands for both SVM and RF.

Previous classification results indicate that RF is reasonably suitable for classifying such data, as in some cases (Ferrant et al., 2017; Hong Son & Thai-Nghe, 2019), and it performed better than other classifiers because it has less error risk. The highest confusion was noted between rice and other vegetation in all three methods. This is due to the similarity of rice crops to natural vegetation. It is manifested by very similar reflectance values in relation to their shape. Thus, it is difficult to differentiate between vegetation, sugarcane crops and rice in the north, especially at this time of year.

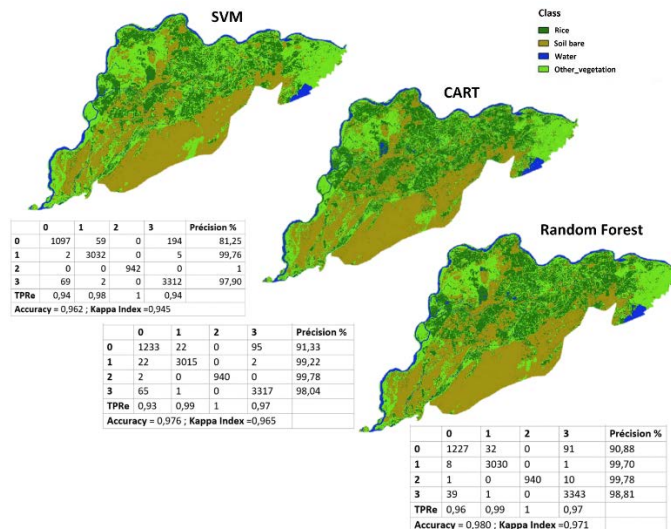


Figure 6. Results classification of the three methods

Analysis of the Classification

To better analyze the results of the classification, the unmixing of the pixels was performed. This method available on the GEE platform consists of calculating the contribution of each class in the value of each pixel (see **Figure 8**).

For the pixels classified as rice, there is a low contribution of bare soil, water, and buildings between 0 and 30% compared to that of vegetation and other crops, which can be as high as 80%. The contribution of rice in the value of pixels classified as other vegetation is quite significant, even exceeding 80%. For pixels with bare soil and water, the contribution of rice is very low, sometimes less than 10%. These results clearly show that the presence of vegetation in the rice fields, on the one hand, and the resemblance between rice and other crops or vegetation at certain periods of the rice crop cycle, on the other hand, have an impact on the quality of the classification. For this reason, deep learning (DeepLearning) could improve the results obtained, although the results obtained remain very satisfactory.

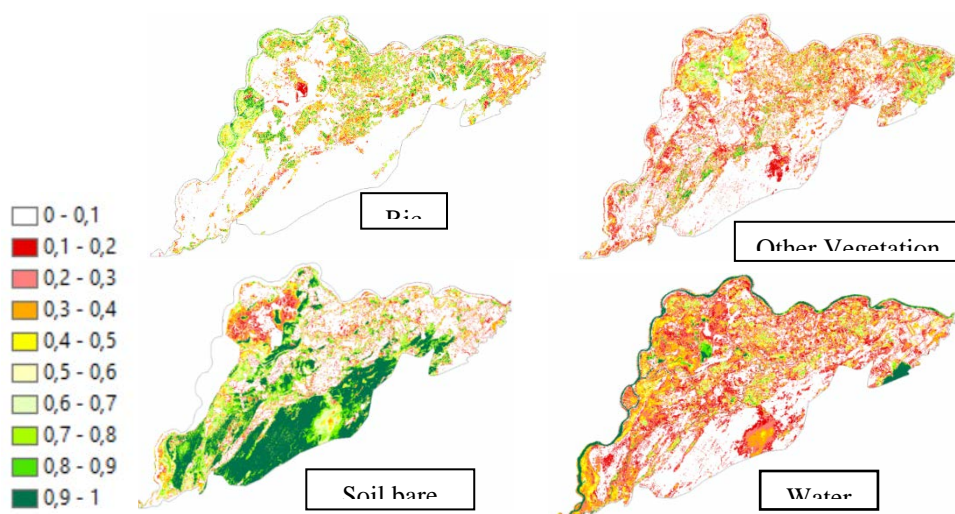


Figure 7. The contribution of each land cover class

Conclusion

The sentinel-2 data performed well with all three algorithms. The CART method gives a good accuracy of rice with a value of 91.33%. This study proposes an approach for rice identification and classification with image processing algorithms and machine learning methods. Adding more classes to recognize and identify rice and comparing these models show that the proposed approach works well for this study. Based on the results of this study, it would be interesting to synergize the sentinel-1 and sentinel-2 data to

improve large-scale rice mapping in the Senegalese context. It should be remembered that the size of rice fields is small compared to the spatial resolution of Sentinel, which may be a limitation to the use of these data. However, a combination of optical-radar and Deep learning methods could help improve current methods of estimating rice area in the Sahelian context.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

References:

1. ANDS (2020). Situation économique et sociale régionale de Saint-Louis 2017-2018, ANDS
2. Azzari, G. & Lobell, D.B. (2017). Landsat-based classification in the cloud: An opportunity for a paradigm shift in land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment* 202, 64–74.
3. Belder, P., Bouman, B.A.M., Cabangon, R., Guoan, L., Quilang, E.J.P., Yuanhua, L., Spiertz, J.H.J., & Tuong, T.P. (2004). Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agricultural water management* 65, 193–210.
4. Ben-Hur, A. & Weston, J. (2010). A user's guide to support vector machines, in: *Data Mining Techniques for the Life Sciences*. Springer, pp. 223–239.
5. Boschetti, M., Nutini, F., Manfron, G., Brivio, P.A., & Nelson, A. (2014). Comparative Analysis of Normalised Difference Spectral Indices Derived from MODIS for Detecting Surface Water in Flooded Rice Cropping Systems. *PLoS ONE* 9, e88741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088741>
6. Bouman, B.A.M., Humphreys, E., Tuong, T.P., & Barker, R. (2007). Rice and water. *Advances in agronomy* 92, 187–237.
7. Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984). *Classification and regression trees*. Belmont, CA: Wadsworth. International Group 432, 151–166.
8. Chang, C.-C. & Lin, C.-J. (2011). LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM transactions on intelligent systems and technology (TIST)* 2, 1–27.
9. Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks *Machine learning* (pp. 237–297), Vol. 20. Boston, MA: Kluwer Academic Publisher.

10. Ferrant, S., Selles, A., Le Page, M., Herrault, P.-A., Pelletier, C., Al-Bitar, A., Mermoz, S., Gascoin, S., Bouvet, A., Saqalli, M., Dewandel, B., Caballero, Y., Ahmed, S., Maréchal, J.-C., & Kerr, Y. (2017). Detection of Irrigated Crops from Sentinel-1 and Sentinel-2 Data to Estimate Seasonal Groundwater Use in South India. *Remote Sensing* 9, 1119. <https://doi.org/10.3390/rs9111119>
11. Foody, G.M. & Mathur, A. (2004). Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification. *Remote Sensing of Environment* 93, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.017>
12. Foody, G.M. & Mathur, A. (2006). The use of small training sets containing mixed pixels for accurate hard image classification: Training on mixed spectral responses for classification by a SVM. *Remote sensing of environment* 103, 179–189.
13. Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
14. Genuer, R. & Poggi, J.-M. (2017). Arbres CART et Forêts aléatoires, Importance et sélection de variables. arXiv:1610.08203 [math, stat].
15. Gumma, M.K., Thenkabail, P.S., Maunahan, A., Islam, S., & Nelson, A. (2014). Mapping seasonal rice cropland extent and area in the high cropping intensity environment of Bangladesh using MODIS 500m data for the year 2010. *ISPRS Journal of Photogrammetry and RemoteSensing* 91,98–113. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.007>
16. Hong Son, N. & Thai-Nghe, N. (2019). Deep Learning for Rice Quality Classification, in: 2019 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP). Presented at the 2019 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP), IEEE, NhaTrang, Vietnam, pp.92–96. <https://doi.org/10.1109/ACOMP.2019.00021>
17. Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., Shinoda, M., Ma, Z., Guo, W., & Li, Z. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics* 55, 719–778.
18. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

19. Jay L. Maclean & David Charles Dawe (2002). Rice Almanac: Source Book for the Most Important Economic Activity on Earth - Google Livres [WWW Document].
20. Jha, J. & Ragha, L. (2013). Intrusion detection system using support vector machine. *International Journal of Applied Information Systems (IJAIS)* 3, 25–30.
21. Kshirsagar, K.G. & Pandey, S. (1995). Diversity of rice cultivars in a rainfed village in the Orissa state of India. Using diversity: enhancing and maintaining resources on-farm. International Development Research Center (IDRC), Regional Office for South Asia, India. p 55–65.
22. Kuenzer, C. & Knauer, K. (2013). Remote sensing of rice crop areas. *International Journal of Remote Sensing* 34, 2101–2139. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.738946>
23. Lacharme, M. (2001). Données morphologiques et cycle de la plante 22
24. Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Boom, T.V.D., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & Witzzenberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann Applied Biology* 119, 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>
25. Le Toan, T., Ribbes, F., Li-Fang Wang, Floury, N., Kung-Hau Ding, Jin Au Kong, Fujita, M., & Kurosu, T. (1997). Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 35, 41–56. <https://doi.org/10.1109/36.551933>
26. Liu, Y., Wang, Y., & Zhang, J. (2012). New machine learning algorithm: Random forest, in: *International Conference on Information Computing and Applications*. Springer, pp. 246–252.
27. Mendez Del Villar, P., Bauer, J.M., Maiga, A., & Ibrahim, L. (2011). Rice crisis, market developments and food security in West Africa. Ministry of Foreign and European Affairs, West Africa, 61.
28. Michel, P. & Sall, M. Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Sénégal 21.
29. Nguyen, X.T. (2016). Modélisation de l'impact des rizières et de l'irrigation sur le régime hydrologique de la rivière Cong au Vietnam. (PhD Thesis). Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
30. Parente, R., Rong, K., Geleilate, J.-M.G., & Misati, E. (2019). Adapting and sustaining operations in weak institutional

- environments: A business ecosystem assessment of a Chinese MNE in Central Africa. *Journal of International Business Studies* 50, 275–291.
31. Radanielina, T., Ramanantsoanirina, A., Raboin, L.-M., & Ahmadi, N. (2013). Determinants of rice varietal diversity in the region of Vakinankaratra (Madagascar). *Cahiers Agricultures* 22, 442–449. <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0648>
 32. Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J.P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>
 33. Rouse Jr, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: Volume 1; Technical presentations, section B, SC Freden, EP Mercanti, and MA Becker, Eds., NASA Special Publ. NASA-SP-351-VOL-1-SECT-B, A 20, 309–317.
 34. Schiilkop, P.B., Burgest, C., & Vapnik, V. (1995). Extracting support data for a given task, in: *Proceedings, First International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*. AAAI Press, Menlo Park, CA. pp. 252–257.
 35. Singh, V.P., Tuong, T.P., & Kam, S.P. (2000). Characterising rainfed rice environments: an overview of the biophysical aspects. *Characterising and understanding rainfed environments*. Los Baños, Philippines, IRRI 3–32.
 36. Steinberg, D., Golovnya, M., & Polosukhin, I. (2012). Text Mining Using STM™, CART®, and TreeNet® from Salford Systems: Analysis of 16,000 iPod Auctions on eBay, in: *Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-Structured Text Data Applications*. Academic Press, pp. 413–416.
 37. Teluguntla, P., Thenkabail, P.S., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M.K., Congalton, R.G., Yadav, K., & Huete, A. (2018). A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 144, 325–340.
 38. Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., & Qi, J. (2017). Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing* 9, 119. <https://doi.org/10.3390/rs9020119>

39. Touré, M.A. (2018). "Climate variability and ecosystem dynamics in the Senegal River Delta from the 1950 to the 2010."
40. Tuong, T.P., BAM, B., & Mortimer, M. (2005). More Rice, Less Water—Integrated Approaches for Increasing Water Productivity in Irrigated Rice-Based Systems in Asia—. *Plant Production Science* 8, 231–241.
41. Vapnik, V.N. (1999). An overview of statistical learning theory. *IEEE transactions on neural networks* 10, 988–999.
42. Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., Le Toan, T., Planells, M., Dejoux, J.-F., & Ceschia, E. (2017). Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment* 199, 415–426. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.015>
43. Wassmann, R., Hien, N.X., Hoanh, C.T., & Tuong, T.P. (2004). Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climatic change* 66, 89–107.
44. Xiao, X., Boles, S., Frohling, S., Li, C., Babu, J.Y., Salas, W., & Moore, B. (2006). Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment* 100, 95–113. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.004>
45. Yang, C.-M., Cheng, C.-H., & Chen, R.K. (2007). Changes in spectral characteristics of rice canopy infested with brown planthopper and leafhopper. *Crop science* 47, 329–335.
46. Yoshida, S., Forno, D.A., Cock, J.H. (1971). Laboratory manual for physiological studies of rice. *Laboratory manual for physiological studies of rice*.
47. Zhang, H., Li, Y., Zhu, J.-K. (2018). Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. *Nature plants* 4, 989–996.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Comparison of Physical Properties between Grey and Dyed Knitted Fabric

Nusrath Jahan Khanam

Sushama Saha Swati

Mayesha Maliha

Nadvi Mamun Pritha

Department of Textile Engineering, Primeasia University, Bangladesh

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n17p235](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p235)

Submitted: 24 November 2021

Accepted: 09 February 2022

Published: 31 May 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Nusrath Jahan K., Sushama S., Mayesha M., & Nadvi Mamun P., (2022). *Comparison of Physical Properties between Grey and Dyed Knitted Fabric* European Scientific Journal, ESJ, 18 (17), 235. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p235>

Abstract

This paper focuses on the changes in the fabric's physical properties like GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension in both grey and dyed stage. Moreover, this investigation also shows the relationship between bursting strength, pilling, extension, and residual extension with GSM. Furthermore, from grey to dyed stage, a visible change in GSM occurred and the influence of GSM in different physical properties also appeared significantly. A strong relationship of bursting strength, extension, and residual extension with GSM change of 100% cotton single jersey fabric was found, but pilling shows very negligible change in relation to GSM. Physically, after dyeing, changes were visible in case of GSM and pilling. With the change of fabric condition, i.e., grey and dyed stage fabric, the physical properties shows significant changes in terms of characteristics. In comparison to different physical properties of fabric in grey and dyed stage, the analysis has shown that the value of GSM was increased gradually after dyeing. Bursting strength, extension, and residual extension was decreased from grey to dyed stage. Overall pilling rate was observed and it was found to improve after dyeing.

Keywords: GSM (Gram per square meter), Bursting Strength, Pilling, Extension, Residual

Introduction

Knit fabric plays an important role in textile industry. In knit fabric, there are so many parameters involved which highly influence the fabric end use behavior. Among them GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension are few of the most important fundamental physical parameters. With the variation in fabric GSM and the condition of testing (i.e., grey stage and dyed stage), fabric properties like bursting strength, pilling, extension, and residual extension shows phenomenal change. The goal of this paper is to portrait the change in different physical properties like GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension in grey and dyed stage as well as built a relationship of GSM with other physical properties. GSM is an important parameter of knit fabric which means gram per square meter, and it is used to determine whether the fabric is heavier or lighter in weight (Faridul Hasan, 2015). GSM has severe impact on different physical properties of knit fabric. Bursting strength, which is a mechanical property of knitted fabric, is determined by the application of multi-directional force to find out the ultimate performance. Due to the diverse structural features of knit fabric, tensile and tear strength is not appropriate to perform but bursting strength can give a definite result of strength (Hafsa Jamshaid, 2012). Bursting strength of knit fabric significantly varies while passing through the process of grey stage to finished stage (Tufail Hassan, 2020). Bursting strength has greater influence on all other performances and it is essential to consider the strength of fabric before selecting it for appropriate end use (Mohammad Mobarak Hossain, 2018). Pilling occurs as a consequence of mechanical action during washing or wear. Due to rubbing or friction (i.e., different mechanical action), loose fibers that protrude from the fabric surface entangle and form pills (Mahbubul Haque, 2017). From the analysis of influence of fabric structure to pilling of knitted fabric, it was demarcated that single jersey knitted fabrics are more prone to pilling compared to other structures (Gykytė, 2002; Mikučionienė, 2009; Candan, 2002; Abramavičiūtė, 2011; Emirhanova, 2008). Extension is one of the most important functional properties of apparel clothing. However, knitted fabric with elastane can have greater extension and be recovered to its original shape when relaxed, but knitted fabric has always shows elastic properties even without elastane (Selin Hanife Eryuruk, 2016). Elastic recovery is the term used when the fabric can be recovered to its original state after the removal of applied load. Fabric with less elastic recovery shows more residual extension after the removal of the applied load. In addition, the fabric is not able to turn back to its original shape completely due to the occurrence of residual extension. Residual extension of knit fabric

depends on the yarn composition and structure, the knitted fabric structure and properties, the tension, the atmosphere, etc.

Methods

Sample Specification

For this work, grey and pretreated dyed single jersey and 100% cotton knit fabric was used primarily. The study was carried out mainly to determine the physical properties like GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension of 100% cotton single jersey grey and pretreated dyed fabric with different types of machines. Grey fabric of GSM (Gram per square meter) 140, 160, and 180 was taken to determine the physical properties of which GSM changed respectively after dyeing.

Chemical Specification

Dyeing process was done for producing a combine shade of black color with reactive dyes named Yellow 3RX, Red 3BX, and Black B. Auxiliaries and others chemicals required for dyeing like glauber's salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), Soda Ash (Na_2CO_3), caustic soda (NaOH), sequestering agent Complexant P-H/C, and Dynotex MH1D wetting agent were collected from Huntsman (America).

Machine Specification

For dyeing of fabric sample, dyeing machine which was utilized originated in Germany. Grey and pretreated dyed fabrics GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension were carried out by GSM cutter, Tru Burst3, Nu-Martindale, and Titan2 machines correspondingly. Machines used for physical testing was manufactured by James Heal which originated in UK.

Dyeing Process

Dyeing of pretreated fabrics of GSM 140, 160, and 180 was carried out for 4.5% shade with reactive dyes. The dyeing process with three reactive dyes was done in sample dyeing machine. Recipe which was used in dyeing are stipulated in Table 1.

Table 1. Dyeing Recipe with Reactive Dyes

Dye Concentration (%)	4.5
Fabric weight (gram)	10
Glauber salt (gram/litre)	85
Soda ash (gram/litre)	20
*Sequestering agent (cc/litre)	1
**Wetting agent (cc/litre)	1
Dyeing temperature (°C)	60
Dyeing time (min)	60
Liquor ratio	1:10

*Complexant P-H/C,** Dynotex MH₁D

After Treatment of Dyed Fabric and Sample Collection Process

The dyeing process of cotton sample was carried out at 60⁰C for 60 minutes with reactive dyes. Colored cotton samples were neutralized by acid wash later in where 1 ml/litre of acetic acid was used at room temperature and continued for 10 minutes. After that, hot wash was given on the neutralized samples with 1 gram/litre of soaping agent at 70⁰C temperature for 15 minutes. Sequentially, fixation process was carried out at 40⁰C for 10 minutes exactly with 1 gram/litre of cationic dye fixing agent in which pH is kept between 5.0 and 6.0 with the addition of 0.5 g/l of acetic acid. Finally, samples were dried at 105⁰C temperature for 10 minutes with the help of a sample dryer. Sample was collected in two stages i.e., in grey stage and dyed stage for the purpose of GSM, bursting strength, pilling, extension, and residual extension test.

Methods of Assessment

Assessment of GSM

ISO 3801-1977 (E) test method was selected for the assessment of GSM. GSM of fabric was measured with the help of GSM cutter. The specimen was cut with the help of GSM cutter and weighted, and the mass per unit area was calculated. The GSM was measured and stipulated in Table 2.

Assessment of Bursting Strength of Fabric

ISO:13938-2:1999 test method was selected for the assessment of bursting strength of knit fabric in both grey and dyed condition. According to this method, test specimen clamped over an expansive diaphragm by means of a circular clamping ring. Increasing compressed air pressure is applied to the underside of the diaphragm, thereby causing distension of the diaphragm and the fabric. The pressure is increased smoothly until the test specimen bursts.

The bursting strength were determined and stipulated in Table 2.

Assessment of Pilling of Fabric

ISO:12945-2 test method was used for the assessment of pilling of knit fabric in both grey and dyed stages. By following this method, a circular test specimen is passed over a friction surface comprising the same fabric at a defined force in the form of Lissajous figure, with the test specimen able to rotate easily around an axis through its center, which is perpendicular to the plane of the test specimen.

Pilling was assessed visually after different stages of rub test and grading as noted in Table 2.

Assessment of Extension and Residual Extension

BS EN 14704-1:2005 test method was used for the assessment of extension and residual extension of fabric in both grey and dyed stages. A fabric test specimen of specified dimensions is extended at a constant rate to either a specified force or elongation for an agreed number of cycles, and its elasticity is determined by measuring certain characteristics. The value of extension and residual extension was calculated and recorded in Table 2.

Results and Discussion

Bursting strength, pilling, extension, and residual extension at different GSM of 100% cotton single jersey grey and dyed fabric was measured with different types of testing machines and the results are provided as follows in Table 2.

Table 2. Ratings of Bursting Strength, Pilling, Extension and Residual Extension at Different GSM of 100% Cotton Single Jersey Grey and Dyed Fabric

S a m p l e N o.	GSM		Bursting Strength (KPa)		Pilling (Grade)								Extension% (Lengthwise)		Extension% (Widthwise)		Residual extension% (Lengthwise)		Residual extension% (Widthwise)	
					500 rev.		1000 rev.		1500 rev.		2000 rev.		Grey	Dye d	Grey	Dye d	Grey	Dye d	Grey	Dye d
	Gr ey	Dy ed	Gr ey	Dy ed	Gr ey	Dy ed	Gr ey	Dy ed	Gr ey	Dy ed										
01	140	157	238.9	170.3	3-4	4-5	3-4	4	3	4	3	4	60.91	31.13	70.19	60.49	11.62	5.75	15.83	14.25
02	160	178	256.0	183.9	3-4	4-5	3-4	4-5	3-4	4	3	4	64.87	34.31	71.09	61.15	13.33	6.25	17.50	17.08
03	180	202	299.1	209.3	4-5	4-5	4	4-5	3-4	4-5	3-4	4	71.41	40.42	76.25	71.08	14.50	7.96	18.00	19.75

Assessments of GSM of grey and dyed fabric

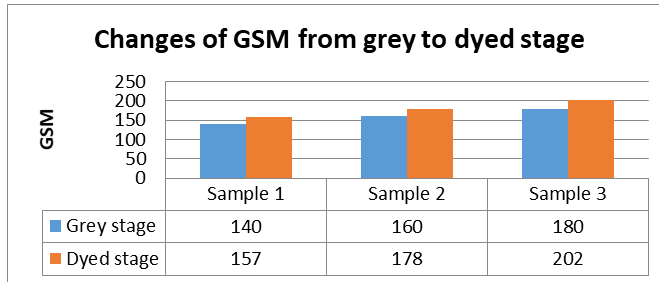


Figure 1. Changes of GSM from Grey to Dyed Stage

Figure 1 represents values of GSM of grey and dyed fabric. After dyeing, the GSM of dyed fabric increased due to application of dyes, chemicals, and auxiliaries. The GSM of knit fabric increases gradually after dyeing (Faridul Hasan, 2015). Due to chemical treatment as the indirect yarn count value (Ne) of fabric decrease and the yarn become coarser, so also the GSM increases. Moreover, during dyeing, as stitch length of fabric decrease and the stitch density increase, so the GSM also increase (Mohammad Hosain Reza, 2015). In grey stage, the fabric GSM was found in the range from 140 to 180, and after dyeing, the GSM value increase in the range from 157 to 202.

Assessments of Bursting Strength of Grey and Dyed Fabric

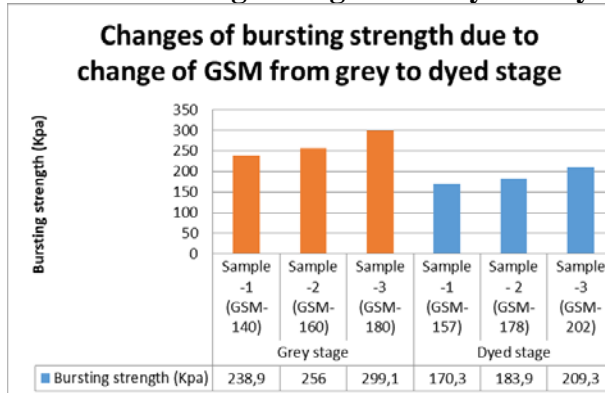


Figure 2. Changes of Bursting Strength due to Change of GSM from Grey to Dyed Stage

Figure 2 represents values of bursting strength of grey and dyed fabric. In case the grey fabric strength was increased, the GSM increased respectively. After dyeing as the GSM increases, the bursting strength of knit fabric increased gradually. However, the overall range of bursting strength was decreased after dyeing. After dyeing, the GSM increases due to application of dyes, chemicals, and auxiliaries, but the actual structure of fabric is hampered and losses its strength. In the stage after dyeing, strength of dyed fabric decreases but in response to the GSM, the

strength also increases respectively. At grey and dyed stages, the total experimental data of bursting strength was found in the range from 170.3 KPa to 299.1 KPa. For grey stage and dyed stage respectively, maximum fabric strength was recorded to be 299.1 KPa at GSM 180 and 209.3 KPa at 202 GSM. Minimum values of fabric bursting strength was stipulated to be 238.9 KPa at GSM 140 and 170.3 KPa at GSM 157 respectively for grey and dyed fabric. By analyzing the data of bursting strength, it was observed that the maximum value was 299.1 KPa at GSM 202 of grey fabric and the minimum value was 170.3 KPa at GSM 157 of dyed fabric.

Assessments of Pilling of Grey and Dyed Fabric

Grading of pilling of grey and dyed fabric was shown in Table 2. In grey fabric and dyed fabric, the range of grade found is almost the same for all GSM fabric both after grey and dyed stage. Pilling rate was decreased in dyed fabric compared to grey fabric. Before dyeing due to the presence of short fiber, surface pilling grade were found in the range from 3 to 4 which indicates light to medium pilling for number of revolutions of 500,1000,1500, and 2000. After dyeing, due to biopolishing, the pilling grade improve to 4, 4-5 which indicates light pilling for all number of revolutions. With the increase in the number of revolution as the friction between fabric surface and the base fabric increases, it enhances the chance of entanglement of the loose fibers that protrude from the fabric surface. As the number of revolution increase from 500 to 2000, the rate of pilling also increases.

Assessments of Extension and Residual Extension of Grey and Dyed Fabric

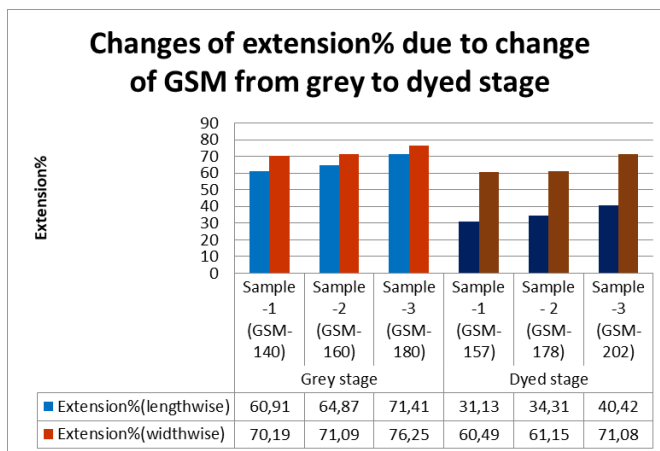
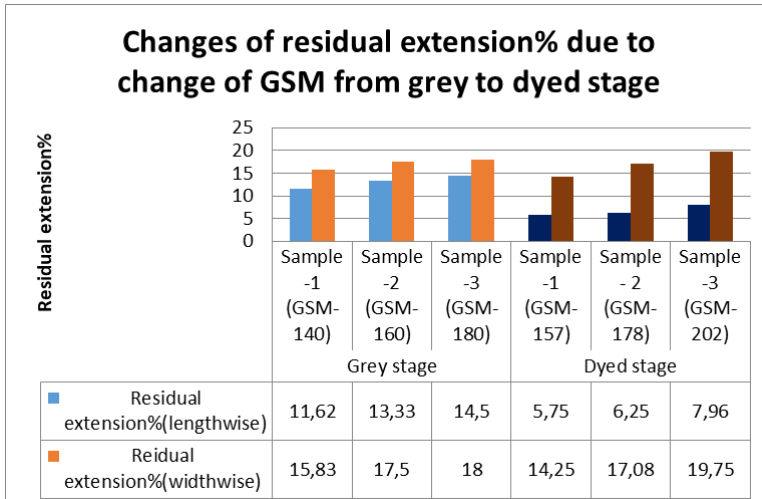


Figure 3. Changes of Extension% due to Change of GSM from Grey to Dyed Stage
 **grey and dyed stage of sample indicated respectively by light and dark tone of same color in the figure.



***grey and dyed stage of sample indicated respectively by light and dark tone of same color in the figure.*

Figure 4. Changes of Residual Extension% due to Change of GSM from Grey to Dyed Stage

Figure 3 and 4 represents respectively the values of extension and residual extension of grey and dyed fabric. In case of grey fabric, as the GSM increases, the extension and residual extension percentage increases also for both length and widthwise direction. After dyeing, with the increase of GSM, both the extension and residual in length and widthwise direction of knit fabric increased. After dyeing, as the GSM increases due to application of dyes, chemicals and auxiliaries, the crystalline region of the dyed fabric increase and porosity decrease. As the porosity decrease, the extension and residual extension of dyed fabric also decrease both for length and widthwise direction. At grey and dyed stages, the total experimental data lengthwise extension was found in the range from 31.13% to 71.41%, and widthwise extension was found in the range from 60.49 % to 76.25%. For grey stage and dyed stage respectively, maximum lengthwise fabric was recorded at 71.41% at GSM 180 and 40.42% at GSM 202 . For grey stage and dyed stage respectively, maximum widthwise fabric was recorded at 76.25% at GSM 180 and 71.08% at GSM 202. Minimum values of lengthwise fabric extension was stipulated at 60.91% at GSM 140 and 31.13% at GSM 157 respectively for grey and dyed fabric. Minimum values of widthwise fabric extension was stipulated at 70.19% at GSM 140 and 60.49% at GSM 157 respectively for grey and dyed fabric.

At grey and dyed stages, the total experimental data lengthwise residual extension was found in the range from 5.75% to 14.50% and widthwise extension was found in the range from 14.25 % to 18.00%. For grey

stage and dyed stage respectively, maximum lengthwise fabric was recorded at 14.50% at GSM 180 and 7.96% at GSM 202. Minimum values of lengthwise fabric extension was stipulated at 11.62% at GSM 140 and 5.75% at GSM 157 respectively for grey and dyed fabric. For grey stage and dyed stage respectively, maximum widthwise fabric was recorded at 18.00% at GSM 180 and 19.75% at GSM 202. Minimum values of widthwise fabric extension was stipulated at 15.83% at GSM 140 and 14.25% at GSM 157 respectively for grey and dyed fabric.

In grey stage, the extension and residual extension of GSM 140, 160, and 180 increases respectively. Consequently, the range of extension and residual extension decrease significantly after dyeing. However, after dyeing, the value of extension and residual extension of GSM 157, 178, and 202 increase gradually.

Conclusion

In this paper, some fundamental physical properties of knit fabric were examined to analyze the variation found in grey and dyed stage and for variation found in fabric GSM. Thus, such, tremendous changes in other properties was also observed. Normally, GSM of knitted fabric was significantly changed after dyeing due to exhaustion of dyes, chemicals, and auxiliaries. Bursting strength of single jersey knitted fabric decreased after dyeing the morphological structure of fabric changes, and as a result it losses strength. In addition, with the higher value of GSM, bursting strength of fabric increase for both grey and dyed condition. Single Jersey knitted fabric has no significant influence on pilling for change in GSM. However, after dyeing, the pilling property of fabric has improved as biopolishing has reduced the protruded fiber from the fabric surface. Extension percentage of single jersey knit fabric is more in widthwise direction compared to lengthwise direction, and with the increase of GSM, extension percentage increases both in length and widthwise direction. Although after dyeing extension occurred, the value of fabric extension has decreased phenomenally in both directions. After dyeing due to application of dyes, chemicals and auxiliaries, the crystalline region of the dyed fabric increase and porosity decrease. The extension and residual extension of dyed fabric also decrease both for length and widthwise direction as the porosity decrease. Residual extension has shown similar characteristics as fabric extension where widthwise residual extension was more compared to lengthwise direction, and with the increase of GSM, residual extension percentage increases both in length and widthwise direction. Additionally, after dyeing, the value of fabric residual extension decreased compared to grey fabric residual extension.

References:

1. Abramavičiūtė, J. M. D. (2011). Structure properties of knits from natural yarns and their combination with elastane and polyamide threads. *Materials Science*, 17 (1), 43 – 46.
2. Candan, C. Ö. L. (2002). Dimensional, pilling, and abrasion properties of weft knits made from open-end and ring spun yarns. *Textile Research Journal*, 72 (2), 164 – 169.
3. Emirhanova, N. K. Y. (2008). Effects of knit structure on the dimensional and physical properties of winter outerwear knitted fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 16 (2), 69 – 74.
4. Gykytė, I. S. E. (2002). Pilling of knitted materials. *Materials Science*, 8 (3), 316 – 319.
5. Hafsa Jamshaid, T. H. (2012). Comparison of regression and adaptive neuro-fuzzy models for predicting the bursting strength of plain knitted fabrics. *Fibers and Polymers* 2013, 14(7), 1203-1207.
6. Faridul Hasan, K. M. (2015). Study on the Changes of GSM (gm/m^2) of grey knitted fabric from pretreatment to finishing. *International Journal of Textile Science* 2015, 4(6), 119-136.
7. Mikučionienė, D. (2009). The influence of structure parameters of weft knitted fabrics on propensity to pilling. *Materials Science*, 15 (4), 335 – 338.
8. Mohammad Hosain Reza, K.C. Z. (2015). A study on changes of dimensional properties of grey knit fabric due to wet process. *European Scientific Journal*, 11(15), 163-170.
9. Mohammad Mobarak Hossain, F. H. (2018). Factors of weft knitted fabrics related to the bursting strength. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 9(4), 138-142.
10. Prof. Dr. Md. Mahbubul Haque, E.K.M.E. (2017). Pilling propensity of various types of knit fabrics. *Journal of Textile Engineering (Dhaka)*, 2017, 5-17.
11. Rassel, M. A. (2019). Effect of fabric structure and design on knitted fabric width, weight and its strength. *Journal of ELT and Education*, 2(3 & 4), 25-30.
12. Selin Hanife Eryuruk, F. K. (2016). Analysis of the performance properties of knitted fabrics containing elastane. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28(4), 463-479.
13. Tufail Hassan, M.Q.K. (2020). The assessment of finishing properties on the mass per unit area, pilling, bursting strength, and wicking behavior of polyester weft-knitted jersey fabric. *Coatings* 2020, 10(8),1-12.