

European Scientific Journal, *ESJ*

August 2024

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

August 2024 edition vol. 20, No. 24

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vuadinovic,
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 Voussinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Farank 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 Lorinczi,
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 Olavegogeascoecchea,
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 Gentzoglannis,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

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

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 Rioha, 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 Raudjärv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajic,
University of Split, Croatia

Monica Monea,
University of Medicine and Pharmacy of Tîrgu Mureş, Romania

Belen Martinez-Ferrer,
Universitat Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borras Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Universita Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

Arianna Di Vittorio,
University of Bari “Aldo Moro”, Italy

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradjji,
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,
Universitey Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Université d'Abomey-Calavi, Benin

Khadija Kaid Rassou,
Centre Regional des Métiers de l'Education 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,
Péléforo 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 Bambe, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islamabad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Centro de Estudios Universitarios Madrid, Spain

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tilio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

Yasangi Anuradha Iddagoda,
Charted 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 Kłosiński,
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

Stamatis Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopotkskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morroco

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,
Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Atanga Essama Michel Barnabé,
Université de Bertoua, Cameroun

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,

Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdemalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Beloke,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
“Barleti” University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morroco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,
Mount Kenya University, Kenya

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

Foldi Kata,
University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,
University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,
University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzzlez,
University of Holguin, Cuba

Table of Contents:

| | |
|--|-----------|
| Impact of Nurse Residency Programs on Retention and Job Satisfaction: An Integrative Review..... | 1 |
| <i>Heather M. McGregor</i> | |
| <i>Morgan Scott</i> | |
| <i>Robyn Gorham</i> | |
| <i>Elena Hunt</i> | |
| | |
| Beneficios de una intervención nutricional en indicadores antropométricos y glucosa de pacientes con diabetes tipo 2 en un área urbana del sureste de México..... | 17 |
| <i>Lourdes Alejandra Cachón Segura</i> | |
| <i>Fabiola Pinzón Moguel</i> | |
| <i>Hugo Alejandro Panting Villalobos</i> | |
| <i>Edgar Fernando Peña Torres</i> | |
| <i>Marisol Campos Rivera</i> | |
| | |
| Empowering Diversity in Education: A Web-Based Tool for Real-Time Sign Language Detection..... | 29 |
| <i>Shefqet Meda</i> | |
| <i>Oresti Oresti Leka</i> | |
| <i>Hiqmet Kamberaj</i> | |

A Socio-Cultural Analysis of Users' Intentions to Use Facemask in the Post Covid-19 Era in Nigeria.....53

Mojisola Bolarinwa

Paul Adeosun

Incorporation of a Non-Conventional Liana (*Tetracapidium conophorum*) Seed Oil Cake in Diets of Congolese Indigenous Batéké Chicks Raised Without Outdoor Access.....67

P. P. Adzona

P. Mopoundza

A. Ngouama Dandou

J. B. Bati

M. V. Ntsoumou

H. J. Saya Ngouonomba

B. T. Bitsili

P. Akouango

H. Banga-Mboko

Effets insecticides des extraits aqueux de trois plantes (*Ocimum gratissimum*, *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*) sur les termites prédateurs du manioc (*Manihot esculenta Crantz 1766*) dans la région d'Agboville (Côte d'Ivoire).....80

Oro Anne-Nathalie Nando

Yao Kan Séraphin Diby

Ténon Coulibaly

Akpa Alexandre Moise Akpesse

Kouassi Philippe Kouassi

Etude hydrologique et hydraulique du bassin versant d'assainissement urbain du quartier Adidoadin de la commune Golfe 5 à Lomé (Togo): Proposition pour une gestion pérenne des eaux pluviales.....97

Komlan Fambi

Massabalo Ayah

Yawovi Mawuénya Xolali Dany Ayité

Moctar Limam Bawa

Détection des Signatures Moléculaires de Mycobacterium Ulcerans chez les Hétéroptères Aquatiques prélevés dans les Rizières Urbaines en Côte d'Ivoire.....118

K.L. Konan

N.D. Coulibaly

K.B. Allali

M.H. Akaffou

C.A. Kouamé-Diaha

Z.I. Coulibaly

J.M.C. Doannio

K.E. N'goran

M. Dosso

Caractérisation agronomique de six (6) morphotypes de voandzou (*Vigna subterranea L. verdc*) cultivés au Niger.....140

Haoua Bori

Abdel Kader Naino Jika

Rahila Maazou

Hamissou Amadou Mounkaila

Mahaman Rabiou Hachimou Sabo

Iro Dan Guimbo

Adam Toudou

The Yaya Reserve: From the Evolution of its Plant Cover to Proposals for Sustainable Management.....152

Bi Gala Jean-Marc Zaouri

Marc Olivier Eblin

Cataud Marius Guede

Bob Kouakou Kouadio

Tumeurs primitives de la fosse ischiorectale : Diagnostic et traitement à propos de 07 observations à Abidjan.....174

K.I.P. Konan

N.A. Anoh

A.Y. Ehui

B.A. Oddo

L. Touré

N.L. Kouadio

D. Vamoussa

S. Adama

K.G. Kouadio

Effect of *Pinus halepensis* Mill. Reforestation on the Above-Ground Biomass and Internode Elongation and Leaf Size of Native Species in Morocco.....192

Khalid Benarchid

Mohammed Khatori

Said Hilali

Diversité et cartographie des ligneux le long des grandes artères de la ville de Brazzaville : cas des arrondissements 1 Makélékélé, 2 Baongo et 4 Moungali, République du Congo.....209

Saint Fédrice Ndzai

Destin Chelvin Vindou Siassia

Duvaress Alverick Jeansy Kimbembe

Gerleo Lassy Moundaga

Guy Foly Mpela

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo

Ravhy Laurent Ondon

Chauvelin Douh

Pierre Mbete

Félix Koubouana

Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks in the Mono River basin (Benin, West Africa).....228

Iboukoun Eliezer Biao

Ezechiel Obada

Djibril Aliou Moussa

Armand Segbede

Adechina Eric Alamou

Impact of Nurse Residency Programs on Retention and Job Satisfaction: An Integrative Review

Heather M. McGregor, RN BScN, MScN

Morgan Scott, RN, BScN, MScN, CNN (c)

Robyn Gorham, RNEC, NP-PHC, MN, EdD, Associate Professor

Elena Hunt, PhD, Professor Emeritus

Laurentian University, Canada

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p1)

Submitted: 10 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 07 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

McGregor H.M., Scott M., Gorham R. & Hunt E. (2024). *Impact of Nurse Residency Programs on Retention and Job Satisfaction: An Integrative Review*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p1>

Abstract

Objects: Retention of new nurses is vital within the context of the nursing shortage Canada is currently facing. Nurse residency programs (NRP) need to be explored to better understand their role in combating the nursing shortage. The aim of this study is to explore current nurse residency programs and their impacts on retention and job satisfaction with the aim to inform development of similar programs in Canada. **Methods:** The study utilized Whittemore and Knafl's integrative review methodology to review current literature on nurse residency programs in The United States of America with focuses on retention rates, job satisfaction and intent to leave. Overall, this article drew on seven distinct research studies. **Findings:** The literature review found that Nurse Residency Programs (NRP) can improve retention rates however, this may be due to contracts signed upon beginning of NRP. Job satisfaction for newly licensed registered nurses (NLRNs) participating in NRP also showed improvements but their impact on reducing turnover intention is unclear and needs further study. **Conclusion:** The impact of nurse residency programs on retention and job satisfaction has some positive effects, but the strength of this relationship remains unclear and would benefit from further research.

Keywords: Nurse, New graduate, Nurse residency programs, retention, job satisfaction

Introduction

This paper provides an up-to-date integrative literature review on the impact of Nurse Residency Programs (NRP) on newly licensed registered nurses (NLRN) retention rates. It draws themes from recent literature reviews and provides recommendations regarding how these themes may be valuable when applied to the Canadian hospital healthcare system; within the context of the recent announcement of a first of its kind NRP by the Canadian Association of Schools of Nursing (CASN).

Background & Context

The Canadian healthcare system is facing significant challenges and the profession of nursing has been under extreme strain. Currently, in Canada, there is a critical shortage of nurses, due in part to the retirement of late-career nurses, with one in ten nurses over the age of 55 (Canadian Institute of Health Information, 2020). The COVID-19 pandemic has played a significant role in contributing to the Canadian nursing shortage. Due to the COVID-19 pandemic, 92 percent of nurses reported feeling more stressed at work, and 83 percent of nurses reported increased workloads (Statistics Canada, 2022). These impacts on nurses have resulted in a significant nursing shortage with a reportedly 115 percent increase in nursing vacancies over a two-year period (Statistics Canada, 2022). At the end of 2021, one in four Canadian nurses reported that they planned to leave or change jobs within the next three years, with job stress or burnout being the most common reason for healthcare workers to leave a position (Statistics Canada, 2022).

New graduate nurses (NGNs) are at particular risk of leaving the profession with over three-quarters of NGNs labeling their work stress as high (Parker et al., 2014). In 2023, close to a third of newly hired registered nurses left within a year of their hire date (NSI Nursing Statistics, 2023). NGNs require organizational, environmental, and personal support when transitioning to practice environments to ensure they remain a part of the healthcare workforce. One strategy is to implement NRPs that help newly licensed nurses get support and training and acclimatize to workplace demands (Rush et al., 2013).

NRPs have a long history in the United States and recommendations for their development were made in 2002, with the goal of improving delivery and quality of care (Friday, et al., 2015). NRPs have shown to decrease voluntary turnover in hospital settings and have been shown to decrease burnout and stress (Warren et al., 2018), while increasing job satisfaction and decreasing stress amongst newly licensed registered nurses (NLRN) (Walsh,

2018). They also improve cost savings, critical thinking and leadership skills (AL-Dossary et al., 2014). The literature demonstrates that when NRP's focus on communication, organization, stress management and critical thinking, job satisfaction and NLRN retention may improve (Walsh, 2018). NRP's contribute to positive transitions for NLRNs which translates to benefits for the employer and the patients (Chochran, 2017).

In the Spring of 2023, the CASN announced the introduction of a competency-based residency program for registered nurses (RNs). This program was launched with the intent to assist with nursing shortages in the Canadian hospital sector, due to harsh working conditions exacerbated by the COVID-19 pandemic and the increasing demands faced by NLRN's (CASN, 2023). CASN's plans to implement a 6-month NRP including five days of hospital led orientation followed by 11 weeks of formal preceptorship for NLRNs, followed by 3 months of as needed support for NLRNs with virtual workshops provided by CASN throughout (CASN, 2023). This program is supported financially through the Canadian government and would be the first of its kind in Canada. It is with this in mind that we aim to better understand how participation in NRP impacts retention and job satisfaction in NLRN's and ensure the nuances of the Canadian healthcare system are considered in addressing the current nursing shortage in Canada.

Method

In designing a search strategy, Whittemore and Knafl's (2005) integrative review methodology was utilized. This methodology was chosen to guide the research for its ability to build nursing science, inform practice through research and have applicability to practice, which aligned with the goal of the research team (Whittemore & Knafl, 2005).

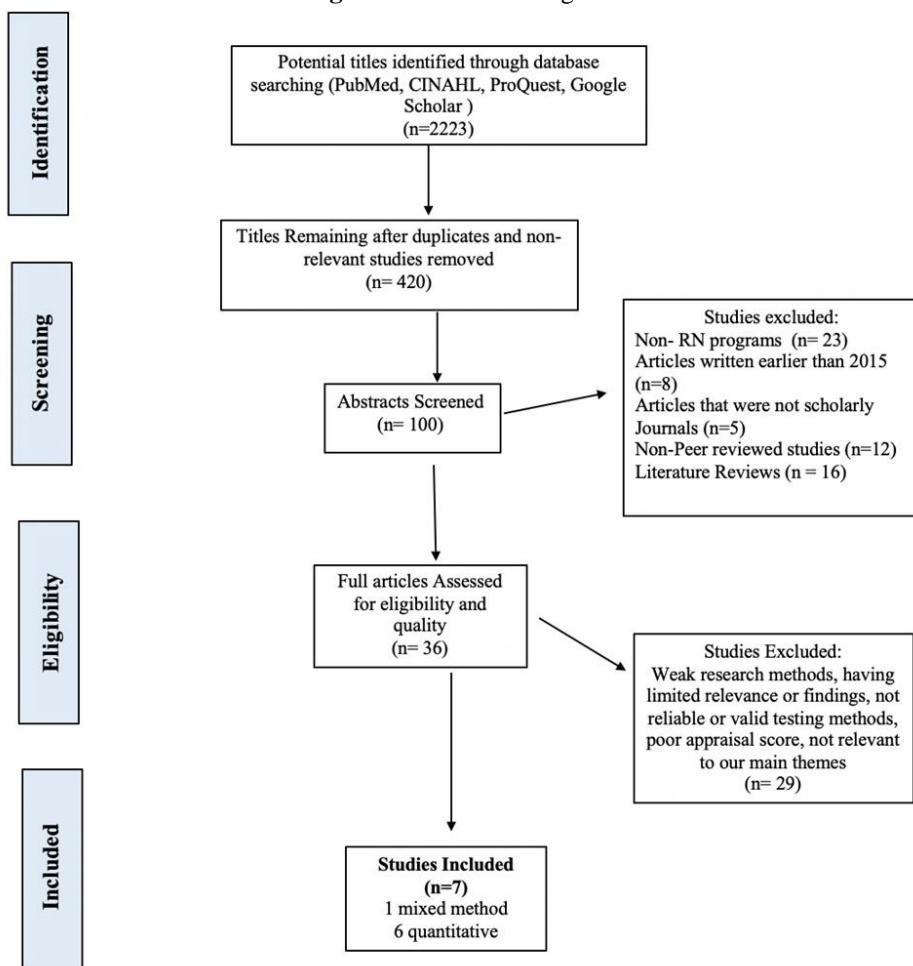
Once the research question was formulated, a search of databases was completed. The literature was identified using four databases: (1) PubMed, (2) Cumulative Index of Nursing and Allied Health Literature (CINAHL), (3) ProQuest and (4) Google Scholar. The search was performed in May of 2023 to find research relevant to NRP and retention. Boolean operators and search terms were used with key search terms used being “nurs* residency” AND retention OR turnover. Other limiters included peer reviewed journals in the English language.

Inclusion criteria included peer reviewed journals from 2015-2023 that reported outcomes of NLRN residency programs six-months to one year in length, with outcomes related specifically to retention rates after one to three years of practice. Articles from The United States of America were included to gather evidence from similar healthcare systems. Exclusion criteria included non-novice RN residency programs, including licensed practical nurse (LPN), registered practical nurse (RPN) or nurse practitioner (NP)

residency programs. Systematic and other literature reviews were also excluded. A total of 12 articles were included in this review with 7 articles being included in the findings section due to exclusion and inclusion criteria (Table 1).

A data extraction matrix was used as a method to organize and review data. The Hawker et al. (2002) quality appraisal tool was used to evaluate the quality of literature and minimize bias. The tool evaluates each article based on nine categories and provides a score between nine and 36. Each category rates elements of the literature on a scale of good, fair, poor and very poor and a score of 4 (good) to 1 (very poor) is assigned, and the scores are tabulated to determine article quality. It was determined that a score of less than 18 would determine that the article was of poor quality and was subsequently omitted from the literature review. No articles were eliminated. A more in-depth look at the search strategy can be observed in Figure 1.

Figure 1: PRISMA Diagram



Note. This figure demonstrates the search criteria utilized for this integrative review.

Table 1: Findings of the Literature Review

| <u>Authors, Date, Title, Journal</u> | <u>Category</u> | <u>Aim/ Purpose</u> | <u>Design</u> | <u>Instruments, Reliability & Validity,</u> | <u>Sample, Sample Size and How Selected</u> | <u>Findings</u> | <u>Limitations</u> | <u>QOE (n=36)</u> |
|---|------------------------------|---|---------------------------------------|---|--|---|---|-----------------------|
| Church, He & Yarbrough, 2018. Factors Influencing Organizational Commitment and Turnover in Nurse Residents. The Journal of Continuing Education in Nursing | Turnover & Job satisfaction | Determine the effect of autonomy, competence, group cohesion, structural empowerment and job satisfaction on organizational commitment, IOT and actual job turnover in NRP. | Retrospective Correlational approach. | Previous data from Versants Centre. SPSS analysis Path Model WLS estimator. | 1498 NLRN from 2011 Versants study. | Turnover at 1 year 2.0 out of 6. At 2 years, 91.7% remained employed, 8.3% resigned from the organization. | Secondary data being used with predetermined definitions and instruments. Generalizability only to nurses in the Versant NRP. | 29 |
| Friday, Zoller, Hollerbach, Jones & Knofczynski, 2015. The effects of a prelicensure extern program and nurse residency program on new graduate outcomes and retention. Journal for nurses in professional development | Retention & Job satisfaction | To investigate the effects of prelicensure extern program and NRP on NLRN and organizational outcomes. | Longitudinal Quantitative study. | CFGNE Survey. Cronbach alpha of .89. MANOVA | Convenience sample of NLRN in a teaching hospital and level 1 trauma center in southeast USA. 46 participants. | 1-year retention of 96% and 2-year of 91%. The 30-month retention dropped to 68%. Extern group had higher job satisfaction, although not statistically significant. | Small sample size; lack of generalizability. The convenience sample does not represent nurses at larger institutions. | 29 |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|---|--|----|
| Hernandez, S. H. A., Francis, M. A., & Winn, D. (2020). Employment and Retention of Nurses Who Completed an Internship and Residency Program. <i>Journal of continuing education in nursing</i> | Retention | To evaluate the effectiveness of NRP in increasing retention and hiring of NLRN. | Retrospective | Academic records and employment records Chi-Square test | 472 former nurses who graduated from University of New Mexico College of Nursing. | 84.4% (341) remained employed at 1-year and 43.3% (88) remained employed at 5-years. | Does not identify causes of retention, lack of generalizability due to only studying in universities graduates. | 30 |
| Miller, C. M., Meyer, K., Riemann, L. A., & Carter, B. T. (2023). Transition into Practice: Outcomes of a Nurse Residency Program. <i>The Journal of Continuing Education in Nursing</i> | Retention, Turnover & Job satisfaction | Determine whether those in NRP transitioned into practice more successfully when compared to traditional orientation programs. | Prospective, longitudinal quasi-experimental | Casey-Fink Readiness for Practice Survey Nurse retention & job satisfaction surveys Group differences tested with the Pearson X2 and t test. | 106 NLRN split between the control and intervention group (77 in the intervention and 29 in the control). | 2-point increase in satisfaction for those in the NRP and a 27 decrease for the control group. An average retention rate of 85.7% at 1-year and 79.7% at 2-years. An average turnover rate of 14.27% of those in the NRP. | Lack of blinding causes potential bias. Sample size and control group became less powered overtime and by 2019 all members were a part of the NRP. | 32 |
| Salmond, S. W., Cadmus, E., Black, K. K., Bohnarczyk, N., & Hassler, L. (2017). Long-Term Care Nurse Residency Program: Evaluation of New | Job satisfaction | To determine the effects on NLRN confidence, competence, retention, satisfaction & perceptions of | Pretest, posttest, mixed methods. | CFGNE survey. GIAP survey Job satisfaction survey Focus groups NHSPSC | 37 NLRN through convenience sampling in LTCH in New Jersey. | 9% decrease in job satisfaction in those in the NRP, but a 6% increase for workload satisfaction and 5% increase for | Participants lack experience completing surveys and facilities not accustomed to collecting data. Lack of generalizability due to different | 30 |

| Nurse Experiences and Lessons Learned, The Journal of Continuing Education in Nursing | organizational safety. | Descriptive statistics used with a 5% being statistically significant. | training satisfaction. | measurement tools and no additional studies on NRP for NLRN in LTCH. | | | | |
|--|------------------------|---|------------------------------------|--|---|--|--|----|
| Shinners, Africa, Mallory & Durham (2021). Versant Nurse Residency Program. <i>Nursing Economics</i> | Turnover | Determine what factors have the greatest impact on IOT in NLRN who participated in a NRP. | Longitudinal; Retrospective Review | Single question survey Likert scale from 2015 | 6700 responses from nurses who participated in the Versants NRP between 2009 - 2019 | Cumulative turnover rate for the NRP is 9% at 12 months, 21% at 24 months, 24% at 36 months, 40% at 48 months, and 48% at 60 months. | Did not account for employment contracts. | 19 |
| Wolford, Hampton, Tharp-Barrier & Gross, 2019. Establishing a nurse residency program to boost new graduate nurse retention. <i>Nursing Management</i> | Turnover | To determine the effectiveness of a NRP on less than 1-year RN turnover and work engagement and quantify the program's ROI. | Retrospective | Utrecht Work Engagement Scale Newly Licensed Nurse Turnover/Replacement Cost Worksheet Chi-Square analysis | 791 NLRN in standardized orientation and 232 NLRN that took part in the NRP | The 1-year turnover for the control group is 14% and the NRP was 3.5%. | Limited generalizability due to lack of sample group tested. | 27 |

NLRN = Newly licensed registered nurse, NRP = Nurse residency program, WLS = weighted least squares, CFGNE = Casey-Fink graduate nurse experience, IOT = intent of turnover, RN = registered nurse, ROI = return of investment, MANOVA = Multivariate analysis of variance, LTCH = Long-term care homes, GIAP = Geriatric Institutional Assessment Profile, NHSPSC = The Nursing Home Survey on Patient Safety Culture, QOE = Quality of Evidence

Findings

Retention Rates

Retention of NLRN was the primary focus of many of these studies, however only three of the studies used a measurable item to determine if the NRP improves retention. Miller et al., (2023), utilized the Casey-Fink Nurse Retention Survey to measure the level of retention between a control group and intervention group. The Casey-Fink Retention Survey consists of 70 questions aimed to understand the factors influencing nurse retention. The scale's Cronbach's alpha is 0.92 and reliability values for the four subscales range from 0.77 to 0.94 (Miller et al., 2023). In this study, this survey was administered at six and 12 months (Miller et al., 2023). The retention rates of the intervention group [those in the NRP] were 77.27% for 2016, 90.20% for 2017 and 89.71% for the 2018 cohort. Retrospectively the two-year retention rates were 68.18%, 84.13% and 86.76%. Ultimately, there was an increase in retention at both three and 12 months for the intervention group and a decline of retention rates in the control group.

Friday et al. (2015), utilized a longitudinal quantitative study with repeated measures at three, six and 12 months. The quantitative method of study used was the Casey-Fink Graduate Nurse Survey. This study measures the benefits of both a pre-licensure extern program and a NRP on retention. The total Casey-Fink score has a Cronbach's alpha of .89. A convenience sample was used to find 60 NLRN to participate in the NRP and this study was conducted in the southeast United States. At the end of the study only 46 participants remained. Retention was measured 18-months after the NLRN had completed the NRP by requesting current employment status from the hospital's Human Resources (HR) department. The retention rates for those who participated in the NRP were 96% at one year and 91% at two years (Friday et al., 2015). Although these are high, this study reported a significant decrease to 68% retention at the 30-month mark (Friday et al., 2015).

Similarly, Hernandez et al., (2020) measured the benefits of a pre-licensure extern program and a NRP. This study compared one-year retention rates to the five-year retention rates and went further to assess if age, gender and ethnicity/race impacted the retention rates. The Chi-square test was used to assess for significant differences in one-year and five-year retention rates based on the previously mentioned demographics. A *p* value of 0.05 or less was considered statistically significant. After one year 84.4% (341) of participants that were former externs and participated in the NRP continued their employment. For the five-year retention period only 203 RNs could have been employed due to the length of this study; thus, at five years 43.3% (88) remained at their current employment. There were no significant differences in the one-year and five-year employment based on age and race/ethnicity.

However, at the five-year mark there was a statistically significant higher percentage of males still employed ($p= 0.023$).

Job Satisfaction

Job satisfaction was a measurable item within four of the studies included in this literature review (Miller et al., 2023; Salmond et al., 2017; Friday et al., 2015; Church et al., 2018). The Nurse Job Satisfaction Survey, a 32 question 8 sub scale survey with Likert type responses was used by three researchers to determine NLRN job satisfaction (Miller et al., 2023; Salmond et al., 2017; Church et al., 2018; Hinshaw & Atwood, 1983).

Miller et al., (2023) measured job satisfaction at 3, 6 and 12 months and found that NLRNs who participated in an NRP had a 2-point increase between three and 12 months where the control group, who participated in a standard orientation, had a 27-point decrease in job satisfaction over the study period. The same study noted that job satisfaction was significantly higher for those NLRN's who participated in the NRP at 6 and 12 months than the control group (Miller et al., 2023).

Church et al., (2018), noted that at the end of the 24-week NRP, participants reported high levels of job satisfaction. This study demonstrated the value of group cohesion that NRPs can provide as there were moderate relationships noted amongst job satisfaction, structural empowerment and group cohesion, all of which contribute to the NLRN's positive perception of their workplace and their satisfaction with their job (Church et al., 2018).

Friday et al., (2015) utilized the Casey Fink Graduate Nurse Experience Survey (CFGNES) to ascertain job satisfaction amongst a group of NLRNs who completed an NRP alone versus a licensed extern program followed by NRP. The survey was administered at the beginning, 3, 6 and 12 months of employment. A prelicensure extern program was not found to have a significant impact on job satisfaction when compared to the stand alone NRP group and showed no statistical significance ($p < .05$) although job satisfaction rates remained high amongst both groups (Friday et al., 2015),.

Interestingly, Salmond et al. (2017) found that overall job satisfaction with those who participated in an NRP group at a long-term care facility had decreased in overall job satisfaction, by 9 percent, yet scores for workload satisfaction and satisfaction with training saw small increases, 6% and 5% respectively.

Turnover/ Intent to Stay

Four articles reported turnover rates amongst NLRN that were a part of the NRP. Two of these studies calculated turnover rates by dividing the number of nurses who left the organization by the total number of nurses used in the study (Miller et al., 2023; Wolford et al., 2019).

Wolford et al. (2019), used a pre and posttest design following NLRN in five hospitals across the southern region of the United States of America. The sample control group included 791 NLRN hired before the initiation of the NRP and the intervention group included 232 NLRN that took part in the NRP. Chi-square analysis was performed to identify the turnover relationship and an alpha level of 0.05 was used for statistical significance. The turnover for the control group at 1 year was 14% in comparison the intervention group had a turnover of 3.5%. Using the Chi-Square test $p [x^2(N = 68) = 19.55, P < .001]$, a significant decrease in turnover was identified for those who participated in the NRP.

Similarly, Miller et al. (2023), used a pre and posttest design following NLRN in the northwest region of the United States of America over a three-year period. The sample intervention group consisted of nurses in the NRP and the control group was NLRN that were receiving traditional orientation. Nurse turnover was defined as the number of nurses who left the organization during that time period and was calculated by dividing the number of nurses who stayed at the organization during the study program divided by the number of nurses hired during the study period. Each year of cohort turnover was calculated but did not differentiate between the control and intervention group. Turnover for the first year of cohorts was 22.73%, 9.8% for the second year and 10.29% for the third cohort.

Church et al., (2018) utilized data from Versant Center for the Advancement (Vcan) of Nursing which is a non-profit organization that manages the collection and storage of survey data on nurse residency participants enrolled in Vcan. The data collected from 2011 included 1498 nurses and to measure turnover the single item scale was “Do you plan to leave this facility in the next year?” (Church et al., 2018, p. 485). Turnover intent (TOI) at one year was low indicated by a mean score of two of six and actual turnover was also low indicated by a mean score of 1.08 of six. It was determined that there was a nonsignificant correlation between turnover intention and actual job turnover.

Similarly, Shinners et al., (2021) conducted a longitudinal study including 25,000 NGN from 1999 to 2020 who completed the one-year Versant NRP. Versant’s program measured turnover intent at the time of program completion, month eight and annually up to five years. Until 2015, this study measured turnover by asking a single item question, “Do you plan to leave this facility within the next year” (Shinners et al., 2021). After 2015, this was changed based on feedback and now utilizes a five-point Likert scale. For the purpose of measuring turnover, 6700 responses were utilized. This study indicated a cumulative turnover rate of the NRP at 12 months, 24 months, 36 months, 48 months and 60 months. The turnover rate was 9%, 21%, 24%, 40% and 48% retrospectively. However, these findings did not

account for possible employment contracts of 2-3 years of commitment post completion of the NRP. In the organizations that do not implement employment contracts Shinner (2021), found that the turnover is 22% at two years, whereas institutions that require employment contacts have a turnover of only 14% at the two-year mark.

Discussion

Retention

Friday et al. (2015) indicated a significant drop in retention rates at 30-months. This study did not indicate any reason for the sudden decrease in nurses, but this can be linked to the employment contract lengths. Furthermore, this study had monthly educational sessions for those participants in the NRP where data collection was scheduled; however, not all participants attended these meetings which resulted in the loss of complete sampling and thus lowering the total number of participants in the study. This study's small sample size greatly reduces the generalizability. Miller et al. (2023) study findings contradict what Friday et al. (2023), discovered with only noting a small decrease in retention rates at the two-year mark. The findings of Hernandez el at. (2020) are more congruent with Fridays et al., (2023), of showing a significant decrease in retention rates at the five-year mark. Similar findings indicate that there is an associated positive relationship between participation in a NRP and increased retention rates of NLRN. Although these three studies have the same findings of high retention rates at the one-year mark and significant decreases at the end of their study period, it is hard to directly compare the results. The drastic difference in study period (2 years to 5 years), does not allow for clear understanding of when the majority of nurses left the workplace. Furthermore, some of these programs require the NLRN to sign an employment agreement which may also alter the findings of these studies.

Job Satisfaction

The link between job satisfaction and nurse retention, particularly amongst NLRN's cannot be overlooked. High turnover and low retention rates can impact staff morale and affect job satisfaction, resulting in more turnover and a cyclical pattern of challenges retaining staff (Salmond et al., 2017). There were clear links between the impact of NRP's on job satisfaction, and the poor ratings of job satisfaction by non-NRP prepared NLRNs (Miller et al., 2023; Friday et al., 2018), with NRPs also demonstrating value to NLRN's experiences related to group cohesion and structural empowerment (Church et al., 2018). Both group cohesion and structural empowerment are linked to organizational commitment which is an important consideration when considering strategies to improve retention rates amongst NLRN's (Church et

al., 2018). Friday et al. (2015) compared job satisfaction amongst nursing students who completed a pre-licensure extern program followed by NRP versus NLRN's completing an NRP only. Job satisfaction was not statistically significant indicating funds utilized for prelicensure extern programs could in fact be redirected to improve postgraduate NRP to impact long term retention rates of NLRNs. Contrastingly, Salmond et al., (2017) found a decrease in overall job satisfaction over time, but small increases in workload and training satisfaction for NLRNs who participated in an NRP. NLRNs in this study indicated the NRP improved patient care skills and nurse competencies. Overall, this study demonstrated numerous positive impacts of participation in an NRP, but, the long-term care setting in which the NRP took place may be responsible for the decrease in overall job satisfaction during the course of the NRP (Salmond et al., 2017).

Turnover

The findings in the four studies are conflicting whether NRP has a positive effect on turnover of staff. Only one study used a reliable control and intervention group to determine the effect on turnover (Wolford et al., 2019). This study identified that the group of NLRN who participated in the NRP had a significantly lower turnover percentage than the control group (Wolford et al., 2019). Findings from Miller et al. (2023) cannot be considered reliable when assessing the impact of NRP on turnover, due to not having a standardized intervention group. The percentages of turnover are based on all the participating NLRN, and not specific to just those nurses who participated in the NRP. Although not all the data is reliable, it does indicate that those who participate in NRP programs are less likely to leave their place of employment. Shinners et al., (2021), mentioned that some institutions require NLRN who completed the NRP to sign a contract agreeing to employment for a set number of years [typically two to three years]. This employment contract can skew the data indicating a lower level of turnover rates for said institutions. It is hard to interpret if the improved turnover rates amongst those participating in NRP is impacted by employment contracts. Many articles aim to find the correlation between nurse residency programs and their effect on retention rates of new grad nurses (NGN). However, very little examines them from a quantitative perspective using a control and intervention group. This lack of quantitative studies impacts the ability to accurately determine what if any impacts these programs have.

Recommendations

Implementation of a quality NRP may result in increased retention, decreased turnover and improved job satisfaction for NLRN's. With the lack of accurate measurements surrounding intent to leave the workplace, there is

opportunity for new research. It is evident that intent to leave (ITL) the workplace is closely related to actual turnover of nurses, however very few studies have accurately identified the correlation and contributing factors to ITL. Miller et al., (2023) identified a positive correlation between NRP and reduced turnover, however without an intervention group these findings lack validity. Future research should be aimed at identifying if there is a correlation between NRP and reduced turnover rates by using a standardized control and intervention group. Shinners et al., (2021) also found similar results that NRP reduces turnover rates, however, this study did not exclude nurses that signed an employment contract on completion of the NRP. Further research should focus on measuring retention rates in an accurate and consistent manner and not include institutions that require NLRN to sign employment contracts on completion of their NRP.

Questions remain about how effective the newly announced NRP from CASN, and although it is encouraging to see a government funded NRP implemented in Canada, questions remain on whether this program will be able to move the needle on Canada's critical nursing shortage. The literature review demonstrated that NRPs that were successful in improving retention rates had minimum 12-month NRPs (Miller et al., 2023; Friday et al., 2015; Church et al., 2018; Shinners et al., 2021) but longitudinal research would be valuable to understand the turnover intention and retention rates of graduates after completing the significantly shorter program put forth by CASN. Moreover, the CASN NRP program only offers 15 - 20 employers to be reimbursed for costs, resulting in the remaining employers having to cover the fees to participate (CASN, 2023). This approach may not provide an equitable strategy to manage the widespread critical nursing shortage and may leave some hospitals already in dire financial situations at risk of falling further behind with staffing shortages. The NRP program put forth by CASN does not follow recommended guidelines for NRP implementation and requires employers to cover enrollment costs, which begs the question of whether this program will be effective in meeting its goal to truly impact the nursing shortage faced by the Canadian hospital system. More research will be needed to understand the impact of this program over time related to its length, curriculum and retention and turnover intention rates.

Conclusion

This literature review highlighted evidence that NRP can have a positive impact on retention rates and job satisfaction of NLRN's. Literature focused on the impact of NRP on turnover intention was less clear, and more formal research methods should be used to assess turnover intention after participation in NRP in future research. As for the Canadian landscape and current nursing shortage, it is unlikely that the NRP put forth by CASN will

have the broadly sweeping impact that is necessary to positively impact NLRN retention. The program itself does not meet established guidelines of length, or focus on clinical specialty areas and is only available at a free cost to a limited number of healthcare institutions, and based on our review, most successful programs which impact NLRN retention are at minimum 12 months in length, and improve job satisfaction by increasing group cohesion and structural empowerment. The data generated from the implementation of Canada's first nationwide NRP will be interesting to evaluate, and longitudinal comparative research regarding turnover and retention who participate in this program versus those who do not may be the building blocks for a better understanding of the future of NRP in Canada.

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

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

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

References:

1. AL-Dossary, R., Kitsantas, P., & Maddox, P. (2014). The impact of residency programs on new nurse graduates' clinical decision-making and leadership skills: A systematic review. *Nurse Education Today*, 34(6), 1024–1028. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.10.006>
2. Cadmus, E., & Roberts, M. L. (2022). First year outcomes: Program evaluation of a statewide nurse residency program. *The Journal of nursing administration*, 52(12), 672–678. <https://doi.org.librweb.laurentian.ca/10.1097/NNA.0000000000001230>
3. Canadian Institute for Health Information. Health workforce in Canada: In focus (including nurses and physicians).
4. Canadian Association of Schools of Nursing. (2023). *Residency program*. <http://cnei-icie.casn.ca/our-programs/residency-program/>
5. Church, C. D., He, Z., & Yarbrough, S. (2018). Factors influencing organizational commitment and turnover in nurse residents. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 49(10), 482–488. <https://doi.org/10.3928/00220124-20180918-09>
6. Friday, L., Zoller, J. S., Hollerbach, A. D., Jones, K., & Knofczynski, G. (2015). The effects of a licensure extern program and nurse residency program on new graduate outcomes and retention. *Journal for nurses in professional development*, 31(3), 151–157. <https://doi.org.librweb.laurentian.ca/10.1097/NND.0000000000000158>
7. Hawker, S., Payne, S., Kerr, C., Hardey, M., & Powell, J. (2002). Appraising the evidence: Reviewing disparate data systematically.

- Qualitative Health Research.*, 12(9), 1284–1299.
<https://doi.org/10.1177/1049732302238251>
- 8. Hernandez, S. H. A., Francis, M. A., & Winn, D. (2020). Employment and retention of nurses who completed an internship and residency program. *Journal of continuing education in nursing*, 51(11), 504–508. <https://doi-org.librweb.laurentian.ca/10.3928/00220124-20201014-06>
 - 9. Miller, C. M., Meyer, K., Riemann, L. A., & Carter, B. T. (2023). Transition into practice: Outcomes of a nurse residency program. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 54(1), 32-39. <https://doi-org.librweb.laurentian.ca/10.3928/00220124-20221207-08>
 - 10. NSI Nursing Solutions Inc. (2023). *2023 NSI National health care retention & RN staffing report*. https://www.nsin nursingsolutions.com/Documents/Library/NSI_National_Health_Care_Retention_Report.pdf
 - 11. Parker, V., Giles, M., Lantry, G., & McMillan, M. (2014). New graduate nurses' experiences in their first year of practice. *Nurse Education Today*, 34(1), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2012.07.003>
 - 12. Pillai, S., Manister, N. N., Coppolo, M. T., Ducey, M. S., & McManus-Penzero, J. (2018). Evaluation of a nurse residency program. *Journal for nurses in professional development*, 34(6), E23–E28. <https://doi-org.librweb.laurentian.ca/10.1097/NND.0000000000000499>
 - 13. Rush, K. L., Adamack, M., Gordon, J., Lilly, M., & Janke, R. (2013). Best practices of formal new graduate nurse transition programs: An integrative review. *International Journal of Nursing Studies*, 50(3), 345–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2012.06.009>
 - 14. Salmond, S. W., Cadmus, E., Black, K. K., Bohnarczyk, N., & Hassler, L. (2017). Long-term care nurse residency program: Evaluation of new nurse experiences and lessons learned. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 48(10), 474-484. <https://doi-org.librweb.laurentian.ca/10.3928/00220124-20170918-09>
 - 15. Shinners, J. (2021). Versant's nurse residency program: A retrospective review. *Nursing Economics.*, 39(5), 239–246. https://www.researchgate.net/profile/Larissa-Africa/publication/355470923_Versant_Nurse_Residency_A_Retrospective_Review_Nsg_Econ_Sept_Oct_2021/links/61e99f589a753545e2e515fb/Versant-Nurse-Residency-A-Retrospective-Review-Nsg-Econ-Sept-Oct-2021.pdf
 - 16. Statistics Canada. (2022, June 3). *Experiences of healthcare workers during the COVID 19 pandemic, September to November 2021*.

- <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220603/dq220603a-eng.htm>
17. Walsh, A. L. (2018). Nurse residency programs and the benefits for new graduate nurses. *Pediatric Nursing*, 44(6), 275. <https://login.librweb.laurentian.ca/login?url=https://www-proquest-com.librweb.laurentian.ca/scholarly-journals/nurse-residency-programs-benefits-new-graduate/docview/2160299000/se-2>
18. Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
19. Wolford, J., Hampton, D., Tharp-Barrie, K., & Goss, C. (2019). Establishing a nurse residency program to boost new graduate nurse retention. *Nursing Management*, 50(3), 44–49. <https://doi.org/10.1097/01.NUMA.0000553497.40156.4e>

Beneficios de una intervención nutricional en indicadores antropométricos y glucosa de pacientes con diabetes tipo 2 en un área urbana del sureste de México

Lourdes Alejandra Cachón Segura

Licenciada en Nutrición, Universidad Modelo Chetumal

Fabiola Pinzón Moguel

Maestra en el Tratamiento Integral de la Obesidad y el Síndrome Metabólico
Universidad Modelo Chetumal

Hugo Alejandro Panting Villalobos

Maestro en el Tratamiento Integral de la Obesidad y el Síndrome Metabólico
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

Edgar Fernando Peña Torres

Doctor en Ciencias y Tecnología de los Alimentos
Universidad del Caribe

Marisol Campos Rivera

Doctora en Psicología, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p17](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p17)

Submitted: 31 October 2023

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 23 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Cachón Segura L.A., Moguel F.P., Panting Villalobos H.A., Peña Torres E.F. & Rivera M.C. (2024). *Beneficios de una intervención nutricional en indicadores antropométricos y glucosa de pacientes con diabetes tipo 2 en un área urbana del sureste de México*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 17. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p17>

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de una intervención nutricional en la glucosa, índice de masa corporal (IMC) y circunferencia de cintura (CC) en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2). Se realizó un estudio cuasiexperimental en 24 pacientes del sureste de México diagnosticados con DM2, de los cuales 12 recibieron una intervención nutricional, que consistió en asesoría dietética personalizada durante un periodo de 7 meses, mientras que los otros 12 formaron el grupo control y solo recibieron tratamiento farmacológico estándar. Se observó un cambio positivo en el IMC del grupo de intervención, respecto al control. Además, hubo una reducción significativa en todas las variables medidas (glucosa, IMC y CC)

dentro del grupo de intervención al comparar los valores al inicio y al final del periodo del estudio. Los hallazgos sugieren que las intervenciones nutricionales pueden ser una estrategia efectiva para mejorar el estado de salud física y reducir los niveles de glucosa en pacientes con DM2 siempre y cuando exista una adecuada adherencia al tratamiento farmacológico.

Palabras claves: Atención nutricional, diabetes mellitus tipo 2, glucosa, índice de masa corporal, indicadores antropométricos

Benefits of a Nutritional Intervention on Anthropometric Indicators and Glucose in Patients with Type 2 Diabetes in an Urban Area of Southeastern Mexico

Lourdes Alejandra Cachón Segura

Licenciada en Nutrición, Universidad Modelo Chetumal

Fabiola Pinzón Moguel

Maestra en el Tratamiento Integral de la Obesidad y el Síndrome Metabólico
Universidad Modelo Chetumal

Hugo Alejandro Panting Villalobos

Maestro en el Tratamiento Integral de la Obesidad y el Síndrome Metabólico
Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

Edgar Fernando Peña Torres

Doctor en Ciencias y Tecnología de los Alimentos
Universidad del Caribe

Marisol Campos Rivera

Doctora en Psicología, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo

Abstract

The aim of this study was to analyze the effect of a nutritional intervention on glucose, body mass index (BMI), and waist circumference (WC) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). A quasi-experimental study was conducted on 24 patients from southeastern Mexico diagnosed with T2DM, of which 12 received a nutritional intervention consisting of personalized dietary counseling over a period of 7 months, while the other 12 formed the control group and only received standard pharmacological treatment. A positive change in BMI was observed in the intervention group compared to the control group. Additionally, there was a significant reduction in all measured variables (glucose, BMI, and WC) within the intervention group when comparing values at the beginning and end of the study period. The findings suggest that nutritional interventions can be an effective strategy

to improve physical health and reduce glucose levels in patients with T2DM, provided there is adequate adherence to pharmacological treatment.

Keywords: Nutritional care, type 2 diabetes mellitus, glucose, body mass index, anthropometric indicators

Introduction

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad de tipo sistémica, metabólica y crónica que se identifica por la presencia de niveles elevados de glucosa. Esta enfermedad puede ocurrir en cualquier tipo de personas indistintamente de sexo, edad o raza, sin embargo, esperándose que para el año 2030 existan 438 millones de personas con esta enfermedad (Reyes Sanamé et al., 2016). En este sentido, se describen cuatro formas clínicas, la DM tipo 1, en la cual existe un déficit absoluto de producción de insulina por destrucción de las células β pancreáticas; la Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2), que es la forma clínica más frecuente; la DM gestacional y otros tipos que se derivan de distintas causas (Rezaei et al., 2019; Silva et al., 2020). La DM2 representa un importante problema de salud pública a nivel mundial, principalmente como una consecuencia del estilo de vida sedentario que se vive actualmente y del marcado aumento de la obesidad en todo el mundo (Palacios-Barahona et al., 2019). La DM2 se asocia con una alta morbilidad y mortalidad (Artega et al., 2017; Badi et al., 2019), ya que es la principal causa de padecimientos crónicos como insuficiencia renal, amputaciones no traumáticas y ceguera (Crespo et al., 2020; Reyes Sanamé et al., 2016; Rosas et al., 2019). Además, representa un factor de riesgo fundamental para la aparición de enfermedades cardiovasculares, las cuales son la primera causa de mortalidad en pacientes diabéticos (Reyes Sanamé et al., 2016). Asimismo, la DM2 no solo reduce la calidad de vida, sino que también disminuye la esperanza de vida hasta 8 años menos que en población no diabética (Ramiro, 2021). Por otro lado, la DM2 implica gastos sanitarios muy elevados, alcanzando más de 383.000 millones de dólares al año solo en Europa (Kretchy et al., 2020) y aún más si se incluyen los costos indirectos. Tanto los costos directos como los indirectos aumentan cuando se producen complicaciones diabéticas.

Existe evidencia de que la pérdida de peso en personas con DM2 ha logrado una mejora en los niveles de glucosa (Franz et al., 2015). De igual forma se ha documentado que una dieta que incluya alimentos de bajo índice glucémico contribuye a tener un mejor control (Chiavaroli et al., 2021).

Por otra parte, la orientación alimentaria conforma un método de atención que permite promover el autocuidado en los usuarios del sistema de salud que requieren de una mejora del estilo de vida para preservar un estado de salud adecuado. Diversos estudios refieren que la orientación alimentaria

contribuye a tener una pérdida de peso clínicamente significativa que puede ser de utilidad para la prevención de condiciones como la diabetes (McKenzie et al., 2021).

De esta forma, es necesario desarrollar intervenciones de educación para la salud ya que son programas integrales que los proveedores de atención médica brindan a los pacientes con el objetivo de mejorar los resultados clínicos mediante el aumento y el mantenimiento del comportamiento saludable (Hernández-Rincón et al., 2019).

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la atención nutricional en las variables antropométricas y niveles de glucosa en ayuno en pacientes adultos con DM2 en un centro de salud rural ubicado en la comunidad de Calderitas, Quintana Roo, México.

Metodología

Se realizó un estudio de tipo cuasiexperimental con diseño cuantitativo, por conveniencia, no aleatorizado con 24 pacientes con una edad promedio de 60 años, donde el 50 % fueron hombres y 50 % mujeres con diagnóstico médico previo de DM2, del Centro de Salud Urbano de Calderitas, del municipio de Othón P. Blanco del Estado de Quintana Roo. Dicha selección se realizó considerando la disponibilidad y accesibilidad de los usuarios del centro de salud, donde se priorizaron los factores prácticos y lógísticos de acuerdo con Shadish et al. (2002). Todos los participantes firmaron el consentimiento informado antes de formar parte del estudio. Los participantes del estudio fueron divididos en 2 grupos de 12 personas cada uno, de los cuales el primero fue grupo de intervención ($n=12$) quien recibió asesoría nutricional en conjunto con su esquema farmacológico con un seguimiento por 7 meses. El segundo grupo fue el de control ($n=12$), el cual recibió tratamiento farmacológico pero no tuvo asesoría nutricional.

En el grupo de intervención se realizaron 6 sesiones de seguimiento, control y asesoría nutricional, consistentes en una consulta inicial y 5 consultas de seguimiento. En la primera consulta se realizó el llenado de la historia clínico-nutriológica que incluyó el perfil antropométrico del paciente consistentes en peso, talla, índice de masa corporal (IMC) y circunferencia de cintura, así como la realización de pruebas de glucosa rápida en ayuno.

Para la toma del peso corporal se empleó una báscula marca OMRON® modelo HBF-514C. De igual forma se utilizó un estadímetro portátil con nivelador integrado marca SECA® modelo 213 I para la toma de la talla y una cinta antropométrica marca Lufkin® modelo AVA-04 para la circunferencia de cintura empleando los estándares establecidos por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría para la medición de las variables antropométricas.

Respecto a la glucosa, esa fue medida a través de una prueba rápida en periodo de ayuno, para lo cual se uso un glucómetro Accu-Chek® Active (Model GU) empleando los criterios de la Asociación Americana de Diabetes (ADA).

También se otorgó orientación alimentaria con enfoque en el cuidado nutricional de la DM2, así como un plan de alimentación personalizado que consideró una distribución de macronutrientos de 50 % de hidratos de carbono, 30 % de lípidos y 20 % de proteínas. Adicionalmente, se empleó material didáctico en el proceso de atención nutriológica que fue entregado a los pacientes al término de la consulta.

La segunda consulta se centró en la resolución de dudas referentes al plan de alimentación en la cual se enseñó a los usuarios sobre las porciones y equivalencias por grupos de alimentos. En la tercera consulta se proporcionó nuevo material didáctico para conocer los alimentos que tienen un bajo índice glucémico. En la cuarta atención nutricional se brindó orientación alimentaria del plato del bien comer, mientras que en la quinta consulta se brindó orientación alimentaria relacionada con la jarra del buen beber enfocada en la selección de bebidas saludables, haciendo énfasis en la disminución del consumo de las bebidas con alto contenido de azúcar. Por último, la sexta consulta se centró en el reforzamiento de los puntos abordados en las intervenciones previas.

En todas las consultas realizadas en el servicio de nutrición se tomaron mediciones antropométricas de circunferencia de cintura (cm) empleando la Cinta Lufkin® Metálica, el peso utilizando la báscula de bioimpedancia (Omron® HBF-514C) y la talla con un estadímetro mecánico (SECA®). Además, se evaluó el nivel de glucosa en todos los pacientes con previo ayuno (Accu-check® Active) al inicio las intervenciones.

Análisis estadístico

Para determinar la normalidad en los datos evaluados se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel significancia mayor al 5 %. Se compararon las variables de circunferencia de cintura, peso (kg), índice de masa corporal (IMC) y glucosa (mg/dL) entre el grupo control y de intervención al final del seguimiento. Posteriormente se realizó la prueba t pareada para determinar el efecto antes y después de las variables en el grupo de intervención (Flores-Ruiz et al., 2017). Todos los análisis de los datos se realizaron a un nivel de probabilidad del 95 % en el software estadístico SPSS versión 29.

Resultados

En los resultados de las evaluaciones al inicio de la prueba se encontró que no existieron diferencias en todas las variables evaluadas para el grupo

control y el grupo de intervención, mostrando una media de circunferencia de cintura que osciló de 103 a los 105 cm, por su parte el peso promedio para los pacientes del grupo control fue de 94.18 kg y 86.75 kg en los pacientes asignados para la intervención; el IMC osciló de los 35 a las 37 kg/m² en los pacientes, y la glucosa osciló entre los 154 a 194 mg/dL.

Como se observa en la tabla 1, en la evaluación al final del periodo se encontraron diferencias significativas en el peso y el IMC, donde el grupo de intervención redujo hasta 16 kg de peso respecto a los pacientes del grupo control ($p<0.05$); mientras que el IMC en los pacientes con la intervención fue menor respecto al grupo control ($p<0.05$) con promedios de 33.06 y 38.87 kg/m², respectivamente. Las variables de circunferencia de cintura y glucosa no se vieron afectadas con la intervención ($p>0.05$) sin embargo, cabe señalar que existió una tendencia a reducir la circunferencia de cintura en el grupo de intervención hasta de 11cm.

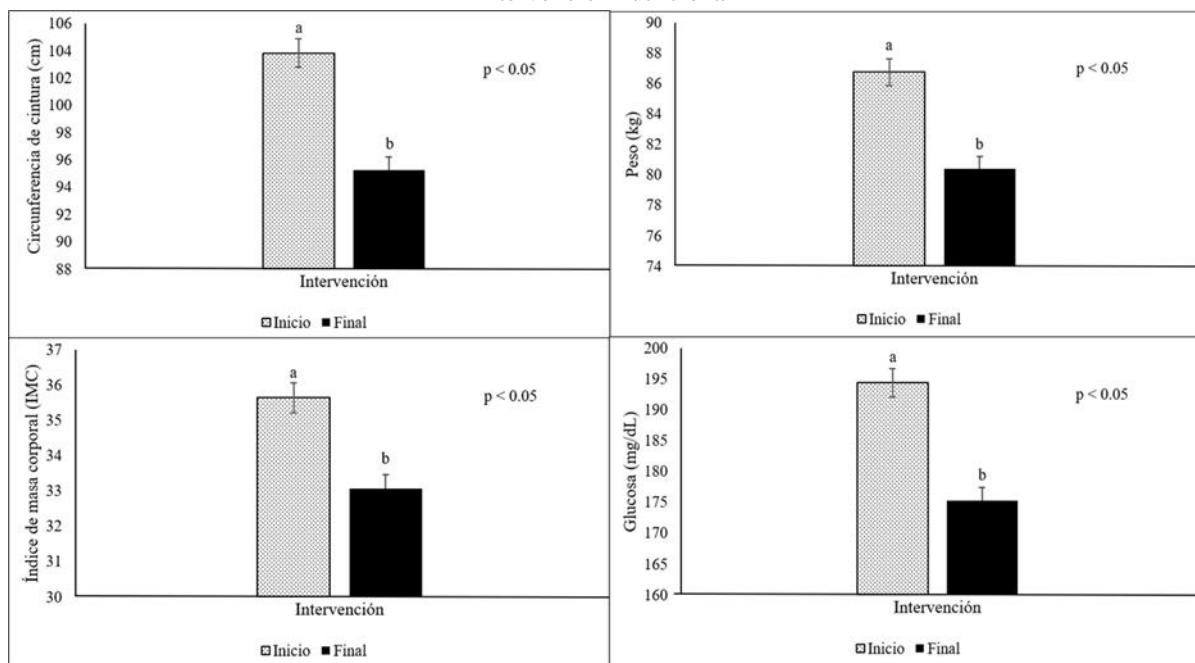
Tabla 1. Efecto de la intervención nutricional sobre las variables antropométricas y glucosa en pacientes con DM2

| Variable | Control | Intervención | EEM | Valor de P |
|-------------------------------|---------|--------------|-------|------------|
| Circunferencia de cintura, cm | | | | |
| <i>Inicio</i> | 105.81 | 103.83 | 6.76 | 0.77 |
| <i>Final</i> | 106.67 | 95.27 | 6.08 | 0.07 |
| Peso, kg | | | | |
| <i>Inicio</i> | 94.18 | 86.75 | 7.25 | 0.31 |
| <i>Final</i> | 96.57 | 80.41 | 7.07 | <0.05 |
| Índice de Masa Corporal (IMC) | | | | |
| <i>Inicio</i> | 37.93 | 35.64 | 2.89 | 0.43 |
| <i>Final</i> | 38.87 | 33.06 | 2.81 | <0.05 |
| Glucosa, mg/dL | | | | |
| <i>Inicio</i> | 154.41 | 194.41 | 24.56 | 0.11 |
| <i>Final</i> | 158.75 | 175.25 | 25.48 | 0.52 |

EEM= Error estándar de la media. n=24

La prueba de t pareada se realizó con la finalidad de determinar si existe un efecto antes y después en el grupo de intervención, en el cual se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) al final de la intervención en todas las variables evaluadas (Circunferencia de cintura, peso, IMC, y glucosa) (gráfico 1). La circunferencia de cintura se redujo hasta 8 cm al final de la intervención. Además, es relevante destacar que los pacientes perdieron cerca de 6 kg al final de la intervención, lo cual dio por resultado una reducción del IMC de 35.64 a 33.06. Adicionalmente los niveles de glucosa a pesar de seguir siendo elevados en los pacientes, estos disminuyeron hasta 19 mg/dL al final de la intervención nutricional.

Gráfico 1. Prueba de t pareada en pacientes con diabetes mellitus antes y después de la intervención nutricional



*Literales diferentes indican significancias estadísticas al 0.05 n=12

Discusión

Tras la intervención realizada en el grupo de estudio se observó un cambio sensible en la circunferencia de cintura ($p<0.05$) coincidiendo con Pedraza Avilés et al. (2015), sin embargo, se obtuvieron resultados diferentes respecto al peso corporal de los participantes posterior a la intervención ya que en este estudio hubo una reducción significativa en esta variable ($p<0.05$) incluyendo el índice de masa corporal (IMC) ($p<0.05$). Esta diferencia en los resultados respecto al peso corporal puede atribuirse a la estructura de la intervención, que consistió en seis consultas diseñadas para promover el aprendizaje y la comprensión de una alimentación saludable adaptada específicamente para pacientes con DM2.

Respecto a la glucosa en ayuno se observó que tras la intervención la media (175.25mg/dl) se ubicó por debajo de la cifra inicial (194.41mg/dl), lo que refiere que este tipo de intervenciones resulta significativo para el control glucémico de pacientes con diagnóstico médico previo de DM2 ($p<0.05$), concordando con lo observado por Arévalo Berrones et al. (2020) pero contrario al resultado obtenido por Pérez Flores et al. (2018) donde no se observaron cambios en las variables que se pretendían modificar mediante una intervención educativa. Estos hallazgos destacan la importancia de enseñar sobre alimentos con índice glucémico y la "jarra del buen beber" durante la

intervención. La comprensión del índice glucémico también permite a los pacientes seleccionar alimentos que no provoquen picos elevados de glucosa, y la "jarra del buen beber" ayuda a elegir bebidas que contribuyan al control glucémico y a la hidratación adecuada, evitando el consumo de bebidas altas en azúcar que pueden descontrolar los niveles de glucosa.

Tras el análisis y comparación de los resultados obtenidos en esta investigación, es posible inferir la necesidad de realizar más investigación sobre los efectos de este tipo de intervenciones en los indicadores antropométricos y glucosa de los participantes, toda vez que se han observado resultados diferentes en estudios similares. Dicha situación lleva a la reflexión sobre los factores que determinan la generación del autocuidado en los pacientes con DM2 y que influyen sobre la adherencia al tratamiento para el control de su enfermedad.

De igual forma resulta evidente la necesidad de enfocar la investigación en los cambios conductuales que se dan en los sujetos de estudio, dado que estos son determinantes para la modificación de indicadores antropométricos de importancia en pacientes con diabetes mellitus, tales como el peso corporal total, el IMC, el perímetro abdominal y el porcentaje de grasa corporal.

Otro aspecto que es susceptible de evaluación en las intervenciones nutriológicas es la estandarización para el monitoreo de la adherencia al tratamiento, ya que esto permitiría medir de forma objetiva los cambios conductuales que impactan en los indicadores mencionados previamente. Adicionalmente se debe de considerar en intervención nutriológica la retroalimentación que el nutricionista otorga al paciente, a fin de que esta resulte en un incentivo para la implementación del autocuidado en los usuarios de los servicios de salud.

Conclusiones

Los hallazgos del presente estudio demuestran que la atención nutricional estructurada en seis consultas influye positivamente en cambios antropométricos y en la reducción de niveles de glucosa en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2). En la primera consulta, se observó que ofrecer un plan de alimentación personalizado, adaptado a los gustos y requerimientos calóricos de los pacientes, ayudó a que estos comprendieran mejor los tiempos de comida recomendados, las porciones adecuadas y los platillos apropiados para el control de la glucosa. Esta consulta inicial fue crucial para evaluar el conocimiento previo de los pacientes sobre alimentación saludable y facilitar la adopción de hábitos alimenticios adecuados mediante un plan personalizado. Durante la segunda consulta, se enfatizó la importancia de escuchar a los pacientes y resolver sus dudas. Se identificó que muchos pacientes tenían en sus despensas alimentos no incluidos en el plan de

alimentación, subrayando la necesidad de enseñarles sobre equivalencias alimentarias y grupos de alimentos para hacer sustituciones apropiadas. La tercera consulta se centró en educar a los pacientes sobre los alimentos con índice glucémico, su importancia y su clasificación. Se destacó el consumo de carbohidratos complejos, ricos en fibra, para mejorar el control glucémico, ya que los pacientes previamente preferían carbohidratos simples, lo que contribuyó a su descontrol glucémico. Además, conocer el "plato del bien comer" y la "jarra del buen beber" reforzó el conocimiento adquirido en consultas anteriores. Los pacientes comprendieron la importancia de reducir el consumo de jugos, debido a su bajo contenido de fibra, que es crucial para el control de la glucosa y la saciedad. Los resultados del pre y post test del grupo de intervención nutricional mostraron una reducción significativa en la circunferencia de cintura, niveles de glucosa, peso y, consecuentemente, el índice de masa corporal (IMC). Sin embargo, se sugiere continuar con el monitoreo de los pacientes, ya que los niveles de glucosa se mantienen por encima de los límites recomendados. En resumen, la implementación de esta estrategia nutricional y de concientización ha demostrado ser beneficiosa para los pacientes con DM2. Para asegurar la replicación exitosa de este enfoque en otros entornos de atención sanitaria, se recomienda capacitar al personal de salud en la aplicación de estrategias similares, lo que mejorará la calidad de vida y promoverá mejores resultados de salud para los pacientes con DM2.

Agradecimiento: Se agradece el apoyo otorgado por el Centro de Salud Rural de Calderitas para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Conflicto de interés: Ninguno de los autores de este escrito presentó conflicto de intereses.

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

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

Declaración para participantes humanos: Este estudio ha sido aprobado por la Universidad Modelo Chetumal, para el cual se siguieron los criterios establecidos en la Declaración del Helsinki.

References:

1. Arévalo Berrones, J. G., Cevallos Paredes, K. A., & Rodríguez Cevallos, M. de los Á. (2020). Intervención nutricional en adultos mayores con diabetes mellitus tipo 2 para lograr el control glucémico

- Nutritional intervention in older adults with type 2 diabetes. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 49(3). <https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/604>
2. Artega, N. A., Cogollo, J. R., & Muñoz, M. D. (2017). APOYO SOCIAL Y CONTROL METABÓLICO EN LA DIABETES MELLITUS TIPO 2. *Revista Cuidarte*, 8(2), 1668–1676. <https://doi.org/. http://dx.doi.org/10.15649/cuidarte.v8i2.405>
 3. Badi, S., Abdalla, A., Altayeb, L., Noma, M., & Ahmed, M. H. (2019). Adherence to Antidiabetic Medications Among Sudanese Individuals With Type 2 Diabetes Mellitus: A Cross-Sectional Survey. *Journal of Patient Experience*, 7(2), 163–168. <https://doi.org/10.1177/2374373519831073>
 4. Chiavaroli, L., Lee, D., Ahmed, A., Cheung, A., Khan, T. A., Blanco, S., Mejia, Mirrahimi, A., Jenkins, D. J. A., Livesey, G., Wolever, T. M. S., Rahelić, D., Kahleová, H., Salas-Salvadó, J., Kendall, C. W. C., & Sievenpiper, J. L. (2021). Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ*, n1651. <https://doi.org/10.1136/bmj.n1651>
 5. Crespo, T. S., Andrade, J. M. O., Lelis, D. de F., Ferreira, A. C., Souza, J. G. S., Martins, A. M. E. de B. L., & Santos, S. H. S. (2020). Adherence to medication, physical activity and diet among older people living with diabetes mellitus: Correlation between cognitive function and health literacy. *IBRO Reports*, 9, 132–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibror.2020.07.003>
 6. Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasis-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. *Revista Alergia México*, 64(3), 364–370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
 7. Franz, M. J., Boucher, J. L., Rutten-Ramos, S., & VanWormer, J. J. (2015). Lifestyle Weight-Loss Intervention Outcomes in Overweight and Obese Adults with Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115(9), 1447–1463. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.02.031>
 8. Hernández-Rincón, E. H., Muñoz-Abril, Y. C., & Avella-Pérez, L. P. (2019). Rol del médico familiar en el nuevo modelo integral de atención en salud en Colombia. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 35(3), 1–16. <https://revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/466>
 9. Kretchy, I. A., Koduah, A., Ohene-Agyei, T., Boima, V., & Appiah, B. (2020). The Association between Diabetes-Related Distress and

- Medication Adherence in Adult Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Cross-Sectional Study. *Journal of Diabetes Research*, 2020, 4760624. <https://doi.org/10.1155/2020/4760624>
10. McKenzie, A. L., Athinarayanan, S. J., McCue, J. J., Adams, R. N., Keyes, M., McCarter, J. P., Volek, J. S., Phinney, S. D., & Hallberg, S. J. (2021). Type 2 Diabetes Prevention Focused on Normalization of Glycemia: A Two-Year Pilot Study. *Nutrients*, 13(3), 749. <https://doi.org/10.3390/nu13030749>
11. Palacios-Barahona, U., Arango-Posada, M. del M., Ordoñez, J. E., & Alvis-Guzman, N. (2019). Calidad de vida de pacientes con diabetes tipo 2 en Colombia. Revisión sistemática y metaanálisis acumulativo. *CES Psicología*, 12(3), 80–90. <https://doi.org/10.21615/cesp.12.3.6>
12. Pedraza Avilés, A. G., Gilbaja Velázquez, L. S., Villa García, E., Acevedo Giles, Ó., Ramírez Martínez, M. E., Ponce Rosas, E. R., & Dávila Mendoza, R. (2015). Nivel de adherencia al tratamiento y el control glucémico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 descontrolados. *Revista Mexicana de Endocrinología, Metabolismo y Nutrición*, 2, 11–17. file:///C:/Users/lnfab/Downloads/Endocrinologia_2015_2_1_011-017.pdf
13. Pérez Flores, G., Aguirre Rangel, M., Sánchez Briones, M. E., & Torres Tirado, J. D. (2018). Evaluación de la intervención nutricional en la modificación del estilo de vida en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Revista Académica de Investigación*, 28, 55–75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7290392>
14. Ramiro, M. (2021). Diabetes y Corazón. *Medicina Interna de México*, 37(5), 905. <https://medicinainterna.org.mx/article/diabetes-y-corazon/>
15. Reyes Sanamé, F. A., Pérez Álvarez, M. L., Alfonso Figueredo, E., Ramírez Estupiñan, M., & Jiménez Rizo, Y. (2016). Tratamiento actual de la diabetes mellitus tipo 2. *Correo científico médico*, 20(1), 98–121. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812016000100009&lng=es&tlang=es.
16. Rezaei, M., Valiee, S., Tahan, M., Ebtekar, F., & Ghanei Gheshlagh, R. (2019). Barriers of medication adherence in patients with type-2 diabetes: a pilot qualitative study. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 12, 589–599. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S197159>
17. Rosas, S. F. J., López, S. A. D., & Jiménez, H. S. (2019). Afrontamiento en pacientes con diabetes mellitus 2 con y sin retinopatía. *Psicología y Salud*, 29(2), 219–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.25009/pys.v29i2.2588>

18. Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference* (2a ed.). Houghton Mifflin.
19. Silva, C. A., Moraes, N. M., Souza, G. F. P., Brito, F. I., Antonio Jr, M. E., & Cipriano, A. E. (2020). Adherence to Drug Treatment of People with Diabetes Mellitus. *Ann Clin Diabetes Endocrinol*, 3(1), 1013.
https://www.researchgate.net/publication/339416632_Adherence_to_drug_treatment_of_people_with_diabetes_mellitus

Empowering Diversity in Education: A Web-Based Tool for Real-Time Sign Language Detection

Shefqet Meda

Canadian Institute of Technology, Tirana, Albania
International Balkan University, Skopje, North Macedonia

Oresti Leka

Canadian Institute of Technology, Tirana, Albania

Hiqmet Kamberaj

International Balkan University, Skopje, North Macedonia

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p29](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p29)

Submitted: 17 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 01 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Meda S., Leka O. & Kamberaj H. (2024). *Empowering Diversity in Education: A Web-Based Tool for Real-Time Sign Language Detection*European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 29.
<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p29>

Abstract

People worldwide have severe hearing loss and there is little to no technological involvement to empower diversity and inclusion in the education system. This study aims to provide an understanding of the needs of the community of such individuals and a possible solution to the problem using current advances in artificial intelligence technologies. In particular, we will present a solution to the problem through a real-time sign language detection web application. First, the structural and functional aspects of the application are described, followed by the software architecture needs. The technological aspect of the application is entirely defined by expressing all the significant implementations of each programming language contained behind the software diagrams and architecture. This study will provide the latest technologies in the market combined with a well-planned and developed image detection application that is scalable, portable, maintainable, and efficient in empowering diversity in education. This technologically up-to-date application is delivered as a full-stack web application. The application produces results that waver between 85%-95% quality off detection; it consists of a bi-partite backend, one for creating and compiling models, namely Python, TensorFlow, and Jupyter Notebooks, and the other part held by

Node.JS to power the front-end built with React and TensorFlow's JS. This study presents a fully developed web-based application that has the potential to impact and improve diversity in education significantly.

Keywords: Diversity in Education, Artificial Intelligence, Machine Learning, Sign Language Detection

1. Introduction

Freedom of expression, a universally recognised human right, is crucial for the deaf community. The Canadian Museum for Human Rights (Canadian, 2019) asserts that language rights are human rights, a principle that underpins our research. We aim to address the communication challenges faced by the deaf community, who often struggle to express themselves due to their speaking impairment, particularly in the context of education.

Millions of people worldwide have severe hearing loss. The overwhelming majority reside in low—and middle-income nations (WHO, 2024), where they frequently lack access to suitable ear and hearing care treatments. Additionally, hundreds of millions of people are at risk for hearing loss from noise exposure, including both industrial and recreational noise, known as *noise pollution* (GBD 2019 Hearing Loss Collaborators, 2021). Hearing loss is a severe barrier to those without appropriate solutions.

Public health initiatives can stop many causes of hearing loss. People with hearing loss can realise their full potential through rehabilitation, education, and empowerment.

For example, in Albania, according to the Institute of National Statistics (INSTAT), 6.2% of the entire adult population suffers from some limited ability, and 1.5% suffer from speech impairment (INSTAT, 2019). It is a small number in statistics, but it may be significant for those who live that life. The sign language detection web application intends to tackle the struggles of everyday life for these individuals, serving as a bridge between them and people who might have difficulty understanding them, allowing them the freedom of expression and easing their burden.

The real-time sign language detection web application, combining some of the latest technologies available, intends to create a tool to aid these people in their everyday activities and education. Breaking down the need for specialised devices or even human translators, the so-called *web apps* can turn every smartphone and every computer at the user's disposal into their immediate, instantaneous translator to convey every sign they make into written words. As a result, the receiver of the message is no longer required to know sign language to communicate.

With TensorFlow (Géron, 2019) as its main component for image detection and classification and Python (Ramalho, 2022) programming

language, known for fast processing speed and machine learning, this web application is a quick and dependable solution that can fit in a pocket. Adding to them a front-end with React.JS (Alex Banks, 2020) upheld by Node.JS (Mario Casciaro, 2020), both based on JavaScript (Osmani, 2023), the most popular programming language at the moment, makes it state-of-the-art software. Especially since Albania had little to no technological involvement in this area, to the best of our knowledge, we hope to shift in a better direction and aim with this technology to empower diversity and inclusion in the education system.

The primary purpose of this study is to give a clear understanding of what a community of individuals is going through as we speak. Secondly, this study provides an option for a possible solution to the problem using current advanced technologies. In particular, we are searching for a solution that implements real-time sign language with TensorFlow and a ReactJS web application.

Furthermore, this study aims to answer the following common questions:

- i. What is the current and historical state of the deaf community in Albania?
- ii. How does the web application aid and affect that community?

2. Methodology

2.1. Global Analysis

According to the World Health Organization (WHO, 2024), millions of people around the globe live with a hearing impairment problem, as displayed in Table 1 in detail.

| Grade impairment | Corresponding audiometric ISO value | Performance | Recommendations |
|---------------------|-------------------------------------|--|---|
| No impairment | Less or equal to 25 dB (better ear) | No or very slight hearing problems. Able to hear whispers | |
| Slight impairment | 26-40 dB | Able to hear and repeat words spoken in a normal voice at a distance of one metre. | Counselling because aids may be needed. |
| Moderate impairment | 41-60 dB (better ear) | Can hear and repeat words spoken in a raised voice at a distance of one metre | Hearing aids are usually recommended. |

| | | | |
|--|--|--|---|
| Severe impairment | 61-80 dB (better ear) | Can hear some words when shouted into a better ear | Hearing aids are needed. If no hearing aids are available, lip-reading and sign language should be taught. |
| Profound impairment, including deafness | Greater or equal to 81 dB (better ear) | Can not hear and understand even a shouted voice | Hearing aids may help in understanding words. Additional rehabilitation is needed. Lip-reading and sometimes signing are essential. |

Table 1: Grades of hearing impairment (WHO, 2024)

Besides, most of the affected by hearing impairment can be found in third-world countries. Children who suffer from measles, mumps, rubella, meningitis, and ear infections are more than 30% more likely to have hearing loss. Up to 330 million people worldwide are thought to experience chronic otitis media or ear infections. Chronic ear infections result in hearing loss when untreated and other potentially fatal problems (WHO, 2024). A summary is as follows (WHO, 2024):

- 34 million children are affected by hearing loss.
- Nearly one out of every three people over 65 years old are affected by hearing loss.
- Noise is a major avoidable cause of hearing loss.
- Sign language and captioning services facilitate communication with deaf and hard-of-hearing people.
- Of those who could benefit from a hearing aid, only 17% use one.
- Globally, 1.5 billion people live with some hearing loss, of which around 430 million require rehabilitation services.

The following shows the importance of that aimed at our study:

- Firstly, we conclude that a real problem needs to be tackled.
- Secondly, we understand the situation, its causes, and whether something can be done.
- Thirdly, the World Health Organization stresses that this is a significant problem in deaf communities in third-world countries. This directly affects Albania (including other countries in the Balkan region), a high third-world-low second-world tier nation. Since the web application will be jump-started in Albania, there is only one way to proceed by knowing the situation of this community in this country to determine if there is a need for this sort of intervention.

As stated above, this nation is developing and struggling. Little to no effort is directed toward marginalised groups of society and their needs. The

studies that have been conducted date back to 2015-2016 (Finnish Association of the Deaf, 2016) and no other relevant effort has been made except the following from INSTAT (INSTAT, 2019), displayed in Figure 1, which includes data from 2011 sources (Census 2011).

LIMITED ABILITY OF EVERY TYPE OF IMPAIRMENT



Figure 1. Limited ability's prevalence according to the impairment type (in percentage) (INSTAT, 2019)

Figure 1 shows that out of the 6.2% of individuals with limited ability, 1.5% of the population has a hearing-induced loss, which translates to about 4000 individuals (INSTAT, 2019). This demonstrates that these situations can be found and reflected in Albania. But why would there be a need for a sign language detection web application for these people to communicate?

The answer lies not with the deaf community but with the rest of the population, as shown in Figure 2 (Finnish Association of the Deaf, 2016). The hearing-impaired community has no trouble expressing itself but is challenged when it wants to live an everyday life and communicate with others. A 2015 survey study conducted in collaboration with the Albanian government, the Finnish Association of the Deaf, and many others found that 68% of people interviewed do not know the Albanian sign language, 25% of them know a little, and only 7% knew it at very well level (Finnish Association of the Deaf, 2016).



Figure 2. Knowledge of Albanian Sign Language among respondents
(Finnish Association of the Deaf, 2016)

Thus, most of the population (around 68%) must know about the Albanian sign language. That establishes a group of affected individuals of interest, and there is a gap between them and the rest of the population that we need to try to mend.

During our study of any attempts made to intervene in this situation, it was found that using a Kinect device and an image-capturing device, one can capture images, segment them, and properly label them (Eriglen et al., 2015). However, in today's world, it could be more practical because Kinect technology has fallen far behind the likes of PyTorch and, in particular, TensorFlow. Not to mention that these new technologies do not require additional hardware to make real-life detection possible.

We have detected a substratum of individuals who have limited ability and might need aid. Besides, we have determined the gist of their problem for the rest of the population. Moreover, more effort is required to aid, regress, or solve this issue, with the last attempt being about eight years ago. Therefore, the real-time sign language detection web application could be a groundbreaking intervention and lasting solution for all the parties affected by this situation.

The real-time sign language detection with TensorFlow (Géron, 2019) and ReactJS (Alex Banks, 2020) web applications developed and discussed in this study results from combining the best and most popular technologies. We can use Python (Ramalho, 2022) with TensorFlow (Géron, 2019) to create a machine learning environment, capture sample images, and turn them into trained detection models easily, quickly, and consistently, making future growth or maintenance easy. TensorFlow's JS enables us to compress all

model data into a lightweight and transportable format that can be easily stored and used as a link in the React web application construction. That computer technology infrastructure may allow every device to become a detection device that everyone can use.

3. Software Requirement Specification

3.1 Requirements

Enumerated Functional Requirements

This software works in system-user real-time operation. The user only needs to input visual stimuli for the software to process them independently. Thus, for documentation, we will display the software's functional requirements. Here, Figures 3 – 8 demonstrate the software's basic needs and ideas and the results of its utilisation.

- 1) The following software functional requirements can be listed (see also Figure 3): Access and activate the camera or video recording device.
- 2) Detect and label said detection.

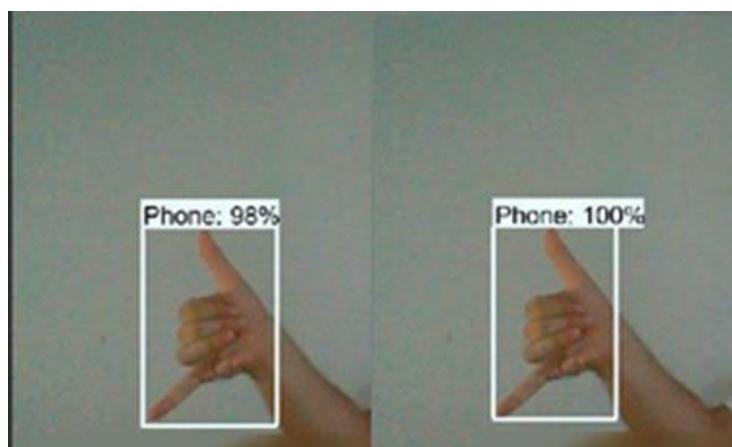


Figure 3. Detect and label detection

Return a detection from one or more elements of the sets shown in Figure 4 and Figure 5.

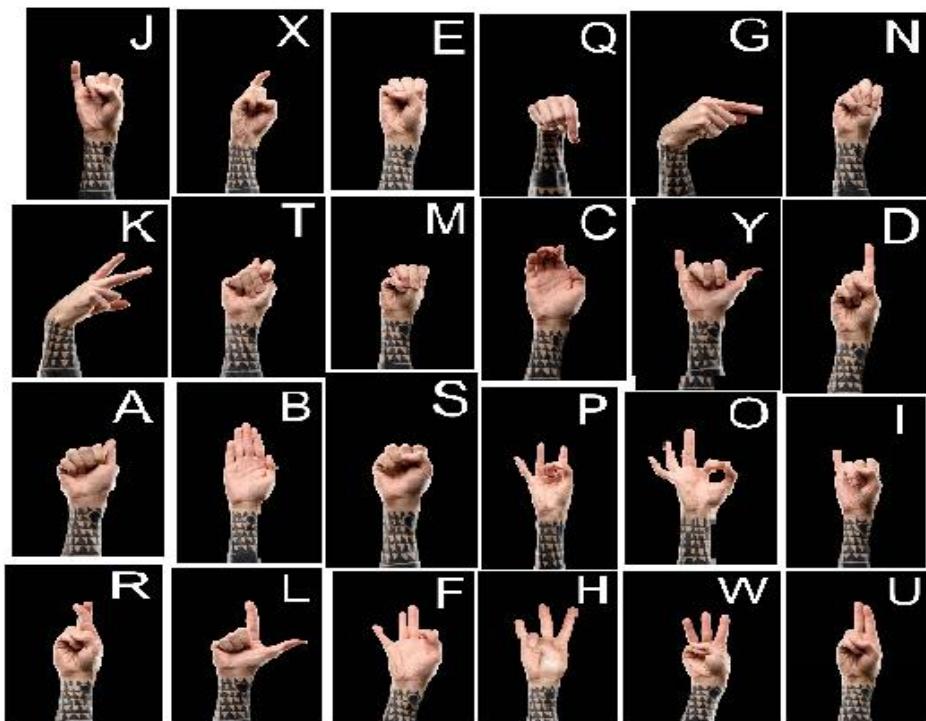


Figure 4. Sign Language (depositphotos.com, 2024).



Figure 5. Different Sign Language (Chemistry, 2016)

Concrete test results, as shown in Figure 6 to Figure 8.

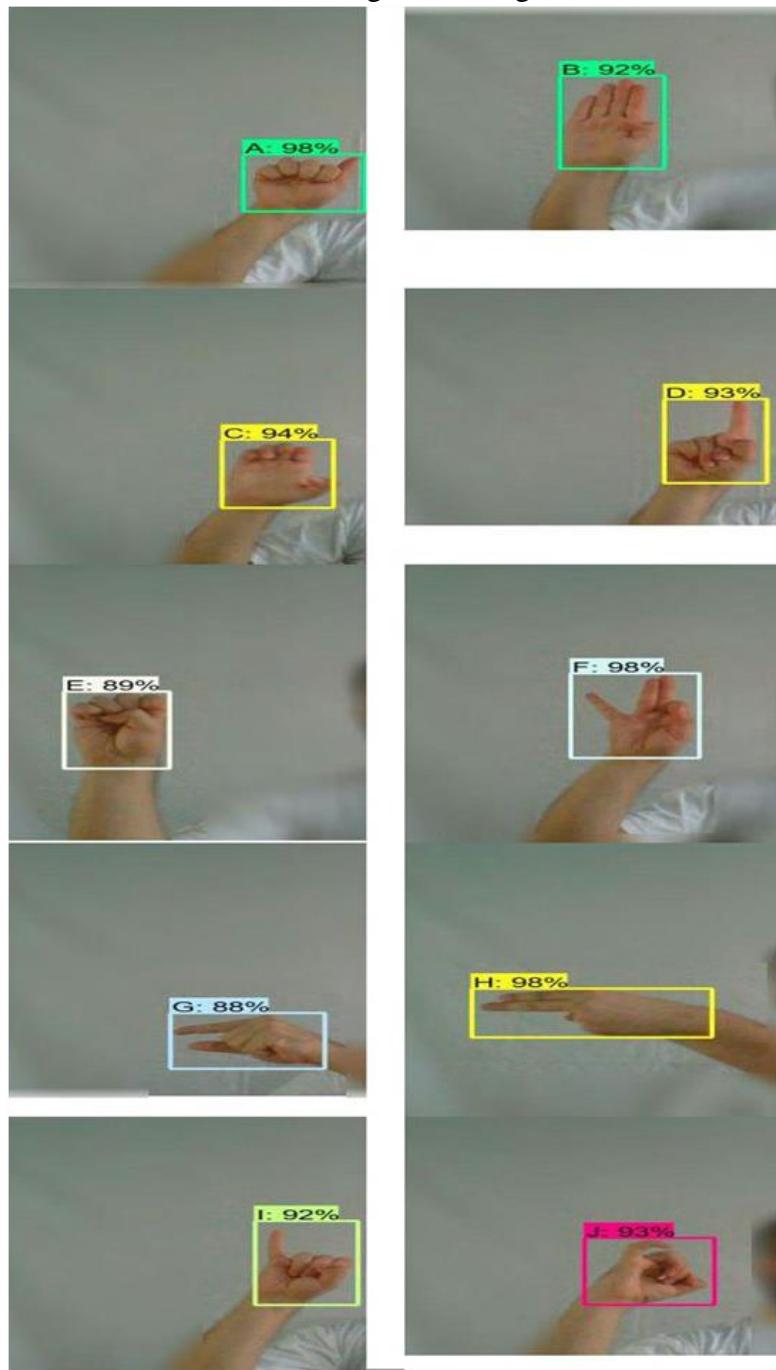


Figure 6: Concrete results (set 1) of the tests with the signs taking into account the real conditions of the camera, the background, the way of making the sign, the training, the code, and the way of execution. The output accuracies, for each sign tested in real-time, are at levels at least 88%.

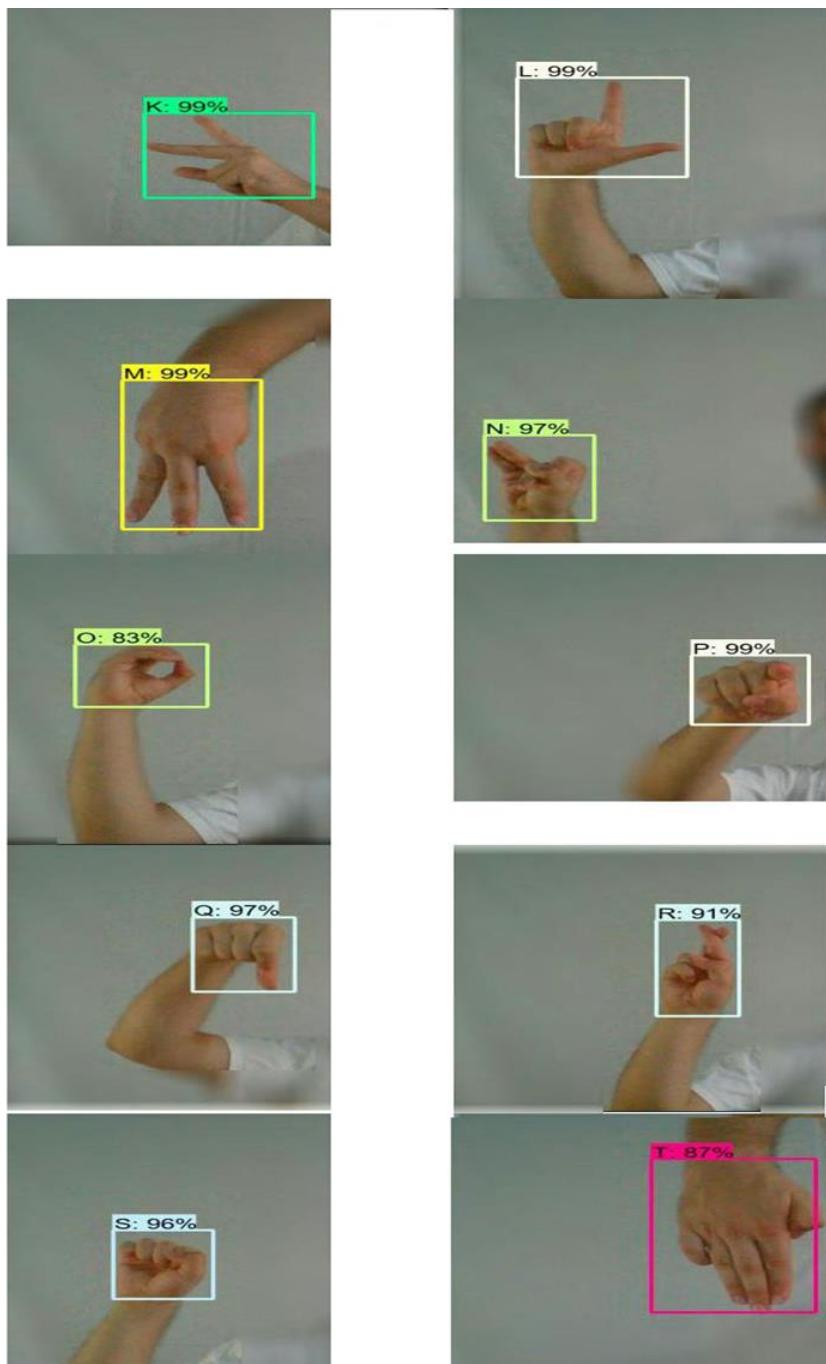


Figure 7: Concrete results (set 2) of the tests with the signs taking into account the real conditions of the camera, the background, the way of making the sign, the training, the code, and the way of execution. The output accuracies, for each sign tested in real-time, are at levels at least 83%.

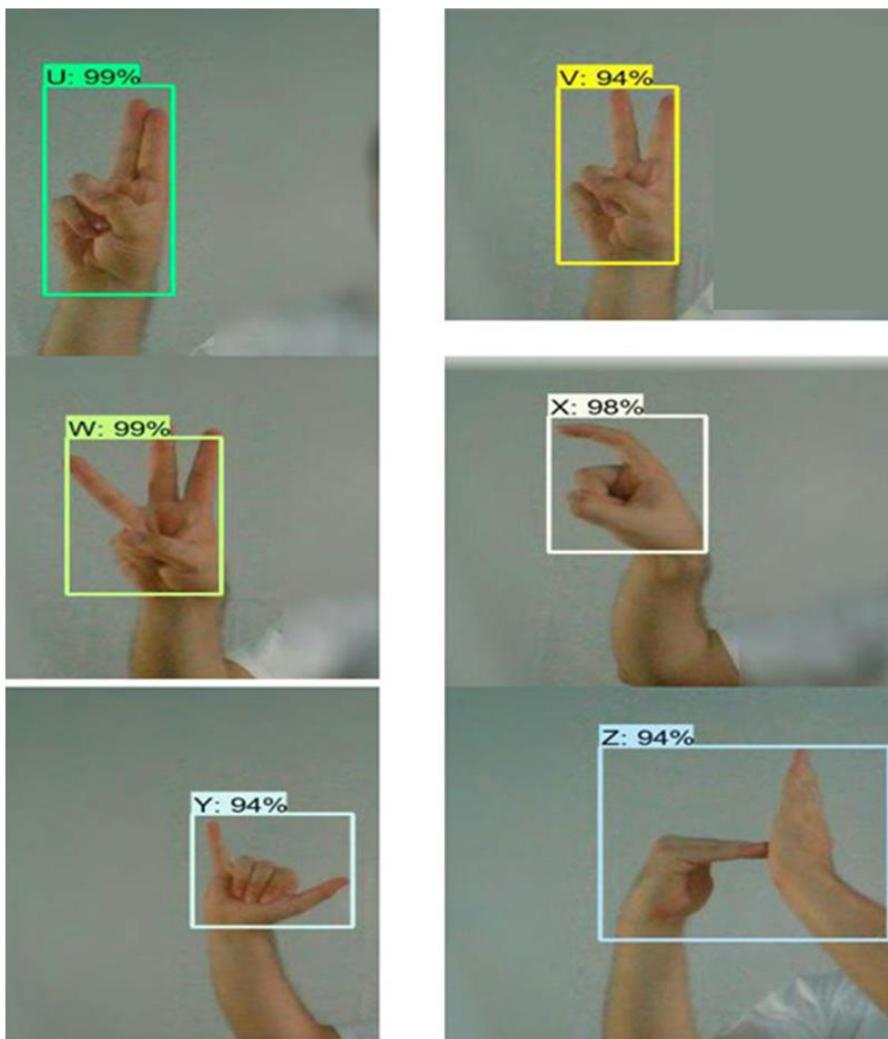


Figure 8: Concrete results (set 3) of the tests with the signs taking into account the real conditions of the camera, the background, the way of making the sign, the training, the code, and the way of execution. The output accuracies, for each sign tested in real-time, are at levels at least 94%.

Enumerated Non-Functional Requirements **Usability Requirements**

This feature concerns the users about how effectively they can learn and use a system, such as:

- Being user-friendly,
- Wide variety of options to choose from,
- Being able to be accessed quickly, and
- Being adaptable for each screen size.

Performance Requirements

- The site should load in at least 3 seconds, according to the standard web page/app loading time.
- Response time when the visual trigger is detected:
- 2 seconds - the limit after which the system reaction does not seem instantaneous;
- 1-2 seconds - when users might have a slow internet connection;
- More than 10 - 12 seconds - when the user has a low-quality capturing device or is not inserting proper triggers.

Security Requirements

- A web application uses HTTPS for security.
- A web application has no data taken from users, thus eliminating the possibility of leaks.

Software Quality Attribute Scenarios

- Usability Scenario

Figure 9 gives a simple visual representation of how a stimulus is introduced in the system.

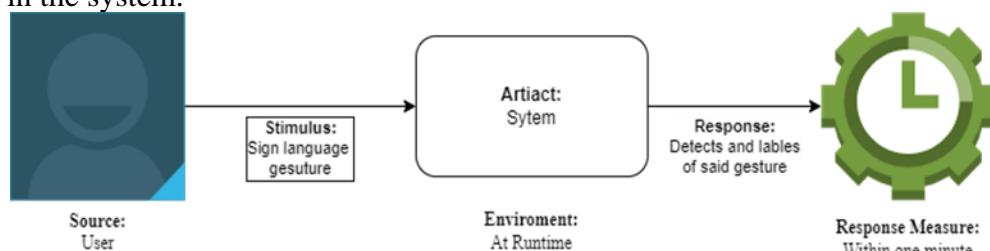


Figure 9. Usability Scenario

Hardware Requirements

This web application does not require additional hardware. Due to TensorFlow (explained in the technology section), users need only a device capable of connecting to the Internet and any image- or video-capturing device.

Software Requirements

We can access the web application from any available web browser. Any Windows system (version eight and above) is preferred for computers and laptop operating systems, and any Linux system released after 2013. As for mobile devices, there should be no issue with usage, but due to the hardware constraints on the capturing devices, Android 7.0 or a newer version is the best fit.

3.2 Software Architecture

The application follows the Model View Controller (MVC) architectural pattern, as sketched in Figure 10. As mentioned in (mozilla.org, 2024), the MVC pattern is made out of three main components:

Model – All business logic is contained in the backend. Here, various algorithms or computations are carried out to provide the front end with the quickest and lightest answer feasible for each request.

View – The front end of an image detection or recognition web application is a visual representation of what the device captures at the moment of usage. Thus, it does not have a fleshed graphical interface like other applications, such as Snapchat, but a live camera feed.

Controller – This is the brain of the application that controls how the data will be displayed. It takes the visual stimuli that get input through the front end/capturing device and sends them to be cross-referenced with the detection models in the backend, then displays the appropriate detection in the front end. Figure 10 shows how MVC works for this application.

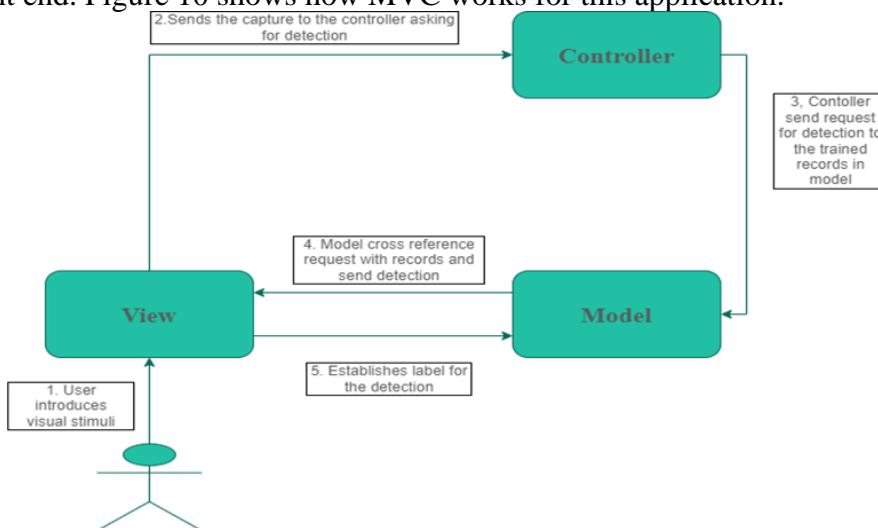


Figure 10. Illustration of how MVC works (mozilla.org, 2024)

4. Implementation of Object Detection

This type of application is a full-stack web application with MVC architecture, used for creating highly effective, scalable, reliable, and efficient applications. The image detection web application consists of two leading technologies, Python and JavaScript, and their sub-packages. The leading technologies are utilised in constructing this project, such as Python (RedMonk, 2024), TensorFlow and PyTorch (Trends, 2024), Node.js (Casciaro & Mammino, 2020), JavaScript is used (Osmani, 2023; Yankiver, 2021), ReactJS and TensorFlow's JS (Built With, 2024).

4.1 Image Processing and Detection Implementation

After understanding what this web application needs to fulfil in terms of requirements and what technologies have been implemented in developing the software, let's observe the coding factors that build the basis for the upcoming application. We will see the two primary partitions of the back end of this application, namely the *image collection* and *detection training*.

4.2 Image Collection

To create the application's basis, we first needed to have Python access to the capturing device's camera, which, in this case, was our laptop. Jupyter Notebook comes in handy in this situation. Because a compiler can be used previously and might have libraries and other packages that may overlap or intrude on our work, creating a separate virtual environment in Jupyter allows us to have only the libraries needed to develop this software.

OpenCV-Python stands for "open computer vision," a library that, by installing it, will allow Python to access the device's video camera, allowing it to capture images. Then, we get some imports of the basic needs for the application:

```
import cv2: imports open cv so it can be used.  
import uuid: imports Universally Unique Identifier so we can name every  
image uniquely, which is very important.  
import os: imports operating system for the notebooks to work with  
import time: imports the concept of time into the code to time the image  
capture sequence.
```

After setting up the basic dependencies, we can start the image collection process. First, there is a need to create labels and set the number of images that will be collected per label, like:

```
labels = [#insertLabels]  
number_imgs = 10 (preferably)
```

Note that this states in the code what is needed; we then proceed to create these files with appropriate paths:

```
IMAGES_PATH = os.path.join('TensorFlow', 'workspace', 'images',  
'collected images')
```

Since we are working in a Jupyter Notebook, we added a verification script to determine the path depending on the operating system used.

The proper paths will be created for Windows or Linux, depending on the OS used. We can proceed with image collection with the dependencies imported and the label paths created.

It works by first searching all the labels created, thus gauging the number of files that need images collected. Then, it enables OpenCV and gains access to the camera or capture device. It collects images for each label, gives them unique identifiers, and terminates the function after fulfilling its process.

Once the images are collected, we power up Anaconda, a library that allows us to label the elements in the pictures we are interested in detecting. We first install PyQt5 (Fitzpatrick, 2022), a library that will enable the input of labels on the images.

```
!pip install --upgrade PyQt5 lxml
```

Once installed, we set up the files and the file path where these labels will be stored:

```
LABELIMG_PATH = os.path.join('TensorFlow', 'labelling')
```

In our case, we did not have the proper file format to proceed. Hence, the git hub repository of LabelImg (Lin, 2024) came in handy to solve the problem and build the paths, so we turned it into a script if there was one. Future maintenance will also be needed.

Since paths were built, an OS verification script must be run, as the following:

```
if os.name == 'posix':  
    !cd {LABELIMG_PATH} && make qt5py3  
if os.name == 'nt':  
    !cd {LABELIMG_PATH} && pyrcc5 -o libs/resources.py resources.qrc
```

In this case, the verification script also integrates the PyQt5 library into the path, allowing to run the command to activate the label program:

```
cd {LABELIMG_PATH} && python labelImg.py
```

Having the program up and running, we could label every entry for each image, as shown in Figure 11.

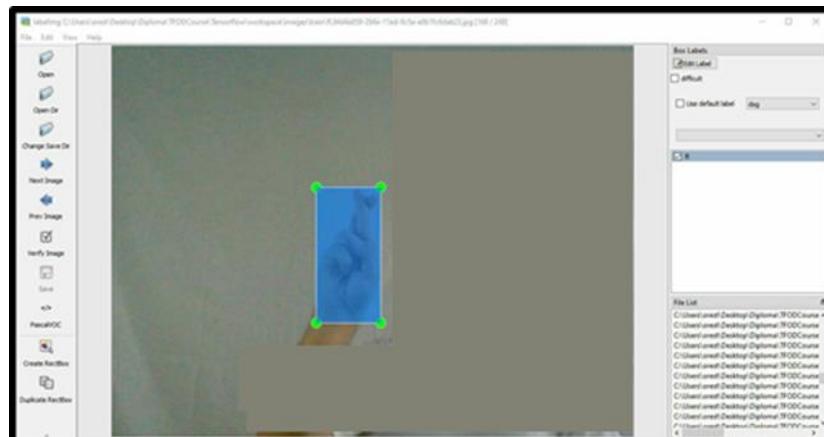


Figure 11: Labeling detections

The labelling library allows us to select the desired element for detection for each image. This is done manually and is time-consuming, but we shift the images into a test and training folder once it is done. That successfully concludes the image collection partition of this software development process.

4.3 Detection Training

This partition of the code took place in another Jupyter Notebook. Thus, some basic dependencies need to be set in place again. This part of the notebook focuses on training object detection and creating trained models to be tested and implemented in the web application as pre-trained models. It all begins by importing the OS into the notebook.

CUSTOM_MODEL_NAME: Defines the name the trained detection model will have.

PRETRAINED_MODEL_NAME: TensorFlow's default trained detection model can later be changed to suit the software's needs.

PRETRAINED_MODEL_URL: The site where the pre-trained models are retrieved.

TF_RECORD_SCRIPT_NAME: Generating record files where the training and testing will be done.

LABEL_MAP_NAME: Creation of a label map.

After setting the pre-trained model variables, the software must create all the paths it will use for training.

The script builds every path needed for the resources that a training model takes. Then, all that remains is an OS verification script to build these

files again in the proper order for the appropriate system, as provided in the submitted software.

With all of these components in place, the next step is to incorporate TensorFlow and TensorFlow object detection into our code and software; this will serve as the foundation for training the previously collected array of images.

This brings the software to a stage where:

- The images have been stored and labelled.
- All the paths needed are created.
- TensorFlow object detection has been installed.

The training process followed these steps.

Step 1: Creation of a label map for all the labels created until now.

Step 2: Create the train and test record files. These will go on to be trained:

```
python           {files['TF_RECORD_SCRIPT']}      -x
{os.path.join(paths['IMAGE_PATH'], 'train')} -l {files['LABELMAP']} -o
{os.path.join(paths['ANNOTATION_PATH'], 'train.record')}
python           {files['TF_RECORD_SCRIPT']}      -x
{os.path.join(paths['IMAGE_PATH'], 'test')} -l {files['LABELMAP']} -o
{os.path.join(paths['ANNOTATION_PATH'], 'test.record')}
```

Step 3: With the labels and record files in place, the program is ready to begin training with the command:

```
pythonTensorflow\models\research\object_detection\model_main_tf2.py--
model_dir=TensorFlow\workspace\models\my_ssd_mobnet
-
pipeline_config_path=Tensorflow\workspace\models\my_ssd_mobnet\pipeline.config--num_train_steps=10000
```

This command starts the training procedure. Every image taken is cross-referenced with each other for 10,000 steps, which takes a significant amount of time and processing power. (Note that a weak or old device might break down, so a powerful device is suggested.) The detection model is complete at the end of the process, and development can move forward.

5. Evaluation and Testing

5.1 Evaluation

After training is finished, we can do statistical analysis using the following Python command line:

```
PythonTensorflow\models\research\object_detection\model_main_tf2.py--  
model_dir=TensorFlow\workspace\models\my_ssd_mobnet--  
pipeline_config_path=Tensorflow\workspace\models\my_ssd_mobnet\pipeli  
ne.config--  
checkpoint_dir=TensorFlow\workspace\models\my_ssd_mobnet
```

Output is shown in Figure 12.

```
Accumulating evaluation results...  
DONE (t=0.53s).  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.870  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 1.000  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.75 | area= all | maxDets=100 ] = 1.000  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = -1.000  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.825  
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.875  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 1 ] = 0.877  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 10 ] = 0.877  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.877  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = -1.000  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.833  
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.881  
INFO:tensorflow:Eval metrics at step 10000
```

Figure 12. Evaluations results

The ideal result would be to get as close as one, and the evaluation results show that the average precision is 0.875 and the average recall is 0.881—auspicious results.

Thanks to the Tensor Board subpackage of TensorFlow, further evaluation is possible. The results are shown in Figure 13.

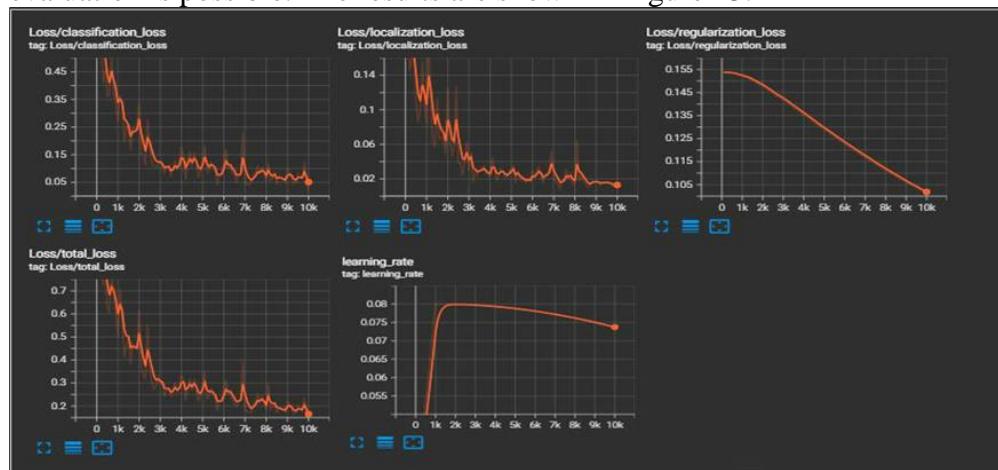


Figure 13. Evaluation graph

Interestingly, every loss metric for this training process shows a decreasing trend, and the learning rate shows primarily an increasing trend. With these evaluations, we can test the models.

5.2 Testing

To test if the detection works, we need to run a code snippet to check if any detection is happening in the test partition. The procedure is displayed in Figure 14.

```
img = cv2.imread(IMAGE_PATH)
image_np = np.array(img)

input_tensor = tf.convert_to_tensor(np.expand_dims(image_np, 0), dtype=tf.float32)
detections = detect_fn(input_tensor)

num_detections = int(detections.pop('num_detections'))
detections = {key: value[0, :num_detections].numpy()
               for key, value in detections.items()}
detections['num_detections'] = num_detections

# Detection classes should be ints.
detections['detection_classes'] = detections['detection_classes'].astype(np.int64)

label_id_offset = 1
image_np_with_detections = image_np.copy()

viz_utils.visualize_boxes_and_labels_on_image_array(
    image_np_with_detections,
    detections['detection_boxes'],
    detections['detection_classes']+label_id_offset,
    detections['detection_scores'],
    category_index,
    use_normalized_coordinates=True,
    max_boxes_to_draw=5,
    min_score_thresh=.8,
    agnostic_mode=False)

plt.imshow(cv2.cvtColor(image_np_with_detections, cv2.COLOR_BGR2RGB))
plt.show()
```

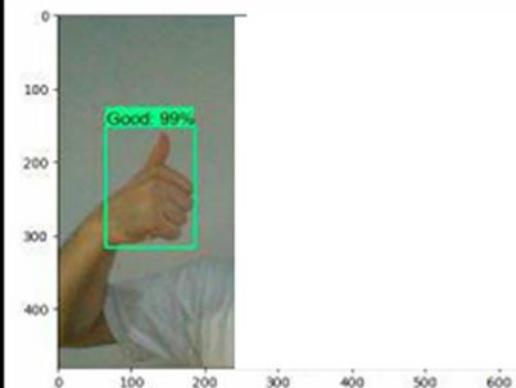


Figure 14: Test result

Notably, the script runs successfully, so the image collection and training have been conducted successfully. All that remains now is making these partitions in TensorFlow's JS format and sending them to the React web application. We implemented the Web-based Tool for Real-time Sign Language Detection by combining TensorFlow and ReactJS.

Additionally, we have provided Jupyter notebooks for each experiment and other necessary tools to facilitate further exploration and analysis. By making our code openly accessible, we hope to encourage collaboration and contribute to the reproducibility of research in the field.

6. Discussions

Recently, the two fields of Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) have gained much prominence in image detection and construction space (Rabie et al., 2022). Though huge strides have been made, these fields have yet to reach their full potential in efficacy (Gates, 2023). In our approach to tackling an issue that plagues millions worldwide, we decided to implement a study and development methodology based on practicality, speed, user-friendliness, and, as already stated above, efficacy. We can quickly build a three-step path to success using TensorFlow (Trends, 2024), the best that machine learning has yet to offer. The steps that we propose consist of building, training, and deploying. Building the basis of the program and a web app allows quick data collection and database implementation. Followed up by training upon gathering ensures a stream of information is fed to the algorithm to maximise the image detection output. Lastly, having the app already running keeps the stream uninterrupted and on a fast track to live deployment. In conjunction with user feedback, all these three key points turn the path into a moldable cycle that can transform the final product to better fit and improve each user experience. With the infrastructure already built, this cycle can be run over and over to remove the language barrier for users, as it can endlessly grow with no drawbacks into a global solution.

Nevertheless, this methodology remains, to date, the best way to break the barrier of words in a real case, a live scenario that will be the basis for bettering numerous lives through a diversity and inclusion process.

Other sign language detection software applications have also been developed, such as using Teachable Machine Monaca, Vue.js, and Framework7 for Japanese Sign Language (Pablo, 2022), AI sign (a sign language recognition application designed for iPhone), capable of working in two modes, namely the action recognition mode and capture mode (RockCat Studio Limited, 2024), and Sign Language Translator AI (Changhwan, 2023), which only recognises the Korean sign language. Related to real-time sign language recognition, we can mention Image Pro (Omnisoftex, 2023), which is developed for Android devices. Regarding the technologies used, we can mention real-time hand gesture recognition using convolutional neural networks (Sahoo et al., 2022), sign language alphabet hand posture using the geometrical features and artificial neural network (Kolivand et al., 2021), and an American sign language recognition app using recurrent neural network (Lee et al., 2021).

The app developed in this study supports the basic English alphabet and some hand signs using advanced technologies. The use of Python and TensorFlow creates an app that is easily moldable and growable in the future. We believe that our app is secure and can have a social impact to the diversity and inclusion in education.

Conclusions

The primary goal of this study was the implementation of a web application and utilisation of advanced technologies. Our study indicated that real-time sign language detection with TensorFlow and a ReactJS web application can demonstrate:

- i. One-tap activation, that is, there is little to no difficulty in usage,
- ii. almost instantaneous response between visualisation and classification,
- iii. a dynamic, ever-growing library of detections, and
- iv. adaptability to every device.

We hope and believe in making this application a straightforward, usable, and portable web app in the future. In its current state, it supports the basic English alphabet and some hand signs, making it for about 31 possible detections and compelling the usage of these technologies. Furthermore, the use of Python and TensorFlow made the application easily moldable and growable, for a potentially limitless and timeless use. While this first version is a reasonable step towards future goals, we believe it is a secure one in the right direction for life improvement in our community, based on the principle of diversity and inclusion.

Software Availability

The source code for our project is available on GitHub (O.Leka, 2023) at <https://github.com/Oresti9919/SignLanguageApp/tree/main>.

The repository contains the following three elements:

1. Application: Created on July 22, 2023.
2. Image Gathering: Created on July 22, 2023.
3. Training and Preview: Created on July 22, 2023.

Authors Contributions: Shefqet Meda: He did conceptualisation, provided the resources, and supervised the software writing, development, and testing. Oresti Leka: He wrote, tested, and evaluated data curation, prepared the figures, and analysed the software results. He also wrote the first draft of the paper. Hiqmet Kamberaj: He was involved in methodology, validation, investigation, formal analysis, funding acquisition, and preparing the final version of the edited paper, including the English language check.

Acknowledgments: The author (H. K.) thanks the International Balkan University's support.

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

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

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

References:

1. Alex Banks, E. P. (2020, April 22). *Learning React: Modern Patterns for Developing React Apps*. O'Reilly Media. Retrieved April 22, 2024, from <https://react.dev>: <https://react.dev/>
2. Canadian. (2019, September). *Canadian Museum for Human Rights*. Retrieved 2019, from Language rights are human rights: humanrights.ca/story
3. Casciaro, M., & Mammino, L. (2020). *Node.js Design Patterns - Third Edition: Design and Implement Production-Grade Node.js Applications Using Proven Patterns and Techniques*. Packt Publishing.
4. Changhwan, N. (2023, October 23). *Sign language translator AI*. Retrieved August 05, 2024, from Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.siyaroll.sltranslator&hl=en&pli=1>
5. Chemistry, R. S. (2016, August 23). *3D graphene adds dimension to deaf-mute communication*. Retrieved from <https://www.chemistryworld.com/news/3d-graphene-adds-dimension-to-deaf-mute-communication/1017315.article>
6. depositphotos.com. (2024, January 21). *Set of deaf and dumb language*. Retrieved January 21, 2024, from Set of deaf and dumb language: <https://depositphotos.com/photo/set-deaf-dumb-language-tattooed-male-hands-latin-alphabet-isolated-231581414.html>
7. Eriglen, G., Alda, K., & Bruno, G. (2015). A Real-Time Vision-Based System for Recognition of Static Dactyls of Albanian Alphabet. In F. A. Deaf, *Deaf People in Albania*.
8. Finnish Association of the Deaf. (2016). *Deaf People in Albania in 2015. A survey study*. (I. L. Rainò, Ed.) Albania: Gent Grafik.
9. Fitzpatrick, D. M. (2022, October 14). *Create GUI Applications with Python & Qt5: The hands-on guide to making apps with Python*. Kindle edition. Retrieved from Create GUI Applications with Python & Qt5: The hands-on guide to making apps with Python
10. Gates, B. (2023, December 26). *AI is about to supercharge the innovation pipeline. AI is about to supercharge the innovation pipeline*. LinkedIn. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/ai-supercharge-innovation-pipeline-bill-gates-rsmqc/?trackingId=Cm2uoSiCR7SsoMQRVMAtZg%3D%3D>

11. GBD 2019 Hearing Loss Collaborators. (2021, March 13). Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990–2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *397*(10278), pp. 996-1009. Retrieved from www.ncbi.nlm.nih.gov: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7960691/#bib12>
12. Géron, A. (2019, April 22). *Hands-On-Machine-Learning-with-Scikit-Learn-Keras-and-Tensorflow*. O'Reilly. Retrieved 2024, from <https://www.tensorflow.org/>: https://www.tensorflow.org/resources/learn-ml?gclid=Cj0KCQjwpeaYBhDXARIIsAEzItbGEA2Ut3ClPj2xxqmCL9eToD5IIINVXVm4-u5nZ5ntmsUO6NqCI1fYaAp1YEALw_wcB
13. INSTAT. (2019). <http://www.instat.gov.al/media/3706>. Retrieved April 23, 2024, from <http://www.instat.gov.al/>: <http://www.instat.gov.al/>
14. INSTAT. (2019). Profili i Personave me Aftësi të kufizuar në Shqipëri. *Instat*, https://www.instat.gov.al/media/3706/profil_i_personave_me_aft_s_i_t_kufizuar_n_shqip_ri.pdf. Retrieved 22 April 2024, from <http://www.instat.gov.al/media/3706>
15. Kolivand, H., Joudaki, S., Sunar, M., & Tully, D. (2021). A new framework for sign language alphabet hand posture recognition using geometrical features through artificial neural network (part 1). *Neural Computing and Applications*, *33*, pp. 4945-4963.
16. Lee, C., Ng, K., Chen, C.-H., Lau, H., Chung, S., & Tsoi, T. (2021). American sign language recognition and training method with recurrent neural network. *Expert Systems with Applications*, *167*, p. 114403.
17. Lin, T. (2024, February 29). LabelImg: The Ultimate Tool for Efficient Data Annotation. Retrieved August 08, 2024, from <https://github.com/HumanSignal/labelImg>
18. Mario Casciaro, L. M. (2020, April 22). *Node.js Design Patterns - Third edition: Design and implement production-grade Node.js applications using proven patterns and techniques*. Packt Publishing. Retrieved April 22, 2024, from <https://nodejs.org:https://nodejs.org/en/>
19. mozilla.org. (2024). MVC. Retrieved from <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary>
20. O.Leka, S. H. (2023, July). *Oresti9919 - SignLanguageApp*. Retrieved from <https://github.com/Oresti9919/SignLanguageApp/tree/main>
21. Omnisoftex. (2023, January 28). *Envatomarket*. Retrieved August 05, 2024, from codecanyon: <https://codecanyon.net/item/image-pro-text-to-sign-sign-to-text/43087647>

22. Osmani, A. (2023, April 22). *Learning JavaScript Design Patterns: A JavaScript and React Developer's Guide*. O'Reilly Media. Retrieved April 22, 2024, from <https://www.javascript.com/>: <https://www.javascript.com/resources>
23. Pablo, M. G. (2022, March 32). *Create a simple sign language recognition app using teachable machine, Monaca, Vue.js and Framework7*. Retrieved August 5, 2024, from Medium: <https://medium.com/the-web-tub/create-a-simple-sign-language-recognition-app-using-teachable-machine-monaca-vue-js-31072c2456a4>
24. Rabie, A. R., Ahmed, Y. K., Y, K., Eissa, J. A., Sharif, H., Ahmad, T. A., & HKamberaj, H. (2022). Convolution neural network based automatic localization of landmarks on lateral x-ray images. *Multimed Tools Appl*, 81, 37403–37415.
25. Ramalho, L. (2022, April 22). *Fluent Python*. O'Reilly Media. Retrieved April 22, 2024, from <https://www.python.org/>: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>
26. RedMonk. (2024, March 8). *The RedMonk Programming Language Rankings: January 2024*. Retrieved from <https://redmonk.com/sogrady/2024/03/08/language-rankings-1-24/>
27. Sahoo, J., Prakash, A., Pławiak, P., & Samantray, S. (2022). Real-time hand gesture recognition using fine-tuned convolutional neural network. 22(3), p. 706.
28. Trends, G. (2024, January 28). *Pytorch-TensorFlow*. Retrieved from <https://trends.google.com/trends/explore?geo=US&q=pytorch,tensorflow>
29. WHO. (2024, February 2). *Deafness and hearing loss*. Retrieved from [www.who.int: https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/deafness-and-hearing-loss](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/deafness-and-hearing-loss)
30. WHO. (2024, April 23). *https://www.who.int/news-room/facts-in-pictures/detail/deafness*. Retrieved April 23, 2024, from <https://www.who.int: https://www.who.int/>
31. Built With (2024, February). *React Usage Statistics*. Retrieved from <https://trends.builtwith.com/javascript/React>
32. Yankiver, D. (2021, May 31). *5 Major Companies That Use Node.js and Why - Nerd For Tech - Medium*. Retrieved from <https://medium.com/nerd-for-tech/5-major-companies-that-use-nodejs-and-why-211fb5cc267d>

A Socio-Cultural Analysis of Users' Intentions to Use Facemask in the Post Covid-19 Era in Nigeria

Mojisola Bolarinwa, BSc, MSc, PhD

Paul Adeosun, MSc, BSc

University of Ibadan, Nigeria

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p53](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p53)

Submitted: 04 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 09 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Bolarinwa M. & Adeosun P. (2024). *A Socio-Cultural Analysis of Users' Intentions to Use Facemask in the Post Covid-19 Era in Nigeria*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 53. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p53>

Abstract

This paper investigates individuals' intention to use facemasks in the post-COVID-19 era using the extended unified theory of acceptance and use of technology. During the COVID-19 pandemic, enforcement, rather than individual choice, drove facemask usage. In the post-COVID-19 era, the effects of facilitating condition, social influence, price value, performance expectancy, effort expectancy, hedonic motivation, experience and habit on the intention to use the facemask were investigated using the regressions analyses. A total of 417 respondents took part in the selection from government organisations, including higher institutions and public offices in South-West Nigeria and the Federal Capital Territory (Abuja). The result shows that facilitating conditions and hedonic motivation positively influenced the intention to use the facemask, while price value, experience and habit have negative impacts. Findings from this study suggest that facemask manufacturers and distributors must suitably design their products to suit the value perception of the user and beliefs that trigger social status and hedonic motivations in conjunction with the primary health benefits of the facemasks. It is recommended that further improvement of the facemask technology, such that it can convert traditional facemasks into smart technology with increasing emphasis on fashion and style, while adhering to safety measures be promoted by policymakers and manufacturers. While facemask manufacturers must see that the quality of their products meets up to ASTM (or relevant) standards, for which user-friendly, durable, microbe-resistant, yet biodegradable

materials have been used, policymakers must organise regular sensitization programs on the importance of mask usage, and as well promote continuous development of improved technologies for nosemask designs.

Keywords: Intention to use, Unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT), Facemasks, Users' intention, post-COVID-19 era

Introduction

The use of the facemask has been part of our history, notably in performing certain activities or preventing diseases. At some points in the man's endeavours long before the COVID-19 pandemic, protective equipment has been incorporated as part of the requirements for safety, be it the use of a gas mask, scuba mask, face shield, *etc.* (Matuschek *et. al.*, 2020). Using the extended unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) to measure continuous facemask usage provides useful insights into users' intention for using the mask. Understanding the individual's acceptance and use of the facemask is a complex phenomenon, owing to various multidimensional factors involved in its adoption as a utility or necessity for protection.

During the COVID-19 pandemic, the intention to use the facemask was more compelling through enforcement, rather than the individual choice. The rapidly increasing number of cases from the COVID-19 outbreak forced governments of different nations to impose lockdowns and propose the use of facemasks (de Sousa Neto & de Freitas, 2020; Wang *et. al.*, 2021). During this period, more than 130 million confirmed cases were reported, resulting in the death of more than 2.8 million people globally (Carbon, 2021). To curb the spread of the virus, the World Health Organization (WHO) placed substantial emphasis on using protective equipment, in addition to distancing and handwashing to prevent individuals from contracting the virus. Health professionals and the general public were forced to use some of these equipment in public places, including wearing: Protective Face Masks (PFMs), Surgical Face Masks (SFM), Filtering FacepieceRespirators (FFRs), and Elastomeric Air-Purifying Respirators (EAPRs) (Monini *et al.*, 2021). Besides the global lockdown, wearing the facemask, social distancing and regular washing of hands were considered precautionary measures to reduce the likelihood of human-to-human transmission. To enforce the use of these regulations, non-essential workers were forced to stay at home, while the use of facemasks was made mandatory as a type of personal protective equipment in all public offices, schools, *etc.* At the onset of the COVID-19 pandemic, WHO issued a directive instructing the public on the proper use of the facemask for maximum protection and safe procedures for its disposal. WHO advocated for the universal use of face masks in epidemic prevention, as a

means of personal protection and source control; for healthy people, wearing masks can protect them by allowing fewer coronavirus particles to be inhaled when in close contact with an infected person, while for infected people, the use of masks can prevent onward transmission. In Nigeria, the facemask was widely accepted at the early stages of the outbreak with little public resistance. Most people were enlightened on the significance of the facemask in preventing the transmission of COVID-19 among the general public (Ogunsola *et. al.*, 2023).

Findings from a study conducted by Gunasekaran *et. al.* (2020) showed the prevalence of the use of facemasks by people visiting a wet market; 99.7% of the respondents were observed to be wearing a facemask, out of which only 4.3% were observed to engage in unacceptable facemask practices. This indicates that the procedure for properly using the facemask is quite simple for most users. The difficulty of using a mask is far lower than that of the technologies employed, and the correlation between perceived ease of use and attitude towards mask-wearing is assumed to be insignificant (Zhang *et. al.*, 2021). Globally, the use of the facemask was made mandatory in all public spaces, in addition to regular washing of the hands with soap and water, social distancing, sneezing or coughing into tissue paper or elbow, and using alcohol-based sanitisers. The emphasis was on the facemask's ability to prevent virus transmission to non-carriers. Countries worldwide adopted wearing the facemask as a universal preventive technology to combat the spread of the COVID-19 virus, enforcing their citizens to use face coverings in public, particularly in densely populated areas like markets, schools, churches, social gatherings, *etc.*, in addition to regular hand washing, use of hand sanitisers, temperature monitoring and social distancing. These measures were reported to be effective in slowing down the spread of the virus.

Facemasks might be worn in some places based on the prevailing environmental conditions which may include: local social habits, religion, and personal preferences for displays or disguises (Ogunsola *et. al.*, 2023). Popular amongst the use of facemasks are the renowned Venice carnival masks used for their decorative and attractive nature, and the most memorable costume worn by mediaeval 'Plague Doctors' for protection against the Black Death while treating patients suffering from the plague (Matuschek *et. al.*, 2020). Empirical findings reveal that people continue to use facemasks after the COVID-19 pandemic. Although, most countries of the world have lifted all restrictions and enforcements enacted during the lockdown; people are free to travel, gather or attend schools or other social gatherings, but the use of the facemask in public is still common. The use of the facemask may be construed as solely driven by the user's intention since there is no public enforcement to the use of the facemask in public places. Since the extended unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT2) examines users' behaviour in

the acceptance of technology based on perceived effects of performance, effort, social influence and facilitating conditions and moderated by age, gender, and experience, the model provides a basis to study users' behavioural intention and technology use of the facemask (Venkatesh *et. al.*, 2012). Therefore, the objective of this study was based on unearthing the critical factors that influence users' intentions to continuously use the facemask in the post-COVID-19 era.

Methods

Hypothesis Development

Performance expectancy: Performance Expectancy (PE) addresses the individual's belief in the utility to be derived. The expected usefulness of face masks is the consideration as the first means of curtailing the spread of the COVID-19 virus.

H1: Expected performance of the facemask influences its continuous use

Effort expectancy: This measures the relative ease of using the facemask. The procedures of use and design of the facemask are less complicated.

H2: The relative ease of the facemask positively influences its continuous use

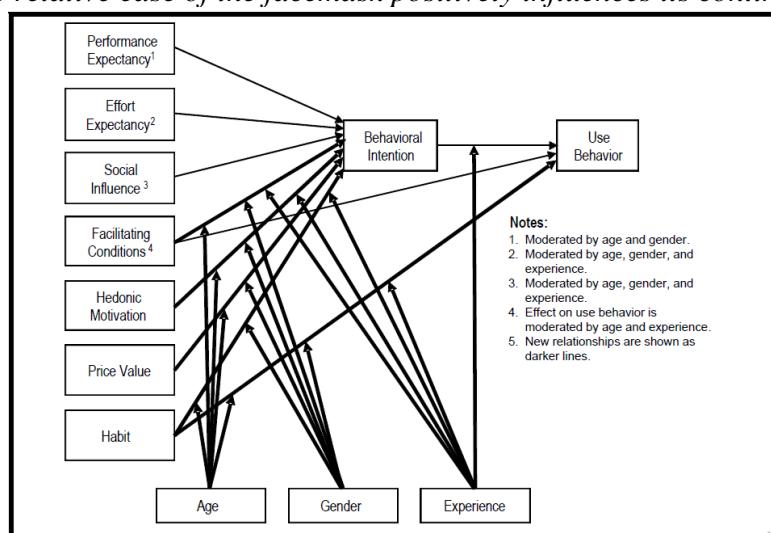


Figure 1: The UTAUT2 model (Venkatesh *et. al.*, 2012)

Social influence: The introduction of the facemask at the early stages of the pandemic was perceived as strange and unfamiliar. This perception fundamentally evolved due to the everyday usage of such masks influenced by users' beliefs and behavioural intention to use the mask.

H3: Social factors influence the behavioural perception and use of facemasks.

Facilitating Conditions: Use conditions were grouped into factors of pain or discomfort when wearing the mask. Despite some reported cases of discomfort, findings showed that a large proportion of the respondents were willing to wear facemasks as an effective preventive measure against COVID-19 (Ogunsola et al., 2023).

H4: the comfort of wearing the mask is positively related to the continuous use of the mask.

Price Value: The cost of purchasing the facemask is relatively cheap which is as low. The users' expectation that the cost of the facemask is lower than the risk associated with infectious diseases represents good value, or their perception of positive impact value influences their intention to use it.

H5: Price value influences users' intentions to use the facemask

Hedonic Motivation: It may also be asserted that users may derive fun and pleasure from using the facemask, which oftentimes influences their intention to use it. Wearing a mask could promote other individuals' imagination about the outlook of the face hidden behind the mask.

H6: The perceived hedonic function of the mask to improve one's appearance influences the user's intention to wear the facemask

Experience and Habit: Users' prior experience in technology could be positive or negative based on performance. Positive experience controlled by performance expectation may subject the user to a greater desire to replicate such experience resulting in continuous usage while negative experience results in the opposite.

H7: the perceived and intended use of the facemask is influenced by the user's habit and experience

Data Source and Survey Administration

Data were collected online from participants in seven states in Nigeria: Lagos, Ekiti, Ondo, Oyo, Ogun, Edo, and FCT Abuja using the quantitative research approach in 2022. During this period, restrictions imposed during the COVID-19 lockdown have been lifted even though few cases were reported globally. Wearing the mask was no longer enforced for use in public while the fear of contracting the virus has lessened. The items were developed to measure the respondents' free will to use the facemask without compulsion. A

total of 417 respondents took part in this study. The respondents were randomly selected from government organisations, including higher institutions and public offices from the selected states in South-West Nigeria and the Federal Capital Territory.

Research Design

The demographic variables of the respondents were measured in the first section of the survey questionnaire including age, gender, and marital status. The second section is composed of factors relating to the intentions of using the facemasks using the Likert Scale (LS) ranging from “strongly disagree” to “strongly agree”. Items for each of the eight variables for the hypothesis testing were developed to measure the respondents’ perceptions of these variables. Performance expectancy was considered to be the individual’s belief in the utility to be derived or the expected usefulness of the facemasks to prevent and curtail the spread of other viruses and other benefits of wearing the facemask. The survey measured their views on whether they agree or disagree on the ability of the facemask to protect them from contracting diseases. Facilitating conditions are conceived as conditions relating to the simplicity of the technology design and procedure for wearing the mask. The general public easily understood the procedure involved in using the mask. The price value is measured as the amount the individual pays to acquire the facemask based on the perceived utility to be derived from using the facemask. The question was asked based on the respondent’s perceived ability to purchase the facemask. The respondents were asked how they felt using the facemask. The social influence is derived from the perceived feelings of the respondents based on feelings of shame in public, pride, misconfiguration, or concealing of identity (e.g., *‘I sometimes feel embarrassed, shy or misconfigured when using the facemask in public’*).

Experience and habit were measured using the user’s prior experience of wearing the facemask and their perceived performance of the item. The respondents were asked about their desire to replicate such an experience with the potential for continuous usage based on the user’s derived positive outcome. The hedonic motivation of the respondents to use the facemask measures the fun they derive from wearing it. The respondents were asked to specify the degree to which their level of pleasure/fun derived from using the facemask influences their intention to continue using it. Effort expectancy is measured by the relative ease of wearing the facemask. This represents the required energy to use the facemask. The respondents were asked to indicate the level of difficulty and complexity in wearing the facemask.

Data Analysis

The data collected was analysed statistically using descriptive statistics for the respondents' demography and regression analysis. The regression analysis determined the strength and nature of the relationship between the dependent variable (*Intention To Use The Facemask*) and the independent variables. A collinearity diagnostics test was performed on the regression model to measure the degree of linear intercorrelation using the condition index and variance decomposition proportion (VDP) diagnostic tools. A correlation analysis was performed to examine the degree of association between various factors that influence the use of the facemask. The correlation matrix showed the correlation coefficients between the variables indicating the strength and direction of their relationships.

Results

Respondents Demographics

Table 1 shows that a total number of 417 respondents took part in the survey. Only 415 participants indicated their ages and 416 participants indicated their marital status. The table shows the distribution of the questionnaire among the different age groups of 17 or under, 18 to 24, 25 to 34, 35 to 44, 45 to 54, 55 to 64 and 65 or older years with frequencies of 20, 149, 142, 52, 29, 16, and 7, respectively. A majority of the respondents were aged between 18 to 34 years, amongst which 54.7% were males while 45.3% were females. In terms of their marital statuses, the number of singles, married, and separated/divorced was 246, 160, and 10, respectively at 59%, 38.40% and 2.40%.

Table 1: Summary of Respondents' Demographics

| Item | Frequency | Per cent |
|-----------------------|-----------|----------|
| Gender | | |
| Male | 228 | 54.7 |
| Female | 189 | 45.3 |
| Age | | |
| 17 or under | 20 | 4.8 |
| 18 to 24 | 149 | 35.7 |
| 25 to 34 | 142 | 34.1 |
| 35 to 44 | 52 | 12.5 |
| 45 to 54 | 29 | 7 |
| 55 to 64 | 16 | 3.8 |
| 65 or older | 7 | 1.7 |
| Marital Status | | |
| Single | 246 | 59 |
| Married | 160 | 38.4 |
| Separate/divorce | 10 | 2.4 |

Regression and Correlation Analysis

The result of the regression analyses for testing the hypotheses of the factors of the UTAUT2 model is shown in Table 2. The result shows that both facilitating conditions and hedonic motivation have a positive contribution to the dependent variable ($\beta = 0.146$ and 0.127 at $p < 0.05$ respectively) while effort expectancy ($\beta = 0.009$, $p = 0.888$) is not significant at 95% CI. Factors of facilitating conditions, hedonic motivation and effort expectancy positively affect the intention to use the facemask (Hypotheses H4 and H6 supported).

Table 2: Regression Analysis Result of Users' Intentions and the Independent Variables

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients Beta | T Lower Bound | Sig. Upper Bound | 95% Confidence Interval for B | | Result | |
|-------|-----------------------------|------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|------------|--------|--------|
| | B | Std. Error | | | | B | Std. Error | | |
| 1 | (Constant) | 4.556 | .244 | | 18.681 | 0.000 | 4.076 | 5.035 | |
| | Performance_expectancy | -.041 | 0.049 | -0.046 | -0.828 | 0.408 | - | 0.056 | Reject |
| | Facilitating_Conditions | 0.127 | .047 | 0.146 | 2.674 | 0.008 | 0.034 | 0.220 | Reject |
| | Price_Value | -0.142 | .049 | -0.157 | -2.907 | 0.004 | - | - | Reject |
| | Social_Influence | -0.077 | .051 | -0.086 | -1.521 | 0.129 | - | 0.046 | Reject |
| | Experience_Habit | -0.207 | .082 | -0.179 | -2.540 | 0.011 | - | - | Accept |
| | Hedonic_Motivation | 0.104 | .049 | 0.127 | 2.102 | 0.036 | 0.007 | 0.201 | Accept |
| | Effort_Expectancy | 0.008 | .054 | 0.009 | 0.141 | 0.888 | - | 0.113 | Reject |

a Dependent Variable: Intention_to_use

The result also shows that factors of price value ($\beta = -0.157$, $p = 0.004$), and experience and habit ($\beta = -0.179$, $p = 0.011$) have a negative contribution to the intention to use the facemask (Hypotheses H5 and H7 supported). However, performance expectancy ($\beta = -0.046$, $p = 0.408$) and social influence ($\beta = -0.086$, $p = 0.129$) equally have negative contributions to the intention to use the facemask but are not significant at 95% CI. Therefore, hypotheses H1, H2, and H3 are insignificant at 95% CI. The correlation analyses (Table 3) showed that price value (-0.182, $p = 0.000$), social influence (-0.109, $p = 0.026$), experience and habit (-0.122, $p = 0.013$), and effort_expectancy (-0.099, $p = 0.044$) were negatively correlated with the users' intentions to use the facemask.

Table 3: Correlation analyses of the Variables

| | | Intention to use | Performance expectancy | Facilitating Conditions | Price Value | Social Influence | Experience Habit | Feature Most Appreciated | Hedonic Motivation | Effort Expectancy |
|-------------------------|---------------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Intention to use | Pearson Correlation | 1 | -.069 | .035 | -.182(**) | -.109(*) | -.122(*) | -.031 | -.031 | -.099(*) |
| | Sig. (2-tailed) | | .158 | .480 | .000 | .026 | .013 | .530 | .535 | .044 |
| | N | 417 | 417 | 415 | 414 | 416 | 412 | 408 | 410 | 412 |
| Performance expectancy | Pearson Correlation | -.069 | 1 | .260(**) | .361(**) | .258(**) | .146(**) | -.101(*) | .186(**) | .145(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .158 | | .000 | .000 | .000 | .003 | .042 | .000 | .003 |
| | N | 417 | 417 | 415 | 414 | 416 | 412 | 408 | 410 | 412 |
| Facilitating Conditions | Pearson Correlation | .035 | .260(**) | 1 | .136(**) | .332(**) | .273(**) | .109(*) | .072 | .257(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .480 | .000 | | .006 | .000 | .000 | .028 | .149 | .000 |
| | N | 415 | 415 | 415 | 412 | 414 | 410 | 407 | 408 | 410 |
| Price Value | Pearson Correlation | -.182(**) | .361(**) | .136(**) | 1 | .219(**) | .164(**) | -.110(*) | .227(**) | .133(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | .000 | .006 | | .000 | .001 | .027 | .000 | .007 |
| | N | 414 | 414 | 412 | 414 | 414 | 410 | 406 | 408 | 410 |
| Social Influence | Pearson Correlation | -.109(*) | .258(**) | .332(**) | .219(**) | 1 | .352(**) | .034 | .231(**) | .372(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .026 | .000 | .000 | .000 | | .000 | .490 | .000 | .000 |
| | N | 416 | 416 | 414 | 414 | 416 | 412 | 408 | 410 | 412 |
| Experience Habit | Pearson Correlation | -.122(*) | .146(**) | .273(**) | .164(**) | .352(**) | 1 | -.001 | .573(**) | .579(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .013 | .003 | .000 | .001 | .000 | | .984 | .000 | .000 |
| | N | 412 | 412 | 410 | 410 | 412 | 412 | 406 | 410 | 412 |
| Hedonic Motivation | Pearson Correlation | -.031 | .186(**) | .072 | .227(**) | .231(**) | .573(**) | .030 | 1 | .331(**) |
| | Sig. (2-tailed) | .535 | .000 | .149 | .000 | .000 | | .551 | | .000 |
| | N | 410 | 410 | 408 | 408 | 410 | 410 | 404 | 410 | 410 |
| Effort Expectancy | Pearson Correlation | -.099(*) | .145(**) | .257(**) | .133(**) | .372(**) | .579(**) | .052 | .331(**) | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .044 | .003 | .000 | .007 | .000 | .000 | .294 | .000 | |
| | N | 412 | 412 | 410 | 410 | 412 | 412 | 406 | 410 | 412 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Data Validity and Collinearity Testing

The collinearity diagnostics test measured the degree of linear intercorrelation between explanatory variables in the regression that may lead to incorrect results of the regression analyses (Table 4). Diagnostic tools utilized include the condition index and variance decomposition proportion (VDP). The values of the VDPs obtained show the extent of the inflation of the variance in each of the condition indexes. In Table 4, no two or more VDPs corresponding to a common condition index, greater than the range 10-30, are more than 0.8 to 0.9, indicating that the explanatory variables are not collinear based on the recommendation by Kim (2019). Hence, the explanatory variables were sufficiently stable in the regression models.

Table 4: Collinearity Diagnostics Test

| Mo del | Dimen sion | Eigen v alue | Condit ion Index | Variance Proportions | | | | | | | | | |
|--------|------------|--------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------------|-------|
| | | | | Perfor mance _expec tancy | Facil itatin g_C ondit ions | Price_ Value | Social _Influ ence | Experienc e_Habit | Hedon ic_Mo tivatio n | Effort _Expe ctancy | (Consta nt) | Perform ance_ex pectanc y | |
| 1 | 1 | 7.304 | 1.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.843 |
| | 2 | 0.196 | 6.105 | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.07 | 0.08 | .072 |
| | 3 | 0.148 | 7.021 | 0.01 | 0.01 | 0.16 | 0.22 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.01 | .204 |
| | 4 | 0.110 | 8.137 | 0.00 | 0.47 | 0.00 | 0.41 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.16 | 0.14 | -.062 |
| | 5 | 0.090 | 9.032 | 0.03 | 0.35 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.07 | 0.46 | .041 |
| | 6 | 0.068 | 10.354 | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.01 | 0.80 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | -.023 |
| | 7 | 0.047 | 12.510 | 0.69 | 0.00 | 0.29 | 0.01 | 0.13 | 0.10 | 0.10 | 0.16 | 0.03 | .183 |
| | 8 | 0.037 | 14.018 | 0.27 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.85** | 0.85** | 0.21 | 0.25 | .090 |

a Dependent Variable: Intention_to_use

Discussion

Wearing facemasks during the COVID-19 pandemic was sternly enforced by relevant authorities against the will of the public, but was regarded as one of the techniques to slow down the spread of the virus. After the pandemic, facemasks were still being used based on intention, even though they have never been part of the natural man's habit (Carbon, 2021). For the general public, the intention to continue using the facemask after the COVID-19 era is influenced by the cumulative stimulus of social habit and memory of the past era of the pandemic. During this period, almost everybody was reported to have had an experience of wearing the facemask in public, signifying a wide acceptance and effectiveness of the mask in the fight against the virus.

The study objective was to provide insight into the factors responsible for using the facemask and intentions to use the facemask in some selected states in Nigeria. Adopting factors from the UTAUT2 model, this study explored eight potential determinants for the explanation of future intentions

and facemask-wearing prediction in Nigeria considering; Social Influence, Facilitating Condition, Price Value, Performance Expectancy, Effort Expectancy, Hedonic Motivation, Experience and Habit. The regression analyses showed that facilitating conditions of the facemask such as simplicity to wear, and the hedonic motivation such as derived fun and pleasure positively contribute to intentions to use the facemask. The result reveals that among all factors considered, facilitating conditions better predict the individuals' intention to use the facemasks. The design and procedure for wearing the facemask have been as simple as possible requiring little or no experience of use. The general perception of the people, most especially Nigerians, is that the harder the procedures involved in using a technology, the less likely it would be adopted for use. In line with the findings of Zhang *et al.*, (2021), designing the facemask to be very easy to use significantly contributes to its intention to use. The hedonic motivation shows that the facemasks are becoming a part of the everyday accessories of the public which appeals more to the individual as both part of the person and the social environment. Common designs of the facemask are being tailored to appeal to the tastes and preferences of individuals at both collective and personal levels. Manufacturers produce the facemask in different designs, colours and shapes that appeal to the user or situation offering them more options. The facemask oftentimes has been transformed into extraordinary objects with a deeper meaning to the user boosting both attractiveness and achievement. Wearing the facemask tends to beautify the face and make it compact, improving the status of the user.

Price value, experience and habit have negative contributions to the intention to use the facemask. The majority of Nigerians live below the poverty line despite being an oil-producing country. Most people believe that the cost of purchasing the facemask was relatively higher than the risk associated with contracting infectious diseases representing a negative influence of perception to use the facemask. This is supported by the prevalence of cheap homemade facemask designs which were relatively cheap and washable, even though they were less effective in preventing the virus. In addition, the price of the facemask varies significantly based on the type, design and location. Based on users' experience and habit, prior experience and habit of using the facemask negatively influence the intention to use the facemask compared to the perceived performance. Negative experiences and habits influenced by non-performance expectations afford the user a lesser desire to replicate an experience. Those who saw the use of the facemask as a burden are more likely to discontinue its use except when they are compelled to.

Performance expectancy of the public relating to the individual's belief in the utility derived from using the facemask is observed to have diminished.

The expected usefulness of face masks for preventing the spread of infectious disease appears to have waded off. In Nigeria, the intention to use the facemask could largely be attributed to the activities of the law enforcement agencies who arrest and prosecute defaulters rather than the individual's belief in the capability of the facemask for protection. Not everyone wore the facemask for health purposes. Social influence has little effect on individuals' intention to use the facemask, rather, factors such as feelings of shame or misconfiguration of the individual for wearing the facemask significantly influence facemask usage. The intention to use the facemask is a contention between the perceived benefit and the barriers to the conscious actions to use the item. Protection from the spread of infectious diseases, hedonic motivation and facilitating conditions favourable influence the individual's intentions to use the facemask. On the other hand, obstacle encountered exists in price value, experience and habit, and effort expectancy acting as hindrances to intentions of using the facemask. These factors play significant roles in the continuous and future use of the facemask as the need arises.

Conclusions

In the context of users' intentions to use the facemask, the current study observed the continuous use of the facemask under no compulsion during the post-COVID-19 era. Using facemasks is common even after all restrictions have been lifted in the post-COVID-19 pandemic era. First, facilitating conditions, hedonic motivation, price value, and experience and habit influence the individual's intention to use the facemask. While facilitating conditions and hedonic motivation positively influence the intention to use the facemask; price value, experience and habit have negative impacts. Second, social influence, performance expectancy, and effort expectancy have no significant influence on respondents' intentions to continue using the facemask. Thus, monetary value, perceived value and facilitating conditions significantly influence the users' intentions of using the facemask construed as value attached to the product influencing its utilisation. In post-COVID-19 era, using facemasks will continue to evolve, influenced by various factors, including individual preferences, health recommendations and cultural norms. People may choose to wear the facemask in crowded places like large events, public transport and airports as a precaution. In some cultures, the practice of wearing facemasks could be more entrenched as a societal norm for beauty and public well-being. Individuals with health challenges or compromised immune systems may be advised to use the facemask perpetually. Therefore, facemask manufacturers should develop facemasks of various designs that are aesthetically pleasing and easy to use to enhance user adoption. These manufacturers should define their product and marketing strategies to suit the user's value perception and beliefs that trigger social status and hedonic

motivations in conjunction with the mask's primary health benefits. This will lead to the development of scintillating products that appeal to the general public of all ages, enhancing the hedonic value based on the individual's preferences and current fashion trends. The effects of social factors and the moderating effects of gender and age can aid facemask designers in identifying the market segments to focus on, in order to augment users' experience, habits and cultural perception in boosting their existing hedonic value and assuring users of more value in their product. Furthermore, public health campaigns should leverage on the societal acceptability of the mask to additionally emphasize the health benefits of wearing the facemask.

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

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

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

Declaration for Human Participants: This research followed the University of Ibadan guidelines for research ethics involving human participation and data collection, and has been approved by the University and the principles of the Helsinki Declaration were followed.

References:

1. Carbon, C. C. (2021). About the Acceptance of Wearing Face Masks in Times of a Pandemic. *I-Perception*, 12(3), 1–14. <https://doi.org/10.1177/20416695211021114>
2. de Sousa Neto, A. R., & de Freitas, D. R. J. (2020). Use of face masks: Indications for use and handling during the COVID-19 pandemic. *Cogitare Enfermagem*, 25, 1–8. <https://doi.org/10.5380/ce.v25i0.72867>
3. Gunasekaran, S. S., Selvanthansundram Gunasekaran, S., Gunasekaran, G. H., Syafina, N., Zaimi, I., Amirah, N., Halim, A., & Hanim, F. (2020). Factors associated with incorrect facemask use among individuals visiting high-risk locations during COVID-19 pandemic. *Journal of Public Health and Development*, 18(3), 38–48.
4. Kim, J. H. (2019). Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean Journal of Anesthesiology*, 72(6), 558–569. <https://doi.org/10.4097/kja.19087>
5. Matuschek, C., Moll, F., Fangerau, H., Fischer, J. C., Zänker, K., Van Griensven, M., Schneider, M., Kindgen-Milles, D., Knoefel, W. T., Lichtenberg, A., Tamaskovics, B., Djiepmo-Njanang, F. J., Budach, W., Corradini, S., Häussinger, D., Feldt, T., Jensen, B., Pelka, R., Orth,

- K., ... Haussmann, J. (2020). The history and value of face masks. *European Journal of Medical Research*, 25(23), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s40001-020-00423-4>
6. Monini, S., Meliante, P. G., Salerno, G., Filippi, C., Margani, V., Covelli, E., & Barbara, M. (2021). The impact of surgical masks on the nasal function in the COVID-19 era. *Acta Oto-Laryngologica*, 141(10), 941–947. <https://doi.org/10.1080/00016489.2021.1974555>
7. Ogunsola, F. T., Ejekam, C. S., Balogun, M., Ugonna, I., Odukoya, O., Oduyebo, O., Adeyemo, W. L., Oladele, R. O., & Akanmu, S. A. (2023). Universal use of face mask for the prevention of the spread of COVID-19 in community settings in a South-western State of Nigeria: willingness and barriers. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01267-3>
8. Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS Quarterly*, 36(1), 157–178.
9. Wang, M., Zhao, C., & Fan, J. (2021). To wear or not to wear: Analysis of individuals' tendency to wear masks during the COVID-19 pandemic in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111298>
10. Zhang, B., Li, Z., & Jiang, L. (2021). The intentions to wear face masks and the differences in preventive behaviors between urban and rural areas during COVID-19: An analysis based on the technology acceptance model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph18199988>

Incorporation of a Non-Conventional Liana (*Tetracapidium conophorum*) Seed Oil Cake in Diets of Congolese Indigenous Batéké Chicks Raised Without Outdoor Access

Adzona P. P.

Mopoundza P.

Ngouama Dandou A.

National College of Agronomy and Forestry

University Marien Ngouabi Brazzaville, Congo

National Research Group in Local Biodiversity, Congo

Bati J. B.

National Institute for Research in Agriculture Avenue Des Premiers Jeux

Africains. Face Stade Alphonse Massamba-Débat. Brazzaville, Congo

Research Group in Local Biodiversity, Congo

Ntsoumou M. V.

Research Group in Local Biodiversity, Congo

Saya Ngouonomba H. J.

Bitsili B. T.

Akouango P.

Banga-Mboko H.

National College of Agronomy and Forestry

University Marien Ngouabi Brazzaville, Congo

National Research Group in Local Biodiversity, Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p67](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p67)

Submitted: 07 May 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 25 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Adzona P. P., Mopoundza P., Ngouama Dandou A., Bati J. B., Ntsoumou M. V., Saya Ngouonomba H. J., Bitsili B. T., Akouango P. & Banga-Mboko H. (2024). *Incorporation of a Non-Conventional Liana (*Tetracapidium conophorum*) Seed Oil Cake in Diets of Congolese Indigenous Batéké Chicks Raised Without Outdoor Access*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 67. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p67>

Abstract

The indigenous Batéké hen (*Gallus gallus*) has low productivity due to various constraints such as feeding sources. The aim of this study was to improve the productivity of the local hen using a new local protein source:

Tetracarpidium conophorum meal. A sample of ninety-six chicks 21-day old from the local population were randomized into 3 groups of 32 birds each (TC0, TC4 and TC6), with one replicate. In each group. *Tetracarpidium conophorum* oil cake was incorporated into groups TC4 (4% *T. conophorum* oil cake and 11% soya oil cake), TC6 (6% *T. conophorum* oil cake and 9% soya oil cake) whereas TC0 served as a control group (0% *T. conophorum* meal and 15% soya oilcake). The experiment started at 3 weeks and lasted at 20 weeks of age. Chickens were fed *ad libithum* and had free access to drinkers. The results indicated that mortality rate decreased (3.12 % versus 9.3), Also, the treatment improved significantly ($p < 0.05$) feed intake (56.8 vs 60.1g per day), feed conversion (6.5 vs 5.7), and carcass yield (65.8 % vs 71.3 %). The final body weight at 20 weeks of age has been improved groups (1.200g versus 1300g) .. This study indicated that *T. conophorum* oil cake may be useful in diets at 4% thus reducing soya oil cake from 15% to 11% of incorporation) in a small scale poultry farming in Congo.

Keywords: Indigenous *Gallus gallus*, feeding, growth performance, Conophorum nut Congo

Introduction

According to the FAO (2011), avian genetic biodiversity (*Gallus gallus*) is constitute by experimental breeds, commercial lines and. In Africa, the local chicken population is raised in rural and peri-urban areas. Indigenous breeds plays an important role to food security by supplying meat, eggs, and cash to the rural population (Gondwe *et al.*, 2005 and Dinka *et al.*, 2010).

In Congo, the native chicken called *Batélé* chicken is present at all socio-cultural events such as dowry, family party, Christmas or Easter party, guest reception, and healing sacrifice. Unlike to indigenous waterfowls, *Batéké* chicken meat or egg are not subjected to any taboos (Banga-Mboko *et al.*, 2007)

Morpho-metric studies carried out in Congo have shown that the local *Batéké* is backyard farming characterized by scavenging system with, enormous phenotypic variations, low in -put production namely poor housing and feeding (Akouango *et al.*, 2004, 2010 and Saya Ngouonimba *et al.*, 2019).The scavenging system as reported by many authors, suffer in dietary imbalance, combined with precarious sanitary conditions and management techniques, accentuates traditional chickens weakens their resistance to parasites and disease, increases flock mortality and consequently reduces the flock size. (Badubi *et al.*, 2006, Mugumaarhahama *et al.*, 2016). Also, it can noted a genetic erosion as *Batéké* chicken is uncontrollably crossed with commercial exotic strains.

Now a day, *Batéke* chicken meat is gaining more and more demand. In fact, it is observed a change in mentality, with traditional free-range rearing evolving towards confinement rearing in order to satisfy an ever-growing demand.

Unfortunately, such an option is hampered by a lack of feed from which Congolese poultry farming suffers. The binomial mays . -soybean is difficult to cover because national production of mays is low and soybean meal oil cake is imported because there is no national oil extraction industry. (Badubi *et al.*, 2006).

Faced with this difficulty, the use of local sources to meet nutritional needs in indigenous chicken is becoming a challenge (Adzona, 2019) since unconventional *Tetracarpidium* oil cake meal, rich in crude protein (43%), is produced in locally by cosmetic industry and which have the same content in crude proteins with oil cake soya (Mezanjoug Kenfack, 2010 , Sianard, 2010).

T.conophorum oil cake has been successfully tested in commercial broiler lines and improved growth performance in broiler (Londé Malanda, 2016 , Soki Kimpala, 2024) in the rates varying from 4 to 6 % of *T. Conophorum* oil cake.

Despite the century presence of *Batéké* chicken in Congo, all studies were carried on morphometric characteristics in the scavenging system with poor housing (Akouango *et al.*, 2004, 2010 ; Saya Ngouonimba *et al.*, 2019). Therefore, the study aimed to evaluate the effect of *Tetracarpidium conophorum* meal based –diet on the growth performance of *Batéké* chickens in close confinement.

Material and methods

Study area

The study was carried out in the experimental farm of the National Institute in Agronoic Recherch in Brazzaville, the Republic of Congo The climate of Brazzaville is tropical humid of Bas-Congolese type (Samba, 2014). Average annual temperatures is around 25°C, with slight variations less than 5°C.

The maximum temperature does not exceed 35°C and the minimum remains above 20°C (Samba 2014). It is characterized by two seasons: a rainy season from October to May, with a deep in January, and a dry season from June to September. Brazzaville is situated at an altitude of almost 301 m, with a latitude of 4° 15 '58" to the south and a longitude of 15° 16' 59 " to the east of the Republic.

Material

Plant material

Tetracarpidium conophorum oil cake has been produced according to the procedure previously described by Mejazoug Kenfack (2010); Londé Malanda (2016) and (Ntsoumou et al., 2021, 2023). Briefly, the oilcake production process is illustrated in the figure 1.



Figure 1: Production of *T. conophorum* oil cake

Methods

A flock of 30 native *Batéké* (5 males and 25 females) from local *Batéké* populations. Were raised on the ground on wood shavings (Figure 2). in a semi-open hen house. Eggs were collected daily, then artificially incubated.



Figure 2: Breeder nucleus of *Batéké* hens

Production of experimental chicks

One hundred and ten (110) fertile eggs from the *Batéké* flock were incubated in a French "Covatutto 120" electric incubator (figure 3a). A total of 96 *Batéké* chicks (various phenotypes) hatched, were obtained.

The 96 day-old chicks from different phenotypes. from weighed were kept in a brooder and fed with a starter feed.

Chick rearing

The chicks were reared on a sawdust litter , covered at a rate of 6kg per m².

The density was 5 chicks per m². They were heated under 100-watt bulbs. The room temperature was manually adjusted according to the chicks' behavior under the bulbs.

These chicks were vaccinated against Newcastle disease and Bronchitis Infectious at day 7, with a booster on day 23, and against Gumboro disease on day 10. An anticoccidial (Amprolium) was administered in the drinking water on three consecutive days, and an internal dewormer (Levalape) was administered every three weeks (12 to 19 weeks), according to a well-defined prophylaxis program. Feed and water were provided *ad libitum* twice a day (at 9 am and 4 pm). . A starter feed containing 2762.75kcal of energy and 17% PB was given to the chicks prior to experimentation.

Experimental stage

From the 3rd week to 20 weeks of age , chicks were transferred and then placed in the 13 m² experimental room, divided into 3 compartments, each measuring approximately 4m². Each 4m² room weas then dived in txwo parts as a replicate room, as schown in Table 1.

Table 1 : Expérimental design

| Age in week | Treatment groups | Number of subjects |
|-------------|------------------|--------------------|
| 3-20 | Tc0 (0%) | 32 |
| | TcC4 (4%) | 32 |
| | TcC6 (6%) | 32 |

- Lot Tc0 (control):
- Group Tc4: feed containing 4% TTC;
- Lot Tc feed containing 6: 6% of the Tc.

Diets

Feed rations were designed according to the recommendations formulated for Dessi (Anjum. Khan, 2008) and Venda (Mbajiorgu, 2011) indigenous hens (Table 2).

Table 2: Diet formulations

| Ingredients | Controls | | Tetracarpidium-based feed <i>Conophorum</i> |
|------------------------------------|---------------|---------------|--|
| | TC0 % | TC4 % | TC6 % |
| Corn | 45 | 40 | 43 |
| Wheat bran | 7 | 3 | 4 |
| Cassava bran | 10.5 | 7 | 10 |
| Brewer's grains | 8 | 11 | 8 |
| Palm oil | 5 | 5 | 1.5 |
| Soybean meal | 15 | 11 | 9 |
| Tc | 0 | 4 | 6 |
| Fish meal | 5 | 5 | 5 |
| Cowpea flour | 3 | 8.5 | 9 |
| lime | 1 | 5 | 4 |
| Na cl | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Total | 100 | 100 | 100 |
| Calculated nutritive values | | | |
| Metabolisable energy/Kg de MS) | 2762.75 | 2864.35 | 2747.20 |
| Crude protein | 17.90 | 17.96 | 17.89 |
| Lysine | 1.72 | 2.46 | 2.04 |
| Methionine | 0.24 | 0.35 | 0.37 |
| Calcium | 0.55 | 0.58 | 0.59 |
| Phosphorus | 0.43 | 0.49 | 0.53 |
| EM /PB (Kcal/g) | 159.45 | 159.48 | 156.3 |

The T. conophorum meal used in the present feed formula has a nutritional value of 2800kcal (Mezajoug Kenfack 2010); 43.75% PB. 3. 17%Ca. 0.85%P (Ntsoumou et al., 2023).

Parameters measured

Body weight was recorded by weekly weighing of the subjects on an electronic scale, Voluntary I feed intake (VFI)

It was expressed in grams (g) and was calculated according to the following formula:

$$VIFC = \frac{QAD (g)/periode - QAR (g)/periode}{Duration of period (d)}$$

QAD: Quantity of feed distributed.

QAR: Quantity of feed refused

AverageDaily Gain (ADG)

Weekly measurements of animal weights were used to calculate the Average Daily Gain (ADG) by dividing the average weight gain during a period by the duration (in days) of the period. It was determined using the following formula :

$$ADG = \frac{\text{Weight gain}(g)\text{during a period}}{\text{Length of period}}$$

Feed Conversion Ratio (FCR)

The feed conversion ratio (FCR) was determined as follows:

$$FRC = \frac{\text{Amount of feed consumed during a period}(g)}{\text{Weight gain during the same period}(g)}$$

Mortality rate (MR)

The mortality formula rate expressed as follows:

$$MR = \frac{\text{Number of animals that died during a period}}{\text{Number of animals at start of period}} \times 100$$

Carcass yield (CY)

At 20 weeks of age, 12 chickens (4 chickens/treatment) were randomly selected. They were subjected to a 24-hour diet. then weighed. bled. scalded. plucked and eviscerated as described by Onu *et al.*, (2010).

Carcass yield was determined using the following formula:

$$CY = \frac{\text{Carcass weight }(g)}{\text{Live weight at slaughter}(g)} \times 100$$

Statistical analysis

Data were recorded Microsoft Excel 2013 and then transferred in R software (R Core Team, 2022). The effect of the treatment on parameters was assessed by using analysis of variance (one way) followed by comparison of means using t student Nieman Keul. Two means were different when p value was lower than 0.05.

Results and discussion

No data ;is available in the literature on the use of *T. conophorum* meal in diets of indigenous hens (*Gallus gallus*). So, after presenting the results, the discussion will focus in comparison with other strains experimented with local agro-resources.

Effect of *Tetracarpidium conophorum* oil cake meal on final body live weight of Batéké chicken

Figure 3 illustrates the effect of *Tetracarpidium conophorum* on weight development.

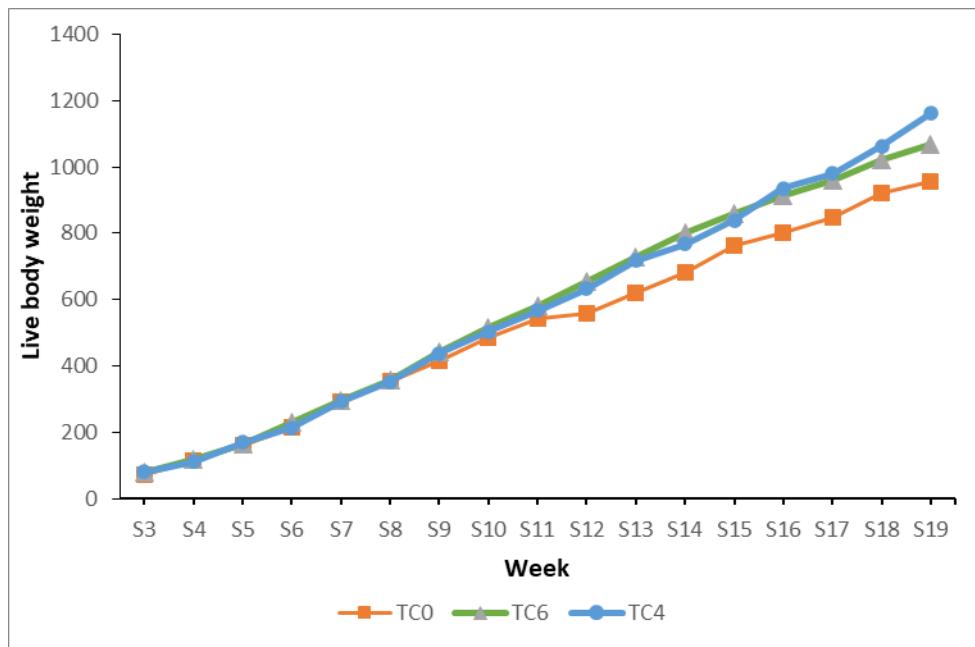


Figure 3: Evolution of body live weight

The effect of *Tetracarpidium conophorum* oil cake on weekly growth rate

It can be seen that from week3 until the end of the experiment there was a significant difference between treatment groups and the control (P -value=0.002). These results are higher to those of Akouango *et al.*, (2010), who recorded live weights of $993,43 \pm 99$ g in colored fawn-Hermine phenotype Batéké chickens reared in Brazzaville. These results are lower than those found by Moula *et al.*, (2009) respectively after 17 weeks of age in the Fayoumi breed from Egypt and the Kabylie hen from Algeria chicken (1531 g.), Badubi *et al.*, (2006) recorded 1.9kg in males and 1.5kg in females , whereas Gondwe *et al.*, (2005,) reported 1.5kg .In another way ,by using crossbred (Isa brown x indigenous);) Ouedraogo *et al.*, (2015) were aware of 1,689g at 4 month of age.

Compared with commercial broiler lines, our results were lower to those reported by Londé Malanda (2016) 880g at 4 weeks of age and Soki Kimpala (2024) 1.8kg at 8 weeks

Effect of *T. conophorum* meal on mortality, feed intake, Daily Gain Weight ,Feed Conversion Ratio and Carcass yield

Results on the effect of *T. conophorum* meal on growth performance are given in Table 3.

Table 3: Effect of *T. conophorum* meal on mortality, feed intake, Daily Gain Weight , Feed Conversion Ratio and Carcass yield

| Parameters | Treatment groups | | |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | TC0 | TC4 | TC6 |
| Mortality (%) | 9.37 | 3.12 | 3.12 |
| Feed intake (g/day) | 56.72±7.90 ^b | 60.08±8.11 ^a | 63.80±8.21 ^c |
| Daily Gain Weight (g/day) | 11.79±7.29 ^a | 11.83±4.553 ^a | 10.56±4.64 ^a |
| Feed conversion ratio | 6.53±2.9434 ^b | 5.7217±3.005 ^a | 7.3992±4.3037 ^c |
| Carcass weight (g) | 818.75±51.40 ^a | 912.5±21.118 ^b | 861.25±63.15 ^a |
| Carcass yield (%) | 65.80±4.5 ^a | 71.23±5.908 ^b | 66.10±1.51 ^a |

Values on the same line with the same superscript letter are not significantly different
(P > 0.05)

Effect of *Tetracarpidium conophorum* meal on local chicken mortality

Table 3 shows that the incorporation of *Tetracarpidium conophorum* meal into the ration of local chickens had no adverse effects on the treatment.

Our results are lower than those reported by Ouedraogo *et al.*, (2015) who recorded 8% in the crossed bred Isa brown x indigenous chick in Burkinafaso.

On the other hand, they are not better than those of Londé Malanda (2016) and Ntsoumou. (2023) who recorded no mortality among broilers and layers fed with *T. conophorum*. This difference can be attributed to experimental conditions, which vary from one experimental setting to another.

Effect of *Tetracarpidium conophorum* meal on voluntary feed intake

T. conophorum meal incorporated at 4% and 6% in diets of local Batéké chickens improved feed consumption voluntary feed consumption (p < 0.05). Similar results have been found by Londé Malanda (2016) and Soki kimpala (2024) at 5% in Cobb 500 strain broilers . This could be explained by the presence of alkaloids and amino acids in *T. conophorum*. Recent studies have shown that alkaloids can increase food consumption (Onu *et al.*, 2010). By contrast, the improvement in consumption at 4% incorporation in local chickens disagree with those of Ntsoumou *et al.*, (2021) who observed a slight decrease in consumption in laying hens fed *T. conophorum* at the fourth week. This decrease may be due to the presence of certain anti-nutritional factors that escaped cooking and roasting despite the heat treatment applied, and to the fact that the latter used high rates of TTC as a substitute for soybean meal (12%).

Effect of *Tetracarpidium conophorum* meal on DGW

With regard to DGW, the incorporation of *T. conophorum* meal did not induce any significant effect. These results are lower to those of Ouedraogo *et al.* (2015) cross local chicken x Isa Brown bred in confined condition (27g/d), Londé Malanda (2016), who found 12.65 g/d and Soki kimpala (2024) who recorded 42g/day in commercially broiler line fed with *T.conophorum* oil cake. This discrepancy can be explained by the fact that this parameter was assessed at different strains and ages.

Effect of *Tetracarpidium conophorum* meal on feed conversion

The use of 4% *T. conophorum* in the diets of local Batéké hens showed the positive impact on reducing the feed conversion rate. Data in the present study was higher than those reported by Ouedraogo *et al.*, (2015) Londé Malanda and Soki kimpala (2024) who found 2.3, 3.2 and 2.1 respectively in commercial broiler strains

Effect of *tetracarpidium conophorum* meal on carcass yield.

Treatment at 4% improved carcass weight and carcass yield ($p < 0.05$). Data obtained in the present data are similar to the work of many studies in broiler where carcass yield represents more than 65 % (Akouango *et al.*, 2010, Onu *et al.*, 2010, Soki Kimpala (2024).

Conclusion

The aim of this study was to evaluate the effect of *T.conophorum* oil cake on the growth performance of the indigenous Batéké chicken.

- *Tetracarpidium conophorum* meal did not cause any adverse effects on the chickens' health status;
- the final body live weight has been slowly improved
- the feed conversion was higher
- Feed intake was improved at 4% in diets
- The study suggested to incorporate *T. conophorum* oil cake at 4% and reducing soya oil cake from 15 to 11 %.in a small scale poultry farming
- Additional investigation are needed on the nutritive value of *T conophorum*
- Also, genetic selection trials are recommended in order to perform Batéké chickens, especially in broiler strains or in laying hens strains as a tool for a small scale poultry farming.in Congo.

Acknowledgements: The authors are grateful to the National Institute for Agriculture Research for agreeing to carry out this study and to Mrs Diane Mavoungou for the technical assistance.

Conflicts of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

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

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

Ethical Statement: This study has been approved by the Ethical Committee at the University Marien Ngouabi, Congo Brazzaville. The ethical guidelines for animal research outlined by the Ministry of research on animal Heath and production were followed.

References:

1. Adzona, P.P. (2019). Influence de quatre tourteaux locaux non conventionnels en alimentation mélangée, fractionnée et séquentielle chez la volaille en milieu tropical. Thèse en vue d'obtention du diplôme de doctorat unique. Dept. Scie. Bio, Univ. Marien Ngouabi, FST, Congo, Brazzaville. 133 P.
2. Akouango, P., F. Mouangou, et G. Ganongo (2004). Phénotypes et performances d'élevage chez des populations loales de volailles du genre *Gallus gallus* au Congo Brazzaville. Cah. Agric.. 13 : 257-262.
3. Akouango, P., P. Bandtaba, et C. Ngokaka (2010). Croissance pondérale et productivité de la poule locale *Gallus domesticus* en élevage fermier au Congo. Anim. Genet. Resour. 46: 61-65.
4. Anjum, M.S. and S.H. Khan (2008). Effects of different energy protein ratio on the performance of Desi native chickens during growing phase. Asian Journal Poultry Science 2:42–47.
5. Badubi, S.S., M. Rakereng and M. Marumo (2006). Morphological characteristics and feed resources available for indigenous chickens in Botswana. Livest. Res. Rural Dev. 18 (3). <http://www.lrrd.org/lrrd18/1/badu18003.htm>.
6. Banga-Mboko, H., D. Maes, and P.L. Leroy (2007). Indigenous Muscovy ducks in Congo-Brazzaville. A survey of indigenous Muscovy duck management in households in Dolisie City. Trop. Anim. Health Prod. 39, 115–122. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-4234-1>
7. Dinka, H., R. Chala, F. Dawo, S. Leta and E. Bekana (2010) Socio-economic importance and management of village chicken production

- in rift valley of Oromia. Ethiopia. *Livest. Res. Rural Dev.* 22 (11). <http://www.lrrd.org/lrrd22/11/cont2211.htm>.
- 8. FAO (2011). World livestock:livestock in food security. Rome FAO 115p.
 - 9. Gondwe, T.N., C.B.A Wollny and W. Kaumbata (2005). Marketing system and channels for scavenging local chickens in Lilongwe. Malawi. *Livest. Res. Rural Dev.* 17 (24). <http://www.lrrd.org/lrrd17/3/gond17024.htm>.
 - 10. Londé Malanda, L.J. (2016). Effet de l'incorporation du tourteau *Tetracarpidium conophorum* (Mull-Arg) Hutch et Dalziel) dans les aliments de démarrage et croissance des poulets de chair standard. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en Sciences Agronomiques (non publié). Dept. Scie. Agro., Univ. Marien Ngouabi, ENSAF, Congo, Brazzaville. 39 p.
 - 11. Mbajiorgu, C.A., J.W. Ng'ambi, and D. Norris (2011). Effect of varying dietary energy to protein ratio level on growth and productivity of indigenous Venda chickens. *Asian Journal Poultry Science* 6 (4): 344-352
 - 12. Mezajoug Kenfack, R.B. (2010). Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines des tourteaux de concentras et d'isolats de *Ricinodendron heudelotii* (bail.) Pierre E pax et de *Tetracarpidium conophorum* (Müll. Arg.). Thèse de doctorat. Dept. Biotec. Alim., Univ. N'Gaoundéré Cameroun. 188p.
 - 13. Moula, N., N. Antoine-Moussiaux, F. Farnir, J. Detilleux, P. Leroy (2009). Réhabilitation socioéconomique d'une poule locale en voie d'extinction : la Poule Kabyle (Thayazit lekvayel). *Ann. Méd. Vét.* 153 : 178-186.
 - 14. Mugumaarhahama, Y., R.B.B. Ayagirwe, V.B. Mutwedu, J.M. Sadiki, P. Baenyi, A.C. Mushagalusa and E.B. Bisimwa (2016). Caractérisation des systèmes de production de poule locale dans deux zones agro-écologiques du Sud-Kivu (République Démocratique du Congo). *Livest. Res. Rural Dev.* 28(1) :1-15.
 - 15. Ntsoumou, V.M., P.P. Adzona, J.B. Bati, T. Kengue, B.B. Mabanza-Mbanza, A.J. Saboukoulou, A.F. Ndinga, J.R. Guembo and H. Banga-Mboko (2021). Evaluation de la substitution du tourteau de Glycine max (soja) par le tourteau de *Tetracarpidium conophorum* (Müll. Arg.) Hutch. & Dalz sur les performances des poules pondeuses. *Int. J. of Bio. Chem. Sci.* 15(6) :2526-2542. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.22>
 - 16. Ntsoumou, V.M., P.P. Adzona, T.M. Ndoulou and H. Banga-Mboko (2023). Rendement et composition chimique du tourteau de *Tetracarpidium conophorum* (Müll. Arg.) Hutch. & Dalz Produit par

- Pression Mécanique et Hydrodistillation. Eur. Sci. J. 19(36). 175-192.
<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n36p175>
17. Onu, P.N., M.C. Ayo-Enwern and E.O. Ahaotu (2010). Evaluation of carcass Characteristics and Cost Effectiveness of Broiler Chicks Fed Synthetic Lysine and Methionine supplemented soya bean-Based Diets. Int. J. Sci. Nat. 1(1): 22-26.
 18. Ouedraogo, B., B. Bale, S.J. Zoundi, and L. Sawadogo (2015). Caractéristiques de l'aviculture villageoise et influence des techniques d'amélioration sur ses performances zootechniques dans la province du Sourou. Région Nord-Ouest Burkinabè. Int. J. of Bio. Chem. Sci. 9 (3) :1528-1543.
 19. Samba, G. (2014). Le Congo-Brazzaville : climat et environnement. Le Harmattan. En ligne archive. Consulté le 10/09/2023. 168p.
 20. Saya Ngouonomba, H.J., I. Opoye, P. Mopoundza and P. Akouango (2019). Aperçu de quelques paramètres qualitatifs dans la caractérisation morpho-biométrique des poules locales (*Gallus gallus*) ou Batéké dans les périphéries Nord et Sud de Brazzaville en République du Congo. J. Anim. Sci. 2 (42) : 7175-7197 : <https://doi.org/10.35759/janmPISci.v42-2.1>.
 21. Soki kimpala, E.D (2024). Effet d'une alimentation fractionnée à base du tourteau de *Tetracarpidium conophorum* sur les performances de croissance des poulets de chair Cobb 500. Mémoire en vue de l'obtention du master en productions et santé animale (non publié). Dept. Scie. Agro., Univ. Marien Ngouabi, ENSAF, Congo, Brazzaville. 60p.

**Effets insecticides des extraits aqueux de trois plantes
(*Ocimum gratissimum*, *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*) sur
les termites prédateurs du manioc (*Manihot esculenta* Crantz
1766) dans la région d'Agboville (Côte d'Ivoire)**

Oro Anne-Nathalie Nando

Yao Kan Séraphin Diby

Ténon Coulibaly

Akpa Alexandre Moise Akpesse

Kouassi Philippe Kouassi

University Felix Houphouët Boigny de Cocody, UFR Biosciences,
Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité,
Abidjan Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p80](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p80)

Submitted: 24 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 08 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Nando O.A.N., Diby Y.K.S., Coulibaly T., Akpesse A.A.M. & Kouassi K.P. (2024). *Effets insecticides des extraits aqueux de trois plantes (Ocimum gratissimum, Alstonia boonei et Nauclea latifolia) sur les termites prédateurs du manioc (Manihot esculenta Crantz 1766) dans la région d'Agboville (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 80. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p80>

Résumé

Le manioc représente l'une des principales cultures de production de racines tubéreuses en Afrique conduisant à plusieurs variétés de produits alimentaires. Malheureusement, les termites causent de sérieux dommages à la culture, entraînant une considérable perte de production. La méthode de lutte la plus répandue est l'utilisation des insecticides synthétiques qui représentent un risque réel pour les organismes vivants et l'environnement. Dans la recherche d'alternatives à ces insecticides chimiques, cette présente étude, réalisée dans le département d'Agboville, a pour objectif d'évaluer l'effet insecticides d'extraits aqueux de trois plantes : *Ocimum gratissimum* (Lamiacée), *Nauclea latifolia* (Rubiacee) et *Alstonia boonei* (Apocynacée) dans les champs de manioc. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc de Fisher de 5 traitements (3 extraits de plantes, le chlorpyrifos-éthyl, le témoin non traité) avec trois répétitions. Chaque extraits de plante a été concentré à

100g/L et 3,2 ml de pyriforce (dosé à 480g/l de chlorpyrifos-éthyl), produit de référence, ont été dilués dans 2 L d'eau pour les traitements. Les résultats obtenus ont confirmé l'efficacité du chlorpyrifos-éthyl sur les termites ravageurs de manioc. Le traitement par *Ocimum gratissimum* s'est révélé plus efficace contre les termites, avec un taux d'attaques de termites plus faible ($27,78 \pm 4,96\%$) et significativement différent de celui du témoin non traité ($66,66 \pm 13,17\%$). Les traitements par *Alstonia boonei* et par *Nauclea latifolia* avec des taux d'attaques respectifs de $54,33 \pm 8,93\%$ et $44,44 \pm 11,04\%$ ont été moins efficaces contre les termites. Par ailleurs, l'effet insecticides de ces extraits aqueux de plantes diminue avec le temps. Le test de toxicité par contact réalisé au laboratoire sur *Ancistrotermes sp*, espèce de termites la plus agressive sur le manioc, a confirmé l'efficacité de *Ocimum gratissimum*. Toutefois, des études approfondies doivent être menées pour mieux cerner les propriétés anti-termes de cette plante en vue de son utilisation par les paysans.

Mots-clés: Extraits aqueux, plantes insecticides, termites, toxicité, Agboville

Insecticidal Effects of Aqueous Extracts of Three Plants (*Ocimum gratissimum*, *Alstonia boonei*, and *Nauclea latifolia*) on Predatory Termites of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz 1766) in the Region of Agboville (Côte d'Ivoire)

Oro Anne-Nathalie Nando

Yao Kan Séraphin Diby

Ténon Coulibaly

Akpa Alexandre Moïse Akpesse

Kouassi Philippe Kouassi

University Felix Houphouët Boigny de Cocody, UFR Biosciences,
Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité,
Abidjan Côte d'Ivoire

Abstract

Cassava represents one of the main production crops of tuberous roots in Africa leading to several varieties of products food. Unfortunately, termites cause serious damage to the cultivation, leading to a considerable loss of production. The most effective method of control widespread is the use of synthetic insecticides which represent a real risk to living organisms and the environment. In the search for alternatives to these chemical insecticides, this present study, carried out in the department d'Agboville, aims to aqueous

extracts of three plants : *Ocimum gratissimum* (Lamiacée), *Nauclea latifolia* (Rubiacée) et *Alstonia boonei* (Apocynacée) in the cassava fields. The experimental device used is a Fisher block of treatments (3 plant extracts, chlorpyrifos-ethyl, untreated control) with three repetitions. Each plant extract was concentrated to 100 g /L and 3,2 ml of pyriforce (dosed at 480g/l of chlorpyrifos-ethyl), a product of reference, was diluted in 2 l of water for the treatments. The obtained results confirmed the effectiveness of chlorpyrifos - ethyl on cassava termite pests. The treatment with *Ocimum gratissimum* has proven to be more effective against termites, with a lower rate of termite attacks ($27,78 \pm 4,96\%$) and significantly different from that of the untreated control($66,66 \pm 13,17\%$). Treatment with *Alstonia boonei* and by *Nauclea latifolia* with respective attack rates of $54,33 \pm 8,93\%$ and $44,44 \pm 11,04\%$ were less effective against termites. Furthermore, the effect of insecticides from these aqueous plant extracts decreases over time. The test of toxicity by contact carried out in the laboratory an *Ancistrotermes sp*, a species of termites the most aggressive on cassava, confirmed the effectiveness of *Ocimum gratissimum*. However, in-depth studies must be anti-termite properties of this plant for its use by farmers.

Keywords: Aqueous extracts, insecticide plants, termites, toxicity, Agboville

Introduction

La culture du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) (Euphorbiacée) occupe la 4^{ème} place des productions végétales mondiales avec une production réalisée, en 2019, de 303 millions de tonnes dont plus de la moitié (67,3%) était assurée par l'Afrique (FAOSTAT, 2020). En Afrique subsaharienne, principale région productrice, le manioc joue un rôle capital dans la sécurité alimentaire mais aussi une source importante de revenus pour des millions de personnes (Amani *et al.*, 2005). En Côte d'Ivoire, le manioc qui occupe la 2^{ème} place des cultures vivrières (5 millions de tonnes en 2018) après l'igname (FAOSTAT, 2020) permet de lutter contre la pauvreté (Doumbia *et al.*, 2009). Cependant, la production du manioc est limitée par de nombreuses contraintes d'ordre agronomique qui affectent son rendement (environ 7 tonnes par hectare) dont l'une des plus importantes est l'incidence des maladies et ravageurs (N'Zué *et al.*, 2013). Des ravageurs tels les acariens et les cochenilles peuvent entraîner des pertes pouvant atteindre 80% du rendement. De même les dégâts de termites dans les champs de manioc peuvent entraîner d'importantes pertes de rendement (Faye *et al.*, 2014 ; Sonko *et al.*, 2019; Nando *et al.*, 2022).

Les termites sont des blattoptères qui vivent dans le sol. Ils participent à de nombreux services écosystémiques, tels que la décomposition de la matière organique et l'évolution de la structure physico-chimique des sols

(Dosso *et al.*, 2010). Cependant, les termites constituent l'un des plus grands fléaux en agriculture et en agroforesterie tropicale (Mitchell, 2000). Ils s'attaquent aux plantes cultivées, causant d'importants dégâts et d'énormes pertes de récoltes. En Côte d'Ivoire, ces insectes ont été identifiés comme étant des prédateurs de cultures aussi bien vivrières qu'industrielles (Foua-Bi, 1983 ; Han *et al.*, 1998 ; Koudou *et al.*, 2004 ; Tahiri et Mangué, 2007 ; Akpesse *et al.*, 2008 ; Tra-Bi, 2013 ; Coulibaly, 2014 ; Diby, 2016 ; Siapo, 2020). Pour lutter contre ces ravageurs des cultures, les producteurs agricoles ont de plus en plus recours aux pesticides de synthèse qui ont un impact négatif sur l'homme et l'environnement. Ils ont une toxicité avérée pour la faune et la végétation (Farr *et al.*, 2004 ; Isman, 2006) et sont donc à l'origine de la dégradation de l'écosystème et de la biodiversité (Lamiri *et al.*, 2001). Il s'avère donc nécessaire d'envisager l'utilisation d'insecticides à base de plantes, moins dangereux pour l'homme et pour l'environnement.

En Côte d'Ivoire, plusieurs extraits de plantes ont été testés et reconnus comme ayant des effets pesticides. Ce sont : *Azadirachta indica*, *Carica papaya*, *Combretum micranthum* (Tahiri, 2010; Tahiri *et al.*, 2011), *Calotropis procera* (Coulibaly, 2014) et *Tithonia diversifolia* (Diby, 2016). Ainsi, dans la recherche d'alternatives aux insecticides chimiques, la présente étude, réalisée dans le département d'Agboville, a pour objectif d'évaluer l'effet insecticide d'extraits de quelques plantes (*Ocimum gratissimum*, *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*) sur les termites.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Site d'étude

Situé dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire (5°35N et 6°15N, 3°55W et 4°40W) à environ 80 km d'Abidjan (Figure 1), le département d'Agboville couvre une superficie d'environ 3850 km² (INS, 2014). Il est soumis à un climat équatorial de transition et caractérisé par 4 saisons dans l'année dont 2 saisons pluvieuses (avril à juillet et septembre à octobre) et 2 saisons sèches (novembre à mars et août à septembre) (Dembélé, 1989). C'est une zone très humide où les précipitations interannuelles sont supérieures à 1500 mm (Ahoussi, 2008). De fertilité moyenne, les sols de la région d'Agboville sont riches en argile, en limon et en sable fin (Moulinier, 1962). Le département d'Agboville fait partie du Sud forestier de la Côte-d'Ivoire, du domaine guinéen à secteur mésophile caractérisé par la forêt dense humide semi-décidue. Cette forêt est actuellement dégradée suite à la croissance de l'habitat humain, au développement de l'agriculture et à son exploitation abusive qui l'ont réduite à de petits îlots dont certains ont été classés (N'Guessan, 2008)

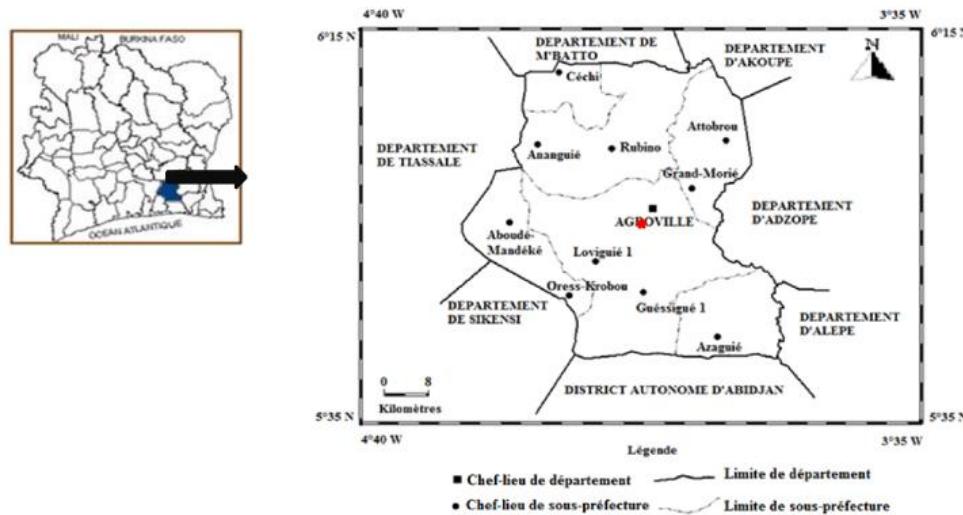


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (INS, 2014)

1.2. Préparation des extraits aqueux des plantes

Des feuilles fraîches des plantes locales *Ocimum gratissimum* (Lamiacée), *Alstonia boonei* (Rubiacée) et *Nauclea latifolia* (Apocynacée) (Figure 2) ont été recueillies dans la zone d'étude et séchées pendant 3 semaines à l'ombre (pour éviter la dégradation des substances photosensibles). Les feuilles séchées ont été broyées dans un mixeur jusqu'à leur réduction en poudre. Selon la méthode utilisée par Zirihi et Kra (2003), une quantité de 100 g de poudre de chaque espèce de plante a été diluée dans 1 L d'eau distillée. L'ensemble (eau distillée et poudre) a été homogénéisé dans le mixeur pendant 10 minutes. Le mélange obtenu a été ensuite filtré à l'aide d'un tissu percale. Deux autres filtrations successives ont été faites sur du coton hydrophile et une dernière sur du papier filtre Whatman (3 MM). Le filtrat final obtenu a été séché par évaporation dans une étuve à 50° C pendant 5 jours. Le résidu sec obtenu a servi à préparer, pour chaque plante, une solution mère d'extrait aqueux concentré à 10 % utilisée pour la lutte contre les termites au laboratoire et dans les champs de manioc.



Figure 2 : Plantes insecticides utilisées

a : *Ocimum gratissimum* (Lamiacée); b : *Alstonia boonei* (Rubiacée); c : *Nauclea latifolia* (Apocynacée)

1.3. Évaluation des effets insecticides des extraits aqueux de plantes en champ de manioc

Une parcelle de manioc a été mise en place avec un dispositif en bloc de Fisher randomisé avec 5 traitements et 3 répétitions (Figure 3). Ce dispositif comporte 15 parcelles élémentaires séparées les unes des autres par une allée de 1,5 m comprenant chacune, 5 lignes de 10 pieds de manioc, soit 50 pieds par parcelle (Figure 3). Les parcelles élémentaires ont été traitées, une semaine après la mise en terre des boutures, par les extraits aqueux des trois plantes locales concentrées à 10 % (T1 : *Ocimum graticum*, T2 : *Alstonia boonei*, T3 : *Nauclea latifolia*) et par une solution de chlorpyrifos-éthyl (T4) (choisi comme produit chimique de référence), obtenue après dilution de 3,2 ml de pyriforce (dosé à 480g / L de chlorpyrifos-éthyl) dans 2 litres d'eau. Ainsi, 500 ml de chaque extrait aqueux de plante concentré à 10% et 500 ml de la solution de chlorpyrifos-éthyl ont été utilisés pour traiter chaque parcelle élémentaire prévue. Trois parcelles élémentaires, choisies comme témoins neutres (T0), n'ont fait l'objet d'aucun traitement. Les prospections ont débuté un mois après le traitement et se faisaient périodiquement tous les 30 jours sur une durée de 4 mois. Chaque mois, 9 plants de manioc choisis au hasard, dans chaque parcelle élémentaire ont été déterrés, puis observés. Le taux d'attaque de termites enregistré pour chaque traitement, a été ensuite calculé et comparé à celui des parcelles témoins. Afin d'évaluer l'influence du traitement sur la densité des termites hypogés, un monolithe TSBF (Tropical Soil Biology and Fertily) a été réalisé sur chaque parcelle élémentaire. Les termites rencontrés dans chaque monolithe ont été comptés et la densité des termites hypogés a été déterminée par traitement.

1.4. Évaluation des effets d'extraits de plantes sur les termites au laboratoire

La toxicité des trois plantes locales choisies (*Ocimum gratissimum*, *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*) a été également, testée au laboratoire sur *Ancistrotermes guineensis* qui a été observé comme étant l'espèce de terme la plus agressive sur le manioc. Pour cette étude de la toxicité, le test par contact a été réalisé selon la méthode utilisée par Tahiri *et al.* (2011). Ainsi, des boîtes de Pétri contenant 3,5 grammes de terre humidifiée à 1 ml d'eau distillée ont été préparées (Figure 4).

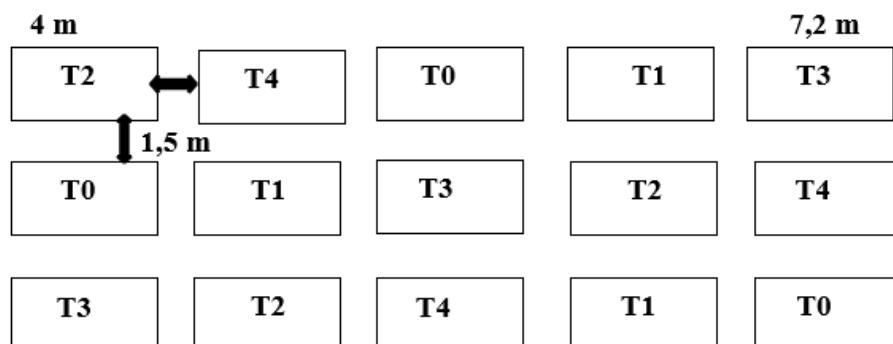


Figure 3 : Dispositif expérimental de l'essai de lutte à base d'extraits de plantes et du produit Chimique de référence (T0 : témoin ; T1 : *Ocimum gratissimum* ; T2 : *Alstonia boonei* ; T3 :*Nauclea latifolia* ; T4 :chlorpyrifors-éthyl).

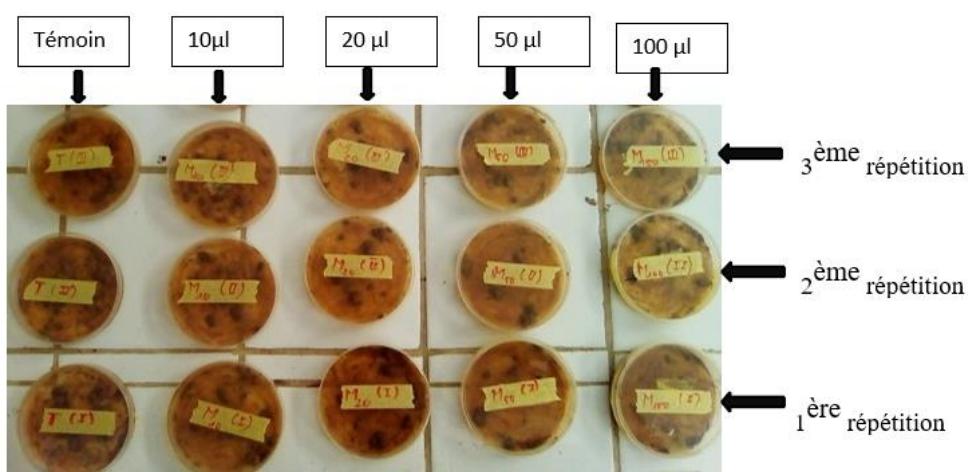


Figure 4 : Dispositif expérimental du test de toxicité par contact au laboratoire

À l'aide d'une micropipette, des doses de chaque extrait aqueux de plante concentré à 10 % ont été coulées et mélangées à la terre. Après le mélange, les boîtes sont séchées à l'air libre pendant 1 heure. Cinquante (50) ouvriers de *Ancistrotermes guineensis* ont été ensuite, introduits dans chaque

boîte. Les extraits aqueux des plantes ont été testés aux quatre doses suivantes : 10, 20, 50 et 100 µL, soit aux concentrations 1 ; 2 ; 5 et 10 mg/l. Pour chaque extrait, le dispositif comprend 5 traitements (les 4 doses et un non traité) avec 3 répétitions. Les ouvriers morts ont été dénombrés toutes les 24 heures pendant 6 jours. Le taux de mortalité a été calculé et corrigé par la formule d'Abbott (1925) :

$$Mo = \frac{\text{Nombre de termites morts}}{\text{Nombre total de termites}} \times 100 ; \text{ Nombre total de termites} = 50 / \text{boîte}$$

$$Mc = \frac{Mo - Mt}{100 - Mt} \times 100$$

Mc : mortalité corrigé ;

Mo : Mortalité observée ;

Mt : mortalité des termites témoins

1.5. Analyse statistique

Dans cette étude, des analyses de variances à un facteur (ANOVA, $p<0,05$) ont été réalisées avec le logiciel Statistica (version 7.0) puis les moyennes homogènes ont été regroupées à l'aide des tests de Newman-Keuls. La concentration létale 50 (CL50) a été déterminée par l'analyse Probit sur la base de la mortalité des termites obtenue en 24 heures avec le logiciel XLSTAT (version 2018).

2. Resultats

2.1. Effets insecticides des extraits aqueux de plantes en champs de manioc

Le taux d'attaques des termites varie selon le traitement. Les parcelles témoins (T0) qui n'ont subi aucun traitement, enregistrent le taux d'attaques de termites le plus élevé ($66,66 \pm 13,17\%$). Elles sont suivies des parcelles traitées par *Alstonia boonei* (T2) et *Nauclea latifolia* (T3) avec des taux respectifs de $54,33 \pm 8,93\%$ et $44,44 \pm 11,04\%$. Les taux les plus faibles ont été obtenus avec le chlorpyrifos-ethyl (T4) et *Ocimum gratissimum* avec des (T1) avec des valeurs respectives de $15,28 \pm 4,72\%$ et $27,78 \pm 4,96\%$. L'analyse statistique indique une différence significative entre les taux d'attaques obtenus selon les différents traitements (ANOVA, $P < 0,05$). Par ailleurs, on note une variation du taux d'attaque en fonction du temps au niveau de chaque traitement. Les taux d'attaque enregistrés au niveau des parcelles traitées par les trois extraits de plantes augmentent légèrement du 1^{er} au 4^{ème} mois (Figure 5). Le traitement au chlorpyrifos-ethyl, quant à lui, a favorisé un très faible taux d'attaque qui est resté constant au cours des deux premiers mois avant d'augmenter par la suite à partir du troisième mois. La densité des termites hypogés diffère d'un traitement à un autre. Les parcelles non traitées présentent la plus forte densité de termites hypogés avec une

valeur estimée à $577,33 \pm 97,21$ ind/m². Les parcelles traitées avec *Nauclea latifolia* ($507,33 \pm 118,09$ ind / m²) et *Alstonia boonei* ($461,33 \pm 204,32$ ind / m²) enregistrent également des densités élevées. Les plus faibles densités ont été observées au niveau des parcelles traitées avec le chlorpyrifos-éthyl et *Ocimum gratissimum* respectivement $78 \pm 24,29$ ind / m² et $134,66 \pm 78,53$ ind / m².

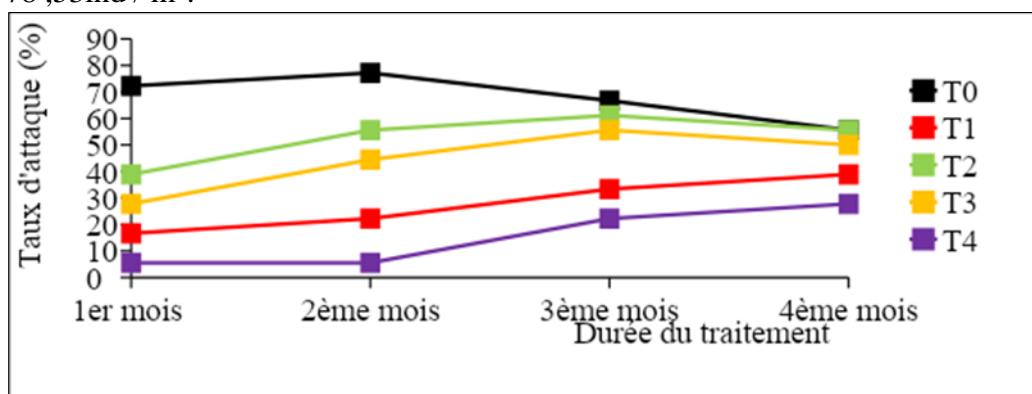


Figure 5: variation du taux d'attaque global des termites selon les traitements au cours du Temps (**T0** : Témoin ; **T1** : traité avec *Ocimum gratissimum* ; **T2** : traité par *Alstonia boonei* ; **T3** : traité avec *Nauclea latifolia* ; **T4** : traité avec le chlorpyrifos-éthyl)

2.2. Effets insecticides des extraits aqueux de plantes au laboratoire

Les résultats du test de toxicité par contact (Tableau I) montrent que la mortalité des termites traités avec les extraits aqueux de *Alstonia boonei*, *Nauclea latifolia* et *Ocimum gratissimum* est supérieure à celle obtenue dans les boîtes non traitées. Cette mortalité augmente avec la concentration et le temps d'exposition. L'extrait de *Ocimum. gratissimum* provoque la mort des termites après 24 heures à partir de la concentration de 2mg/L. Avec les extraits de *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*, ce n'est seulement qu'à la concentration de 10mg/L qu'il y a eu mortalité après 24 heures d'exposition. La mortalité totale (100%) a été obtenue avec *O. gratissimum*, à la concentration de 10 mg/L, après 96 heures d'exposition alors qu'avec *Nauclea latifolia* et *Alstonia boonei*, elle a été obtenue respectivement après 120 et 144 heures. L'analyse Probit réalisée sur la base de la mortalité des termites au cours des tests de toxicité par contact en 24 heures, indique que la quantité de l'extrait aqueux de *Ocimum gratissimum* nécessaire pour tuer 50% de la population de termites, soit une concentration létale (CL50), est de 12,7 mg /l alors que celles de *Alstonia boonei* et de *Nauclea latifolia* sont respectivement de 22,3 mg /l et 13,7 mg/l.

Tableau I: Taux de mortalité (%) des termites selon les concentrations d'extrait aqueux des plantes en fonction du temps d'exposition au laboratoire

| Extraits de Plantes | Concentration (mg/L) | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
|---------------------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | 1 | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 8,10 ± 1,15 c | 8,26 ± 3,05 c | 12,5 ± 1,33 c | 100 ± 0 a |
| | 2 | 0 ± 0 a | 0,66 ± 0,66 b | 18,92 ± 1,33 c | 23,32 ± 1,76 c | 31,34 ± 1,76 bc | 100 ± 0 a |
| <i>Nauclea Latifolia</i> | 5 | 0 ± 0 a | 1,33 ± 0,66 bc | 23,65 ± 3,52 b | 40,41 ± 2,3 a | 80 ± 3,05 b | 100 ± 0 a |
| | 10 | 1,67 ± 1,2 a | 4 ± 1,15 c | 44,59 ± 5,81 a | 62,81 ± 2,3 a | 100 ± 0 a | 100 ± 0 a |
| | Témoin | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 1,33 ± 1,15 d | 19,33 ± 3,52 c | 60 ± 2 d | 100 ± 0 a |
| | 1 | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 8,10 ± 1,15 c | 8,26 ± 3,05 c | 12,5 ± 1,33 c | 100 ± 0 a |
| | 1 | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 0 ± 0,66 b | 26 ± 3,05 cb | 44,44 ± 2,3 b | 66,64 ± 2,9 a |
| <i>Alstonia Boonei</i> | 2 | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 1,33 ± 0,66 b | 32,23 ± 2,9 ab | 70,36 ± 4,66 ab | 100 ± 0 a |
| | 5 | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 2,01 ± 1,76 b | 36,37 ± 4,66 a | 72,22 ± 4,16 ab | 100 ± 0 a |
| <i>Ocimum gratissimum</i> | 10 | 0,66 ± 0,66 a | 4 ± 1,15 a | 12,75 ± 5,81 a | 50,41 ± 6,92 a | 96,27 ± 1,33 a | 100 ± 0 a |
| | Témoin | 0 ± 0 a | 0 ± 0 b | 0,66 ± 0,66 b | 19,33 ± 3,52 c | 64 ± 2 c | 86 ± 4,05 b |
| | 10 | 0 ± 0 b | 2,66 ± 1,76 c | 16,32 ± 2,4 c | 25,22 ± 3,52 c | 67,49 ± 1,15 c | 100 ± 0 a |
| | 2 | 0,66 ± 0,66 b | 4,66 ± 1,76 bc | 19,62 ± 2,31 b | 33,91 ± 5,69 bc | 76,24 ± 4,05 b | 100 ± 0 a |
| | 5 | 1,33 ± 0,66 b | 10,67 ± 1,33 b | 29,92 ± 2,91 b | 51,31 ± 2,9 b | 100 ± 0 a | 100 ± 0 a |
| | 10 | 5,33 ± 0,66 a | 21,33 ± 3,52 a | 59,86 ± 2,91 a | 100 ± 0 a | 100 ± 0 a | 100 ± 0 a |
| | Témoin | 0 ± 0 b | 0 ± 0 c | 2 ± 1,15 c | 23,33 ± 4,05 d | 46,66 ± 4,05 d | 77,33 ± 5,81 a |

*Les chiffres dans la même colonne, affectés de la même lettre, ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%
(test de Newman-Keuls)*

3. Discussion

Les taux d'attaque enregistrés varient selon les traitements. Les faibles taux enregistrés pour le traitement au chlorpyrifos-ethyl confirment l'efficacité du produit contre les termites ravageurs. Plusieurs auteurs ont attesté l'efficacité du chlorpyrifos-ethyl contre les termites et contre d'autres ravageurs des cultures (Tahiri *et al.*, 2008 ; Hala *et al.*, 2013 et Coulibaly, 2014). Concernant les extraits de plantes, le traitement à *Ocimum gratissimum* a enregistré les taux les plus faibles et les plus proches du produit chimique de référence. Ces faibles taux observés indiquent que *Ocimum gratissimum* possèderait des actions termitticides. Awuah et Ellis (2002) ont montré que les feuilles de *Ocimum gratissimum* (utilisées sous forme de poudre) possèdent des propriétés insecticides. Les travaux de Johnson *et al.*, (2006) ont également révélé l'effet insecticide d'extrait et de poudre de *Ocimum gratissimum* sur *Callasobruchus maculatus* FAB, un ravageur majeur du niébé. La toxicité de cette plante contre les insectes pourrait être liée à sa composition chimique. *Ocimum gratissimum* renferme des composés phénoliques (tanins, flavonoïdes, dérivés anthracéniques) et azotés (alcaloïdes), des stéroïdes, des terpénoïdes, des saponosides ainsi que de la quinone (N'guessan *et al.*, 2009; Kpètèhoto *et al.*, 2017). Selon Attou, (2011), les phénols sont produits par les plantes pour se prémunir contre les infections et les insectes phytophages. Les tanins possèdent des propriétés insecticides, larvicides et répulsives (Okamura *et al.*, 1993). Les alcaloïdes sont des composés chimiques très toxiques qui permettent à la plante de se défendre contre les attaques des insectes phytophages et des micro-organismes (Harbome et Herbert, 1995). Quant aux composés terpéniques, ils constituent un système de défense de la plante, particulièrement contre les insectes herbivores (Grodnitzky et Coats, 2002). La présence de ces composés indicateurs de principes actifs confère à la plante son caractère de plante médicinale et insecticide. L'activité insecticide de *Ocimum gratissimum* diminue au cours du temps à cause de la volatilité des composés actifs responsables du pouvoir insecticide (Ngamo *et al.*, 2007 a). *Nauclea Latifolia* et *Alstonia boonei*, bien que contenant des alcaloïdes, des flavonoïdes, des tanins, des saponosides, des terpénoïdes qui leur confèrent des propriétés pharmacologiques et toxicologiques (Fofana, 2004 ; Badiaga, 2011 ; Plassart, 2015), se sont montrés moins efficaces contre les termites. Ceci pourrait être lié à la dose unique (100 g /L de poudre de feuilles sèches) utilisée dans la présente étude. Cette dose serait trop faible pour donner un résultat satisfaisant. Coulibaly *et al.* (2014) ont également montré que l'inefficacité de 2 plantes, *Strychnos spinosa* et *Terminalia mantaly* sur les termites dans les pépinières de manguiers est due à la dose trop faible de 100g/l utilisée. Les travaux de Tahiri *et al.* (2010) ont également montré que les extraits de certaines plantes, comme le papayer, *Carica papaya* (Caricaceae), sont plus

efficaces à faible dose contre les termites, contrairement à l'extrait du Kinkéliba, *Combretum micranthum* (Combretaceae) dont l'efficacité augmente en fonction de la dose utilisée (Tahiri, 2012 a). Les résultats ont montré que la densité des termites hypogés baisse dans les parcelles traitées. Cette baisse de la densité des termites confirme les pouvoirs insecticides des produits utilisés pour les traitements. La variation de la densité dans les parcelles traitées est liée au degré d'efficacité des différents produits testés. Ainsi donc, les faibles densités obtenues avec les traitements au chlorpyrifos-éthyl et à *Ocimum gratissimum* traduisent leur efficacité contre les termites par rapport aux autres produits.

Au laboratoire, la mortalité des termites traités avec les extraits de plantes a été supérieure à celle obtenue dans les parcelles non traitées. Ceci confirme l'activité insecticide des plantes utilisées. Cette activité insecticide se fait par contact vis-à-vis des termites. Des extraits de *Azadirachta indica* et de *Carica papaya* ont montré une activité insecticide par contact sur *Macrotermes bellicosus* (Tahiri et al., 2010 ; 2011). Les taux de mortalité augmentent avec la concentration et le temps. Ainsi, plus la dose est élevée, plus les produits sont toxiques au cours du temps et sont actifs. Ces résultats montrent que les extraits de ces trois plantes insecticides ont leur action optimale sur les termites *Ancistrotermes sp* à forte dose et à long terme. L'extrait de *Ocimum gratissimum* provoque la mort des termites après 24 heures à partir de la concentration de 2 mg/L alors qu'avec les extraits de *Alstonia boonei* et *Nauclea latifolia*, ce n'est seulement qu'à la concentration de 10 mg/L qu'il y a eu mortalité après 24 heures d'exposition. La concentration létale 50 (CL50) de l'extrait de *Ocimum gratissimum* est la plus faible comparée à celles de *Nauclea latifolia* et de *Alstonia latifolia*. Ces résultats confirment que la toxicité de *Ocimum gratissimum* est supérieure à celle de *Alstonia boonei* et de *Nauclea latifolia* sur les termites.

Conclusion

Cette étude a permis de révéler le pouvoir insecticide de trois plantes locales que sont : *Ocimum gratissimum*, *Nauclea latifolia* et *Alstonia boonei*. Parmi ces trois plantes, *Ocimum gratissimum* s'est montrée plus efficace contre les termites ravageurs du manioc et proche du pouvoir insecticide du produit chimique de référence (chlorpyrifos-éthyl). Toutefois, des études approfondies doivent être menées afin de connaître les doses optimales de ces extraits de plantes pour être utilisées comme alternative aux produits chimiques dans la lutte efficace contre les termites nuisibles aux cultures.

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

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

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

References:

1. Abbott W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticid. *Journal of Economic Entomology*, 16 : 265-267.
2. Akpesse A. A. M., Kouassi K. P., Tano Y. & Lepage M., 2008. Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane subsoudanienne (Booro-Borotou, Côte- d'Ivoire). *Sciences et Nature*, 5(2): 121-131.
3. Amani N.G., Kamenan A., Rolland-Sabaté A. & Colonna P., 2005. Stability of yam starch gels during processing. *African Journal of Biotechnology*, 4: 94-101.
4. Attou A., 2011. Contribution à l'étude phytochimique et activités biologiques des extraits de la plante *Ruta chalpensis* (*Fidjel*) de la région d'Ain Témouchent. Mémoire du Diplôme de Magister en Biologie, Université d'Abou Bekr Belkaid, Tlemcen (Algérie). 119 p.
5. Awuah R.T. & Ellis W.O. 2002. Effects of some groundnut packaging methods and protec-protection with *Ocimum* and *Syzygium* powders on kernel infection by fungi. *Mycopathologia*, 154 (1) : 26-36.
6. Badiaga M., 2011. Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali. Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. 136 p + annexe.
7. CNRA, 2013. Bien cultiver le manioc en Côte d'Ivoire, CNRA, version revue et corrigée <http://lrbouor.org>. 4 p. consulté le 12 /07/2017.
8. Coulibaly T., 2014. Diversité et dégâts des termites dans les vergers de manguiers (*Mangifera indica* L, Anacardiaceae) de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire) : Essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de trois plantes locales. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, 158 p.
9. Dembelé O., 1989. Logiques et stratégies de développement urbain comparées à Abengourou, Agboville et Bonoua. Thèse de Doctorat, 3^{ème} cycle de géographie, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 166 p.
10. Diby.Y.K.S., 2016 : Impact des termites sur les cultures de riz NERICA 1(croisement *Oryza sativa* Linné et *Oryza glaberrima*

- Steudel) en zone guinéenne de Côte d'Ivoire : lutte à base d'extraits de plantes. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 189p + annexes.
11. Dosso K., Konaté S., Aïdara D. & Linsenmair K. E., 2010. Termite diversity and abundance across fire-induced habitat variability in a tropical moist savanna (Lamto, central Côte d'Ivoire). *Journal of Tropical Ecology*, 26: 323-334.
 12. Doumbia, S. Aman. S.A., N'zué. B & Djedji. C., 2009. Études d'impact EX-anté de nouvelles technologies du manioc en Côte d'Ivoire ; trois technologies du manioc dans le département de Dabou (sud- Côte d'Ivoire) ; Projet DONATA, CNRA ; Abidjan Décembre 2009 ; 27 P.
 13. FAOSTAT, 2020. FAO statistical data bases, Italie Rome,<< <http://www.fao.org>. Consulté le 14/02/2021.
 14. Farr S.L, Cooper G.S., Cai J., Savitz D.A & Sandler D.P. 2004. Pesticide use and menstrual cycle characteristics among premenopausal women in the agricultural health study. *American Journal of Epidemiology*, 160: 1194-1204.
 15. Faye A., Mbaye D.F., Kane P.D., Sall Sy D., Sane D., 2014. Study of the cassava varietal sensibility to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal). *International Journal of Science and Advanced Technology*, 4: 6-16.
 16. Fofana S., 2004. Exploration biochimique sur le pouvoir immunogène de trois plantes en Côte d'Ivoire : *Alstonia boonei* (Apocynaceae), *Mitragyna ciliata* (Rubiaceae) et *Terminalia catappa* (Combretaceae). Thèse de Doctorat, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie. Université de Bamako, Mali, 123 p.
 17. Foua-Bi K., 1983. Les déprédateurs animaux des ignames en cours de végétation. In: Séminaire international AUPELF. Les rencontres de l'ENSA d'Abidjan; N°1 L'igname, 311- 329.
 18. Grodnitzky J.A. & Coats J.R., 2002. QSAR evaluation of monoterpenoids insecticidal activity. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50 : 4576–4580.
 19. Hala N., Coulibaly F., N'da A. A., N'depo O. R. & N'goran A. Y., 2013. Évaluation de l'efficacité de quatre formulations de chlorpyriphos-éthyl contre la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* (Homoptera: Pseudococcidae): bilan de dix années d'expérimentation en Côte D'Ivoire, *Agronomie Africaine*, 25(3): 207-220.
 20. Han S. H., Tokro G.P., Tano Y. & Lepage M., 1998. Dégâts des termites dans les jeunes plantations de palmiers à huile en Côte-

- d'Ivoire: évaluations et méthodes de lutte. *Plantations, Recherches, Développement*, 5 (2): 119-123.
21. IITA, 2000. Lutte contre les ravageurs du manioc, Guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs, 36 p.
 22. INS. 2014. Recensement générale de la population et de l'habitat de la Côte d'Ivoire 2014, 22p / http :www. Ins.ci. Consulté le 15/02/1018.
 23. Isman, M.B., 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review Entomology*, 51: 45-66.
 24. Johnson F., Séri-Kouassi B., Aboua L.R. & Foua Bi K., 2006. Utilisation de poudre et d'estraits totaux issus de plantes locales des genres *Ocimum sp* et *mentha sp.* comme biopesticides dans la lutte contre *Callosobruchus maculatus* FAB. *Agronomie Africaine*. pp. 221-233.
 25. Konaté S., Yéo K., Yeboue L., Alonso L. F. & Kouassi K., 2005. Évaluation rapide de la diversité des insectes des forêts classées de la Haute Dodo et du Cavally (Côte- d'Ivoire). RAP *Bulletin of Biological Assessment*, C I. Washington DC, 27 p.
 26. Kouassi K. P., 1987. Étude comparative de la macrofaune endogée d'écosystèmes naturels et transformés de Côte-d'Ivoire. Thèse 3ème cycle, Université Abidjan, Côte d'Ivoire, 129 p
 27. Kpètèhoto W.H., Hessou S., Dougnon T.V., Johnson R.C., Boni G., Houéto E.E., Assogba F., Pognon E., Loko F., Boko M., Gbénou J., 2017. Etude ethnobotanique, phytochimique et écotoxicologique de *Ocimum gratissimum* Linn (Lamiaceae) à Cotonou. *Journal of Applied Biosciences* 109 :10609-10617.
 28. Lamiri A., Lhaloui S., Benjilali B. & Berrada M. (2001). Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly *Mayetiola destructor* (Say). *Field Crops Research*, 71 : 9-15.
 29. Mitchell J. D., 2002. Termites as pests of crops, forestry, rangeland and structures in southern Africa and their control. *Sociobiology*, 40 (1): 47-69.
 30. Moulinier H., 1962. Contribution à l'étude agronomique des sols de Basse Côte d'Ivoire. *International Federation of Clinical Chemistry*, 4 :16-43.
 31. Ngamo T. L. S., Ngassoum M.B., Mapongmetsem P.M., Noudjou W.F., Malaisse F., Haubruge E., Lognay G., Kouninki H. & Hance T., 2007a. Use of essential oil of aromatic plants as protectant of grains during storage. *Agricultural journal*, 2 (2) : 204-209.
 32. N'guessan K., 2008. Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles chez les peuples Abbey et Krobou du département d'Agboville (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences

- Naturelles, Spécialité Ethnobotanique, Université de Cocody- Abidjan (Côte d'Ivoire), 335 p
33. N'guessan K., Beugré K., Guédé N.Z., Dossahoua T., Aké-Assi L., 2009. Screening phyto- chimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature*, :1-15.
34. N'Zué B., Bouan B., Dibi K.E.B., Kouakou A.M., Djédji C., Kouassi K.F., Zohouri G. P. & Ehounou E., 2013. Projet DONATA, Rapport d'activités 1er trimestre 2013, 7p.
35. Nando O. A. N., Diby Y. K. S., Akpesse A. A.M. & Kouassi K. P., 2022 : Attacks and damage by termites in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) fields in the department of Agboville (South-Eastern Côte d'Ivoire). *International Journal of Science and Research*, 11 (2) : 2319-7064.
36. Okamura H., Mimura A., Yakou Y., Niwano M., & Takahara Y., 1993. Antioxydant activity of tannins and flavonoids in *Eucalyptus rostrata*. *Phytochemistry*, 33: 557-561.
37. Plassart L., 2015. *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) Bruce : Etude botanique, chimique et pharmacologique. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Rouen, France, 147 p.
38. Siapo Y.M., 2020. Pratiques phytosanitaires paysannes et évaluation de l'effet insecticide de *Senna occidentalis* Link. (1829) et de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (1883) sur les termites dans les plantations de cacaoyers (*Theobroma cacao* L. 1759) du département de Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 160 p + annexes.
39. Sonko A. M., Sall D. & Ndiaye A. B., 2019. Les termites (*Termitidae* Latreille 1802) ravageurs du manioc (*Manihot esculenta* Crantz 1766) dans la zone de Tivaouane (Sénégal). *International Journal Biological Chemical Sciences*. 13(4) :2005-2020, 16p.
40. Tahiri A. Y., 2010. Termites ravageurs de l'hévéa *Hevea brasiliensis* dans les départements de Daoukro et d'Agboville (Côte d'Ivoire). Lutte par utilisation des extraits de 6 plantes locales contre le terme champignoniste *Macrotermes bellicosus*, Thèse de Doctorat d'États es-Sciences Naturelles, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 223 p.
41. Tahiri A., 2012 a. Evaluation of *Combretum micranthum* G. Don (Combretaceae) as a biopesticide against pest termite. *Pesticides–Advances in Chemical and Botanical Pesticides*, 255-268.
42. Tahiri A., 2012b. Toxicité du macérât de *Carica papaya* L. contre Coptotermes formosanus Shiraki (Isoptera : Rhinotermitidae). *Afrique Science*, 08 (3): 93 – 101.

43. Tahiri A., Amissa A. A., Adje F. A. & Amusant N., 2011. Effet pesticide et screening des extraits de *Azadirachta indica* (A.) Juss. (Meliaceae) sur le termite *Macrotermes bellicosus* Rambur. *Bois et Forêts des Tropiques*, 310 (4): 79-88.
44. Tahiri A. & Mangue J. J., 2007. Stratégie d'attaque des jeunes plants d'hévéa (*Hevea Brasiliensis* Muell.) par les termites et effet comparé de deux insecticides utilisés pour leur protection en basse Côte d'Ivoire. *Science & Nature*, 4 (1): 45-55.
45. Tra-Bi C. S., 2013. Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1759) de la région d'Oumé en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 243 p + annexes.
46. Tran V. C., Keli Z. J. & Coulibaly A., 1998. Control of termites and black ants damaging rubber plantations in Africa. In : Symposium on natural rubber *Hévéa brasiliensis*, Vol 2 physiology and exploitation and crop protection and planting methods sessions, Ho Chi Minh City, Vietnam, 14-15 October 1997: 115-121.
47. Zirihi G.N.& Kra A.K.M., 2003. Évaluation de l'activité antifongique de *Microglossa pyrifolia* (Lam) O. Ktze (Asteraceae) "PYMI" sur la croissance *in vitro* de *Candida albicans*. *Revue médicale et Pharmacopée Africaine*, 17 : 11-18.

Etude hydrologique et hydraulique du bassin versant d'assainissement urbain du quartier Adidoadin de la commune Golfe 5 à Lomé (Togo): Proposition pour une gestion pérenne des eaux pluviales

Komlan Fambi, PhD

Massabalo Ayah, MA

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement,

Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

Yawovi Mawuénnya Xolali Dany Ayité, PT

Laboratoire de recherche en Science de l'Ingénieur,

Ecole Polytechnique de Lomé, Université de Lomé, Togo

Moctar Limam Bawa, PT

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement,

Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p97](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p97)

Submitted: 03 April 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 19 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Fambi, K., Ayah, M., Ayité, Y. M. X. D., & Bawa, M. L. (2024). *Etude hydrologique et hydraulique du bassin versant d'assainissement urbain du quartier Adidoadin de la commune Golfe 5 à Lomé (Togo): Proposition pour une gestion pérenne des eaux pluviales*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 97. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p97>

Résumé

Ce travail consiste à analyser les phénomènes hydrologiques et hydrauliques du bassin versant d'assainissement urbain du quartier Adidoadin de la Commune Golfe 5 à Lomé, au Togo. Il a pour objectif d'identifier les causes des inondations de ce bassin versant d'assainissement urbain. La méthode de Manning-Strickler a été utilisée pour évaluer le débit d'écoulement d'eau dans les collecteurs et la méthode rationnelle a servi pour la détermination du débit généré par la pluie sur le bassin versant étudié. À travers une combinaison de techniques hydrologiques et hydrauliques de l'étude de cas réalisé pour la vérification de la capacité des collecteurs d'évacuateurs de crues, avec un débit de $3,76 \text{ m}^3/\text{s}$, a montré que ce débit est supérieur au débit d'eau provenant du bassin versant ($0,774\text{m}^3/\text{s}$), même avec

un coefficient de ruissellement le plus défavorable (0,9). A cet effet, les problèmes d'inondation seraient dus à la présence de crêtes qui ne favorisent pas l'écoulement gravitaire, également des conséquences issues d'une urbanisation mal maîtrisée (défaut de conception des infrastructures, extension de nouveaux quartiers dans des zones à risques). Ainsi, Cette recherche examine les caractéristiques physiques du bassin versant, évalue les régimes de précipitations et de ruissellement, identifie les problèmes d'inondations dûs aux changements climatiques et propose des mesures d'atténuation appropriées pour minimiser les risques d'inondations et d'érosion, tout en favorisant une utilisation efficace des ressources en eau.

Mots-clés: Inondations, bassin versant, méthode de Manning-Strickler, méthode rationnelle, crêtes, changements climatiques

Hydrological and hydraulic study of the urban drainage catchment area of the Adidoadin district of the Golfe 5 commune in Lomé (Togo): Proposal for sustainable stormwater management

*Komlan Fambi, PhD
Massabalo Ayah, MA*

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement,
Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

Yawovi Mawuénya Xolali Dany Ayité, PT
Laboratoire de recherche en Science de l'Ingénieur,
Ecole Polytechnique de Lomé, Université de Lomé, Togo
Moctar Limam Bawa, PT
Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement,
Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

Abstract

This work involves analyzing the hydrological and hydraulic phenomena of the urban drainage catchment area of the Adidoadin district of Commune Golfe 5 in Lomé, Togo. The aim of this study is to identify the causes of floods in this urban drainage watershed. The Manning-Strickler method was used to assess the flow of water in the collectors and the rational method was used to determine the flow generated by rainfall in the catchment area studied. The use of a combination of hydrological and hydraulic techniques to verify the hydraulic capacity of the spillway collectors, with a flow of 3.76 m³/s of the studied case, showed that this flow is greater than the

flow of water coming from the catchment area ($0.774\text{m}^3/\text{s}$), even with the most unfavourable runoff coefficient (0.9). Flooding problems are thus due to the presence of ridges that do not favor gravity flow, and to the consequences of poorly controlled urban development (faulty infrastructure design, extension of new districts into at-risk areas). Henceforth, this research examines the physical characteristics of the catchment, assesses rainfall and runoff patterns, identifies flooding problems due to climate change, and proposes appropriate mitigation measures to minimise the risk of flooding and erosion, while promoting the efficient use of water resources.

Keywords: Floods, watershed, Manning-Strickler method, rational method, ridges, climate change

Introduction

Au Togo comme bon nombre de pays africains, les constructions des habitats et des routes ne respectent pas un plan d'urbanisation d'ailleurs inexistant. L'existence des routes aménagées sans caniveaux, auront comme conséquence, l'accumulation continue des eaux pluviales des rues sans issues de pente gravitaire dans des dépressions naturelles de nos villes (MERF 2014a ; Salavati, 2015). La gestion difficile des eaux pluviales en milieu urbain due à la croissance urbaine, constitue l'un des facteurs de nombreux dégâts (ravage des habitations et perte en vie humaine) de nos villes dans le monde. Au Togo, les phénomènes d'inondation ont pris de l'ampleur à partir de l'année 2008. Dès lors, le Togo a enregistré à l'issue des inondations 42 pertes en vies humaines, 245 869 sinistrés et 51 902 habitations détruites, (PANA, 2008; Klassou, 2011 ; Gbafa, 2019). Pour pallier à ce fléau, les autorités ont mis en place, les retenues d'eau pour le stockage temporaire des eaux de ruissellement issues des pluies diluvieuses, qui après continueront leur chemin jusqu'à la lagune (exutoire final). Cette gestion difficile des eaux pluviales est due à des occupations du sol qui ne tiennent pas compte de la connaissance du réseau hydrographique du bassin versant urbain. Sous l'effet des changements climatiques, les volumes des précipitations vont au-delà des prévisions et sont à l'origine des catastrophes naturelles (MERF, 2013 ; CRED, 2016). Dans le cadre de la politique des grands travaux d'infrastructures et d'assainissement urbain, l'Etat togolais a mis en place plusieurs retenues d'eau localisées respectivement dans leurs bassins versants suivant le découpage topographique (pentes du terrain naturel), dont la retenue d'eau d'Adidoadin localisée dans son bassin versant (DGH, 2004). La retenue d'eau du bassin versant d'Adidoadin (exutoire temporaire) fait partie des zones d'inondation et reçoit les eaux de ruissellement pluviales ainsi que les effluents domestiques. L'évacuation de ces eaux usées gravitairement de la

retenue vers la lagune est difficile et demeure une préoccupation des populations riveraines.

L'urbanisation rapide et non planifiée entraîne souvent des défis majeurs en matière de gestion des eaux pluviales dans les zones urbaines, notamment en ce qui concerne la régulation des débits d'écoulement, la prévention des inondations et la préservation de la qualité de l'eau. Le quartier Adidoadin, situé dans la commune Golfe 5 à Lomé, fait face à ces défis, mettant en évidence la nécessité d'une analyse hydrologique et hydraulique approfondie de son bassin versant d'assainissement urbain. Cette étude vise à combler cette lacune en fournissant une évaluation détaillée des caractéristiques hydrologiques et hydrauliques du bassin versant, ainsi que des recommandations pour une gestion durable des eaux pluviales.

Ainsi, la présente étude vise principalement à

- Caractériser et délimiter le bassin versant d'assainissement urbain du quartier Adidoadin.
- Analyser les régimes de précipitations et de ruissellement du bassin versant, en tenant compte des facteurs climatiques et topographiques.
- Proposer des mesures d'atténuation des risques d'inondation et de gestion des eaux pluviales.

Méthodes

La retenue d'eau du quartier Adidoadin reçoit les eaux du bassin versant d'une superficie de 2,4 km² qui draine les eaux de ruissellement d'origine pluviales. Situé dans la zone lagunaire nord et au sud-ouest du plateau d'Agooe, dans la commune du Golfe 5 avec leurs caractéristiques biophysiques tels que le climat, la végétation, l'hydrographie, la géologie, l'hydrogéologie et l'urbanisation, (Figure 1).

La température moyenne est d'environ 27°C avec des écarts de 6 à 9°C entre les minimas et les maxima mensuels. Au mois d'août, la température diminue jusqu'à 18°C. Cette baisse de température est liée à la remontée d'eau froide longeant la côte. (Blivi, 2005) (Figure 2).

La végétation de la zone d'étude est fortement dégradée sous l'effet de la croissance urbaine. L'essentiel du couvert végétal est constitué d'arbres d'ombrage ou fruitiers plantés (Adjonou et al, 2013). Il s'agit pour la plupart d'*Azadirachta indica* (nîme), de *Mangifera indica* (manguier), de *Terminalia mantali*, de *Mellitia thonningii Uracre pitan*, *Gmelinaar borea*, de *Coco nucifera* (cocotier), etc. (Profizi et al, 2021). Des espaces verts, des jardins publics et privés, des domaines non bâties portant par endroits des arbustes et des graminées (Edohr et al, 2008). Les zones humides comme les bassins d'orage aménagés ou non par contre sont colonisées par une diversité d'espèces variant d'un plan d'eau à un autre, en fonction de la qualité de l'eau (salinité, pH, température, oxygène dissous, etc.) et des apports des bassins

versants (mosaïques de graminées naturelles, de prairies de mare quasi permanente, des herbacées et de la jacinthe d'eau qui résistent à l'engorgement d'eau) (Atanlé et al, 2012).

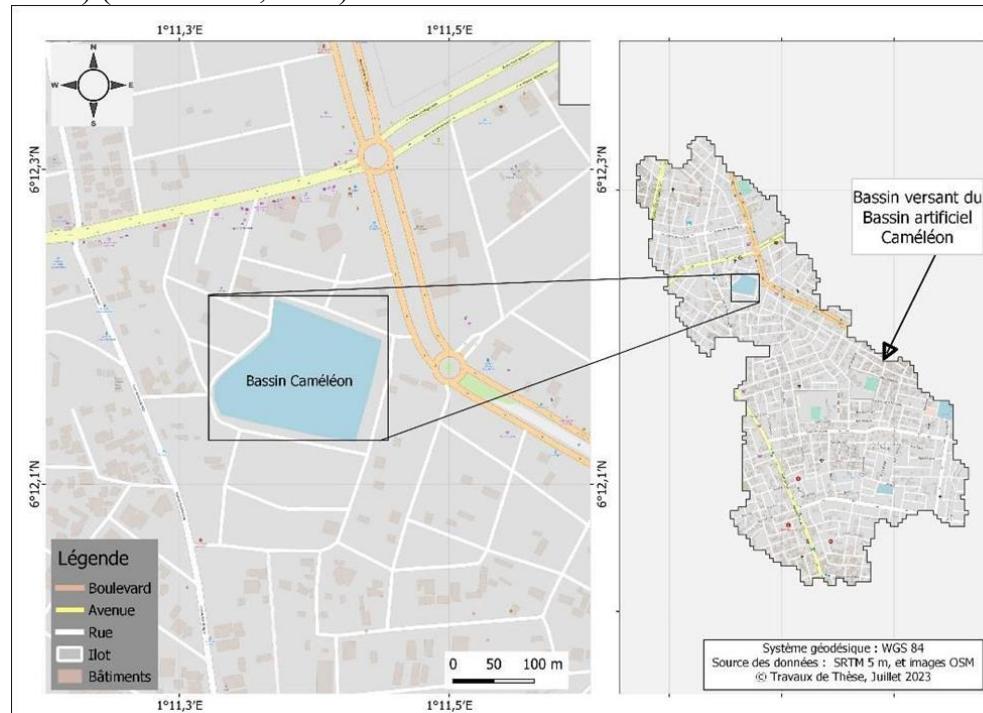


Figure 1 : Délimitation de la retenue d'eau du carrefour Adidoadin localisé dans son bassin versant
(Carte réalisée par Fambi, 2023)

Les précipitations annuelles sont très irrégulières et varient entre 750 mm en année sèche et 1000 mm en année humide. Les valeurs extrêmes passant de moins de 450 mm à plus de 1300 mm. La grande saison humide totalise 52 à 60% des précipitations annuelles, ces données recueillies à la Direction Nationale de la Météorologie (DNM, 2021). Le mois de juin est une période de forte pluie avec 26% de pluie annuelle (Figure 2).

En ce qui concerne les eaux superficielles, aucun cours d'eau ne traverse la zone d'étude. Toutefois on observe en saisons pluvieuses, des circulations d'eau des points hauts vers les points bas qui constituent des zones d'inondation par excellence. Ainsi, le réseau hydrographique est caractérisé par quelques réseaux d'assainissement, des circuits et des dépressions des eaux de ruissellement et surtout des bassins de rétention (Fambi, 2023). La plupart de ces bassins sont canalisés vers le système lagunaire de Lomé (Figure 3).

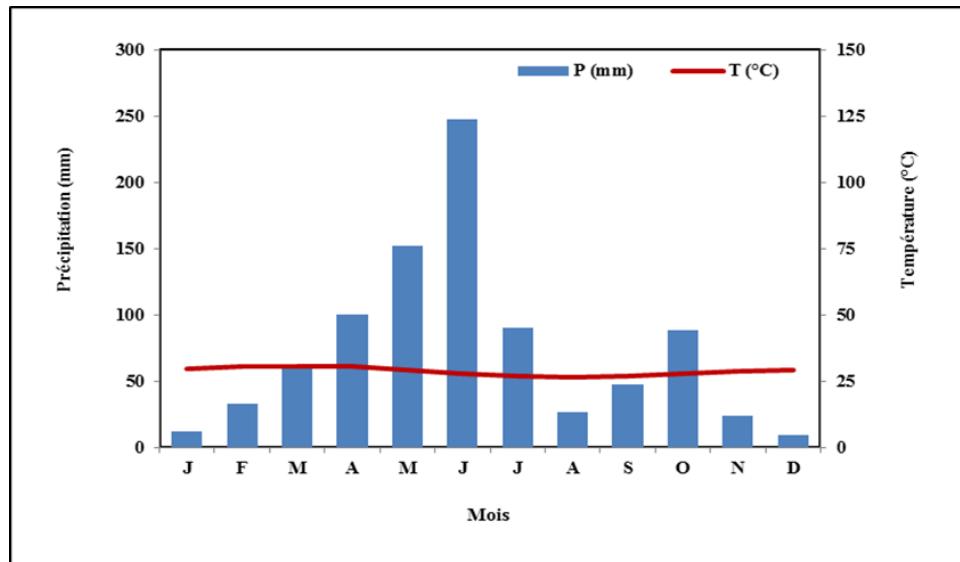


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Lomé
(Source: Direction de la Météorologie Nationale, Lomé, 1971-2021)

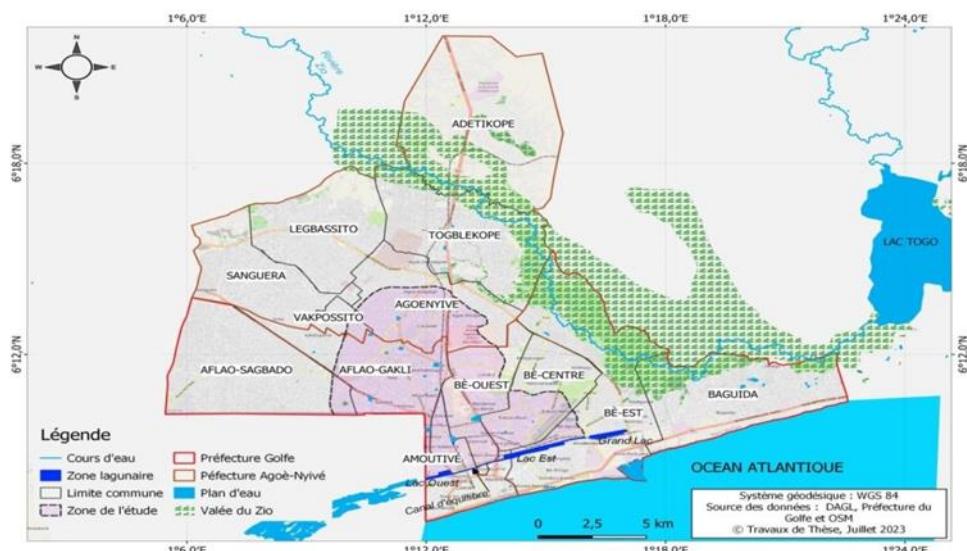


Figure 3 : Ensemble hydrographique simplifié de la zone d'étude
Carte réalisée par Fambi, 2023

Le relief présente une forte rupture de pente immédiatement vers la zone lagunaire avec une dénivellation importante de 5 à 15 m selon les endroits. Elle est aussi caractérisée par un relief hétérogène et irrégulier. La zone qui s'élève entre les côtes de 10 et 35 m dans les limites de la zone d'étude présente un microrelief important composé d'une multitude de dépressions et cuvettes

d'ampleurs très variables. (Fambi, 2023) Localement les pentes sont très marquées et peuvent atteindre 3 à 4 % dans n'importe quelle direction.

Les formations géologiques de la zone d'étude montrent une formation de la terre de barre (plateau d'Agoo ou plateau de Lomé) avec une formation marine sableuse (Blèza, 2023). Une coupe Sud-Nord (Figure 4) met en évidence la faible pente, du cordon littoral, du plateau de Lomé (Plateau d'Agoo) et des 2 terrasses à galets du versant nord de la vallée du Zio (Ayah 2016). La zone lagunaire correspondant aux dépressions marécageuses est constituée de formations lagunaires et laguno-marines.

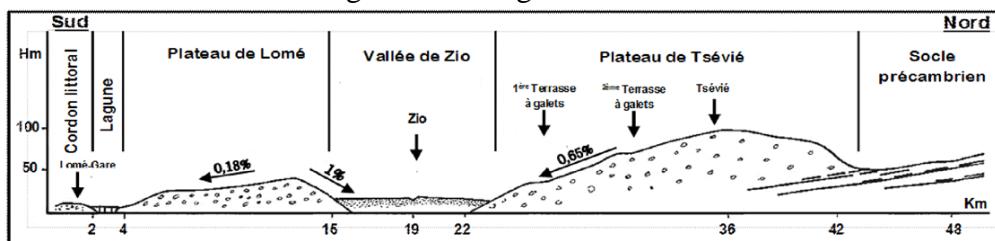


Figure 4 : Coupe Sud-Nord des plateaux de Terre de Barre modifiée (Ayah, 2016)

La couverture pédologique de la zone d'étude est constituée de quatre principaux types de sols (Gnazou, 2008): Les sols hydromorphes. On distingue des sols gris de bas des pentes, développés sur des colluvions sableuses sous influence de nappe en profondeur. Les sols ferrallitiques et les sols halomorphes.

Depuis les années 90, au-delà du « noyau historique » qu'est la ville de Lomé et hormis les domaines réservés de l'Université de Lomé, des sites de “Lomé II” et de l'aéroport, on note une très forte urbanisation incluant la zone d'étude suivant quatre principaux axes d'extension (Figure 5).

- l'extension Nord-Ouest vers Kpalimé, suivant la nationale N°3 (route Lomé-Kpalimé) et le long de la frontière Togo-Ghana ;
- l'extension Nord vers Tsévié, suivant la nationale N°1 (route Lomé-Cinkassé) ;
- l'extension Nord-Est vers Vogan suivant la nationale N°34 (route Lomé-Vogan) ;
- l'extension le long du littoral et vers Aného suivant la nationale N°2 (route Lomé-Hillacondji, frontière Togo-Bénin).

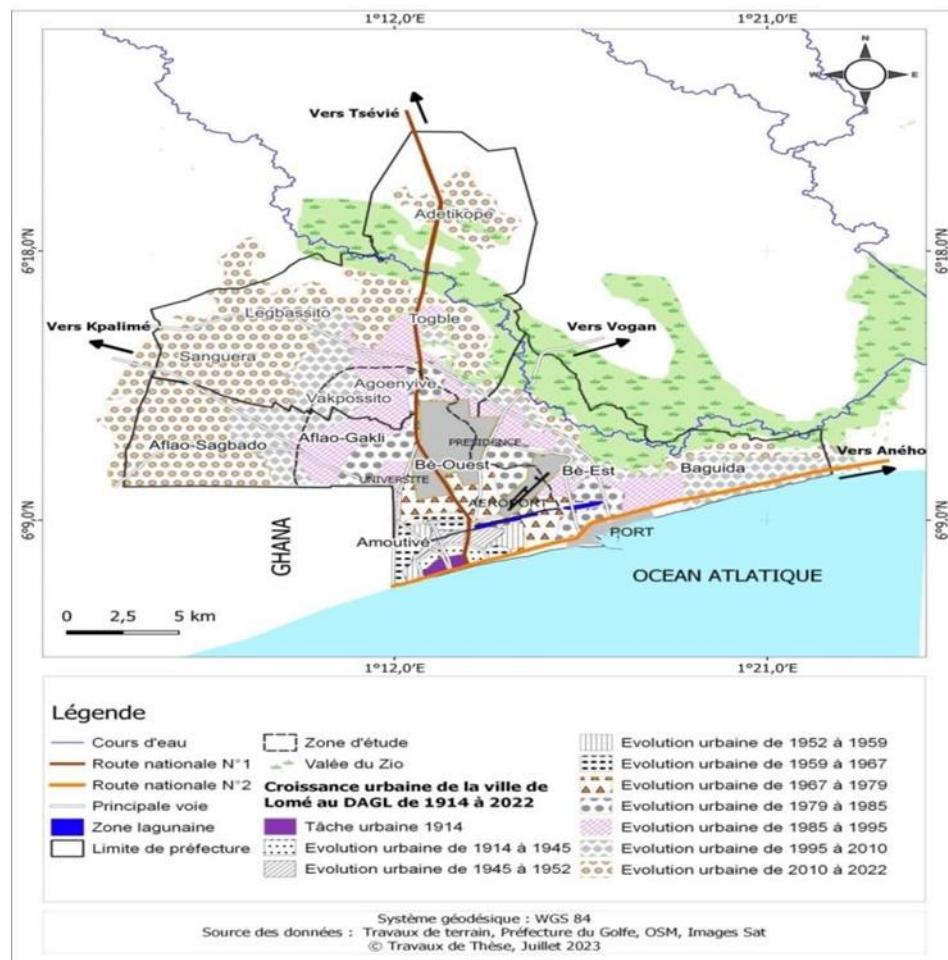


Figure 5 : De Lomé au DAGL : Etapes de la croissance de Lomé de 1914 à 2023
(Carte réalisée par Fambi, 2023)

- Collecte de données : données topographiques, climatiques, hydrologiques et socio-économiques pertinentes.
- Analyse hydrologique : utilisation de logiciels de modélisation hydrologique pour estimer les régimes de précipitations et de ruissellement dans le bassin versant.
- Analyse hydraulique : utilisation de modèles hydrauliques pour simuler les écoulements d'eau et évaluer les risques d'inondations.
- Élaboration de recommandations : basées sur les résultats de l'analyse, proposition de mesures d'atténuation adaptées au contexte local et aux contraintes socio-économiques.

Traitement des données pluviométriques: Ce traitement consiste à déterminer l'averse type, la période de retour, le temps de concentration et

l'intensité de pluie en vue de mettre en évidence le débit d'eau pluviale provenant du bassin versant. Ainsi nous avons procédé à une analyse des averses maximales annuelles tombées sur le bassin versant sur une période de 50 ans. Le dépouillement de ces données permettra de trouver un débit correspondant à une période de retour plus scientifique et raisonnable de la pluie du projet en utilisant les lois de calcul de la statistique hydrologique selon GUMBEL et FREICHT (Koulekey et Abrangao, 1991 ; Gbafa, 2019) dont les expressions sont représentées par les équations suivantes :

| GUMBEL | |
|---|--------|
| $\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$ | (Eq.1) |
| $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$ | (Eq.2) |
| $\frac{1}{\alpha} = 0,780\sigma$ | (Eq.3) |
| $x_0 = \bar{x} - 0,45\sigma$ | (Eq.4) |

| FRECHET | |
|---|--------|
| $\log \bar{x} = \frac{\sum \log x}{N}$ | (Eq.5) |
| $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\log x - \bar{\log x})^2}{N - 1}}$ | (Eq.6) |
| $\frac{1}{\alpha} = 0,780\sigma$ | (Eq.7) |
| $(\log x)_0 = \bar{\log x} - 0,45\sigma$ | (Eq.8) |

x : Hauteur d'averse maximale annuelle sur une durée de 50 ans.

N : Nombre totale de hauteur maximale de pluie pendant 50 ans

α : Coefficient d'ajustement de GUMBEL et FRECHET

σ : Ecart type

Pour cette étude la méthode rationnelle est retenue pour évaluer le débit du bassin versant, dont la superficie est inférieure à 4 km².

| | |
|---------------------|--------|
| $Q = 1/360 . C.I.A$ | (Eq.9) |
|---------------------|--------|

Avec : C : le coefficient de ruissellement décennal ; I : Intensité de l'averse en mm/h

A : superficie du bassin versant en ha ; Q : débit à l'exutoire en m³/s.

Pour le calcul de l'intensité de la pluie, la formule utilisée est de type MONTANA (DGH, 2004).

| | |
|---------------|---------|
| $I = a/T_c^b$ | (Eq.10) |
|---------------|---------|

Avec : I : intensité moyenne maximale de la pluie (mm/h) ; T_c : temps de concentration ; a et b sont des constantes d'ajustement, dépendant de la période de retour de la pluie de projet, obtenues à partir des données du pluviographe de la station météorologique de Lomé-Aéroport.

Le temps de concentration, l'utilisation la plus courante en tenant compte des paramètres caractéristiques du bassin versant est la formule de KIRPICH (Koulekey, 1991 ; Gbafa, 2019).

$$Tc = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \quad (Eq.11)$$

Avec : Tc : temps de concentration ; L : la plus grande longueur hydraulique en m;
 S : la pente moyenne de la longueur de parcours L en m/m.

Dimensionnement d'ouvrages hydrauliques : Il s'agit de procéder à la vérification de la capacité hydraulique de l'évacuateur de crue, d'un caniveau de section rectangulaire en béton armé à partir de la formule de Manning et Strickler :

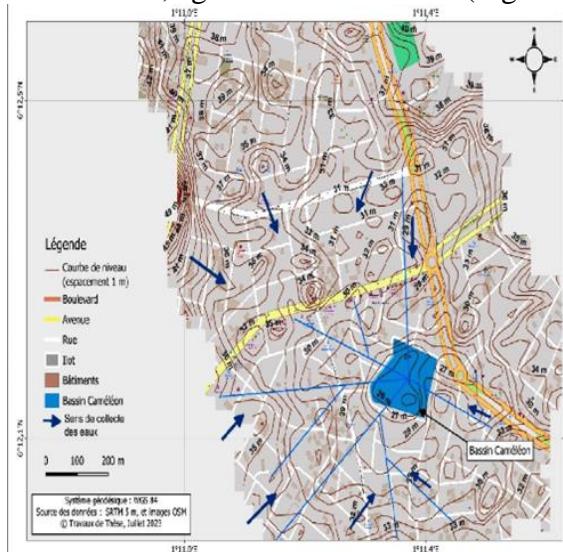
$$Q = Ks \cdot S \cdot R_h \cdot I^{1/2} \quad \text{ou} \quad Q = 1/n \cdot S \cdot R_h \cdot I^{1/2} \quad (Eq.12)$$

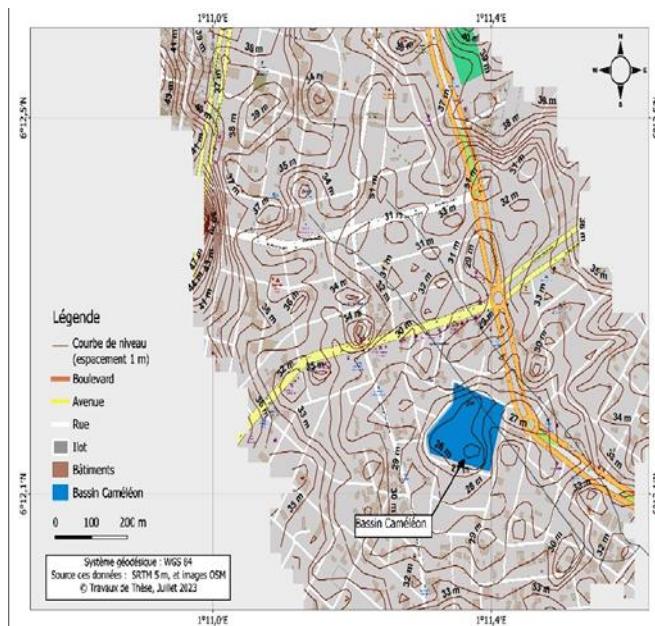
Avec : Q [m³/s] : le débit du collecteur ; Ks : Coefficient de rugosité selon Manning Strickler dépendant de la nature du Revêtement de l'ouvrage ($Ks=70$ pour les canaux en béton armé lisse) ; R_h [m] : le rayon hydraulique ; I [m/m] : la pente.

Ce débit du collecteur d'évacuateur de crue par la formule de Manning-Strickler, afin de vérifier la section hydraulique convenable des collecteurs pour le drainage des eaux jusqu'à l'exutoire, va être comparé au débit d'eau provenant du bassin versant par la méthode rationnelle. (Eq.9)

Résultats

D'une superficie de 2,4 Km², il est localisé entre 6° 13'4,80"N ; 6° 13'12000"E et 1° 11'16,044"E ; 1°11'26,448"E, avec une retenue d'eau de surface totale de 0,5 ha et 7 m de profondeur. C'est un bassin versant urbain, constitués de zones urbaines, agricoles et naturelles (Figure 6).





6b : Caractéristiques hydrologiques et hydrauliques en système gravitaire du bassin et sous bassins versant de la retenue d'eau de Caméléon à Adidoadin.

Figures 6 : Carte hydrologiques et hydrauliques du bassin versants Caméléon à Adidoadin
(Carte réalisée par Fambi, 2023)

Les figures 6a et 6b présentent les caractéristiques hydrologiques et hydrauliques du bassin et ses différents sous bassins versants et la retenue d'eau du quartier Adidoadin , dont la délimitation est la suivante :

- Au Sud par une courbe de niveau du carrefour de la limousine à la pharmacie lumière à Agbalépédogan.
- Au Nord par la courbe de niveau partant du bar Plateau d'Agoè-Nyivé jusqu'à la CEET Agoè-Nyivé.
- A l'Ouest par la courbe de niveau entre le bar Plateau et carrefour Limousine.
- A l'Est par la ligne CEET Agoè-Nyivé et la pharmacie Lumière d'Agbalépédogan,

Ce bassin versant est subdivisé en dix-neuf (19) sous- bassins versants avec une pente moyenne d'environ 0,7%. De longueur d'écoulement totale de 2566m, avec un temps de concentration de 56,12 minutes, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques du bassin versant du carrefour caméléon du quartier Adidoaddin (DGH, 2004 et Fambi, 2023)

| Sous bassins versants | Superficie (m ²) | Pente moyenne (%) | Longueur maximale d'écoulement (m) | Temps de concentration (mn) |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| SBV1 | 10770 | 2.5 | 20 | 0,81 |
| SBV2 | 11669 | 2.5 | 20 | 0,81 |
| SBV3 | 313225 | 0.731 | 715 | 20,43 |
| SBV4 | 12691 | 2.5 | 15 | 0,64 |
| SBV5 | 55363 | 0.801 | 1018.67 | 25,90 |
| SBV6 | 103421 | 1.145 | 963.12 | 21,61 |
| SBV7 | 182465 | 0.711 | 1391.71 | 0,99 |
| SBV8 | 156243 | 1.356 | 1218.39 | 24,27 |
| SBV9 | 24578 | 1.303 | 473.38 | 11,90 |
| SBV10 | 27998 | 2.5 | 20 | 0,81 |
| SBV11 | 31450 | 2.5 | 20 | 0,81 |
| SBV12 | 25954 | 0.652 | 403.95 | 13,75 |
| SBV13 | 14271 | 2.5 | 15 | 0,64 |
| SBV14 | 7987 | 2.5 | 15 | 0,64 |
| SBV15 | 9019 | 2.5 | 20 | 0,81 |
| SBV16 | 77432 | 1.279 | 801.83 | 17,99 |
| SBV17 | 81350 | 0.927 | 461.93 | 13,31 |
| SBV18 | 30702 | 0.814 | 499.02 | 14,85 |
| SBV19 | 1224249 | 0.772 | 2566.09 | 53,51 |
| Superficie totale | 2400837 | Moyenne : 1.605 | Moyenne : 560.952 | Moyenne : 11.815 |

La période de retour de la pluie du projet est déterminée par les lois d'ajustement de Gumbel et Freicht (Gbafa, 2019), sont présenté dans le tableau 2.

Tableau 2 : Lois d'ajustement de Gumbel et Frechet (Bingham et al., 1989 ; Koulekey, 2013)

| Hauteur d'averse X (mm) (Gumbel) | Hauteur d'averse Log(X) (mm) (Frechet) | U | Fréquence d'apparition F(x)=1-1/Tr | Période de retour Tr |
|-------------------------------------|---|-------|------------------------------------|----------------------|
| 84,80985656 | 1,909279673 | 1,5 | 0,8 | 5 |
| 98,46786502 | 1,99055473 | 2,25 | 0,9 | 10 |
| 111,5655449 | 2,068495426 | 2,97 | 0,95 | 20 |
| 115,744662 | 2,093364204 | 3,199 | 0,96 | 25 |
| 128,5621777 | 2,16963772 | 3,902 | 0,98 | 50 |
| 135,986531 | 2,213818007 | 4,311 | 0,9867 | 75 |
| 141,2629582 | 2,245216577 | 4,6 | 0,99 | 100 |
| 170,6568601 | 2,420131615 | 6,214 | 0,998 | 500 |
| 183,2875996 | 2,495293676 | 6,907 | 0,999 | 1000 |

Le calcul de la période de retour est effectué à partir des données pluviométriques obtenues au service météorologique de l'aéroport de Lomé,

sont les hauteurs maximales annuelles de pluie sur une durée de cinquante (50) ans, Ces données sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3: Hauteur maximale (mm) (DNM, 2021)

| Année | Intervalle de temps | | | | |
|-------|---------------------|-----|-----|-----|------|
| | 15' | 30' | 45' | 60' | 120' |
| 1970 | 22 | 41 | 57 | 78 | 84 |
| 1971 | 17 | 32 | 65 | 91 | 91 |
| 1972 | 30 | 60 | 64 | 64 | 64 |
| 1973 | 20 | 36 | 42 | 52 | 74 |
| 1974 | 20 | 36 | 42 | 52 | 55 |
| 1975 | 20 | 32 | 42 | 52 | 74 |
| 1976 | 20 | 32 | 42 | 52 | 55 |
| 1977 | 16 | 26 | 26 | 29 | 30 |
| 1978 | 17 | 25 | 30 | 32 | 32 |
| 1979 | 27 | 44 | 54 | 63 | 78 |
| 1980 | 22 | 56 | 60 | 62 | 71 |
| 1981 | 30 | 36 | 37 | 55 | 67 |
| 1982 | 32 | 32 | 37 | 42 | 47 |
| 1985 | 40 | 58 | 61 | 63 | 64 |
| 1986 | 32 | 43 | 48 | 53 | 58 |
| 1987 | 31 | 30 | 42 | 48 | 55 |
| 1988 | 18 | 30 | 35 | 36 | 39 |
| 1989 | 25 | 53 | 76 | 95 | 123 |
| 1990 | 22 | 49 | 54 | 58 | 58 |
| 1991 | 27 | 45 | 51 | 54 | 56 |
| 1992 | 14 | 28 | 45 | 61 | 61 |
| 1993 | 35 | 47 | 49 | 50 | 50 |
| 1994 | 14 | 37 | 41 | 43 | 61 |
| 1995 | 17 | 35 | 44 | 50 | 55 |
| 1996 | 25 | 45 | 50 | 52 | 54 |
| 1997 | 25 | 40 | 50 | 55 | 59 |
| 1999 | 20 | 43 | 60 | 78 | 105 |
| 2000 | 21 | 28 | 30 | 32 | 41 |
| 2001 | 28 | 62 | 89 | 103 | 110 |
| 2002 | 37 | 43 | 44 | 62 | 74 |
| 2003 | 38 | 38 | 43 | 49 | 54 |
| 2004 | 47 | 65 | 68 | 70 | 71 |
| 2005 | 39 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| 2006 | 38 | 37 | 49 | 55 | 61 |
| 2007 | 25 | 37 | 42 | 43 | 46 |
| 2008 | 32 | 60 | 83 | 102 | 130 |
| 2009 | 29 | 56 | 61 | 65 | 65 |
| 2010 | 34 | 52 | 58 | 61 | 63 |
| 2011 | 20 | 34 | 52 | 67 | 67 |
| 2012 | 42 | 54 | 56 | 57 | 57 |
| 2013 | 21 | 44 | 48 | 50 | 68 |
| 2014 | 24 | 42 | 51 | 57 | 62 |
| 2015 | 32 | 52 | 57 | 59 | 61 |
| 2016 | 32 | 47 | 57 | 62 | 66 |
| 2017 | 27 | 50 | 67 | 84 | 112 |
| 2018 | 28 | 35 | 37 | 39 | 48 |
| 2019 | 35 | 69 | 96 | 109 | 117 |
| 2020 | 43 | 77 | 102 | 105 | 125 |

Pour les cinquante (50) données pluviométriques étudiés, 86% des hauteurs maximales de pluie se retrouvent dans l'intervalle de 84,80 à 98,46 pour Gumbel et de 1,90 à 1,99 pour Freicht, ce qui nous donne une période de retour de cinq (5) ans selon les méthodes de calculs de ses deux auteurs.

L'intensité de la pluie du projet est calculée par la formule de Montana dont les paramètres **a = 7,31** et **b = 0,43** des coefficients correspondants, à une période de retour de **cinq (5) ans** sont obtenues à partir des données du pluviographe de la station météorologique de Lomé-Aéroport. La valeur de l'intensité maximale de la pluie du projet calculée est de **1,29 mm/h**.

Les ouvrages d'hydrauliques et d'assainissement d'extension de la ville de Lomé sont dimensionnés par un coefficient de ruissellement de 0,45 (45% des eaux ruisselées et drainées contre 55% d'infiltration). Ces coefficients sont en fonctions des divers tissus recensés, de l'occupation du sol (surfaces bâties et non bâties ; voiries bitumés et non bitumés). (DGH, 2004). Les caractéristiques hydrauliques et hydrologiques des données pluviométriques et les mesures sur le terrain sont consignées dans le tableau 4.

Tableau 4: Paramètres hydrauliques et hydrologiques du bassin versant et du collecteur d'évacuateur de crues. (Fambi, 2023)

| Paramètres de débits | Valeurs |
|--|---------|
| Superficie du bassin versant (ha) | 240 |
| Intensité de la pluie (mm/h) | 1,29 |
| Coefficient de ruissellement favorable | 0,45 |
| Débit du bassin versant (m^3/s) pour un coefficient de ruissellement favorable | 0,387 |
| Coefficient de ruissellement défavorable | 0,9 |
| Débit du bassin versant (m^3/s) pour un coefficient de ruissellement défavorable | 0,774 |
| Pente du canal | 1% |
| Débit du collecteur (m^3/s) | 3,76 |

Pour le cas du débit ($0,77m^3/s$) le plus défavorable provenant du bassin versant, les collecteurs d'évacuateur de crue ($3,76m^3/s$) sont capables de transporter ces eaux et les évacuer.

Discussion

L'augmentation des surfaces imperméables dues à l'urbanisation rapide et aux mauvaises occupations des sols modifiant des chemins hydrauliques naturels par les routes et les habitations, influencent leur hydrologie (Magand, 2014 et Labbas, 2015). Cette augmentation de surface imperméable, doublée d'hétérogénéité des bassins versants comme le montre les courbes de niveau, qui déterminent les pentes et indiquent le sens d'écoulement à travers le bassin versant (Figures 6a et 6b), rend leur étude de drainage et d'évacuation des eaux pluviales complexe.

Au Togo, les phénomènes d'inondation sont récurrents ces dernières années dans les grandes villes. Les travaux de recherche menés par le (PNDA,

2010 ; GBAFA, 2019), indiquent d'une manière générale que, ces inondations urbaines sont dues essentiellement à une mauvaise occupation de l'espace liée à une méconnaissance des réseaux hydrographiques urbains et au caractère inappropriate des infrastructures mises en place. Ainsi, il apparaît qu'une solution durable à ces inondations passe par une bonne compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des bassins versants urbains (Diouf, 2011 ; GBAFA, 2019). Pour pallier à ce fléau, en 2008, le gouvernement togolais a entamé la politique des grands travaux entre autres, les infrastructures routières et d'assainissement urbain (dalots, caniveaux, retenues d'eau). Malgré ces efforts, les phénomènes d'inondations deviennent fréquents et récurrents dont nous allons ressortir les difficultés et les causes.

Les études altimétriques de ce bassin versant, montrent que les courbes de niveau se situent entre 26 à 41 mètres par rapport au niveau de la mer (Figures 6a et 6b). Cette hétérogénéité du bassin versant constitue un relief de forme de vallées et de collines, empêchant, le drainage des eaux de ruissellement de cette surface close vers les retenues d'eau. L'extension de la ville, sous la pression d'une démographie galopante, Lomé compte plus d'un million huit cent mille (1.800.000) habitants et représente environ le quart de la population nationale du Togo, qui est de huit million deux cent quatre-vingt-cinq mille (8.285.000) habitants (DGSCN, 2011). Cette urbanisation, n'est pas compatible et ne prend pas en compte le plan d'assainissement de base (chemin hydraulique naturel du bassin versant). Ainsi l'implantation des infrastructures comme les immeubles et les routes etc., modifient considérablement l'hydrologie du bassin versant (Magand, 2014 ; Labbas, 2015). Au Togo la terre appartient à des collectivités (Code foncier et domanial, 2018), qui ont le plein pouvoir de vente et de donation à une tiers personne, qui ne sus aucune réglementation d'occupation (manque de politique d'habitat). Cette occupation non réglementée et antérieurs aux travaux d'aménagements et d'assainissement urbain, entraîne d'énormes difficultés pour planter les ouvrages (retenues d'eau) aux bons endroits.

Les bassins de retentions d'eau, communément appelé retenue d'eau, sont des ouvrages aménagés pour recueillir les eaux de ruissellement, issues des eaux pluviales. Ces ouvrages ne constituent pas un point de chute final des eaux de ruissellement. Ces eaux, après avoir atteint un certain seuil de hauteur doivent continuer leur chemin de façon gravitaire jusqu'à la lagune de Lomé, en transitant par d'autres retenues d'eau. Force est de constater que les eaux s'évacuent difficilement après avoir atteint un seuil dans la retenue. Cela est dû à plusieurs difficultés dont les causes possibles sont : absence de pente homogène descendante des collecteurs due à la présence de crête entre la côte amont et aval des évacuateurs de crues.

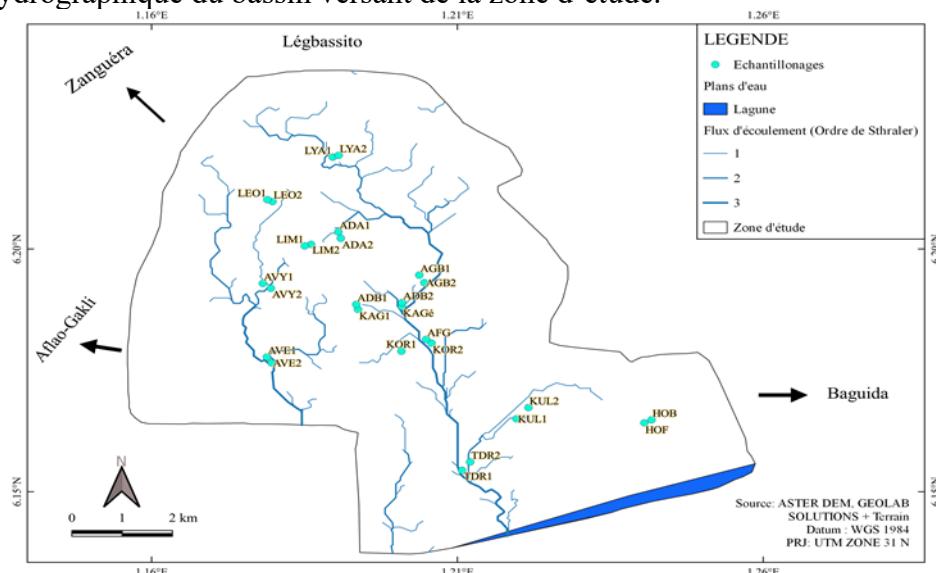
Du fait que les populations s'installent antérieurement avant tout travaux d'aménagement de nos villes, les ouvrages n'empruntent ni les

itinéraires normales, ni installés aux endroits convenables. Cette difficile évacuation des eaux pluviales par les évacuateurs de crues rend inondable les riverains, qui sont parfois délogés ou d'accès difficile à leur domicile dont les photos sont présentées sur la figures 7.



Figure 7 : Evacuation et drainage des eaux de débordement par pompage (Juin 2022)

Pour soulager les populations, les sapeurs-pompiers, sont chargés de l'évacuation de ces eaux par l'intermédiaire d'un aspirateur (moto pompe) munis de raccords qui évacue les eaux sur environ un kilomètre avant de les remettre dans le caniveau, dès que ça pente redevient favorable pour assurer l'évacuation des eaux pluviales. Ainsi, le plan d'urbanisation doit être établi antérieurement avant l'occupation du sol et doit prendre en compte l'écoulement naturel des eaux du bassin versant. Occuper le sol de façon vertical et non horizontal pour diverses constructions d'immeubles et d'habitations qui doivent occuper au maximum 50 à 75% des parcelles. La surface restante doit être réservée aux espaces verts pour l'infiltration, ce qui évitera le rejet de toute la quantité d'eau pluviale tombée sur nos toits pour inonder les rues. Pour poursuivre les mesures d'atténuation dans le cadre des inondations, les populations doivent prendre soin de peu d'infrastructures d'évacuation des eaux pluviales existantes (Interdiction formelle de rejet des ordures dans les caniveaux, ainsi que leur curage périodique, sans oublier la retenue elle-même, remplie de sables drainés par les eaux de ruissellement (diminution de sa capacité de rétention des eaux). La figure 8 montre le réseau hydrographique du bassin versant de la zone d'étude.



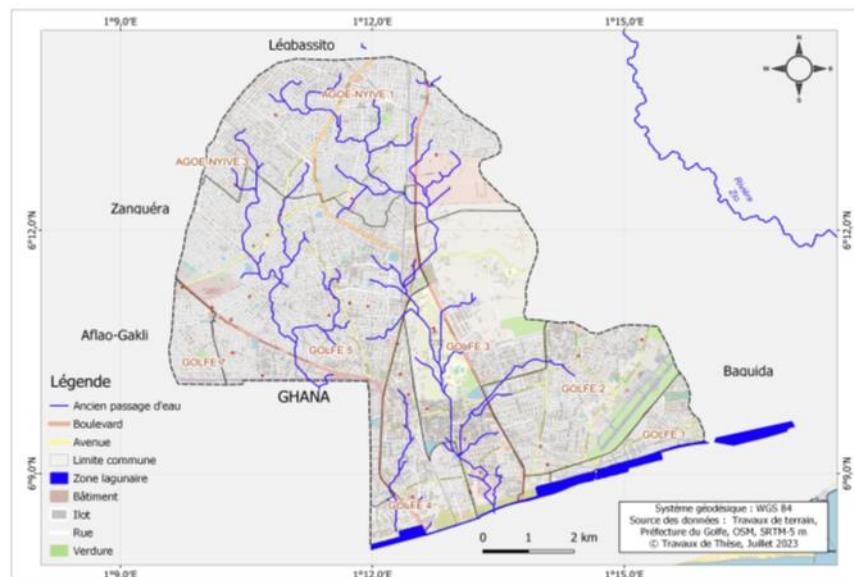


Figure 8 : Retenues d'eau et ancien réseau hydrographique et occupation de l'espace urbain
(Carte réalisée par Fambi, 2023)

Conclusion

La présente étude a permis de faire l'état des lieux, de caractériser les états structuraux et fonctionnels des ouvrages d'assainissement pluvial de la ville de Lomé ; dans un contexte de gestion adéquate des eaux pluviales et des ressources en eau. Elle a permis de déterminer un débit d'écoulement du bassin versant d'une période de retour de cinq (5) ans avec des caractéristiques hydrologiques du bassin versant et hydrauliques des collecteurs d'évacuateur de crue favorable. Ainsi, la solution aux inondations à Lomé serait de la mise en place d'un système d'assainissement adéquat, régulièrement entretenu et périodiquement renouvelé par sous bassin versant à cause des écoulements gravitaire discontinue et un curage annuel des retenues d'eau pour maintenir leur capacité de stockage initiale. A cet effet la connaissance des caractéristiques structurelles et fonctionnelles des ouvrages d'assainissement pluvial existants dans la ville de Lomé; la variabilité pluviométrique s'exprimant en hauteurs ou en intensités moyennes maximales des pluies extrêmes sont indispensables.

Malgré les multiples efforts des autorités appuyés par les bailleurs pour l'implantation des retenues d'eau pour gérer les eaux pluviales et lutter contre l'inondation ; fort est de constater que le peu d'eau qui arrive à l'exutoire, est débordée (manque de curage régulier). La totalité des eaux de ruissellement drainée par le bassin versant n'atteignent pas les retenus d'eau à cause des contraintes topographiques naturelles et activités anthropiques (barrières artificielles) qui modifient l'écoulement ou le chemin hydraulique naturel de

l'eau. Ces bassins de rétention constituent une ouverture potentielle des eaux ruisselées issues des eaux pluviales chargées de toutes sortes de polluants susceptibles d'infiltration vers les nappes d'eaux souterraines. La création des espaces verts dans nos concessions pour réduire la quantité de rejet d'eau pluviale dans les rues, ainsi que les eaux pluviales domestiques qui doivent être directement connectées aux caniveaux pour réduire les apports en matériaux solides (sables, déchets, plastiques, ...). Ces ouvrages d'assainissement sont insuffisants et sont non fonctionnels par endroit et ne suivent pas le rythme de croissance de la population. La politique de gestion des eaux pluviales est donc inadaptée dans la ville de Lomé. La faible proportion de bassin de rétention à vidange gravitaire doublée de la présence des équipements de pompage défectueux ou non fonctionnel sur les bassins de rétention montre un sérieux handicap de conception ; car le marnage normal entre le niveau minimum (fixé par la nappe phréatique) et le niveau maximum est inférieur à un mètre. Cette étude fournira des données cruciales pour une meilleure compréhension des défis liés à la gestion des eaux pluviales dans le quartier Adidoadin de la commune Golfe 5 à Lomé. Les recommandations résultantes viseront à informer les décideurs locaux et les parties prenantes sur les actions à entreprendre pour améliorer la résilience urbaine face aux inondations et à l'érosion, tout en promouvant une gestion durable des ressources en eau dans la région. Au regard des résultats, cette étude mérite d'être complétée par des études sur l'occupation des sols, des compléments, en hydrogéochimie pour le contrôle de qualité des ressources en eau de surface et des différents aquifères.

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

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

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

References:

1. Adjonou K., Kokutse A. D. et Kokou K. (2013). Dynamique spatiale et diversité floristique de la Réserve de Faune de Togodo au Sud Est du Togo (Afrique de l'Ouest). *Scripta Botanica Belgica* 50: 63–72. <https://doi.org/10.4000/vertigo.17004>.
2. Atanlé K., Bawa L. M., Kokou K. et Djaneye-Boundjou G. (2012). Caractérisation physico-chimique et diversité phytoplanctonique des eaux du lac de Zowla (Lac Boko), Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(1): 543-558. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.48>.

3. Ayah, M. (2016). Contribution des apports anthropiques dans la pollution d'un hydro-système lagunaire subtropical : hydrogéochimie du système lagunaire de Lomé (Togo). Thèse de doctorat. FDS.UL. 204p + annexes.
4. Bingham N. H., Goldie C. M., et Teugels J. L., (1989). Regular Variation, Cambridge, Cambridge University Press, coll. « Encyclopedia of Mathematics and its Applications » (n° 27), 1^{re} éd., 516 p. (ISBN 978-0-521-37943-4), <https://dx.doi.org/10.2277/0521379431>.
5. Blèza, A. (2023). Contribution à l'étude du fonctionnement de l'aquifère du continental terminal du plateau d'Agoo à partir d'une approche multicritère Lomé (Togo). Thèse de Doctorat, FDS.UL. 200p + annexes.
6. Blivi A. B. (2005). Communication en Nairobi REDDA/ RIOD/ UNCCD. 9 p.
7. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2016). "Les inondations sont la plus grande menace" *Euronews. MAJ: 27/02/2018*.
8. DGSCN (2011). Rapport sur les résultats du 4^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat (4^{ème} RGPH, 2010). Bureau central du recensement (Togo), 65p.
9. Diouf, R. N. (2011). Etude hydro-pluviométrique des bassins versants urbains de la presqu'île du Cap-Vert. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 248 p.
10. Direction Générale de l'Hydraulique (DGH Togo). (2004). Plan Directeur d'Assainissement de la ville de Lomé. Rapport définitif, 286 p.10.
11. Edorh T., Blivi A., Bandje A., Abotsi K. (2008). Présence d'Algues toxiques dans les eaux marines et saumâtres du littoral togolais. *Annales des Sciences Agronomiques du Benin*. 10 (2):165-177. <https://doi.org/10.4314/asab.v10i2.42695>
12. Fambi K. (2023). Etude hydrologique et hydrochimique des bassins versants d'assainissement urbain et leurs influences sur les eaux souterraines à Lomé (Togo). Thèse de doctorat. FDS.UL. 159p + annexes.
13. Gbafa K. S. (2019). Ingénierie des catastrophes liées aux inondations: Modélisation des intensités d'averses et du schéma directeur d'assainissement pluvial dans la ville de Lomé (Togo). Thèse de doctorat. FDS.UL. 155p + annexes.
14. Gnazou M. D. T. (2008). Etude hydrodynamique, hydrogéochimique, isotopique et modélisation de l'aquifère du paléocène du bassin

- sédimentaire côtier du Togo”, Thèse de doctorat. FDS.UL. 204p+annexes.
15. Klassou K. S. (2011). L’urbanisation et l’assainissement pluvial au Togo. *Revue de géographie tropicale de l’environnement*, Abidjan. (pp. 45-60).
 16. Koulekey K. C. (2013). Hydrologie appliquée, 184p coll. Institut FORMATEC, SS/04 2020 V001.
 17. Labbas M. (2015). Modélisation hydrologique de bassins versants périurbains et influence de l’occupation du sol et de la gestion des eaux pluviales : Application au bassin de l’Yzeron (130km²), Thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes (France) 275p + annexes.
 18. Magand C. (2014). Influence de la représentation des processus nivaux sur l’hydrologie de la Durance et sa réponse au changement climatique. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI (France) 260p + annexes.
 19. MERF (2013). Stratégie Nationale de Réduction des Risques de Catastrophes naturelles au Togo. 100 p.
 20. MERF (2014a). Cartographie des zones à risque d’inondation de Lomé et ses environs. Rapport final. Groupement GEOCONSULT – GESTER, Togo. 26 p.
 21. PANA (2009). Plan d’action national d’adaptation aux changements climatiques. 113 p.
 22. PNDA (2010). Evaluation des dommages, pertes et besoins de reconstruction post catastrophes des inondations de 2010 au Togo. Rapport final, (39 p).
 23. Profizi J., Ardila-Chauvet S., Billot C., Couteron P., Maïté D., et al. (2021). Biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Connaissance, gestion durable et valorisation. IRD Editions, pp.784, Synthèse, 978-2-709929387. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.40598>.
 24. Salavati, B. (2015). Impact de l’urbanisation sur la réponse hydrologique des bassins versants urbains. Sciences de la Terre. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, {NNT : 2015PA066470}. (tel-01636190)

Détection des Signatures Moléculaires de *Mycobacterium Ulcerans* chez les Hétéroptères Aquatiques prélevés dans les Rizières Urbaines en Côte d'Ivoire

Konan K.L.

Coulibaly N.D.

Allali K.B.

Akaffou M.H.

Kouamé-Diaha C.A.

Coulibaly Z.I.

Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

Doannio J.M.C.

Université Péléforo Gbon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire

N'goran K.E.

Université Félix Houphouet Boigny Abidjan,

UFR Biosciences, Côte d'Ivoire

Dosso M.

Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p118](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p118)

Submitted: 27 March 2023

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 01 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Konan K.L., Coulibaly N.D., Allali K.B., Akaffou M.H., Kouamé-Diaha C.A., Coulibaly Z.I., Doannio J.M.C., N'goran K.E. & Dosso M. (2024). *Détection des Signatures Moléculaires de Mycobacterium Ulcerans chez les Hétéroptères Aquatiques prélevés dans les Rizières Urbaines en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 118.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p118>

Résumé

Certaines villes de Côte d'Ivoire regorgent des rizières en activité jouxtant les habitations. Elles pourraient être des réservoirs et augmenter les risques de propagation de l'agent pathogène de l'ulcère de Buruli. Cette étude se propose de faire l'inventaire des hétéroptères aquatiques (hôtes et vecteurs de *Mycobacterium ulcerans*) présents dans ces rizières. Ils ont été récoltés dans la végétation aquatique des rizières avec un filet épuisette de type Troubleau. Ils ont été identifiés au laboratoire sous une loupe binoculaire, à l'aide d'ouvrages d'identification. Au total, 481 spécimens, répartis en 7 familles

(Belostomatidae, Ranatridae, Naucoridae, Nepidae, Corixidae, Notonectidae et Gerridae) ont été récoltés. Les Belostomatidae, avec 65,90% (n=317) ont dominé le peuplement. Les Gerridae (n=3) ont été les plus faible ($p<0,001$). Sur 24 espèces identifiées, *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae) a été la plus abondante dans les rizières ($p<0,001$). L'indice de Shannon a varié entre 0,74 et 1,87. La richesse spécifique estimée à partir de l'indice de Margalef a donné des valeurs comprises entre 0,82 et 2,39. La composition et la diversité du peuplement ont montré que la diversité dans les rizières était faible ; mais une espèce domine. *Mycobacterium ulcerans* a été détectée dans 34 lots monospécifiques appartenant à 6 familles et 12 espèces. Dans toutes les rizières, les Belostomatidae et *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae) ont été les plus colonisées avec respectivement 17 et 9 lots positifs. *Mycobacterium ulcerans* retrouvée chez les hétéroptères des rizières urbaines pourrait assurer sa dissémination vers les habitations aux alentours et augmenter le risque de contamination.

Mots-clés: Hétéroptères aquatiques, *Mycobacterium ulcerans*, riziculture urbaine, Côte d'Ivoire, transmission

Detection of Molecular Signatures of *Mycobacterium ulcerans* in Aquatic Heteroptera collected from Urban Rice Fields in Côte d'Ivoire

Konan K.L.

Coulibaly N.D.

Allali K.B.

Akaffou M.H.

Kouamé-Diaha C.A.

Coulibaly Z.I.

Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

Doannio J.M.C.

Université Péléforo Gbon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire

N'goran K.E.

Université Félix Houphouet Boigny Abidjan,

UFR Biosciences, Côte d'Ivoire

Dosso M.

Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

In some cities in Côte d'Ivoire, active rice fields are located adjacent to houses, potentially serving as reservoirs that increase the risk of Buruli ulcer pathogen propagation. This paper lists the aquatic heteropterans—hosts and vectors of *Mycobacterium ulcerans*—present in these rice fields. Heteropterans were collected from the aquatic vegetation of rice fields in eight towns using a Troubleau type net. They were identified in the laboratory under a binocular magnifying glass, using identification guides. A total of 481 specimens, representing seven families (Belostomatidae, Ranatridae, Naucoridae, Nepidae, Corixidae, Notonectidae, and Gerridae) were collected. The Belostomatidae family dominated with 65.90% (n=317), while the Gerridae family (n=3) was the least represented ($p<0.001$). Twenty-four species were identified, with *Diplonychus nepoides* (Belostomatidae) being the most abundant across all rice fields ($p<0.001$). The Shannon index ranged from 0.74 to 1.87, and species richness, estimated using the Margalef index, ranged from 0.82 and 2.39. Although species diversity was generally low, with one species dominating, *Mycobacterium ulcerans* was detected in 34 monospecific batches across six families and twelve species. In all rice fields, the Belostomatidae family and *Diplonychus nepoides* (Belostomatidae) were most frequently colonized, with 17 and 9 positive batches, respectively. The presence of *Mycobacterium ulcerans* in aquatic heteropterans in urban rice

fields could facilitate its dissemination from the aquatic environment to surrounding houses, thereby increasing the risk of contamination.

Keywords: Aquatic Heteroptera, *Mycobacterium ulcerans*, urban rice cultivation, Côte d'Ivoire, transmission

Introduction

L'ulcère de Buruli est une maladie tropicale négligée due à *Mycobacterium ulcerans*, une bactérie de l'environnement. Elle provoque des souffrances et des incapacités considérables, notamment chez l'enfant de moins de 15 ans. Ses conséquences néfastes tendent à aggraver la pauvreté dans les communautés atteintes (Coulibaly et al., 2015). Les jeunes semblent présenter plus de lésions sur les membres inférieurs. Ils ont plus de risques d'avoir des lésions multiples. Les adultes présentent plutôt des atteintes des membres supérieurs (Marion et al., 2013). Ces différences pourraient être dues aux activités dans l'environnement telles que la pêche, la riziculture, la baignade et le lavage du linge (Debacker et al., 2004).

La Côte d'Ivoire, malgré la baisse de l'incidence, demeure le pays le plus touché au monde avec environ 376 nouveaux cas par an (WHO, 2017). Mais, en 2021, avec 239 cas, la Côte d'Ivoire est devenue le troisième pays le plus affecté au monde après l'Australie et la République Démocratique du Congo qui ont respectivement 291 et 259 cas (WHO, 2022). Le taux de prévalence de l'ulcère de Buruli augmente aux alentours des barrages et îlots forestiers dû aux nombreuses activités agricoles. Ce taux est très fort dans la vallée du Bandama (région des lacs) et est d'environ 100 malades pour 100 000 habitants à moins de 5 km des barrages (Brou, 2006). Cette zone fournit près de 40% de la production nationale de riz irrigué grâce aux barrages de dérivation (Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT), 1999). Corrélativement à la densité des barrages, les régions rizicoles enregistrent un fort taux de prévalence comme l'indique la situation de la région des lacs. L'évolution des paysages, les changements des paramètres climatiques et les pratiques créent des conditions écologiques favorables à la transmission de la maladie (Bourque, 2000; Guégan & Simard, 2015).

A l'intérieur de certaines villes de Côte d'Ivoire, il existe plusieurs bas-fonds qui sont aménagés pour l'agriculture et particulièrement la culture du riz (Konan, 2017). Ces espaces, potentiellement à risque, se situent à quelques mètres des habitations. Ils sont fréquentés par les riziculteurs et les maraîchers, ainsi que par la population résidant dans les quartiers limitrophes. Or les hémiptères aquatiques peuvent pulluler dans pratiquement toutes les collections d'eau (López & Hernández, 2001). Certains ont d'excellentes capacités de dispersion (Ajeagah et al., 2014; Mary, 2017) et pourraient être présents dans ces rizières. Leur comportement migratoire favoriserait la

dissémination et la transmission de *M. ulcerans*, hors de l'environnement aquatique (López & Hernández, 2001; Marion et al., 2011).

Ces rizières localisées en pleine ville seraient-elles un facteur de risque de l'ulcère de Buruli dans ces localités ? Peu de données existent sur la relation entre les rizières situées en pleine ville et l'ulcère de Buruli ; contrairement au paludisme et la schistosomose (Bolee et al., 2009). Cette étude entomologique sur les vecteurs potentiels a été envisagée pour collecter des données sur la relation entre les rizières urbaines et les hétéroptères aquatiques impliqués dans la transmission *M ulcerans*, agent pathogène de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire.

1. Matériel et méthodes

1.1. Site d'étude

Cette étude a été réalisée dans les villes de Dabou, Didiévi, Sakassou, Bouaké, Béoumi, Dabakala, Odienné et Zouan-Hounien (Figure 1). Le critère de choix de ces villes est basé sur la présence d'une riziculture en activité à l'intérieur de la ville.

Description des sites d'étude

Dabou est une ville située au sud de la Côte d'Ivoire, à environ 50 km d'Abidjan, entre 05°19' de latitude Nord et 04°23' de longitude Ouest. Le climat présente un cycle bimodal marqué par 4 saisons : une grande et une petite saison des pluies (avril à juillet et mi-septembre à novembre) et une grande et une petite saison sèches (décembre à mars et août à mi-septembre) (Kouadio et al., 2003). La pluviométrie annuelle varie entre 1400 et 2300 mm. Le réseau hydrographique est composé de l'Agnéby et ses affluents, le M'borou et le M'pedo. L'agriculture est dominée par les cultures industrielles (hévéa) et maraîchères (riz, tomate, ...)

Didiévi est une ville située au centre de la Côte d'Ivoire, à environ 295 km d'Abidjan, entre 7°00' et 7°35' de latitude Nord et 4°55' et 4°40' de longitude Ouest. Le climat est de type "Baouléen" ou tropical humide de transition entre le climat équatorial humide du sud de la Côte d'Ivoire et le climat tropical humide à deux saisons qui prévaut dans le nord. La pluviosité annuelle moyenne est de 1000 à 1400 mm. Le réseau hydrographique appartient au bassin versant du N'zi qui est un affluent du Bandama. Les principaux cours d'eau sont : le Kan Ba, le Moumou, le N'do, le Kassie et Ahougnan N'zue, le Te Houe. L'agriculture est subdivisée en deux types de culture : les cultures vivrières (l'igname, le manioc, le riz, le maïs, l'arachide) et les cultures pérennes (l'anacarde, le café et le cacao).

Sakassou est une ville située au centre de la Côte d'Ivoire, à environ 310 km d'Abidjan, entre 7°26'44.78" de Latitude Nord et 5°17'26.51" de Longitude Ouest. Le climat appartient au régime de transition équatorial

atténué (climat baouléen). Il est caractérisé par 4 saisons avec un régime pluviométrique bimodal comprenant 2 saisons de pluies : grande saison des pluies (mi-mars à mi-juillet), intercalées de 2 saisons sèches : grande saison sèche (novembre à mi-février). Le réseau hydrographique est composé de la rivière Kan et le lac de Kossou. La hauteur de la pluie annuelle varie entre 790 et 1372 mm. L'agriculture est dominée par les cultures de rente (l'anacarde, le coton, le cacao) et les cultures vivrières (l'igname, le manioc, le riz et les maraîchers).

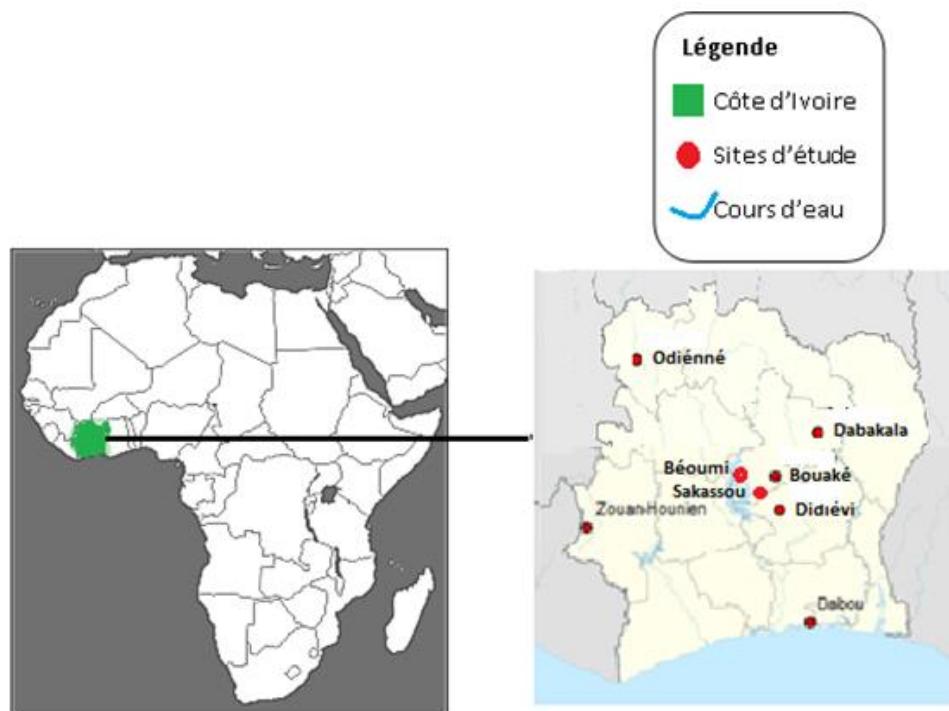


Figure 1. Localisation des sites d'étude

Béoumi est une ville située au centre-nord de la Côte d'Ivoire, à environ 353 km d'Abidjan, entre le $7^{\circ} 40' 19''$ de Latitude nord et $5^{\circ} 34' 48''$ de Longitude ouest. Le climat appartient au régime équatorial de transition atténué, appelé localement « Climat Baouléen ». Il est caractérisé par 4 saisons. La pluviométrie moyenne annuelle oscille autour de 900 à 1200 mm. L'hydrographie est dominée par le Kan (un affluent du fleuve Bandama), des ruisseaux et lacs constituant un plan d'eau important au développement des activités. L'agriculture, principale activité des populations, est essentiellement dominée par les cultures vivrières (igname, banane plantain, riz, maïs). Les cultures de rente sont : l'anacarde, le café et le cacao.

Bouaké est une ville située au centre-nord de la Côte d'Ivoire, à environ 350 km d'Abidjan, entre $7^{\circ} 69'$ de latitude Nord et $5^{\circ} 03'$ de longitude

Ouest. La ville de Bouaké est influencée par un climat tropical humide (Climat Baouléen). On distingue deux saisons : la saison des pluies allant de mai à novembre et la saison sèche allant de novembre à mai. Bouaké est arrosée par le Bandama blanc et ses affluents (la Loka, le Kan et le N'Zi). L'agriculture est essentiellement dominée par l'anacarde, l'igname et l'arachide.

Dabakala est une ville située au centre nord de la Côte d'Ivoire, à environ 498 km d'Abidjan, entre $8^{\circ} 22'$ de latitude nord et $4^{\circ} 26'$ de longitude ouest. Le climat est à cheval sur le climat Baouléen et le climat Soudanais avec prédominance du climat soudanais. On distingue deux saisons bien différenciées. De mai à octobre, correspond la saison des pluies. De novembre à mi-avril, c'est la saison sèche. Les hauteurs annuelles sont comprises entre 759 et 1371 mm. Le réseau hydrographique est composé principalement de la Comoé et du N'Zi et secondairement du Sagbo, m'Bé, Kinkéni et Niargo. L'agriculture est surtout orientée vers la culture d'anacarde et de la mangue. Les cultures vivrières sont : le mil, le riz, le manioc, etc.

Zouan-Hounien est une ville située à l'ouest de la Côte d'Ivoire, à environ 675 km d'Abidjan, entre $6^{\circ} 55' 00''$ de latitude Nord et $8^{\circ} 13' 00''$ de longitude Ouest. La région de Zouan-Hounien fait partie de la région des montagnes de la Côte d'Ivoire. Zouan-Hounien se trouve en zone forestière et appartient au climat de montagne, marqué par deux saisons : une saison pluvieuse de Mai à Octobre et une saison sèche de Novembre à Mars (Brou et al., 2017). Les précipitations annuelles sont en moyenne de 1866 mm. Les précipitations les plus importantes sont enregistrées en Septembre et sont de 357 mm en moyenne. L'agriculture est la principale activité de la région.

Odienné est une ville située au nord de la Côte d'Ivoire, à environ 867 km d'Abidjan ; entre $9^{\circ} 30' 05''$ de latitude nord et $7^{\circ} 33' 45''$ de longitude ouest. Le climat est de type tropical (soudanais). On y relève deux saisons : la grande saison sèche (octobre-mai), et la grande saison des pluies ; de juin à septembre (Kouakou et al., 2017). Les précipitations moyennes annuelles sont généralement inférieures à 1300 mm. Le réseau hydrographique est composé par le Gbanfla, le Baoulé, le fleuve Sassandra avec son affluent le Tiemba, et le Dion. L'agriculture est basée sur les produits de rente (le coton, l'anacarde, le soja, le karité, le bois, etc.). Les produits vivriers sont les céréales (riz, maïs, mil et sorgho, l'igname et au manioc).

1.2. Matériel

Le matériel utilisé pour la collecte et l'identification des hétéroptères aquatiques est composé de : Filet épuisette de type Troubleau, Cuissardes ou bottes, Gants longs, Gants médicaux non stériles, Bacs émaillés à fond blanc, Bocaux en plastique de 2 litres de volume, Passoires, Pipettes à aspiration, Tube de type Falcon, Alcool à 70° C ou 90° C, Loupes binoculaires, Pinces à

faible pression, Boîtes de pétri, Fiches de dépouillement des échantillons, Clés et ouvrages de détermination systématique, Etiquettes autocollantes.

Le matériel utilisé pour la PCR des Hétéroptères aquatiques est constitué essentiellement de : Thermocycleur, Centrifugeuse, Etuve ou four, Micro-onde ou plaque chauffante, Bain-marie, Balance, Mortiers et pilons, Cuve à électrophorèse, Becher (250 ml), Boîtes de pétri, Lames de bistouri, Microtubes de 2 ; 1,5 et 0,5 ml, Micropipettes de 1-10, 2- 20, 50-200, et 100-1000 µl, Embouts, Eau distillée, Eau physiologique, Soude 1M, Tris HCL à 1M, Parafilm, Détergent (liquide vaisselle), Papier aluminium

1.3. Méthodes

1.3.1. Récolte des insectes aquatiques

Les insectes aquatiques ont été prélevés dans la végétation aquatique des rizières à l'aide d'un filet épuisette de type troubleau, dont les mailles ont un diamètre de 5 millimètres. Le temps imparti pour le prélèvement des hétéroptères aquatiques dans chaque rizière a été de 30 minutes. La rizière a été divisée en portions. Dans la portion de rizière choisie, l'opérateur se place face à la berge et donne des coups de filet dans la végétation aquatique, au niveau de la vase de fond, en promenant le filet sur une distance de 30 cm pendant 30 secondes (Subramanian & Sivaramakrishnan, 2007). Au total, 10 coups de filet donnés dans l'eau ont constitué un échantillon. Chaque coup de filet a été ramené sur la berge et le contenu transvasé dans un bac contenant de l'eau. A terme du temps indiqué, un premier tri a été réalisé in situ et a permis de conditionner tous les êtres vivants dans des bocaux contenant de l'eau et des substrats des différentes rizières avant d'être ramenés au laboratoire.

1.3.2. Identification des hétéroptères aquatiques

Elle a été faite sous une loupe binoculaire suivant les caractéristiques morphologiques externes et à l'aide des ouvrages d'identification (Andersen & Weir, 2004; Dethier, 1981; Dethier, 1986; Iglesias et al., 2008; Nieser, 1975; Poisson, 1957). Mais avant, un deuxième tri a été réalisé. Il a consisté à placer dans des boîtes de pétri, les hétéroptères ayant les mêmes caractéristiques. Après l'identification, des lots monospécifiques de 1 à 10 individus ont été constitués pour la recherche des signatures moléculaires de *Mycobacterium ulcerans* ; en particulier les séquences d'insertion *IS2404* et la kétoréductase (Kr) sécrétée par celui-ci.

1.3.3. Détection de la séquence IS2404 et de la Kr de *M. ulcerans* chez les insectes

Le thorax et la tête des insectes de chaque lot ont été placés dans une boîte stérile et ajouter à l'azote liquide. Le tout a été broyé au Potter (mortier

et pilon) dans 2 ml de soude à 50 mM. Après une incubation à 100°C pendant 15 min, la neutralisation de la soude est réalisée par un mélange Tris-HCl à 0,1N pH8. Le matériel génétique ainsi extrait a été purifié selon le protocole du kit Mo Bio.

La détection de la séquence d'insertion IS2404 et de la *Kr* a été réalisée à partir de l'ADN extrait de lots d'insectes par PCR en temps réel (Ngazoa-Kakou et al., 2003).

Les PCR en temps réel ont été réalisées sur un ABI 7300 Real time PCR system (Applied Biosystem) dans les conditions ci-après définies : un cycle de 2 min à 50°C, puis d'une dénaturation initiale de 5 min à 95°C, suivi 35 cycles de 15 sec à 95°C et 1 min à 60°C. La collecte de la fluorescence se fait au cours de l'incubation pour les phases simultanées de fixation des amorces et d'elongation (60°C pendant 1 min). Ces dernières réactions ont été effectuées dans un volume final de 25 µl contenant 50 mM KCl, 10 mM Tris-HCl pH 8,3 ; 1,5 mM MgCl₂; 0,2 mM de chaque désoxynucléotide triphosphate (dNTPs), 0,3 µM de chaque amorce, 0,25 µM de sonde, 0,5 µl de l'atténuateur de bruit de fond (Rox Dye pure), 1 U de *Taq* DNA Polymerase (Promega) et 5 µl d'ADN total extrait.

1.4. Analyse des résultats

Richesse spécifique estimée à partir de l'indice de Margalef : $\mathbf{H} = \mathbf{S-1} / \ln \mathbf{N}$ (S = nombre total d'espèces ; N = nombre total d'individus de l'échantillon ou de la population étudiée)

Indice de Shannon : Formule : $\mathbf{H'} = - \sum pi \ln pi$ (i : une espèce du milieu d'étude ; pi : Proportion d'une espèce i par rapport à toutes les espèces (S) du milieu (ni/N) ; où ni est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces)

Indice de Simpson : Formule : $\mathbf{D} = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$; (Ni : nombre d'individus de l'espèce donnée. N : nombre total d'individus).

Les données recueillies ont été analysées à l'aide du logiciel XLSTAT 2016.02.28451. Les tests de Khi-deux ont été utilisés pour comparer les proportions et les moyennes, pour un niveau de signification de 5%.

2. Résultats

2.1. Composition spécifique des hétéroptères aquatiques des rizicultures urbaines

Au total 481 hétéroptères aquatiques ont été récoltés. Le plus grand nombre d'hétéroptères aquatiques a été obtenu dans les villes de Sakassou et Zouan-Hounien avec respectivement 108 (22,45%) et 105 (21,83%). Les nombres les plus faibles d'hétéroptères ont été observés à Dabakala où 23 spécimens (4,78%) ont été dénombrés ($p < 0,0001$). Sept (7) familles ont été identifiées. Ce sont les Belostomatidae, Notonectidae, Ranatridae,

Naucoridae, Corixidae, Nepidae et Gerridae. La famille des Belostomatidae a fourni le plus grand nombre de spécimens. En effet, 317 insectes, soit 65,90% du peuplement des rizières ont été composés des individus de cette famille ($p<0,001$). Les hétéroptères aquatiques les moins représentés dans les rizières ont été les Gerridae avec une proportion de 0,62%. Les Belostomatidae ont également été récoltés dans toutes les rizières des différentes villes. Ils ont par ailleurs été les plus abondants partout. Ils l'ont été davantage dans la rizière de la ville de Sakassou où 84 spécimens ont été récoltés (Figure 2). Quant aux Gerridae, ils n'ont été récoltés que dans les rizières de Sakassou et d'Odienné avec respectivement 2 et 1 spécimens. A côté des Belostomatidae, les familles des Notonectidae et Ranatridae ont été retrouvées dans la quasi-totalité des rizières à l'intérieur des villes. Ce sont dans les villes de Dabou (Notonectidae) et Odienné (Ranatridae) qu'elles n'ont pas été prélevées (Figure 2).

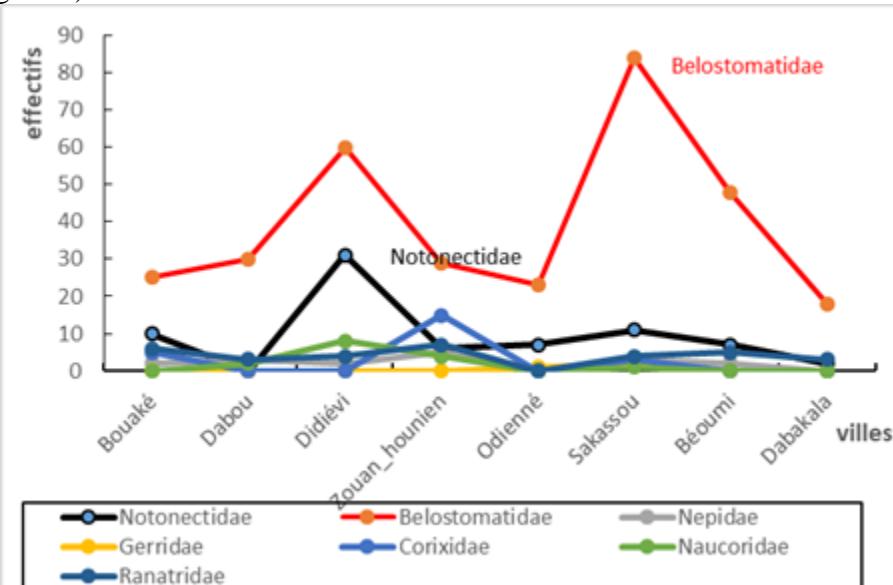


Figure 2. Répartition des hétéroptères aquatiques prélevés dans rizières des différentes villes

Au niveau spécifique, 24 espèces ont été identifiées sur l'ensemble des 481 spécimens récoltés. La richesse spécifique évaluée à partir de l'indice de Margalef (Mg) a donné une valeur de Mg égale à 3,72. Ce qui se traduit de façon générale par une diversité spécifique moyenne. Cet indice a été de même supérieur à 2 dans les rizières de Zouan-Hounien et Sakassou. Dans ces 2 localités la diversité est moyenne. En effet, dans ces 2 villes, le nombre d'espèces obtenu a été le plus élevé avec respectivement 11 et 12 espèces identifiées. Dans les 6 autres par contre, la diversité est inférieure à 2 et donc faible. Le plus faible nombre d'espèces a été obtenu dans la rizière de Dabou

et Odienné avec chacune 4 espèces. Pour ce qui est de l'abondance relative, les espèces *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae) et *Diplonychus sp* (Belostomatidae) ont été les plus abondantes numériquement et ont également dominé le peuplement de toutes les rizières urbaines ($p<0,0001$). Elles ont eu en effet, des effectifs respectifs de 160 et 147 insectes. L'espèce *Diplonychus nepoïdes* a été récoltée dans toutes les rizières des différentes villes échantillonnées (Figure 3). De même, l'espèce *Ranatra fusca* (Ranatridae), bien que moins abondante que *Diplonychus nepoïdes* a été récoltée dans presque toutes les rizières urbaines, sauf celle d'Odienné. Les espèces avec les plus faibles effectifs ou rares dans les rizières ont été *Lethocerus sp* (Belostomatidae), *Limnogonus sp* (Gerridae), *Naucoris maculata* (Naucoridae) et *Laccotrephes brachialis* (Nepidae) qui ont eu chacune 1 spécimen (Figure 3).

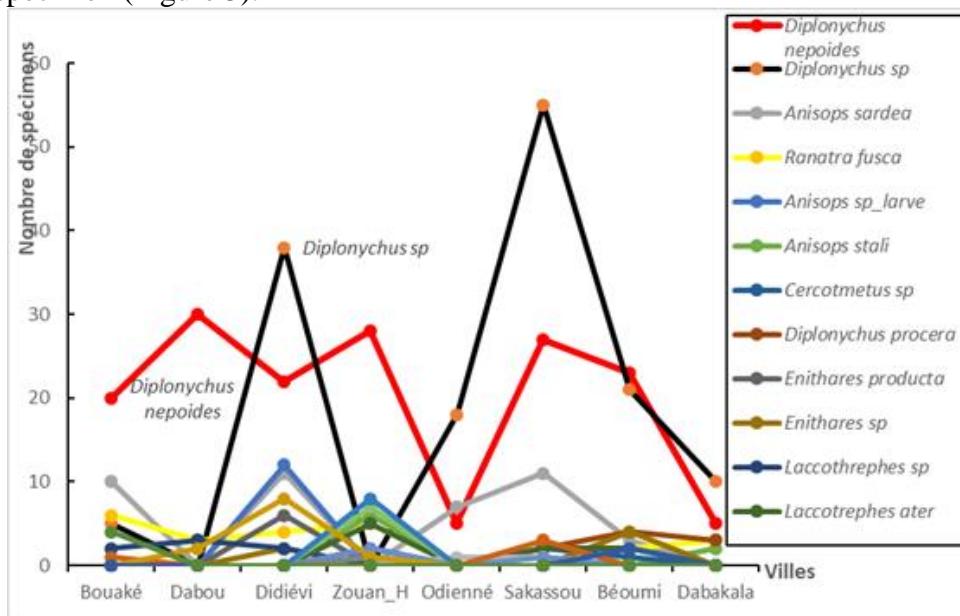


Figure 3. Composition spécifique des hétéroptères aquatiques prélevés dans les rizières à l'intérieur de certaines villes

2.2. Diversité spécifique dans les rizières urbaines étudiées

Pour mesurer la diversité de chaque rizière étudiée, 4 indices ont été calculés. Ce sont les indices de : Shannon (H'), Simpson (D), Hill et Margalef (Figure 4). L'indice de Shannon calculé a donné les valeurs les plus élevées à Zouan-Hounien et Béoumi, avec respectivement 1,87 et 1,67. Les hétéroptères aquatiques prélevés dans les rizières de ces 2 localités ont été les plus diversifiés en espèces. La valeur la plus faible a été enregistrée dans la rizière de la ville de Dabou, avec $H'=0,74$. Dans cette ville, la richesse spécifique observée a été faible. L'espèce *Diplonychus nepoïdes* a largement dominé le

peuplement avec 79% des spécimens récoltés. Quant à l'indice de diversité de Simpson, il indique que la rizière de Didiévi a eu la diversité la plus élevée ($D=0,20$) ; tandis que celle de Dabou est celle ayant la plus faible diversité ($D=0,78$) (Figure 4). A Dabou, une seule espèce ; *Diplonychus nepoïdes* a été la plus abondante que toutes les autres. Hormis la rizière de Dabou où l'indice de Simpson a été faible, les indices dans les autres localités ont été sensiblement égaux ou la différence n'est pas tellement variable. Quant à l'indice de Hill, les valeurs obtenues dans l'ensemble des localités se rapprochent de 1. La diversité a, par conséquent été faible dans l'ensemble. La richesse spécifique quant à elle a donné le plus grand nombre d'espèces à Sakassou et Zouan-Hounien, avec respectivement 12 et 11 espèces. Ainsi, les valeurs les plus grandes de la diversité de Margalef ont été obtenues à Zouan-Hounien, ($Mg=2,39$). Il y a une forte diversité dans la rizière de la ville de Zouan-Hounien (Figure 4). La ville de Dabou a présenté la plus faible diversité spécifique ($Mg=0,82$).

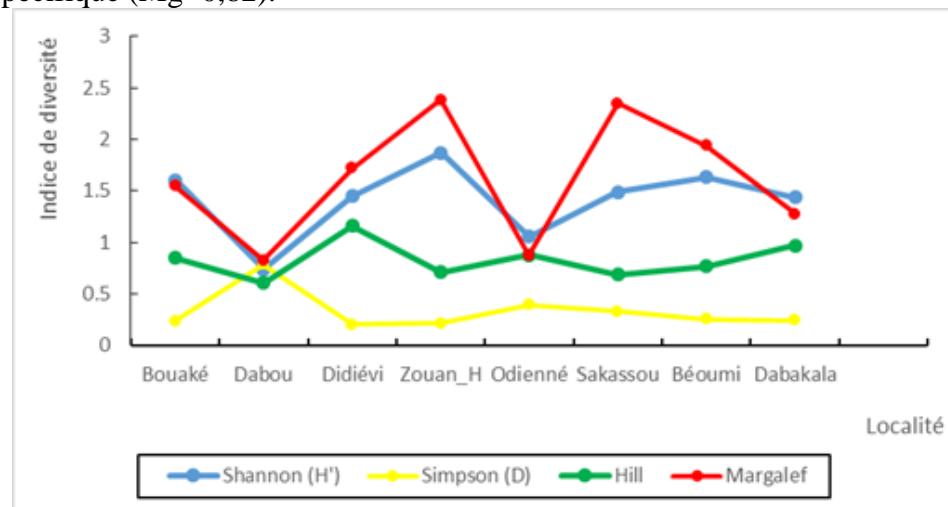


Figure 4. Indice de diversité dans les rizières des localités étudiées

2.3. Détection de la séquence *IS2404* et de la Kr de *M. ulcerans* chez les hétéroptères aquatiques des rizières urbaines

Quatre-vingt-un (81) lots monospécifiques ont été formés avec les 481 hétéroptères aquatiques récoltés dans les rizières urbaines. Le plus grand nombre de lots monospécifiques constitué provient de la famille des Belostomatidae avec 28 lots, pour une proportion de 35% ($p<0,0001$). Quant aux familles des Notonectidae et Ranatridae, 13 lots pour chacune d'elles ont été formés. Le plus petit nombre de lots est issu de la famille des Gerridae où seulement 3 (4%) lots ont été constitués (Tableau 1). La signature moléculaire de *Mycobacterium ulcerans* a été détectée dans 34 lots monospécifiques, soit une proportion de 42% (Tableau 1). Parmi les lots positifs, 17, soit 50% ont

été détectés dans les insectes de la famille des Belostomatidae. Le taux d'infection dans cette famille a été de 61%. En revanche, aucun lot positif n'a été obtenu dans les lots de la famille des Gerridae. Quant aux 5 autres familles identifiées, les lots positifs ont varié entre 2 et 6, dont 6 lots positifs et un taux d'infection de 46% pour la famille des Ranatridae.

Au niveau spécifique, la signature moléculaire de *M. ulcerans* a été détectée chez 12 espèces inventoriées, soit 50% des espèces identifiées ont été porteuses de la mycobactéries. Parmi celles-ci, le plus grand nombre de lots positifs a été dénombré chez les espèces *Diplonychus nepoïdes* (9 lots) et *Diplonychus sp* (8 lots), appartenant toutes les deux à la famille des Belostomatidae ($p<0,0001$). A côté de celles-ci, 5 lots positifs (14,7%) ont été retrouvés chez l'espèce *Ranatra fusca* appartenant à la famille des Ranatridae. Chez les 9 autres espèces le nombre de lots positifs a varié entre 1 et 3, avec le plus petit nombre de lots positifs ($n=1$), chez les espèces *Enithares producta*, *Laccotrephes ater*, *Micronecta haploïdes*, *Micronecta scutellaris*, *Naucoris maculata*, *Naucoris sp*, *Ranatra fusca* et *Ranatra quadridentata* (Tableau 2).

Tableau 1. Détection de *Mycobacterium ulcerans* dans les lots monospécifiques d'hétéroptères aquatiques récoltés dans les rizières urbaines

| Famille | lots formés | présence de <i>M. ulcerans</i> | Espèces | Séquence IS2404 |
|----------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Belostomatidae | 28 | 17 | <i>Diplonychus nepoïdes</i> | 9 |
| | | | <i>Diplonychus sp</i> | 8 |
| Corixidae | 5 | 2 | <i>Micronecta scutellaris</i> | 1 |
| | | | <i>Micronecta haploïdes</i> | 1 |
| | | | | |
| Gerridae | 3 | 0 | | 0 |
| Naucoridae | 8 | 2 | <i>Naucoris maculata</i> | 1 |
| | | | <i>Naucoris sp</i> | 1 |
| Nepidae | 11 | 3 | <i>Laccotrephes ater</i> | 3 |
| Notonectidae | 13 | 4 | <i>Anisops sardea</i> | 2 |
| | | | <i>Anisops sp_larve</i> | 1 |
| | | | <i>Enithares producta</i> | 1 |
| Ranatridae | 13 | 6 | <i>Ranatra fusca</i> | 5 |
| | | | <i>Ranatra quadridentata</i> | 1 |

Il faut également noter que dans toutes les rizières urbaines échantillonées, autrement dit, dans toutes les localités visitées, la signature moléculaire de *M. ulcerans* a été détectée. Ainsi, le plus grand nombre de lots positifs a-t-il été obtenu dans les villes de Zouan-Hounien et de Didiévi où respectivement 9 (26,46%) et 8 (23,52%) lots positifs ont été dénombrés

($p<0,00001$) (Figure 5). Contrairement à ces 2 villes, Dabou a eu le plus faible nombre de lots positifs où 1 seul lot positif (2,94%) a été déterminé.

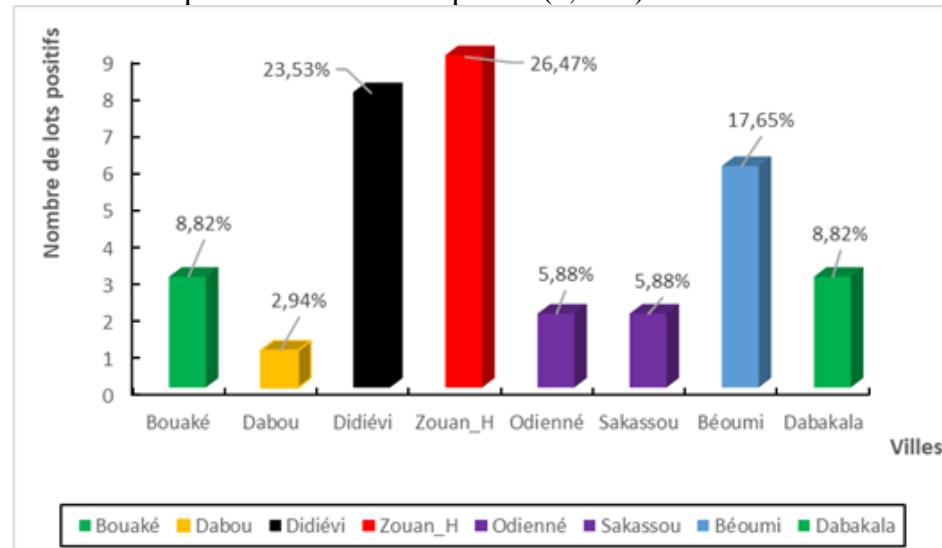


Figure 5. Proportion de lots positifs à *Mycobacterium ulcerans* dans les villes prospectées

Discussion

Les rizières et particulièrement celles qui se trouvent à l'intérieur des villes ; souvent à proximité des maisons, regorgent de nombreux hétéroptères aquatiques. C'est le cas des 8 villes dans lesquelles cette étude sur les rizières urbaines a été réalisée. La présence et l'abondance des hétéroptères dans ces collections d'eau sont variables en fonction de chaque localité. Dans certaines rizières telles que celle de Sakassou et Zouan-Hounien, de fortes colonies d'hétéroptères sont présentes, alors qu'à Dabakala, bien qu'ils soient présents, leur abondance relative a été très faible. Cette différence d'abondance pourrait être expliquée par l'état phénologique du riz d'une part (Shaalan & Canyon, 2009) et d'autre part, de leur tolérance à la qualité de l'eau, des paramètres physico-chimiques de l'eau (Konan et al., 2020; Lopèz & Hernandez, 2001), des éléments minéraux et les résidus des produits phytosanitaires qui s'y trouvent (Ajeagah et al., 2014; Ben Moussa et al., 2014). Mais quant à Mogi et Miyagi (1990), ils ont affirmé que la présence et l'abondance des hétéroptères aquatiques dans les rizières pourraient être réduites avec les différents stades du riz et la présence d'autres végétaux aquatiques dont ils ont besoin pour assurer leur survie. La présence des hétéroptères dans les rizières se trouvant en pleine ville, vient illustrer celle de Hernandez et al. (2001) qui ont affirmé que les hétéroptères aquatiques colonisent toutes les collections d'eau, qu'elles soient temporaires, permanentes, stagnantes ou à faible débit. La présence des hétéroptères dans les rizières urbaines pourrait être salutaire, car ils jouent un rôle prépondérant dans la régulation des populations

préimaginales des moustiques et particulièrement les larves d'*Anopheles* dont les rizières sont des gîtes préférentiels (Shaan & Canyon, 2009). Les rizières urbaines étudiées ont été riches en hétéroptères aquatiques, en effet, 7 familles ont été identifiées. Ces résultats confirment ceux obtenus par Konan et al. (2015) qui ont obtenus 8 familles dans les collections d'eau stagnante près des villages dont les Belostomatidae ont été prélevées dans toutes les rizières et ont été les plus nombreux numériquement. Avec 65,90%, la famille des Belostomatidae a été la plus nombreuse en termes d'individus. Cette famille a également été récoltée dans toutes les rizières des différentes localités, avec des abondances numériques les plus élevées. Elle est la mieux représentée dans les milieux aquatiques de Côte d'Ivoire et particulièrement dans les rizières. Duvillard et al. (1974) ont également montré que les espèces de la famille des Belostomatidae étaient les plus nombreuses lors d'une étude sur l'attractivité des hétéroptères par la lumière. Cette abondance pourrait être également due à leur grande capacité d'adaptation et de colonisation de différents types de milieux aquatiques. Ils ont également montré que *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae) était la plus abondante. Nos résultats corroborent ceux de Duvillard et al. (1974). En effet, nos résultats ont montré que c'est cette espèce qui a été la plus dominante car *Diplonychus sp* étant constituée en grande partie des larves de premier et deuxième stades ; n'ont pas tous les caractères morphologiques distincts et donc difficile à identifier (Dejoux et al., 1981). C'est par défaut qu'elles ont toutes été appelées *Diplonychus sp*. Le plus grand nombre d'espèces d'Hétéroptères aquatiques a été obtenu à Sakassou et à Zouan-Hounien. En revanche, la richesse spécifique estimée à partir de l'indice de Margalef a permis de montrer une plus grande diversité à Zouan-Hounien. Cela est confirmé par l'indice de diversité de Shannon où sa valeur a été la plus élevée. Il existe plusieurs espèces d'Hétéroptères aquatiques dans la rizière de Zouan-Hounien. Parmi ces espèces, une seule domine le peuplement. *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae), est l'espèce qui domine dans la rizière de Zouan-Hounien et dans les autres rizières. L'indice d'équitabilité a également montré une valeur plus élevée à Zouan-Hounien. Les Hétéroptères aquatiques ont été plus diversifiés en espèces que les autres rizières urbaines. Quant à l'indice de Simpson, il a montré une forte diversité dans la rizière de Zouan-Hounien, alors que celle de Dabou a été la plus faible. Les valeurs des indices de diversité obtenues permettraient de dire que le peuplement des hétéroptères aquatiques étudiés serait relativement diversifié. Mais l'indice de Shannon est faible car varie entre 0,74 et 1,87. Les hétéroptères aquatiques dans les rizières ne sont pas diversifiés ; la distribution des espèces n'est donc pas en équilibre et stable. Cela pourrait faire penser que les conditions du milieu ne seraient pas favorables à leur développement (Nichane & Khelil, 2014). Certains individus n'ont pas été identifiés jusqu'à l'espèce. Parmi eux, il y a

Diplonychus sp dont la quasi-totalité des spécimens étaient des larves dont les caractéristiques morphologiques externes n'ont pas permis de les classer au sein d'une espèce donnée. Cela a réduit aussi le nombre d'espèces de même que la dominance d'une telle ou telle espèce. Cette population jeune réduirait selon Kouassi et al. (2021) la richesse spécifique et par conséquent rendrait la diversité spécifique faible. Cette faible diversité pourrait être également due à la quantité et à la qualité de l'eau dans les rizières qui conditionneraient le maintien de certaines espèces au détriment des autres et ainsi leur dominance dans le peuplement (Iltis, 1974; Kouassi et al., 2021).

Les signatures moléculaires de l'agent causal de l'ulcère de Buruli ont été détectées dans 42% des lots monospécifiques formés à partir des hétéroptères aquatiques prélevés dans les rizières situées dans certaines villes de Côte d'Ivoire. Parmi ces hétéroptères aquatiques, ceux de la famille des Belostomatidae et particulièrement l'espèce *Diplonychus nepoïdes* ont donné le plus grand nombre de lots positifs. Ces résultats confirment ceux obtenus par Konan et al. (2015). Ils ont montré lors de leurs études que la famille des Belostomatidae prélevée dans les collections d'eau stagnante dans le bassin versant du fleuve Bandama et fréquentées par les populations était la plus contaminée (Konan et al., 2015). Quant à Zingue et collaborateurs, ils ont montré que *Mycobacterium ulcerans* était non seulement présent dans les rizières mais également chez les insectes du genre *Diplonychus* et certaines familles comme les Ranatridae, Nepidae et Corixidae (Zingue et al., 2018). Nos résultats viennent confirmer ceux de Zingue et al. (2018) dans la mesure où nous avons identifié 6 familles (Belostomatidae, Corixidae, Naucoridae, Nepidae, Ranatridae et Notnectidae) porteuses de la Mycobactéries. Ils ont donc conclu que ces réservoirs (Hétéroptères aquatiques) constituaient des facteurs de risque de contamination de l'ulcère de Buruli dans les rizières et autres zones marécageuses. A cela, Gouzilé et al. (2016) ont montré que les bas-fonds rizicoles font partie de la classe de risque élevé de l'ulcère de Buruli par la présence de l'eau, sont des critères favorisant le risque de l'ulcère de Buruli. Une autre étude a montré que l'ulcère de Buruli survient dans les régions situées à proximité des zones irriguées utilisées par les populations pour la production du riz (Abel et al., 2018; Boccarossa & Fleuret, 2020).

Certains Hétéroptères aquatiques tels que *Diplonychus nepoïdes* ont une bonne capacité de vol et attirés par les sources lumineuses la nuit pourraient disséminer *Mycobacterium ulcerans* vers d'autres endroits où elle n'était pas présente. Ils peuvent aussi l'amener dans les habitations situées à proximité de ces rizières et aussi dans son rayon de vol. Ainsi, selon Ablorday et al. (2015), des réservoirs mobiles pourraient être responsables de l'introduction de *M. ulcerans* vers d'autres milieux. La présence des hétéroptères aquatiques dans les rizières situées à l'intérieur des villes augmenterait le risque de contamination et de propagation de *Mycobacterium*

ulcerans. En effet, les glandes salivaires certaines espèces d'hétéroptères aquatiques sont naturellement colonisées par cette mycobactéries (Allali et al., 2023). Ces espèces peuvent piquer l'homme, soit dans l'eau, soit hors de l'eau. Ils sont également attirés par les sources lumineuses et peuvent aller jusque dans les habitations par vol actif. Cela peut poser la problématique d'une transmission hors du milieu aquatique.

Cette présence pourrait également être bénéfique et dangereuse pour l'homme. En effet, ils sont des prédateurs naturels des larves de moustiques et hôtes et vecteurs de *Mycobacterium ulcerans*. Ils pourraient piquer l'homme et ingérer d'autres agents pathogènes présents dans le sang tels que les Plasmodes et d'autres parasites. De même, certaines larves de moustiques telles que *Aedes* peuvent posséder des virus. Quel est le devenir de ces pathogènes dans le tube digestif des hétéroptères aquatiques? C'est pourquoi des stratégies de lutte contre les hétéroptères aquatiques pour réduire l'incidence de l'ulcère de Buruli devraient être envisagées. Cette lutte doit tenir compte de plusieurs paramètres dont leur utilisation comme bio indicateur de la présence de la bactérie dans les milieux aquatiques et ennemis naturels des larves de moustiques. En effet, les hétéroptères aquatiques peuvent être utilisés dans la lutte biologique contre les moustiques. Leur présence dans les rizières situées en pleine ville pourrait réduire les populations de moustiques. Ainsi, afin de réduire la transmission de *M. ulcerans* par les hétéroptères aquatiques, l'une des stratégies pourrait être basée sur la protections personnelle par le port de vêtements de protection tels que les pantalons et les chemises longues, les bottes pendant les activités agricoles (Zingbé et al., 2018) dans les bas-fonds et les rizières. Pour ceux qui habitent à proximité de ces zones à risque et en particulier les rizières urbaines, il est recommandé de dormir sous une moustiquaire imprégnée qui les protégerait contre les piqûres nocturnes des hétéroptères aquatiques pendant leur sommeil.

Conclusion

L'étude des hétéroptères aquatiques dans les rizières présentes à l'intérieur de certaines villes de Côte d'Ivoire a montré la présence de nombreux hétéroptères aquatiques. En effet, les hétéroptères de la famille des Belostomatidae ont été récoltés dans toutes les rizières et les plus abondants aussi bien au niveau des différentes familles que des localités visitées. De ces rizières, 24 espèces appartenant à 7 familles ont été identifiées. L'espèce *Diplonychus nepoïdes* (Belostomatidae) a été l'espèce la plus abondamment récoltée dans toutes les rizières.

La recherche par PCR de *Mycobacterium ulcerans*, agent causal de l'ulcère de Buruli a permis de détecter sa signature moléculaire dans 34 des 81 lots monospécifiques constitués. De ces lots positifs, la famille des

Belostomatidae et particulièrement l'espèce *Diplonychus nepoïdes* (Beolostomatidae) ont été les plus contaminées par *Mycobacterium ulcerans*. Dans chaque ville, la mycobactéries a été détectée dans les tissus de cette espèce. *Diplonychus nepoïdes* pourrait être l'un des vecteurs de la mycobactéries et servir alors de modèle expérimental au laboratoire pour la recherche du mode de contamination de l'ulcère de Buruli. Elle pourrait également être utilisée comme indicateur de facteur de risque de contamination et de dissémination de *Mycobacterium ulcerans* du fait de sa capacité de vol, d'adaptation et son attractivité par les sources lumineuses.

La présence des rizières à l'intérieur des villes pourrait être des facteurs de risque très élevés de contamination de l'ulcère de Buruli dans ces villes. Cette étude pourrait enfin permettre de mettre en place des mesures préventives permettant aux populations vivant à proximité de ces milieux d'éviter tout contact homme-hétéroptères aquatiques.

Remerciements

Les auteurs remercient le ministère de la santé, de l'hygiène publique et de la couverture maladie universelle qui nous a associé aux activités de lutte contre le paludisme dans ces différentes villes. Ils remercient également tous les techniciens de l'INHP qui ont contribué à la réalisation de cette étude ; en particulier Mrs Diallo Adama, Ban Meyekeu Sylvestre et Koné Arsène.

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

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

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

References:

1. Abel, A., Yao, F. K., Combo, M. K., Archille, D. G., & Issiaka, K. (2018). Sociogéographie des Malades de L'ulcere de Buruli au Centre Saint Michel de Zoukougbeu dans le District Sanitaire de Daloa (Centre Ouest Ivoirien). *European Journal of Social Sciences*, 57(3), 268-276. <http://www.europeanjournalofsocialsciences.com/>
2. Ablordey, A.S., Vandelannoote, K., Frimpong, I. A., Ahortor, E. K., Amissah, N. A., Eddyani, M., Duriez, L., Portaels, F., De Jong, B. C., Leirs, H., Porter, J. L., Mangas, K. M., Lam, M. M. C., Buultjens, A., Seemann, T., Tobias, N.J., & Stinear, T.P. (2015). Whole genome comparisons suggest random distribution of *Mycobacterium ulcerans*

- genotypes in a Buruli ulcer endemic region of Ghana. *PLoS Negl Trop Dis* 9:e0003681. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003681>
3. Ajeagah, G. A., Kekeunou S., Njiawouo, P. E. N., & Foto, M. S. (2014). Morphologie et abondance des stades développement d'*Ilyocoris cimicoides* Linne 1758 dans un lac anthropisé en zone tropicale (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 79, 6926 – 6937. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.7>
 4. Allali, K. B., Konan, K. L., Coulibaly, Z. I., Dosso, M., & N'Goran, K. E. (2023). Dynamique temporelle des infestations naturelles des hétéroptères aquatiques par *Mycobacterium ulcerans* dans deux districts sanitaires à endémicité différente à l'ulcère de Buruli, au Sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 39 (2); 766-777.
 5. Andersen, N. M. & Weir, T. A. (2004). Australian water Bugs. Their Biology and Identification (Hemiptera-heteroptera, Gerromorpha and Nepomorpha). A series facing global biodiversity in insects. *Entomograph*, 14, 344 pages.
 6. Ben moussa, A., Chahlaoui, A., Rour, E., & Chahboune, M. (2014). Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc (Taxonomic diversity and structure of benthic macrofauna of surface water of Khoumane River. Moulay idriss Zerhoun, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 5(1), 183-198.
 7. Boccarossa, A. & Fleuret, S. (2020). Observer et comparer les points d'eau fréquentés en milieu villageois : vers une meilleure compréhension des mécanismes de transmission de la maladie de l'ulcère de Buruli au sud-est du Bénin. *Revue francophone sur la santé et les territoires*. <https://doi.org/10.4000/rfst.535>
 8. Boelee, E., Cecchi, P., & Kone, A. (2009). Health impacts of small reservoirs in Burkina Faso. Colombo, Sri Lanka. *International Water Management Institute*. 50p. (IWMI Working Paper 136). doi:10.3910/2009.20
 9. Bourque, A. (2000). Les changements climatiques et leurs impacts. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* ; 1, (2) ; URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/4042> <https://doi.org/10.4000/vertigo.4042>
 10. Brou, A. L., Kouassi, L. K., Konan, S. K., Kouadio, A. Z., Konan, F. K., & Kamagate, B. (2017). Modélisation Pluie-Débit à l'aide des Réseaux de Neurones Artificiels Multicouches sur le Bassin Versant du Fleuve Cavally à la station d'Ity (Zouan-Hounien, Côte d'Ivoire). *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 2(5), 19-23.

11. Brou, T., Broutin, H., Dosso, M., & Guegan, J. F. (2006). Impact des modifications d'habitats (déforestation, aménagement hydro-agricoles, extension des cultures) sur la santé des populations rurales : cas de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. *Climate Variability and Change-Hydrological Impacts*, 308 : 685-690
12. CCT (1999). Projet sectoriel forestier-Bilan forêt, carte 1/20 000, Abidjan. CNRT. 182 p.
13. Coulibaly, B., Dibi, K.P., Diobo, K.S., & Koli, B. Z. (2015). Répercussions socio-économiques de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. Exemple de la région du Bélier et du District autonome de Yamoussoukro. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, (2)
14. Debacker, M., Aguiar J., Steunou, C., Zinsou, C., Meyers, W. M., Scott, J. T., Dramaix, M., & Portaels, F. (2004). *Mycobacterium ulcerans* disease: role of age and gender in incidence and morbidity. *Trop Med Int Health*, 9, 1297-304.
15. Dejoux, C., Elouard, J. M., Forge, P., & Maslin, J. L. (1981). Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. *Rapport n°42; Document ORSTOM*. 178 pages.
16. Dethier, M. (1986). Hétéroptères aquatique et ripicoles. Genres et principales espèces In Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 54(10).
17. Dethier, M. (1981b). Introduction à la morphologie, la biologie et la classification des Hétéroptères. *Bulletin Romand d'Entomologie*, 1, 11-16.
18. Gouzile, A.P., Soro, G.E., Kouadio, Z.A., & Goula, Bi., T.A. (2016). Evaluation des risques hydro-climatiques et environnementaux liés à l'occurrence de l'ulcère de Buruli dans la région de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(4), 1637-1650. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.16>
19. Guégan, J. F. & Simard, F. (2015). Changements environnementaux et maladies infectieuses : mieux coordonner la surveillance. In Climat et santé. adsp, (93) ; 36 pages.
20. Iglesias, M. S., Gaspe, M. S., & Valverde, A. C. (2008). A Longitudinal Study of Two Species of *Belostoma* Latreille (Heteroptera: Belostomatidae): Allometry and Ontogeny. *Neotropical Entomology*, 37(6), 662-667. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000600006>
21. Iltis, A. (1974). Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). VII. Structure des peuplements. *Cahier O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiologie*, 8(1), 51-76.

22. Konan, J. M. K. A. (2017). Compétition entre bâti et agriculture dans la conquête des bas-fonds de la ville de Bouaké : le savoir-faire ou les actions stratégiques des citadins-agriculteurs pour préserver les espaces agricoles. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://journals.openedition.org/vertigo/18302>
23. Konan, K. S., Kouassi, K. L., Konan, K. F., Yapo, A. S., & Brou, L. A. (2020). Impacts de l'orpaillage sur la morphologie et la qualité des eaux du fleuve Cavally (Zouan-Hounien, Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28(2), 515-524. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
24. Konan, K.L., Fofana, D., Koné, A.B., Konan Y.L., Assé, H., Kouassi, D., Dosso, M., Marsollier, L., Aubry, J., N'goran, K.E., & Doannio, J. M. C. (2015). Inventory of aquatic Heteroptera in ponds near the villages of six health districts, endemic to buruli ulcer in Côte d'Ivoire (west Africa). *The Experiment*, 31(1), 2012-2021.
25. Kouadio, K.Y., Ochou, A. D., & Servain, J. (2003). Tropical Atlantic variability in Côte d'Ivoire. *Geophysical Research Letters*. 30 , 1-5. <https://doi.org/10.1029/2002GL015290>
26. Kouakou, K. E., Moussa, H., Kouassi, A. M., Goula, B. T. A., & Savane, I. (2017). Redefinition of homogeneous climatic zones in Côte d'Ivoire in a context of climate change. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(11), 453-462.
27. Kouassi, B. A. T., Komoe, K., & Coulibaly, N. S. (2021). Composition spécifique et diversité des microalgues de la retenue de Bacon, au Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 48(3), 8712-8721. <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v48-3.2>
28. López, T. & Hernández, J. M. (2001). Répartition des hétéroptères aquatiques (Gerromorpha et Nepomorpha) de la province de Madrid (Espagne). *Milieu et vie*, 51 (3), 113-121.
29. Marion, E., Deshayes, C., Chauby, A., Cassisa, V., Tchibozo, S., Cottin, J., Doannio, J., Marot A., & Marsollier L. (2011). Détection des signatures moléculaires de *Mycobacterium ulcerans* chez des punaises aquatiques capturées au Bénin en dehors de leur environnement aquatique. *Med Trop* , 71, 169-172.
30. Marion, E., Eyangoh, S., Yeramian, E., Doannio, J., Landier, J., Aubry, J., Fontanet, A., Rogier, C., Cassisa, V., Cottin, J., Marot, A., Eveillard, M., Kamdem, Y., Legras, P., Deshayes, C., Saint-André, J. P., & Marsollier, L. (2010). Seasonal and Regional Dynamics of *M. ulcerans* Transmission in Environmental Context: Deciphering the Role of Water Bugs as Hosts and Vectors. *PLoS Negl Trop Dis* 4(7): e731. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000731>

31. Marion, E., Landier, J., Eyangoh, S., & Marsollier, L. (2013). L'ulcère de Buruli – Un modèle de recherche transversale dynamique au sein du réseau des Instituts Pasteur. *Med Sci (Paris)*, 29(10), 912–917. <https://doi.org/10.1051/medsci/20132910021>
32. Mary, N. (2017). Les macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Guide d'identification. Version révisée. DAVAR Nouvelle-Calédonie, OEIL,
33. Mogi, M. & Miyagi, I. (1990). Colonization of rice fields by mosquitoes (Diptera : Culicidae) and larvivorous predators in a synchronous rice cultivation areas in the Philippines. *Journal of Medical Entomology*, 27(4), 530-536.
34. Ngazoa-Kakou, ES., Ekaza, E., Aka, N., Coulibaly-N'golo, D., Coulibaly, B., & Dosso, M., 2003. Evaluation of real-time PCR for *Mycobacterium ulcerans* in endemic region in Côte d'Ivoire. *African Journal of Microbiology Research*, 5 (16), 2211-6.
35. Nichane, M. & Khelil, M. A. (2014). Arthropodofaune recensée par la méthode des pots barber dans la forêt de Tamerchalet (Marsa Ben M'hidi – Tlemcen). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 24, 93 – 111.
36. Nieser, N. (1975). The water bugs (Heteroptera: Nepomorpha) of the Guyana region. In Studies on the fauna of Suriname and other Guyanas. *Springer Netherlands*, 16(59), 1-336. DOI: 10.1007/978-94-017-7118-4_1
37. Poisson, R. (1957). Hétéroptères aquatiques, Faune de France, 61. *Editions Paul lechevalier, 12 Rue de Tournon (VI^e)*. 267 pages.
38. Shaalan, E. A-S. & Canyon, D. V. (2009). Aquatic insect predators and mosquito control. *Tropical Biomedicine* 26(3), 223–261 PMID: 20237438
39. Subramanian, K.A. & Sivaramakrishnan, K.G. (2007). Aquatic Insects for Biomonitoring Freshwater Ecosystems - A Methodology Manual. *Asoka Trust for Research in Ecology and Environment*, Bangalore, India, 31pp.
40. WHO (2017). Global Health Observatory data repository : Number of new reported cases Data by country. <http://apps.who.int/gho/data/node.main.A1631>
41. WHO (2022). Global Health Observatory data repository-Number of new reportead cases data by country. <https://apps.who.int/gho/data/node.main.A1631>
42. Zingue, D., Bouam, A., Tian, R. B. D., & Drancourt, M. (2018). Buruli Ulcer, a Prototype for Ecosystem-Related Infection, Caused by *Mycobacterium ulcerans*. *Clinical Microbiology Reviews*, (31), Issue 1 e00045-17

Caractérisation agronomique de six (6) morphotypes de voandzou (*Vigna subterranea L. verdc*) cultivés au Niger

Bori Haoua

Chercheur à l'INRAN, Département des Cultures Irrigées, Niger

Naino Jika Abdel Kader

Enseignant-Chercheur au département de Productions Végétales,
Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Maazou Rahila

Université de Diffa, Institut supérieur en Environnement et Ecologie, Niger

Amadou Mounkaila Hamissou

Hachimou Sabo Mahaman Rabiou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Niger

Dan Guimbo Iro

Adam Toudou

Enseignant-chercheur à l'Université Abdou Moumouni de Niamey,

Faculté d'Agronomie, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p140](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p140)

Submitted: 31 May 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 05 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Bori H., Naino Jika A.K., Maazou R., Amadou Mounkaila H., Hachimou Sabo M.R., Dan Guimbo I. & Toudou A.(2024). *Caractérisation agronomique de six (6) morphotypes de voandzou (*Vigna subterranea L. verdc*) cultivés au Niger.. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 140.* <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p140>

Résumé

Au Niger la diversité du voandzou est peu connue mais la variabilité est assez grande lorsqu'on considère certaines caractéristiques de graines. La présente étude a pour objectif général d'évaluer les performances agromorphologiques de six (6) morphotypes de voandzou cultivés au Niger afin d'identifier les morphotypes les plus prometteurs sur la base de leurs performances agronomiques et morphologique (coloration des graines). Ces morphotypes ont été choisis à la suite d'une séparation sur la base de leur coloration. Les morphotypes ont ensuite été évalués sur le site expérimental de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni, situé dans la commune 5 de Niamey. Les données ont été collectées à travers un essai

agronomique mis en place sur un dispositif de fichier randomiser avec trois (3) blocs, six (6) parcelles élémentaires par bloc. Sept (7) caractères agro morphologiques liés aux composantes du rendement et de la couleur des graines ont été étudiés. L'analyse statistique descriptive a montré que les coefficients de variation vont de 6,5 à 66,3%. L'analyse de la variance a montré des différences significatives entre les morphotypes sur les différents caractères agronomiques. Les variables les plus pertinentes qui permettent de décrire la variabilité entre les groupes des morphotypes étudiés sont le poids de gousses par plante (PG/P) ($53,539 \pm 32,79$ g), la longueur moyenne de graines par plante (Lmg/P) ($10,43 \pm 1,06$ mm) et la largeur moyenne de graine par plante. (Lamg/P) ($8,61 \pm 0,87$ mm). Ces caractères analysés peuvent ainsi constituer des critères de base pour différencier les morphotypes et servir pour une étude de variabilité entre les morphotypes de voandzou du Niger.

Mots-clés: Voandzou, *Vigna subterranea* L. verdc, Morphotypes, performance

Agronomic characterization of six (6) morphotypes of voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc) cultivated in Niger

Bori Haoua

Chercheur à l'INRAN, Département des Cultures Irriguées, Niger

Naino Jika Abdel Kader

Enseignant-Chercheur au département de Productions Végétales,
Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Maazou Rahila

Université de Diffa, Institut supérieur en Environnement et Ecologie, Niger

Amadou Mounkaila Hamissou

Hachimou Sabo Mahaman Rabiou

Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Niger

Dan Guimbo Iro

Adam Toudou

Enseignant-chercheur à l'Université Abdou Moumouni de Niamey,

Faculté d'Agronomie, Niger

Abstract

In Niger, the diversity of voandzou is little known but the variability is quite large when certain seed characteristics are considered. The general objective of this study is to evaluate the agro-morphological performance of six (6) morphotypes of voandzou cultivated in Niger in order to identify the most promising morphotypes on the basis of their agronomic and

morphological performance (seed coloring). These morphotypes were chosen following a separation on the basis of their coloration. The morphotypes were then evaluated on the experimental site of the Faculty of Agronomy of Abdou Moumouni University, located in commune 5 of Niamey. The data were collected through an agronomic trial set up on a randomized file system with three (3) blocks, six (6) elementary plots per block. Seven (7) agro morphological characters linked to the components of yield and seed color were studied. Descriptive statistical analysis showed that the coefficients of variation range from 6.5 to 66.3%. The analysis of variance showed significant differences between the morphotypes of the different agronomic characters. The most relevant variables that make it possible to describe the variability between the groups of the morphotypes studied are the weight of pods per plant (PG/P) ($53,539 \pm 32,79$ g), the average length of seeds per plant (Lmg/P) ($10,43 \pm 1,06$ mm) and the average width of seeds per plant (Lamg/P) ($8,61 \pm 0,87$ mm). These analyzed characters can thus constitute basic criteria to differentiate the morphotypes and serve for a study of variability between the morphotypes of voandzou of Niger.

Keywords: Voandzou, *Vigna subterranea* L. verd, Morphotypes, performance, Niger

Introduction

Le voandzou (*Vigna subterranea* L.verdc) est la troisième culture parmi les légumineuses en Afrique après l'arachide (*Arachis hypogaea*) et le niébé (*Vigna unguiculata*) (Touré *et al.*, 2013). C'est une espèce qui fait partie des espèces cultivées depuis des millénaires et qui contribue à la sécurité alimentaire des populations les plus pauvres de la planète (Mkandawire, 2007). Les graines sont utilisées comme aliment pour les diabétiques, riches en potassium et autres minéraux comme le Ca, le Fe et le Na (Chandra *et al.*, 2017) elles contribuent à l'amélioration de la qualité de l'alimentation en tant que complément protéique et peuvent aider au maintien de l'organisme en bonne santé (Mbaiogaou *et al.*, 2013). Malgré son importance alimentaire, la production du voandzou à l'échelle mondiale n'est que de 239 607,1 tonnes en 2021, dont un grand pourcentage est produit en Afrique de l'Ouest (FAOSTAT, 2022). Le Niger est l'un des principaux producteurs de voandzou et les superficies occupées par la culture de voandzou varient de 31,4 à 102,961 milles d'hectare entre 2006 et 2022 et le rendement varie de 292kg/ha à 600 kg/ha de 2007 à 2022 (DS / MAE, 2022).

Le voandzou est utilisé pour la fertilisation des sols grâce à sa capacité de fixation de l'azote atmosphérique et donne des rendements moyens allant de 350 à 800 kg/ha dans les régions où le sol est pauvre et la pluviométrie faible (Touré *et al.* 2013). Sous l'effet des sélections naturelle et humaine, ces

variétés locales ont accumulé une diversité morphologique (couleur, rayures, taille) (Amadou *et al.*, 2014) au sein de l'espèce, alors qu'elle pourrait offrir des opportunités dans la conception des programmes de lutte contre l'insécurité alimentaire. Pour atteindre une meilleure connaissance de cette culture, une évaluation agro morphologique a été mener sur 6 morphotypes du voandzou cultivés au Niger.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'essai a été conduit pendant la saison pluvieuse 2023 sur le site expérimental de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Figure 1). Le sol du site est de type sableux avec une faible rétention en eau. Le site est situé entre la Longitude $20^{\circ} 05' 41,06''$; la latitude $13^{\circ} 29' 58,5''$ et l'altitude 184m. La préparation du terrain s'est effectuée le 12 juin 2023 suivie d'un labour manuel le lendemain. La délimitation des unités expérimentales a eu lieu le 14 juin 2023. Quant au semis, il a été réalisé le 19 juin 2023 en raison de deux graines par poquet. Après la germination, l'entretien a consisté essentiellement à irriguer en cas de poche de sécheresse de 5 jours en raison de deux arrosoirs par parcelle. Pour que les mesures soient réalisées sur un seul individu, un démariage a été réalisé au 20^e JAS en raison d'un plant par poquet tout en repiquant les plants arrachés au niveau des poquets vides. Le sarclage et le binage ont été réalisés à la demande. L'épandage du fertilisant (bouse de vache) a été réalisé 30 JAS en raison d'un seau de 20 litres par parcelle. Au cours de cet essai, deux traitements phytosanitaires ont été réalisés, dont l'un avec un biopesticide (à base du neem et du savon noir) au 52^e JAS pour lutter contre les acridiens et l'autre à base d'un fongicide IDEFIX (59^e JAS) pour lutter contre l'attaque fongique localisé au niveau du site. La récolte a commencé le 4 octobre 2023 et a pris fin le 9 octobre 2023.

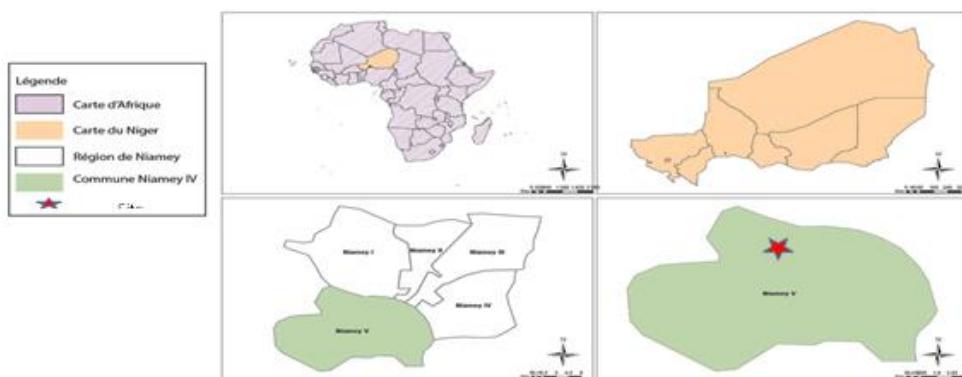


Figure 1 : site expérimental

Matériel

Le matériel végétal utilisé est constitué de six (6) morphotypes de voandzou du Niger dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau 1 et la figure 2.

Tableau 1 : caractéristiques de six morphotypes du voandzou

| Morphotypes | Nom local (Haoussa, Zarma) | Couleur des graines | Zone de collecte/ Département |
|-------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| M1 | Baka, Ninébi | Noire foncée unie | Dan cassari/dogondoutchi |
| M3 | Koyin zabo, Bossa | Rouge bordeaux unie | Dan cassari/dogondoutchi |
| M4 | Bouhoulata, foulan | Blanche | Douméga/dogondoutchi |
| M6 | Baara, ninékire | Blanc sale avec petits points marron | Dan cassari/dogondoutchi |
| M7 | Badanda | Blanc sale unie | Dan cassari/dogondoutchi |
| M8 | Fara anya | Blanc sale avec rayure marron | Dan cassari/dogondoutchi |



Figure 2 : les morphotypes du voandzou étudié

Méthodologie

Dispositif expérimental

L'essai a été installé suivant un dispositif en blocs aléatoires complets. Le dispositif est composé de trois (3) blocs (répétitions) et chaque bloc est composé de six (6) parcelles élémentaires qui ont reçu aléatoirement six (6) morphotypes de voandzou. Chaque parcelle élémentaire est composée de soixante-trois (63) poquets avec un écartement de 20 cm entre deux (2) poquets consécutifs et de 20 cm entre deux (2) lignes de semis consécutives. Les observations ont porté sur la parcelle utile qui contient quinze (15) poquets. Les paramètres mesurés sont le nombre de gousses par plante (NG/P), le poids de gousses par plante (PG/P), la longueur moyenne d'une graine par plante (Lmg/P), la largeur moyenne d'une graine par plante (LamG/P), le

poids de 100 graines (PCg), le rendement en graines sec (RgS) et la couleur des graines (Cg).

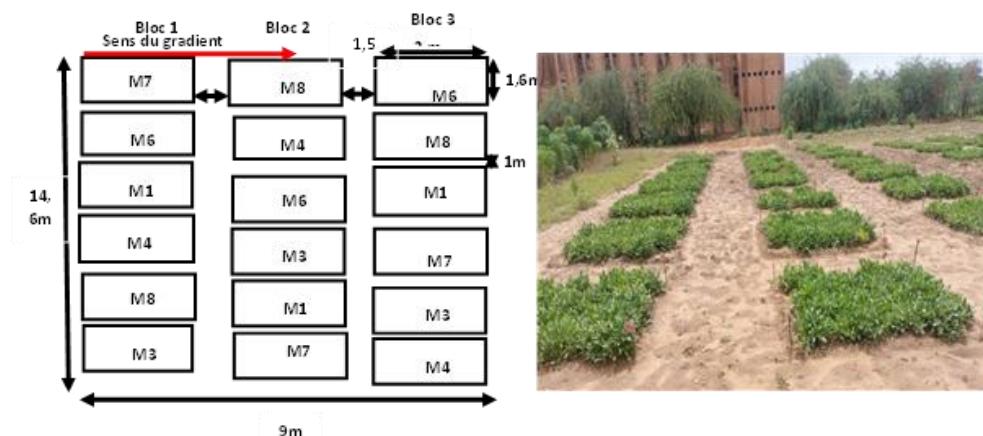


Figure 3 : dispositif expérimental

Analyse des données

Les données ont été collectées et saisies dans un tableau Excel. Pour chaque caractère étudié, l'analyse de variance (ANOVA) au seuil de 5% de probabilité a été réalisée pour comparer les moyennes entre morphotypes. Lorsqu'une différence significative est révélée entre morphotype pour un paramètre donné, l'ANOVA a été complétée par le test de la plus petite différence significative (ppds). Ce test (ppds) a permis d'identifier le ou les morphotypes qui diffèrent significativement des autres. Tous les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel XLSTAT V.2023 et R 4.2.2.

Résultats

Caractéristiques du rendement des six morphotypes étudiés

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse de variance pour les paramètres : Nombre de gousses par plante (NG/P), Poids des gousses par plante (PG/P), Poids de 100 graines (PCg) et le rendement en graines sèches (RgS).

L'analyse de variance des données du nombre de gousses par plante (NG/P), n'a pas montré de différence significative ($P.value = 0,40$). Sa valeur varie suivant les morphotypes de 29,47 (M8) à 40,36 (M7) avec une moyenne générale de $34,837 \pm 20,241$ et un coefficient de variation de 55,4% (Tableau 2).

Pour le poids des gousses par plante (PG/P), il ressort de l'analyse une différence hautement significative ($P.value < 0,001$) avec une valeur qui varie de 36,02 (M4) à 72,66 g (M6). La moyenne a été de $53,539 \pm 32,79$ g et un coefficient de variation de 66,3% (Tableau 2).

L'analyse de variance des données du poids de 100 graines (PCg), ne montre pas de différence significative entre les morphotypes étudiés (*P.value* = 0,42). La valeur de ce paramètre varie de 53,09 (M4) à 79,85 g (M6) avec une moyenne de $65,515 \pm 10,08$ et un coefficient de variation de 16,07%. Aussi pour le rendement en graines sèches (RgS), l'analyse n'a pas montré de différence significative entre les morphotypes étudiés (*P.value* = 0,42). Sa valeur varie de 1779,51 (M8) à 3388,88 kg/ha (M6) avec une moyenne de $2339,467593 \pm 505,55$ et un coefficient de variation de 22,17% (Tableau 2).

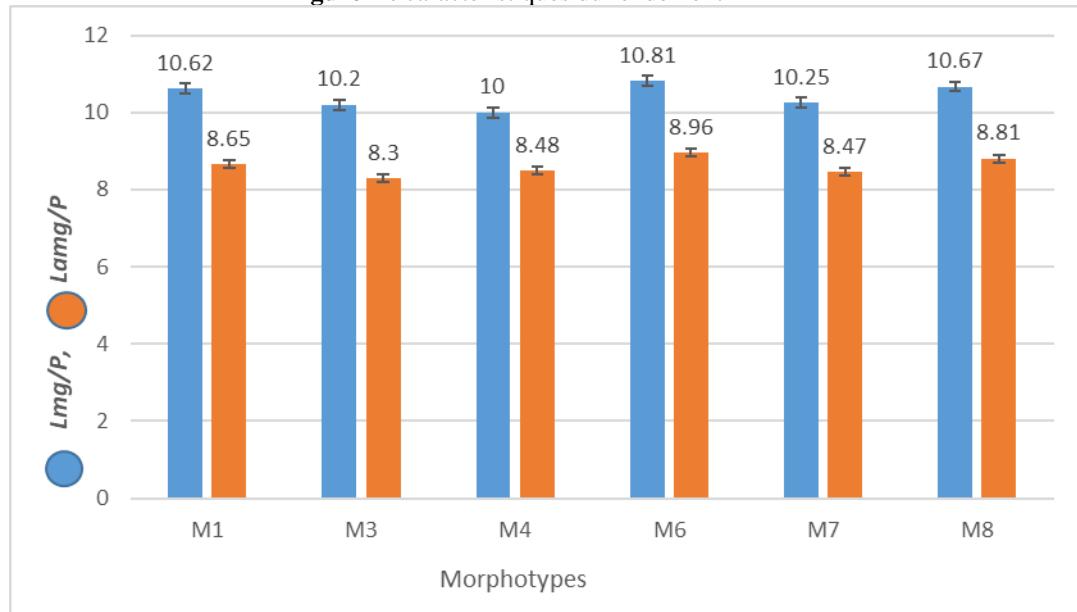
Tableau 2 : caractéristiques du rendement

| Traitements | NG/P (Nombre) | PG/P (g) | PCg (g) | RgS (kg/ha) |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| M1 | 35,69 a | 46,28 ab | 63,71 a | 2389,23 a |
| M3 | 36,94 a | 48,04 ab | 64,23 ab | 2289,23 b |
| M4 | 31,80 a | 36,02 a | 53,09 c | 1890,97 a |
| M6 | 34,78 a | 72,66 a | 79,85 b | 3388,88 a |
| M7 | 40,36 a | 52,40 ab | 57,96 a | 2298,95 a |
| M8 | 29,47 a | 51,45 ab | 74,25 bc | 1779,51 b |
| MOYENNE | 34,84 | 53,539 | 65,52 | 2339,46 |
| EC | 19,35 | 32,79 | 10,08 | 505,55 |
| CV (%) | 55,4 | 66,3 | 16,07 | 22,17 |
| <i>P.value</i> | 0,40 | <0,001 | 0,42 | 0,42 |

La figure n°4 présente les résultats de l'analyse de variance pour les paramètres : Longueur moyenne d'une graine par plante (Lmg/P), largeur moyenne d'une graine (Lamg/P).

L'analyse de variance des données de la longueur moyenne d'une graine par plante (Lmg/P) révèle une différence hautement significative (*P.value* <0,001). La valeur de ce paramètre varie de 10,00mm (M4) à 10,81mm (M6) avec une moyenne de $10,43 \pm 1,06$ mm et un coefficient de variation de 10,1%. Pour le paramètre largeur moyenne d'une graine (Lamg/P), l'analyse des données statistiques montre une différence significative (*P.value* <0,05) avec une valeur qui varie de 8,3 (M3) à 8,81 mm (M8), une moyenne de $8,61 \pm 0,87$ mm et un coefficient de variation de 10,1% (Figure n°4).

Figure 4 : caractéristiques du rendement

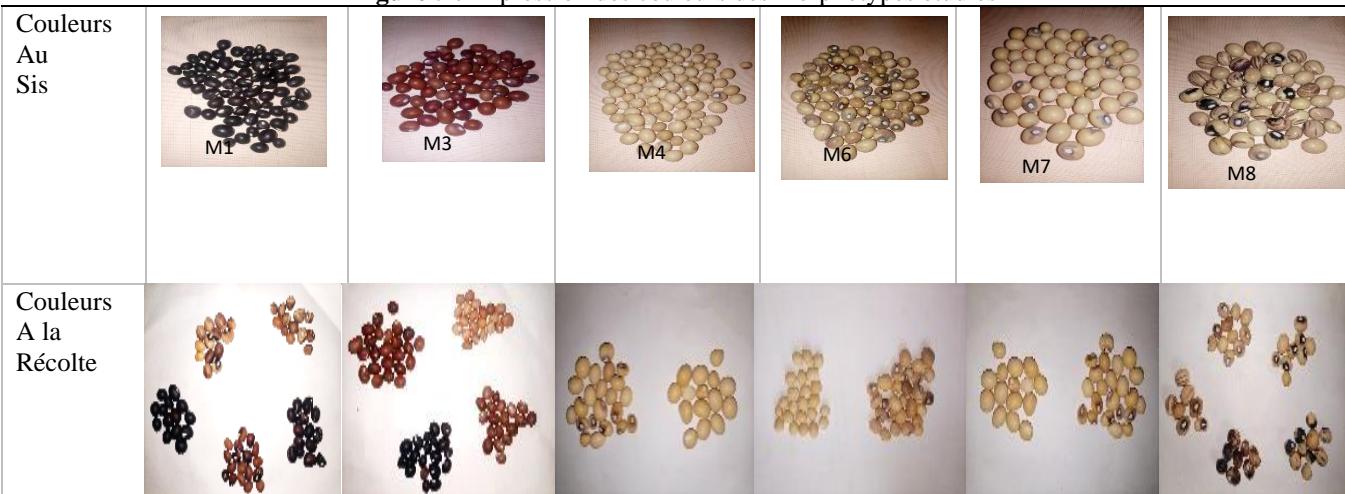


*Lmg/P, longueur moyenne de graines par plante ;
Lamg/P, largeur moyenne de graine par plante*

Présentation du caractère couleur des graines (Cg)

Après récolte et séchage des graines au soleil, l'observation des couleurs des graines (Cg) (Figure 5) obtenues indique que des morphotypes M1(noire) cinq (5) morphotypes de couleurs différentes (Noir, chocolat avec contour blanc sale, blanc sale tacheté du chocolat avec contour noir, noire tacheté du blanc sale, marron avec contour noir) ont été obtenus. De M8(Blanc sale avec rayure marron), cinq (5) morphotypes de couleurs différentes (Blanc sale avec rayure marron, blanc sale tacheté du marron avec contour gris, blanc sale avec contour noir, blanc sale avec rayure noire, blanc sale tacheté du noir et du marron) ont été obtenus. Du morphotype M3 quatre (4) morphotypes de couleurs différentes (Rouge bordeaux unie, saumon, chocolat avec contour blanc sale, noire) ont été obtenus. Des morphotypes M4(blanche) et M6 (Blanc sale avec petits points marron) deux (2) morphotypes de couleurs différentes (blanche et Blanc sale avec petits points marron) ont été obtenus pour chacun d'eux. Du morphotype M7 deux (2) morphotypes de couleurs différentes (blanche et blanc sale) ont été obtenus.

Figure 5 : Expression des couleurs des morphotypes étudiés



: Même couleur que le morphotype semé

Discussion

L'évaluation des caractéristiques du rendement montre que les paramètres nombre de gousses par plante (NG/P) et le poids des gousses par plante (PG/P) interagissent entre eux, plus le NG/P augmente plus le PG/P augmente. En effet le paramètre NG/P a un coefficient de variation qui est significativement élevé ($CV = 55,4$) et un nombre maximal de gousse a été de 146 gousses par plante. Ce résultat est inférieur à celui obtenu par Séverin et Yao, (2011) dans leur étude sur la variabilité morphologique et agronomique des variétés traditionnelles de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) verdc.] réalisée sur 101 variétés en Côte d'Ivoire, avec un maximum de 245 gousses par plante. Amadou et al., (2018) ont obtenu un nombre maximal de 48 gousses par plante avec 14 variétés dans une étude similaire mais dans des conditions climatiques et édaphiques différentes. Au vu de ces résultats obtenus en fonction des zones d'étude qui diffèrent selon la pluviométrie, ceci montre que le nombre de gousses par plante varie suivant la satisfaction du besoin en eaux de la culture notamment pendant la phase de floraison, car le moment de la floraison est un facteur décisif pour le rendement du voandzou selon Mathias (2003). Cet auteur a affirmé que les périodes critiques pour les besoins en eau du voandzou sont la floraison et la fructification, car une interruption de pluie de 20 jours après la formation des fleurs est néfaste pour la culture.

L'analyse des données pour cette étude a aussi montré une différence significative entre les morphotypes en ce qui concerne la longueur moyenne des graines par plante (Lmg/P) ($10,43 \pm 1,06$ mm) et la largeur moyenne des graines (Lamg/P) ($8,61 \pm 0,87$ mm). Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Bainza et al., (2023) dans leur étude sur la Variabilité agro

morphologique de 81 accessions de Voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdc] au Niger dont $(16,40 \pm 7,84)$ pour la Lmg/P et $(13,93 \pm 6,55)$ pour la Lamg/P. Pour le poids de 100 graines (PCg), il n'existe pas de différence significative entre les morphotypes (*P.value* = 0,42). Ce résultat contredit les résultats obtenus par Saley et al., (2022) (*P.value* <0,001).

Au regard des rendements en grains (RgS), il se dégage de cette étude un Coefficient de variation de 22,17%, ceci montre qu'il n'existe pas une très grande variabilité génétique entre les morphotypes en termes de rendement en grains. Cependant, le rendement enregistré est de l'ordre de 3388,8 kg/ha obtenu au niveau du morphotype M6 dont le plus faible rendement est obtenu au niveau du morphotype M8 avec un rendement de 1779,51 kg/ha. Ces rendements sont supérieurs à ceux cités dans certaines littératures. En effet, la production voandzou varie de 650 à 850 kg/ha dans de nombreux pays semi-arides (Linnemann et Azam-Ali, 1993). Par exemple, les rendements suivants ont été rapportés : 940 kg/ha au Burkina Faso, 672 kg/ha au Mali et 574 kg/ha au Ghana. Vu l'irrégularité des pluies dans la zone d'étude, le gain de rendement (moyenne = 2339,467593kg/ha) obtenu dans cette étude pourrait être expliqué par l'utilisation d'irrigation comme une alternative en cas de déficit de pluviométrie afin de répondre au besoin en eaux de cette culture. Après le séchage des graines au soleil, l'observation de la couleur des graines (Cg) a révélé que chaque morphotype étudié présentait un ou plusieurs morphotypes différents à la récolte. Le mode de reproduction des plantes pourrait expliquer les différences de couleur obtenues à la récolte, mais à partir de cette étude il est difficile de tirer des conclusions définitives. Ces variations de couleur des graines après séchage pourraient aussi refléter une diversité génétique au sein des morphotypes de voandzou étudiés, mais elles pourraient également être dues à des facteurs environnementaux ou à des conditions de croissance spécifiques. Il serait donc pertinent de conduire des essais supplémentaires dans des conditions contrôlées et répétées pour mieux comprendre ces variations de couleur.

Conclusion

La présente étude met en lumière une remarquable diversité génétique parmi les morphotypes de voandzou étudiés du Niger. L'expression des caractères observés révèle une variabilité substantielle entre ces morphotypes, englobant même les aspects qualitatifs. Cette variabilité offre des perspectives prometteuses pour l'amélioration de la culture du voandzou. Les rendements en graines obtenus pour tous les morphotypes étudiés sont significativement élevés. Il est à noter que le morphotype M6 se distingue par ses performances supérieures en termes du nombre de gousses par plante (NG/P), du poids des gousses par plante (PG/P), du poids de 100 graines (PCg), du rendement en graines sèches (RgS) et de la longueur moyenne d'une graine par plante

(Lmg/P). En raison de cette capacité productive des morphotypes du voandzou du Niger, une amélioration par sélection directe pourrait être possible pour tous les paramètres étudiés.

Conflit d'intérêt : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

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

Déclaration de financement : l'expérimentation a été financée par le projet SUSTLIVES.

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par l'INRAN et la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey ainsi que l'équipe SUSTLIVES, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été suivis.

References:

1. Amadou, H., Hadjara, A., Agali, A., Mansour, A., & Zoubeirou A. 2018. Analyse de la diversité des rhizobiums nodulant trois morphotypes Nigériens de Voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) par la technique de PCR-RFLP, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 24, pp. 742-754.
2. Amadou, H. I., Yacouba, B., Zabeirou, A. M., Ali, D., Ibrahim, M.B. 2014. Diagnostique participative de la diversité des morphotypes et de connaissances locales en matière de culture du voandzou (*Vigna subterranea* (L)) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 9: 1915–1925.
3. Chandra, K., Nandini, R., Pranesh, C.B.K., Gobu, R. 2017. Improving nutritional security of India through a potential underutilized legume-Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.). *Environmental Ecology* 35(2): 606– 610. <http://www.environmentandecology.com/>
4. Baino, D.J., Mourtala, I.Z., Abdou, M.M., & Yerima. A.I.B., 2023. Étude de la Variabilité agro morphologique de 81 accessions de Voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdc] au Niger. *J. Appl. Biosci.* Vol : 183, 2023
5. Direction des Statistiques et Ministère de l'Agriculture et d'Elevage, 2022. Rapport d'évaluation de la campagne agricole d'hivernage 2022 et perspectives alimentaires 2022/2023, Janvier 2023. 52p
6. FAOSTAT, 2022. Production of commodity in selected country, production share by region and production of top 10 producers. FAO. Viewed 24 Novembre 2022.

7. Linneman, Q. R., & Azam-Ali, S. 1993. Bambara groundnut (*vigna subteranea*) littérature review: a revised and updated bibliography. Wageningen Agricultural University. *Trop. Crops commun.* 124 p.
8. Mathias, K. 2003. Fiche Technique Voandzou, Article 1818, 3pages
9. Mbaiogaou, A., Héma, A., Ouédraogo, M., Palé, E., Naitormbaide, M., Mahamout, & Nacro, M. 2013. Etude comparative des teneurs en polyphénols et en antioxydants totaux d'extraits de graines de 44 variétés de voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt). *Int.J. Biol.ChemSci.*,7(2): 861-871.DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.41>
10. Ministère de l'Agriculture Secrétariat Général Direction des statistiques, 2023. Rapport d'évaluation de la campagne agricole d'hivernage 2022 et Perspectives Alimentaires 2022/2023
11. Mkandawire, CH. 2007. Review of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) production in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Journal*, 2(4):464470. DOI: <http://med-welljournals.com/abstract/?doi=aj.2007.464.470>.
12. NDIANG, Z., Bell, J.M., Missoup, A.D., Fokam, P. E., & Amougou, A. 2012. Étude de la variabilité morphologique de quelques variétés de voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verde) *subterranea* (L.) Verdc.). *Food Chemistry*, 68: 273-276
13. Saley, M. D., Amadou, H. I., Boubacar, M. M., & Boukar, K. 2022. Caractérisation agro-morphologique de 30 accessions de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) verdc] cultivées dans la zone soudanienne du Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*36: 553–563. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
14. Sévérin, B., & Djé, Y. 2011. Variabilité morphologique et agronomique des variétés traditionnelles de voandzou [*Vigna subterranea* (l.) verdc.(fabaceae)] De Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 12p.
15. Touré, Y., Mongomaké, K., Souleymane, S., & Yatty, J. K. 2013. prospections, collecte et caractérisation agro-morphologique des morphotypes de voandzou [*vigna subterranea* (l.) verde. (Fabaceae)] de la zone savanique en Côte d'Ivoire European Scientific Journal August 2013 édition vol.9, pp : 308-325

The Yaya Reserve: From the Evolution of its Plant Cover to Proposals for Sustainable Management

Bi Gala Jean-Marc Zaouri

National polytechnic institute Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB)
Agronomy, Forestry, Plant and Soil Health Laboratory (LAFOR-SPS)

Marc Olivier Eblin

University of Cocody Côte d'Ivoire, ISAD

Cataud Marius Guedé

Pasteur Institute of Côte d'Ivoire, Department of Epidemiology and Clinical Research (DERC)

Bob Kouakou Kouadio

National polytechnic institute Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB)
Agronomy, Forestry, Plant and Soil Health Laboratory (LAFOR-SPS)

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p152](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p152)

Submitted: 28 April 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 03 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Jean-Marc Zaouri B.G., Eblin M.O., Guedé C.M., & Kouadio B.K. (2024). *The Yaya Reserve: From the Evolution of its Plant Cover to Proposals for Sustainable Management*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 152. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p152>

Abstract

The Yaya reserve, one of the biodiverse forests in Ivory Coast, faces significant threats from agricultural colonization, illegal logging, and demographic pressure, which could jeopardize its sustainability. This paper focuses on contributing to the reserve's sustainable management. To achieve this, three categories of data were collected: remote sensing data, floristic inventory data, and survey data from the neighboring populations. Remote sensing data were obtained by downloading images from the USGS earth explorer website. Floristic data were obtained through surface and itinerant survey. Survey data were collected using a structured interview. The images were processed to calculate the areas of various land use classes. The floristic data were analyzed for species richness and composition, while the survey data were analyzed to understand local perceptions of landscape dynamics, current management practices, and proposals for participatory management. The results revealed two major periods in the forest's dynamics: increased

deforestation from 1986 to 2005 and subsequent restoration from 2005 to 2022. These phases of degradation and restoration are likely related to recent social and political crises and management challenges. The floristic inventory identified 167 woody species across 134 genera and 47 families. 24 species (14% of the total) are endemic to West Africa, and 21 species (12.42%) are listed on the IUCN red list, indicating a relatively good conservation of the forest. The survey data highlighted the vulnerability of the forest and underscored the importance of centralized decision-making in management. The study suggests that participatory management could be a viable alternative for protecting the reserve. The hypotheses clearly states that the active involvement of local populations in the sustainable exploitation of forest resources can improve living standards, while helping to preserve the forest from exploitative practices.

Keywords: Biodiversity, Floristic inventory, Yaya reserve, Participatory management, Remote sensing

Introduction

Côte d'Ivoire is one of the countries in sub-Saharan Africa with the highest levels of deforestation (N'Guessan, 2018). For decades, the Ivorian government has taken actions to safeguard its forest areas. After gaining independence from France, the country implemented a new forest code to replace the colonial administration's code, which had been in force since 1935. In 1966, the Forest Development Company (SODEFOR), responsible for managing classified forests, was created.

Despite all these measures, the Ivorian forest continues to disappear. This degradation is primarily due to anthropogenic activities (such as agricultural activities, logging, and the harvesting of non-timber and wood forest products) and inadequate management methods implemented by SODEFOR (Zaouri, 2022). The Yaya reserve has not escaped this extensive wave of anthropization and destruction affecting Ivorian forests. The forest has undergone a significant reduction, decreasing from 20,843ha in 1960 to 12,729ha in 1999, representing a 33% reduction in its initial area (Zaouri, 2022). Various forms of degradation are evident, including cocoa plantations and pathways used to transport produce from the forest.

To compensate for the degradation of this forest, which shelters great biodiversity, the Yaya reserve had to successively change its status and management to strengthen surveillance and protection. From independence until 1992, the forest was managed by the Alépé Forestry Administration. In 1992, management was transferred to SODEFOR by Decree No. 0033/MINAGRA of February 13, 1992. In 2019, the forest came under the

management of the OIPR by Decree No. 2019-897 of October 30, 2019, which established the Mabi-Yaya nature reserve.

Despite these provisions, the forest remains vulnerable to the destructive actions of surrounding populations. According to Amani (2011), changing the status or management of a forest cannot significantly impact its conservation if the underlying causes of its degradation are not addressed.

The central question of this study is: How can the spatio-temporal dynamics of the reserve's forest cover inform effective sustainable management strategies?

To answer this question, the general objective is to contribute to the development of a sustainable management approach for the reserve, while also considering the concerns of the surrounding populations.

Specifically, the study aimed to: Highlight the spatio-temporal dynamics of the reserve's vegetation; assess the richness and composition of the flora through a floristic inventory; and propose sustainable management methods based on surveys of the local population.

Situation and Context of the Evolution of the Plant Cover of the Yaya Reserve

The Yaya reserve is located in the Southeast of Côte d'Ivoire, between northern latitudes $5^{\circ}36'00''$ and $5^{\circ}48'05''$ and western longitudes $3^{\circ}40'08''$ and $3^{\circ}25'07''$. It extends between the Comoé river to the East and the Kossan (or Tossan) river to the West, within the administrative division known as the Mé Region. Covering an area of 23,873 ha, the forest straddles the prefectures of Alépé to the South and Danguira to the North (Figure 1). The climate of the Yaya reserve, like that of its geographical area, is sub-humid and belongs to the mesophilic sector. The average annual temperature is 26.5°C , with rainfall ranging from 1,200 to 1,700 mm and humidity (SODEFOR, 2015).

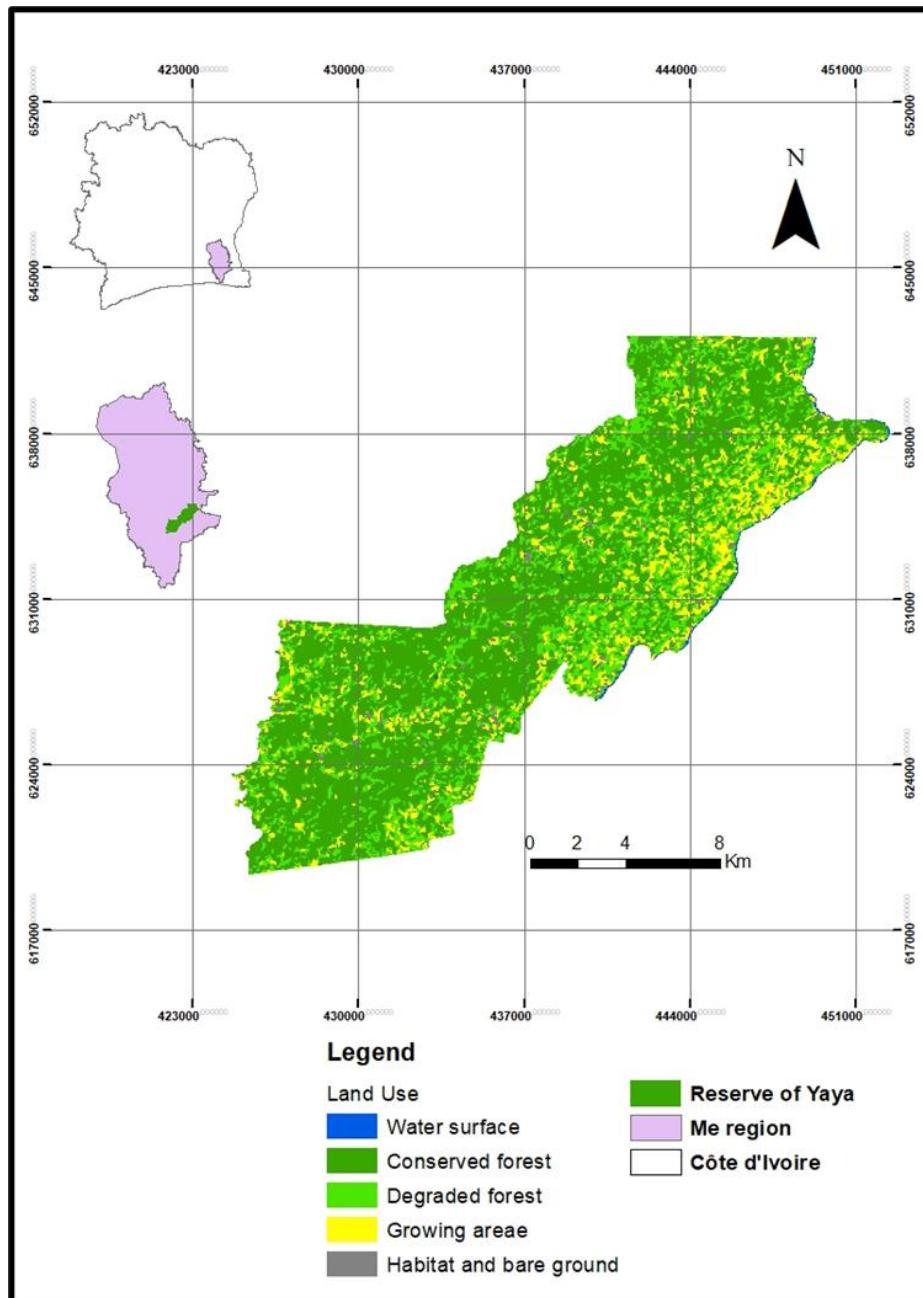


Figure 1: Location of the Yaya reserve

Over the years, this forest has faced enormous pressure owing to farming, illegal logging, and local population activities. These factors have influenced the dynamics of its vegetation, which has shrunk by 33% in the 39 years between 1960 and 1999 (Zaouri et al., 2021). However, a number of initiatives have made it possible to restore the forest while rebalancing its

biodiversity. These include the transformation of the camp base into a management unit center, the introduction of regular patrols, the informal involvement of the local population, and the conversion of the forest into a Reserve by Decree No. 2019-897 of October 30, 2019. Unfortunately, the contribution of the local population is still insufficient, even marginal.

The evolution of this forest reflects the global challenges facing tropical forests. Conservation requires ongoing supplementary efforts to ensure its long-term survival. The reserve is limited:

- to the North by the Mabi reserve (10.7 km track);
- to the South by the village of Koutoukro (conventional limit of 8km) and the Zonkokoien campment;
- to the East by the Comoé river over a length of 26 km;
- to the Southwest by the Kossan river over a length of 20 km;
- to the West by the road to Bettié, over a length of 16 km.

II. Methodology

The methodological approach adopted in this study is structured around two key elements: data collection and technical analyses.

II.1. Data Collection

In this study, three categories of data were collected: data from satellites, a floristic inventory, and interviews with local people.

Regarding the satellite data, three scenes from the LandSat satellite (1986, 2005, and 2022) were acquired from the United States Geological Survey (USGS) website (<http://glovis.usgs.gov/>). These scenes allowed for a visual appreciation of the evolution of land use classes in this forest massif. The satellite images from Landsat sensors offer spectral advantages similar to those of the SPOT sensor. They are multispectral data, with six bands for the TM sensor and eight bands for ETM+, and a spatial resolution of 30 m in multispectral mode and 15 m in panchromatic mode. They are suitable for local studies, as their footprint makes it possible to map small landscape features (0.09 ha) (Guédé, 2017).

Concerning the floristic inventory, vegetation survey sites were randomly established in floristically homogeneous vegetation units based on the land use map of the Yaya reserve and supplemented by field surveys,. For surface surveys, a plot of 100 m × 20 m (2000 m²) was delimited and marked by stakes and sisal wire. In each of the identified vegetation types, the dendrometric parameters of the different individuals were measured. Such a plot size allows for the minimum areas of plant communities to be considered (Senterre, 2005). A total of 50 rectangular plots were arranged throughout the forest during the summer. Additionally, a traveling survey was conducted,

which made it possible to identify species not inventoried during the surface surveys (Aké-Assi, 1984).

The number of plots and their layout were based on previous studies such as those of N'Guessan (2018) in the Agbo I classified forest. The topography of the land and the physiognomy of the vegetation were also taken into account. This floristic inventory allowed for the practical assessment of the forest's state of conservation through species with special status and the calculation of some reference indices.

The interviews were carried out using an interview guide. A total of 140 individuals living on the outskirts and having a direct link with the forest were interviewed. The survey was conducted using a questionnaire (Singh et al., 2003) and a guided interview. The questionnaire was designed based on the state of conservation of the forest, as determined by mapping, and the expected objectives of the study. The interviews identified the cause of landscape dynamics, the anthropogenic activities carried out in the reserve, and the solutions for sustainable management of the reserve.

The number of people interviewed follows the principle of purposive sampling, aimed at individuals with a direct relationship with the forest (e.g., plantations near or within the reserve). A total of three localities were visited: 45 people in Mopodji, 40 in Kossandji, and 55 in Zongokoi. This population significantly contributes to the degradation of the forest cover. The choice of purposive sampling is based on previous studies by researchers such as N'guessan (2021) and Eblin (2019).

II.2. Data Processing and Analysis

Regarding the processing and analysis of data from satellite images, the data went through a preprocessing phase. This involved performing an atmospheric correction, as the scenes were corrected radiometrically and geometrically. The aim of this preprocessing was to optimize the readability and expressiveness of the data in relation to the desired objectives, allowing easy interpretation and leading to better extraction of information (Guédé, 2017). This pre-processing consisted of correcting and performing an initial reflectance calibration of the data.

For each of the image channels used, corrections were made using a satellite signal stimulation model in the solar spectrum developed by the Optics and Atmosphere Laboratory (LOA). This programme predicts the satellite signal between 0.25 and 4.0 μ for a cloud-free atmosphere (Yao, 2005). The corrections take into account absorption by water vapour, carbon dioxide, oxygen, and ozone, as well as scattering by molecules and aerosols (Robin, 1998). At the end of the atmospheric correction process, images are obtained that have been partially corrected for atmospheric effects and whose reflectances have been equalised, making it possible to compare different

channels from different dates. This allows the different images to be superimposed.

After preprocessing the scenes, the study area was extracted and colored compositions were created to better discriminate between the different types of land uses. These compositions, known as "coloured compositions", display a combination of three relevant greyscale channels assigned a primary colour from the RGB (Red, Green, Blue) system used in video colour coding. This approach facilitates information extraction, as the resulting colours represent different types of land use (N'Da et al., 2008). Software such as Envi version 5.3 was used to process the images, and ArcGIS 10.8 was used to design the maps.

Maps were designed for the years 1986, 2005, and 2022 using automatic image classification based on the maximum likelihood algorithm, commonly used by researchers (Guyot, 1989; Ducrot, 2005; Barima, 2007). This method is effective for creating land use maps based on the real-world terrain.

The spatio-temporal evolution of the land cover of the Yaya reserve was primarily analyzed by comparing land cover data from different periods. The analysis of the dynamics is quantitative, allowing for the estimation of areas occupied by each land use class. After calculating the approximate areas of each class for the periods 1986, 2005, and 2022, the Global Evolution Rate (TEG) for each land use class was calculated. This rate, expressed as a percentage, is used in studies of land use dynamics to measure the evolution of land use units over time and space (Coulibaly et al., 2016).

$$T.E.G = \frac{Final\ surface\ area - Initial\ area}{Initial\ area} \times 100$$

T.E.G: Global Evolution Rate reflects an advance in land use units when positive and a loss of surface area when negative (Gude, 2017). However, the annual average spatial expansion rate estimates the evolution of the areas of each type of spatial unit per year between two periods. It also indicates the proportion of forest area lost each year in a given territory. This rate is expressed in relative value and is calculated using the following formula (Gude, 2017).

$$TESMA = \frac{\ln S2 - \ln S1}{t \times \ln e} \times 100$$

t is the number of years of evolution,

S1 and S2 are respectively the initial and final areas

ln, the natural logarithm

e, the base of natural logarithms (e = 2.71828)

Regarding the data from the floristic inventory, several parameters were considered to assess the state of conservation of the Yaya reserve. The first step was to evaluate the floristic richness, which provided insight into the variety of ecological niches on the site (Rocklin, 2003). Next, the ecological affinity of the encountered species was defined to distinguish between pioneer species (Pi), non-pioneer species, and undergrowth and shade species (Sb). This distinction aimed to evaluate the rate of disturbance of forest vegetation (Adou Yao, 2005). Finally, species with special status (threatened and/or vulnerable species) were highlighted to assess the floristic quality of the reserve (Adingra, 2017).

For the interview data, thematic content analysis and descriptive analyses were employed. This approach highlighted the factors explaining the evolution of the plant cover in the Yaya reserve and proposed solutions for the sustainable management of the forest massif. To analyse the qualitative data (from the semi-structured interviews), thematic content analysis was used. This method involves identifying themes and analysing the corpus of interviews using a cross-sectional approach rather than analyzing each interview individually (Karoui, 2012). A theme is defined as "an expression or phrase that identifies what a unit of data is about or what it means" (Saldana, 2009). It represents a focal point of the researcher's interest in relation to the issue being studied.

More specifically, thematic content analysis allows for "the identification of recurring general themes in verbal or textual expressions which appear under various more concrete contents" (Mucchielli, 1996). In other words, thematic analysis facilitates "moving from an approach centered on the coherence of each individual during fieldwork to a transversal approach centered on the thematic coherence of all the data collected" (Alami et al., 2009). This method transformed the raw data into a thematically organised corpus.

The data was organised thematically using the open coding approach. This approach involved listing all the interview transcripts and labeling (coding) all text fragments from the interviews. This process led to the construction of a thematic tree, with central themes grouping complementary and divergent themes. In summary, thematic content analysis enabled coding, classification, and categorisation of respondents' comment to analyse key issues in the stakeholders' discourse.

III. Results

III.1. Diachronic study of land use in the Yaya reserve

III.1.1. Land use classes of the Yaya reserve

The processing of satellite images identified five land use classes in the Yaya reserve: preserved forest, cultivation areas, degraded forest areas, bodies of water, and bare habitats and soils (Figure 2).

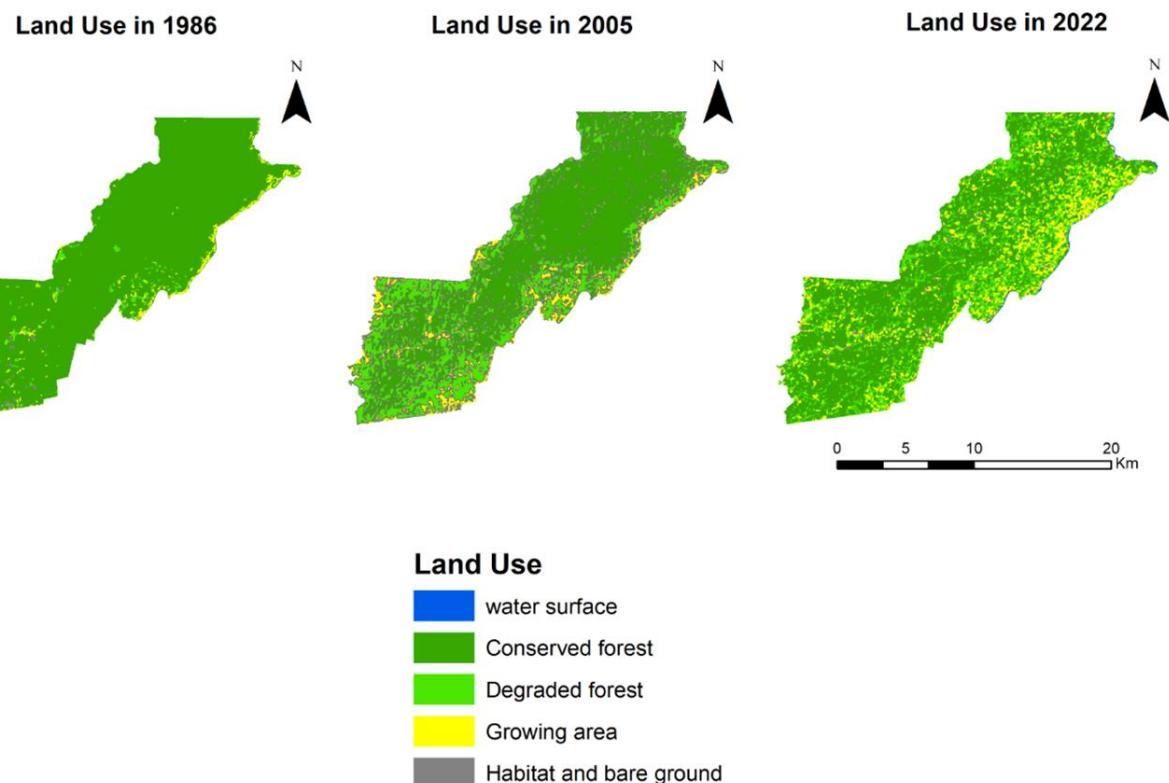


Figure 2: Land use maps of the Yaya reserve for 1986, 2005 and 2022

III.1.2. Area of land use classes in the Yaya reserve for the years 1986, 2005, and 2019

III.1.2.1. Year 1986

In 1986, the reserve's land was 86% covered by dense forest (Figure 3). This extensive dense forest indicates that, during that period, the massif was well preserved. Although the classes of degraded forest (6%), cultivation areas (4%), and bare habitats and soils (3%) were relatively small, they suggest that forest infiltration had already started. This is supported by a local resident who stated: "Before the arrival of the forestry administration, some people had fields in the forest".

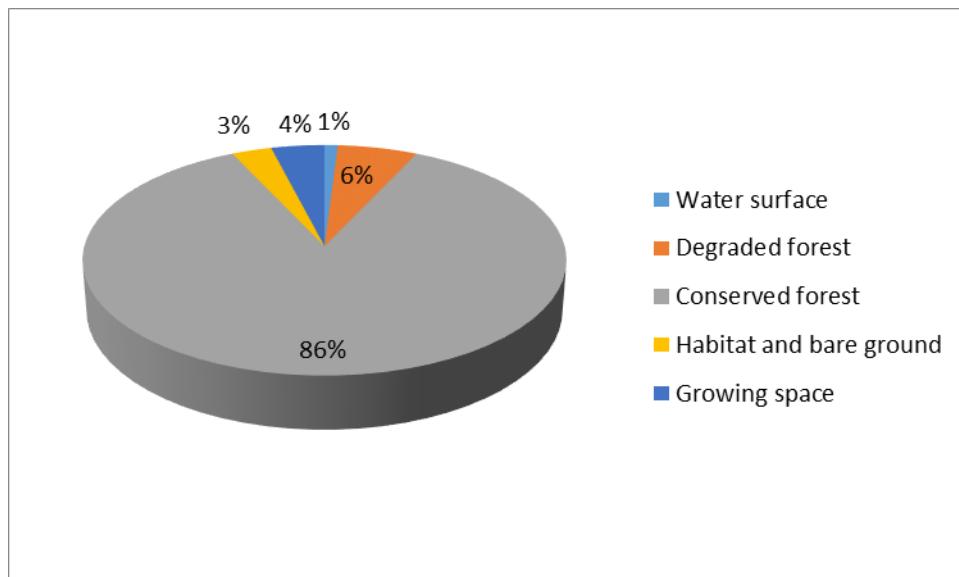


Figure 3: Spectrum of different land-use units in the Yaya Classified Forest in 1986

III.1.2.2. Year 2005

In 2005, the area of dense forest in the reserve decreased significantly. The dense forest cover fell from 86% in 1986 to 60% in 2005 (Figure 4), representing a 26% loss of vegetation cover. The areas of degraded forest and crops increased to 20% and 16%, respectively, indicating intensified infiltration and exploitation of the reserve during this period.

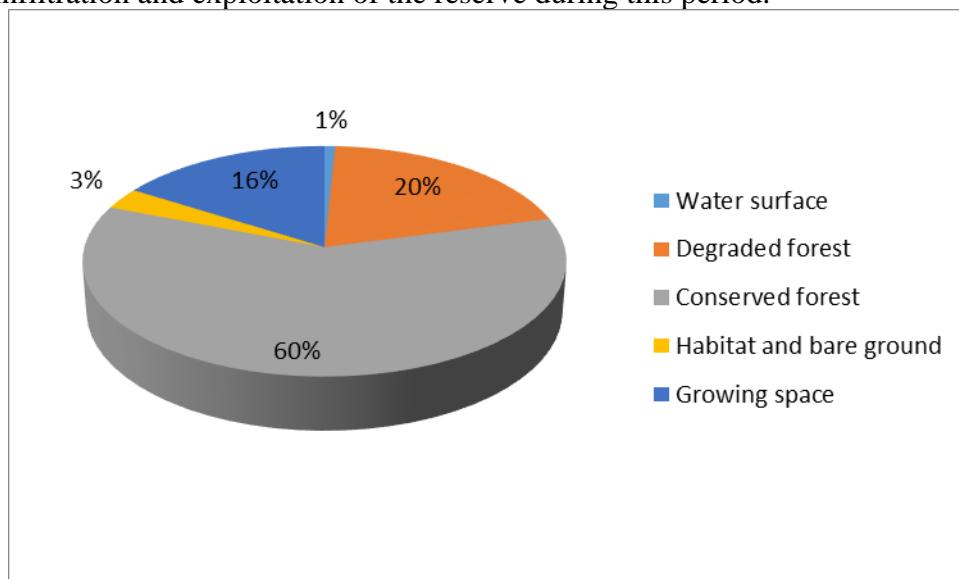


Figure 4: Spectrum of different land-use units in the Yaya Classified Forest in 2005

This significant loss of plant cover can be attributed to the political crisis in Côte d'Ivoire in 2002, which led to the abandonment of the reserve by SODEFOR agents. During this period of instability, loggers and farmers exploited the forest's resources and established agricultural concessions. A respondent's comment highlights this situation: “(...) in the year when the rebels came to Côte d'Ivoire, we noticed people had fields in the forest. We also saw a lot of logging trucks going in there.”

III.1.2.3. Year 2022

The period from 2005 to 2022 was marked by a major socio-political crisis in Côte d'Ivoire. This crisis caused forestry agents to abandon protected areas, leading to widespread plundering and agricultural infiltration. This resulted in a severe reduction in the Ivorian plant cover. Despite the serious crisis of the 1986-2005 period, which led to 26% loss in forest cover, the situation in 2022 shows an 11% recovery in plant cover (Figure 5). According to local populations, the 2011 conflict related to the post-electoral crisis favoured forest regeneration by driving non-nationals away from peripheral villages, leading to the abandonment of several plantations in the reserve. This allowed the forest to recover, as reflected in a local's statement: “(...) in 2011, when we chased foreigners from our villages, the forest recovered because the fields of these foreigners remained in the bush (...).”

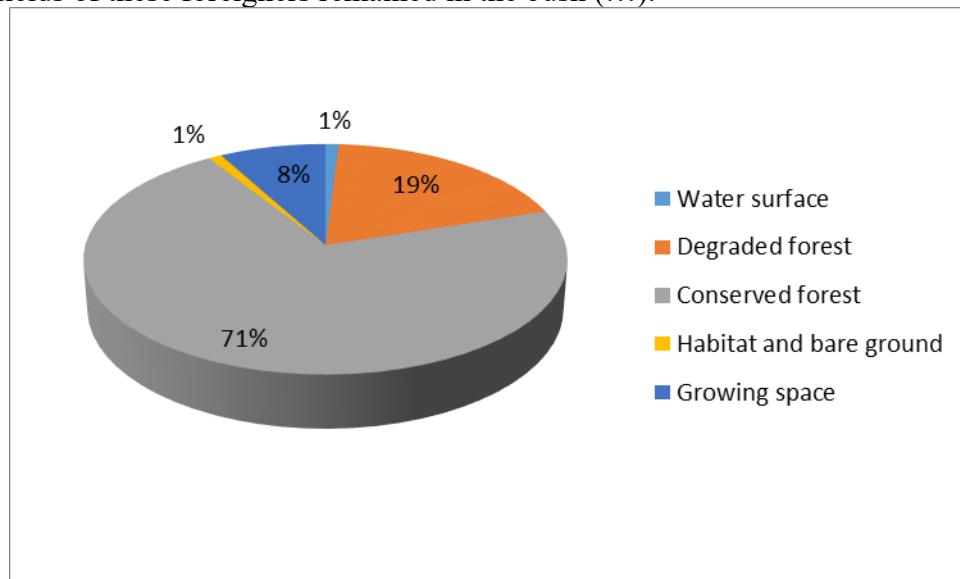


Figure 5: Spectrum of different land-use units in the Yaya 2022 classified forest

In addition, the management measures implemented by SODEFOR after the post-electoral crisis, which included increasing surveillance through regular patrols, led to the destruction of several plantations. Enhanced

monitoring also forced many infiltrators to abandon their concessions within the reserve, contributing to the forest's regeneration and increasing forest cover from 60% in 2005 to 71% in 2022.

III.1.3. Dynamics of Each Land Use Class

The land use classes experienced fluctuations in their surface areas during the different periods of the study (Table I). From 1986 to 2005, the land under cultivation increased remarkably by 305%. Furthermore, the degraded forest area expanded by 224.70%. This expansion was at the expense of the conserved forest area, which lost 267% of its initial surface area. During this period, the average annual spatial expansion rate of the cultivation area was 8.09%, while the conserved forest area lost 0.093.80% of its surface area per year.

Table 1: Evolution of land use and global changes in the Yaya Classified Forest from 1986 to 2022

| | | | Land use classes | | | | |
|--|-----------|----|------------------|--------|---------|----------|---------|
| | | | OS1 | OS2 | OS3 | OS4 | OS5 |
| Surface area of occupancy classes per year | 1986 | Ha | 153,47 | 657,20 | 951,41 | 20843,90 | 1484,05 |
| | | % | 1 | 3 | 4 | 86 | 6 |
| | 2005 | Ha | 115,36 | 600,20 | 3854,49 | 14454,31 | 4818,82 |
| | | % | 0,8 | 3 | 16 | 60 | 20 |
| (TEG) | 2022 | Ha | 151,95 | 236,03 | 1934,44 | 17168,17 | 4594,30 |
| | | % | 1 | 1 | 8 | 71 | 19 |
| | 1986-2005 | % | -24,83 | -8,67 | 305,23 | -30,65 | 224,70 |
| | | % | -0,994 | -64,08 | 103,32 | -17,63 | 209,57 |
| TESMA | 2005-2022 | % | 31,71 | -60,67 | 49,81 | 18,77 | -4,65 |
| | | % | -2,19 | -0,69 | 7,89 | 0,09 | 8,09 |
| | 1986-2022 | % | -0,03 | -3,20 | 0,01 | -0,05 | 0,031 |
| | | % | 1,44 | -4,92 | -0,04 | 0,9 | 0 ,002 |

Legend: ha: hectare; %: Percentage; OS1: Stretch of water; OS2: Habitats and bare soil; OS3: Cultivated areas; OS4: Conserved forest; OS5: Degraded forest; TEG: Overall rate of change; TESMA: Average annual spatial expansion rate.

The second period (2005 to 2022) was more favourable for the forest, with an overall rate of change of 18.77% in the conserved forest area. Cultivated areas and degraded forest areas lost 60.67% and 4.65% of their initial areas, respectively. During this time, the conserved forest area gained 0.9% of its surface area each year, while the cultivated and degraded forest areas decreased. Given the current percentage of forest cover (67%) in the Yaya reserve, it can be stated that this forest contains numerous floristic

resources, as observed through a floristic inventory detailed in the following section.

III.2. Floristic Inventory in the Yaya reserve

III.2.1. Floristic Richness

The woody floristic richness of the Yaya reserve is estimated at 167 woody species, classified into 134 genera and distributed among 47 families. The total number of woody species inventoried varies across different plant formations (Table II). The dominant families are Fabaceae, Malvaceae and Euphorbiaceae.

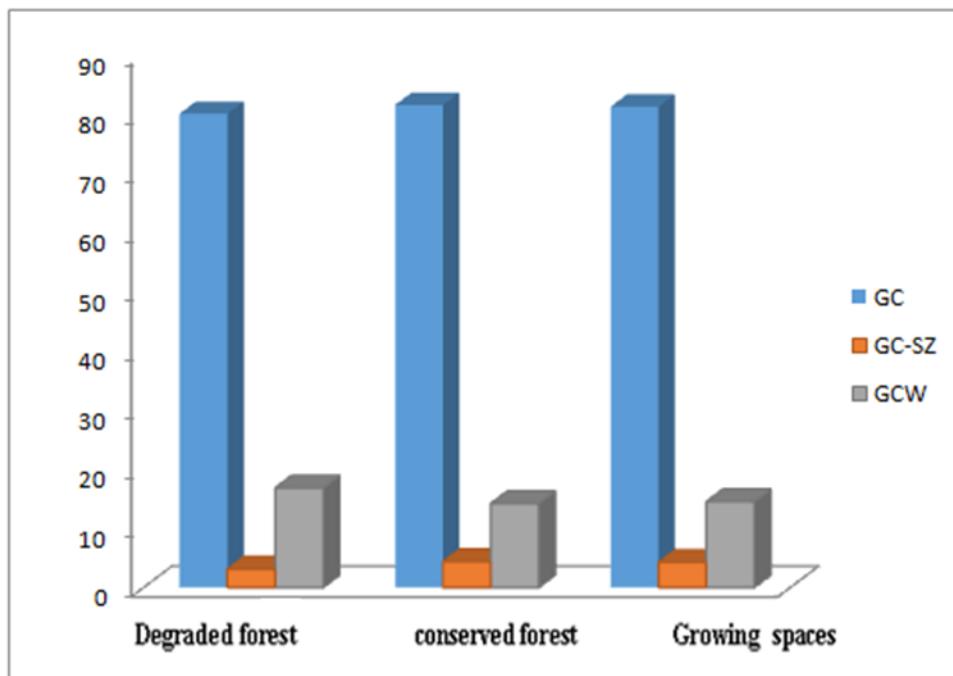
Table 2: Floristic richness and mean values of species richness (SF) of the different forest types in the Yaya Classified Forest

| | Types of vegetation | Specific richness | Number of types | Number of families | average specific richness |
|-----------------|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| All individuals | Degraded forest | 95 | 82 | 35 | $47,5 \pm 1,48^a$ |
| | Conserved forest | 162 | 130 | 47 | $52,33 \pm 5,42^a$ |
| | Reforested cultivated area | 117 | 99 | 39 | $55,83 \pm 3,83^a$ |

III.2.2. Ecological Affinity

Guineo-Congolese (GC) species are strongly represented, comprising more than 70% of the species throughout the Yaya reserve (Figure 6). In the conserved forest zone, they represent 95.67% of the species, compared to 4.32% for those transitioning between the Guinea-Congolese and Sudano-Zambezian zones. In areas of degraded forest, GC species represent 96.84%, while 95.72% of the species in other areas are GC, compared to 4.27% of the Guineo-Congolese and Sudano-Zambezian transition species.

Figure 6: Proportions of chorological affinities in the different vegetation types of the Yaya Forest



Legend: GC: Guineo-Congolese species, GC-SZ: species from the transition zone between the Guineo-Congolese and Sudano-Zambezian regions; GCW: West African endemic species.

III.2.3. Species with Special Status

Among the species recorded in the Yaya Classified Forest, 24 species (14% of the species richness) are endemic to West African GCW. Analysis of the general list of woody species shows that 21 species (12.42%) appear on the IUCN red list (2020). Among these, 15 species have a conservation status and fall into the vulnerable category (Table III).. The floristic list of the forest also includes 4 species (2.36%) listed on Aké-Assi (1984) list of Rare Plants Endangered: *Garcinia afzelii* Engl, *Garcinia kola* Heckel, *Gilletiodendron kisantuense* (Vermoesen ex de Wild.) J. L, and *Milicia excelsa* (C. C. Berg). In summary, the floristic richness, ecological affinity, and numerous species with special status indicate that the Yaya reserve has exceptional biodiversity that should be preserved sustainably. However, the percentages of cultivation space (8%) and degraded forest (19%) indicate that this protected area is still under threat from local populations. To achieve sustainable conservation, several proposals have been described by local populations.

Table 3: List of special-status species recorded in the Yaya reserve.

| N 0 | SPECIES | Families | Chorological affinities | UICN (2020) | Aké ASSI (1998) |
|--------|---|-----------|----------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | <i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) | Fabaceae | GC | LC | |
| | | Rhizopho | | | |
| 2 | <i>Anopyxis klaineana</i> (Pierre) Engl. | raceae | GC | LC | |
| | <i>Antrocaryon micraster</i> A.Chev. & | Anacardi | | | |
| 3 | Guill. | aceae | GC | VU | |
| 4 | <i>Baphia nitida</i> Lodd. | Fabaceae | GC | LC | |
| 5 | <i>Copaifera salikouna</i> Heckel | Fabaceae | GCW | VU | |
| | | Boragina | | | |
| 6 | <i>Cordia platythyrsa</i> Bak. | ceae | GCW | VU | |
| | <i>Entandrophragma angolense</i> | Meliacea | | | |
| 7 | (Welw.) | e | GC | VU | |
| | | Clusiace | | | |
| 8 | <i>Garcinia afzelii</i> Engl. | ae | GC-SZ | VU | PRE |
| | | Clusiace | | | |
| 9 | <i>Garcinia Kola</i> Heckel | ae | GC | | PRE |
| 1 | <i>Gilletiodendron kisantuense</i> | | | | |
| 0 | (Vermoesen ex de Wild.) J. L | Fabaceae | GC | | PRE |
| 1 | | Sapotace | | | |
| 1 | <i>Glumea ivorensis</i> Aubrév. et Pellegr. | ae | GC | VU | |
| 1 | | Meliacea | | | |
| 2 | <i>Guarea cedrata</i> (A. Chev.) Pellgr. | e | GC | VU | |
| 1 | <i>Guarea thompsonii</i> Sprague et | Meliacea | | | |
| 3 | Hutch. | e | GC | VU | |
| 1 | | Meliacea | | | |
| 4 | <i>Khaya ivorensis</i> A. Chev. | e | GC | VU | |
| 1 | | Ochnacea | | | |
| 5 | <i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn. f. | e | GC | VU | |
| 1 | | | | | |
| 6 | <i>Milicia excelsa</i> (C. C. Berg) | Moraceae | GC | LR/nt | PRE |
| 1 | <i>Mitragyna ledermannii</i> (K. Krause) | Rubiacea | | | |
| 7 | Ridsdale | e | GC | VU | |
| 1 | <i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. & T. | Rubiacea | | | |
| 8 | Durand) Merr. | e | GC | VU | |
| 1 | <i>Placodiscus</i> | Sapindac | | | |
| 9 | <i>bancoensis</i> Aubrév&Pellegr | eeae | GC | VU | |
| 2 | | Malvacea | | | |
| 0 | <i>Pterygota bequaertii</i> de Wild. | e | GC | VU | |
| 2 | | Combretac | | | |
| 1 | <i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev. | ceae | GC | VU | |

Legend: GCW = West African endemic species; GC-SZ = Taxon from the transition zone between the Guinéo-Congolese and SoudanoZambezian regions; VU = Vulnerable; LC = Least Concern; LR /nt= Low Risk; PRE= Rare Plant in danger of Extinction

III.3. Proposals for Sustainable Management of the Yaya Reserve

Interviews with the populations revealed three key proposals for the sustainable management of the Yaya reserve: materialization of the reserve

boundaries, relocation of populations outside the buffer zone, and involvement of peripheral populations in reserve management (Table IV).

Table 4: Population proposals for sustainable forest management

| Respondents' suggestions | Proportions (%) |
|--|-----------------|
| Marking the boundaries of the forest | 46 |
| Involving local people in management | 60 |
| Relocating populations outside the buffer zone | 55 |

III.3.1. Materialization of the Boundaries of the Yaya Reserve

The materialization of boundaries is crucial for controlling and monitoring a resource, as it allows both managers and populations to know the limits. This removes ambiguities between the protected area and the rural environment. At the Yaya reserve, there is controversy between locals and non-locals over the boundaries of the reserve. Locals blame non-locals for having their cocoa plantations within the reserve perimeter, while the latter believe their agricultural concessions are in the rural environment. This situation highlights the need for clearly marked boundaries to prevent infiltration and avoid conflicts between managers and populations over the reserve's boundaries.

III.3.2. Relocation of Populations Outside the Buffer Zone

In the effective management strategy of a protected area, the buffer zone is essential, as it keeps populations at a reasonable distance from the protected site. At the Yaya reserve, the presence of camps is noted about one meter from the forest. As evidenced by a local person who states:

“(...) here, we have non-locals who live less than a meter from the forest. As long as they are at this distance from the forest, they will continue to degrade the forest by creating plantations and by cutting down tree species.”

This statement indicates that the presence of populations in the buffer zone poses a risk to the forest's survival. To avoid this situation, it would be wise to relocate all the populations living in this area to the outlying villages to prevent infiltration of the reserve.

III.3.3. Involvement of Populations in the Management of the Yaya Reserve

Monitoring is the essential element in the management of a protected area, guaranteeing the sustainability of the resource when carried out rigorously. At the Yaya reserve, although surveillance patrols deter agricultural colonization of the forest, there is a noted weakness in the management unit staff (7 agents) who struggle to cover the entire protected space.

This situation constitutes a flaw in the management strategy and makes monitoring ineffective, leading to the observation of cocoa plantations in several forest areas. To compensate for this deficit, the populations, particularly the indigenous people, propose to be involved in management through the establishment of village committees to monitor the reserve in all the peripheral villages. Since the locals do not have any plantations in the reserve, the creation of these committees would likely help resolve the surveillance problem.

IV. Discussion

The Yaya reserve is an Ivorian forest that has evolved from the status of a simple forest to that of a classified forest and then to a reserve. This change in status is linked to its exceptional wealth, state of conservation, and the government's new national policy. Facing the reduction in the country's forested areas, the Côte d'Ivoire government adopted a policy May 23, 2018, to preserve, rehabilitate, and extend its forests, making the future of Côte d'Ivoire's forests a priority (MINEF, 2019).

According to the inventory carried out, the woody floristic richness of the Yaya reserve is estimated at 167 woody species, classified into 134 genera and 47 families. These results establish an initial outline of the woody floristic catalogue for the area. The dominant families are Fabaceae, Euphorbiaceae, and Malvaceae. These families are very common in most forests in Côte d'Ivoire and forests in Sonké, Africa (1998). There are also several species with special status, comprising 24 species endemic to the West African zone. Twenty-one species of this forest are listed on the IUCN red list (2020). The high rate of endemism and the high percentage of species with special status leads to the conclusion that this forest has not lost its specificity and is well conserved (White, 1983). However, the degraded surface area comprising 32% (22% degraded forest, 9% cultivation space, and 1% habitat and bare soil) indicates that the forest's wealth is under threat from populations infiltrating it for the establishment of perennial crops, primarily cocoa. This activity involves clearing land, which reduces plant cover.

Konan et al. (2006) highlight that anthropogenic activities, specifically agriculture and logging, are responsible for the decline in forest areas in Côte d'Ivoire. This view is supported by Balac (2000) whose study indicates that cocoa cultivation has contributed to the deforestation of Côte d'Ivoire's pioneer fronts. In response, the Ivorian government adopted a Forest Preservation, Rehabilitation, and Extension Policy (PPREF) in 2018, aiming to restore national forest cover to at least 20% by 2030 (MINEF, 2019).

Local populations identify three essential reasons for the agricultural colonization of this protected area: the presence of certain communities in the buffer zone, the lack of clear boundaries for the reserve, and the exclusion of

local populations from management and surveillance strategy. These reasons highlight management flaws in the reserve, which have been noted by several authors, including Eblin and Goulin (2022), Pétanhangui et al. (2022), Goh (2015), and Amani (2011), who link forest degradation in Côte d'Ivoire to shortcomings in the management system.

To address these management challenges and achieve sustainable and effective management, local populations near the Yaya reserve have proposed three major solutions. Constantin (1998) argues that when communities are excluded from forest management, they may undermine the management efforts, while Eblin et al. (2022) suggest that lack of involvement leads to actions opposing conservation efforts.

The growth of the surrounding population, particularly in Zongokoi, contributes to the sprawl into forested areas close to the reserve, leading to artificialization of the landscape over time. Protecting agricultural land and forest biodiversity remains a significant concern for the Ivorian government (MINEF, 2019).

Currently, the forest is relatively well-preserved and continues to provide timber and non-timber forest products to local populations (Zaouri, 2022). However, its ability to continue offering these benefits is uncertain due to the increasing population pressure and the shortcomings in its management. Although government measures and increased patrolling may reduce some constraints, the future of Côte d'Ivoire's forests remains uncertain and potentially bleak.

Despite significant progress, the technical and organisational frameworks for forest management are not yet consolidated. Given these technical, organizational, and legal issues, establishing a public action strategy is crucial. Participatory management emerges as a promising alternative that could be effectively developed and implemented to protect the remaining forest areas.

The hypotheses clearly shows that actively involving local communities in the sustainable exploitation of forest resources will improve living standards and help preserve the forest from exploitative practices. A participatory approach allows local populations to benefit sustainably from the forest through a contract based on a management plan signed with the State. To ensure equitable benefit-sharing, the legal and institutional framework must be transparent and involve clear agreements between the parties involved.

Conclusion

This study demonstrates that the Yaya reserve, prior to its status change from a classified forest in 1992 to a reserve in 2019, experienced significant alterations in its vegetation cover between 1986 and 2022. The

dense (well-preserved) vegetation cover decreased from 86% in 1986 to 60% in 2005, before increasing to 71% in 2022. Several factors contribute to this trend. The military-political crises of 1999 and 2002, along with the post-electoral crises of 2010, led to the abandonment of the reserve by forestry officials.

Consequently, the forest was colonised by farmers, and its wood resources were plundered, resulting in a 36% loss of vegetation cover in 2005. By 2022, the forest had regained 11% of the area lost in 2005. This regeneration is linked to the departure of foreign communities from indigenous villages following the indigenous-foreign conflict related to the 2010 post-electoral crisis, as well as to deterrent patrols and the destruction of crops conducted by forestry officers in response to the post-electoral crisis.

To ensure the long term preservation of this reserve, it is important to involve local populations in its management by setting up village monitoring committees, relocate communities living within the buffer zone, and clearly demarcate the reserve's boundaries to make them visible to both local residents and managers.

Acknowledgements: Z.B.G.J-M. collected and analyzed the floristic data, G. C. M. designed the land use maps, and E.M. conducted the field surveys and analyzed the survey data. We extend our gratitude to the populations of the villages of Kossandji, Mopodji, and the inhabitants of the Zongokoi encampment, who kindly answered our often-embarrassing questions. Special thanks to Mr. Assi, the village chief of Mopodji, for accommodating us during the field phase.

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

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

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

References:

1. Adingra M.M.A.O. (2017). Population dynamics and carbon stock in the vegetation mosaic of the Bamo classified forest (Ivory Coast). Doctoral thesis, Félix Houphouët-Boigny University, Ivory Coast, 158 p.
2. Adou Yao, Y. C. (2005). Farmer practices and dynamics of biodiversity in the Monogaga classified forest (Ivory Coast). Single Doctoral thesis, Men, Natures, Societies department, MNHN, Paris, 233 p.

3. Aké-Assi, L. (1984). Flora of Côte d'Ivoire: descriptive and biogeographic study, with some ethnobotanical notes. Doctoral thesis, National University of Abidjan (Ivory Coast), 1206 p.
4. Alami, S., Desjeux. D., & Garabau-Moussaoui, I. (2009). Qualitative methods, Paris, PUF, collection What do I know?
5. Amani, Y. C. (2011). Logics of peasant infiltrations in forests classified as Ivory Coast, European Journal of Scientific Research, 66 (1), pp. 143-152.
6. Balac, R. (2000). Predatory pioneer economies of the forest environment: the case of the plantation economy in Ivory Coast, Human Ecology Society, pp.429-438.
7. Barima, Y.S.S. (2007). Landscape dynamics of a forest-savanna transition zone in the department of Tanda in eastern Côte d'Ivoire. DEA dissertation, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 65 p.
8. Constantin, F. (1998). "Nihil novisub sole". No shortcut to ecological efficiency: from hegemonic and elitist domination to popular participation, Pan-African Conference on Community Management of Natural Resources and Sustainable Development, Harare, Zimbabwe (June 24-27) 1996.
9. Coulibaly, L., Kouassi, K. H., Soro, G. E., & Savane, I. (2016). Analysis of the savannization process in northern Côte d'Ivoire by remote sensing: Case of the Ferkessédougou department. International Journal of Innovation and Applied Studies, 17 (1): 136.
10. Ducrot, D. (2005). Methods for analysing and interpreting multisource remote sensing images. Extraction of landscape characteristics. Research dissertation. INP, Toulouse, France. 216 p.
11. Éblin, M. O. (2019). Socio-economic and ecological issues of illegal immigration of West African nationals into the Niégré classified forest. Doctoral thesis in anthropology, Félix Houphouët-Boigny University, 258 p.
12. Eblin, M. O. & Goulin, A. B. (2022). Failure of the management systems of the Niégré classified forest at the root of its infiltration by the populations, Ivorian Journal of Sociology and Social Sciences, vol 6 number 9- 2nd quarter 30 June 2022, pp88-101
13. Eblin, M. O., Yeo, P. A., Amani, Y. C., & Yoro, M. B. (2022). Networks for the settlement of West African nationals in the classified forest of Niégré (southwest of the Ivory Coast), Revue Africaine d'Anthropologie Nyansa-Pô, (27). pp. 191-206.
14. Guédé, C. M. (2017). Characterization and monitoring of land use by remote sensing and Geographic Information System in tropical environments: the example of the Broken Forests of Dassioko and Port-Gauthier and the Fresco mangrove in the South-West of the Ivory

- Coast. Doctoral thesis from Félix Houphouët-Boigny University, Ivory Coast, 199 p.
15. Goh, D. (2015). The Marahoué National Park: from the logic of conservation to logic of predation, European Scientific Journal edition, 11 (8), pp. 226-241.
 16. Guyot, G. (1989). Spectral signatures of natural surfaces. Satellite remote sensing, n 5, Paradigme, Caen, 178 p.
 17. Kangah, A. (2006). Use of remote sensing and a Geographic Information System (GIS) for the study of anthropogenic pressures on the geomorphological landscapes of the sub-Sudanese savannahs: example of the square degree of Katiola (Central-North Ivory Coast). Doctoral thesis from the University of Cocody-Abidjan, Ivory Coast, 186 p.
 18. Karoui, M. (2012). Visibility of social capital through social media: Case studies on the social dynamics of the appropriation of a Social Network Analysis tool, Doctoral thesis in management science, School Centre Paris, 231p
 19. Konan, K. E., Kangah, A., & Atta, J-M. K. (2006). Anthropogenic factors and land-use dynamics in the Comoe National Park, in Côte d'Ivoire. Journal of Geography of the University of Ouaga I Pr KI ZERBO, 05 (2) PP 152-166.
 20. MINEF (2019). Waters and forest Magazine. <https://Waters-and-forests.gouv.ci/communique/> conservation-rehabilitation-and-extension-of-drills-policy
 21. Mucchielli, A. (1996). Dictionary of qualitative methods in the humanities and social sciences, Paris: Armand Colin.N'DA D.H., N'GUESSAN K.É., ÉGNANKOU W.M. et
 22. Kouadio, A. (2008). The contribution of remote sensing to monitoring deforestation in the Marahoué National Park (Côte d'Ivoire). Remote Sensing, 8(1): 17-34
 23. N'guessan, A. E. (2018). Vegetation dynamics and factors for reconstitution of biomass in secondary forests: case of the Agbo 1 classified forest (south-east of the Ivory Coast). Doctoral thesis. Félix Houphouët-Boigny University (Ivory Coast), 221 p.
 24. N'Guessan, K. (2021). The use of information and communication technologies (ICT) in school administration in Côte d'Ivoire". International Journal of Multidisciplinary Research and Studies (RIREP), University of Abidjan. pp95- 112.
 25. Pétahanhangui, A., Yeo, A. B., Goulin, M. O., Eblin, M. O., & Yoro, B. (2022). Knowledge, Attitudes and Practices (KAP) of farming populations involved in infiltration of the Dassioko classified forest, Espace Africains magazine -ISSN :2957-9279, pp93- 109.

26. Rocklin, D. (2003). Comparative study of different diversity indices (Shannon index, taxonomic indices) on lagoon fish populations. Master's degree in Population and Ecosystem Biology. University of Montpellier II. 48p.
27. Robin, M. (1998). The remote sensing. Nathan, Paris, 318 p
28. Sablayrolles, P., Kibler, J. F., & Castellanet, C. (2006). Towards a new forest policy in the Brazilian Amazon? innovative experiences in the para and Amazonas. FlorestaViva. 22p.
29. Senterre, B. (2005). Methodological research for the typology of vegetation and phytogeography of conserved forests in tropical Africa. Doctoral thesis, Université Libre de Bruxelles (Belgium), 343 p.
30. SODEFOR (2015). Yaya classified forest management plan (2015-2024), 128p.
31. Sonké, B. (1998). Floristic and structural study of the forests of the Dja Faunal Reserve (Cameroun). Doctoral thesis, Université Libre de Bruxelles, 267 p.
32. Singh, S., Dixit, R. D., & Sahhu, T. R. (2003). Some medicinaly important ptéridophytes of central India. Int. Journ. Of Forestery Uduf. Management, 4, 2: 41-51.
33. IUCN (2020). IUCN (International Union for the Conservation of the Nature). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. [Online] Available: www.iucnredlist.org. Accessed on 09/14/2022 at 10 a.m.
34. White, F. (1983). The vegetation of africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO AETFAT-UNSO vegetation map of Africa. Natural resources research, 20, UNESCO, Paris (France), 356 p.
35. Yao, T. B. (2005). Climate, socio-economic changes and landscapes in Côte d'Ivoire. Dissertation on scientific activities. Université des Sciences et Technologies de Lille. 226 p.
36. Yeo, P., Goulin, AB., Ebliin, M. O., & Yoro, B. (2022). Knowledge, Attitudes and Practices (KAP) of the peasant populations involved in the infiltration of the classified forest of Dassioko, Revue EspaceAfricains-ISSN: 2957-9279, pp93-109
37. Zaouri, B. G. J-M. (2022).Vegetation dynamics and characterization of the flora of the Yaya classified forest (southeast of the Ivory Coast). Doctoral thesis. Félix Houphouët-Boigny University (Ivory Coast), 183 p.
38. Zaouri, B. G. J-M., Guede, C. M., Soro, K., & Soro, D. (2021). Spatio-temporal study of the Yaya classified forest in the department of Alépé, Ivoirian Journal of Science and Technology (REVIST)_ISSN :1813-3290, (38), p77-89.

Tumeurs primitives de la fosse ischiorectale : Diagnostic et traitement à propos de 07 observations à Abidjan

Konan K.I.P.

Anoh N.A.

Chirurgie digestive et proctologie, CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

Ehui A.Y.

Service d'anatomie pathologie, CHU de Cocody, Côte d'Ivoire

Oddo B.A.

Touré L.

Service de cancérologie médicale du CHU de Treichville Assistant Chef de Clinique

Kouadio N.L.

Chirurgie digestive et proctologie, C H U de Treichville, Côte d'Ivoire

Vamoussa D.

Adama S.

Service de Chirurgie Digestive et proctologique CHU de Treichville

Kouadio K.G.

Chirurgie digestive et proctologie, CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p174](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p174)

Submitted: 20 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 23 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Konan K.I.P., Anoh N.A., Ehui A.Y., Oddo B.A., Touré L., Kouadio N.L., Vamoussa D., Adama S. & Kouadio K.G. (2024). *Tumeurs primitives de la fosse ischiorectale : Diagnostic et traitement à propos de 07 observations à Abidjan*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 174. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p174>

Résumé

But : Le but de cette étude était de rapporter les aspects diagnostics et les résultats de la prise en charge des tumeurs primitives de la fosse ischio rectale. **Patients et méthode :** Il s'agissait d'une étude transversale à collecte de données rétrospective étalée de février 2019 à décembre 2023 dans le service de Chirurgie digestive et proctologique du CHU de Treichville. Nous avions étudié, les manifestations cliniques, les moyens diagnostiques, et les résultats du traitement chirurgical. Ont été inclus dans l'étude, les dossiers des malades suivis pour une tumeur primitive de la fosse ischio-rectale.

Résultats : Nous avions colligé sept (7) patients pris en charge pour tumeurs primitives de la fosse ischio-rectale. Il s'agissait de 4 femmes et 3 hommes. L'âge moyen était de 48,8 ans, la médiane était de 50 ans et un écart-type de 14,4. Une prédominance féminine avec un sex ratio de 1, 33. Le motif de consultation était dominé par la proctalgie (n=3) qui était associée à une dyspareunie dans 2 cas. L'examen physique retrouvait une masse para-anale dans 4 cas. L'anorectoscopie était peu contributive. L'IRM demeurait le maître examen. L'histologie était en faveur des tumeurs malignes chez 4 patients. La résection chirurgicale était la règle et la voie périnéale antérieure était la voie d'abord principale. L'évolution Après recul de 4 ans, était marquée par 04 patients vivants en bonne santé apparente sans poursuite ni récidive tumorale. **Conclusion :** La tumeur de fosse ischio-rectale est une tumeur rare. L'expression clinique dépend du stade de la maladie. La tumeur maligne a dominé dans cette série. La résection chirurgicale périnéale antérieure est possible. L'imagerie par résonnance magnétique devrait être systématique devant toute proctalgie d'adulte.

Mots-clés: Proctalgie, tumeur, fosse ischio-rectale , chirurgie digestive et proctologique Abidjan

Primary Tumors of the Ischiorectal Fossa: Diagnosis and Treatment Based on 7 Observations in Abidjan

Konan K.I.P.

Anoh N.A.

Chirurgie digestive et proctologie, CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

Ehui A.Y.

Service d'anatomie pathologie, CHU de Cocody, Côte d'Ivoire

Oddo B.A.

Touré L.

Service de cancérologie médicale du CHU de Treichville Assistant Chef de Clinique

Kouadio N.L.

Chirurgie digestive et proctologie, C H U de Treichville, Côte d'Ivoire

Vamoussa D.

Adama S.

Service de Chirurgie Digestive et proctologique CHU de Treichville

Kouadio K.G.

Chirurgie digestive et proctologie, CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

Abstract

Purpose: The aim of this study was to describe the diagnostic aspects and results of the management of primary tumors of the ischio-rectal fossa.

Patients and method: This was a cross-sectional study with retrospective data collection spread from February 2019 to December 2023 in the digestive and proctological surgery department of the Treichville University Hospital. We studied the clinical manifestations, the diagnostic means, and the results of surgical treatment. The files of patients followed for a primary tumor of the ischiorectal fossa were included in the study. **Results:** We collected seven (7) patients treated for primary tumors of the ischiorectal fossa. There were 4 women and 3 men. The mean age was 48.8 years, the median was 50 years, and the standard deviation was 14.4. A female predominance with a sex ratio of 1.33. The reason for consultation was dominated by proctalgia (n=3) which was associated with dyspareunia in 2 cases. Physical examination revealed a para-anal mass in 4 cases. Anorectoscopy was of little help. The MRI remained the master examination. Histology was in favor of malignant tumors in 4 patients. Surgical resection was the rule and the anterior perineal route was the main approach. The evolution after 4 years, was marked by 04 living patients in apparent good health without continuation or tumor recurrence. **Conclusion:** Ischiorectal fossa tumor is a rare tumor. The clinical expression depends on the stage of the disease. The malignant tumor dominated in this

series. Anterior perineal surgical resection is possible. Magnetic resonance imaging should be systematic for any adult proctalgia.

Keywords: Proctalgia, tumor, ischiorectal fossa, digestive and proctological surgery Abidjan

Introduction

La fosse ischio-rectale (FIR) est une zone anatomique cylindrique et profonde, comprise entre le releveur de l'anus et le muscle obturateur interne. Elle contient les éléments cellulo-graissieux les lymphatiques et les vaisseaux (Arbelo,2016 Semlali,2016). Les tumeurs de la FIR sont rares. Elles sont dominées par les tumeurs secondaires ou localement avancées des structures de voisinage (Arbelo,2016 Semlali,2016). Cependant, des cas rares isolés de tumeurs primitives de la FIR ont été rapportés dans la littérature (Filho, 2016). Ces tumeurs sont le plus souvent bénignes mais certains cas de malignité ont été découverts (Arbelo,2016). Elles sont caractérisées par leur évolution clinique lente et par des signes non spécifiques (Arbelo,2016 Semlali,2016 Filho, 2016). Le diagnostic est souvent tardif. Le traitement est essentiellement chirurgical. La voie d'abord est multiple et il n'y a pas de consensus (Arbelo,2016 Filho, 2016). C'est ce constat qui a motivé la réalisation de ce travail dont le but était de décrire les manifestations cliniques de ces tumeurs primitives de la FIR, les moyens diagnostiques, ainsi que le traitement et l'évolution.

Patients et méthode :

Nous avons réalisé une étude transversale rétrospective au service de chirurgie digestive et proctologique du CHU de Treichville pendant la période de février 2019 à décembre 2023. Les dossiers des patients de deux sexes âgés de plus de 16 ans et opérés pour tumeurs primitives de la fosse ischio-rectale étaient inclus dans l'étude. Les carcinomes épidermoïdes, condylomes de l'anus ainsi que les dossiers des malades opérés sans comptes rendu opératoires n'étaient pas inclus dans cette série. Les manifestations cliniques, les facteurs favorisants, les moyens diagnostiques et les résultats du traitement chirurgical étaient décrits. L'abord par voie périnéale antérieure était la technique principale. Il s'agissait d'une incision directement en regard de la masse, avec la possibilité de prolongation de l'incision entre la grande lèvre et l'arcade crurale. Le malade étant installé en position de la taille. Nous abordons directement la masse, après avoir franchi la peau l'on accédait à la coque de la tumeur et la mobilisation était plus aisée avec un meilleur contrôle des vaisseaux pelviens.

Résultats :

Pendant la période de l'étude, nous avons traité 28 patients pour tumeur du périnée. Parmi lesquels 16 étaient des carcinomes épidermoïdes de l'anus, 07 étaient des condylomes de l'anus et 7 étaient des tumeurs primitives de la fosse ischio-rectale soit 25% des tumeurs du périnée. Il s'agissait de 4 femmes et 3 hommes. Parmi les femmes 3 étaient en ménopause. L'âge moyen était de 48.8 ans avec les extrêmes de 21 à 65 ans, la médiane était de 50 ans et un écart-type de 14,4.

Les aspects cliniques

Les motifs de consultations des patients étaient représentés dans le tableau 1 comme suit :

Tableau I : répartition des patients selon le motif de consultation

| Motif de consultation | Effectifs | Pourcentages |
|-----------------------|-----------|--------------|
| Proctalgie | 03 | 42,9% |
| Masse périnéale | 03 | 42,9% |
| Suppuration périnéale | 01 | 14,2% |
| Total | 07 | 100% |

La proctalgie et la masse périnéale étaient le motif de consultation le plus fréquent à pourcentage égale. La proctalgie était associée à une dyspareunie dans 02 cas et une cruralgie avec amaigrissement et constipation dans 1 cas. L'interrogatoire a mis en évidence une évolution lente en moyenne de 10 mois avec les extrêmes de 5 à 15 mois. L'examen proctologique nous a permis de retrouver des signes décrits dans le tableau 2 suivant :

Tableau II: répartition selon les signes physiques observés

| Signes physiques | Effectifs | Pourcentages |
|---------------------------------|-----------|--------------|
| Masse para anale | 05 | 71.5% |
| Amyotrophie du membre inférieur | 01 | 14.2% |
| Gangrène du périnée | 01 | 14.2% |
| Total | 07 | 100% |

La masse para anale représentait 71,5% des cas. Concernant la gangrène du périnée, il s'agissait d'un patient diabétique et qui traitait un bourgeon para-anal par des cataplasmes.



Figure 1 : photo d'une masse de la fosse ischio-rectale Gauche comblant la cavité vaginale avec dyspareunie (Patiente P5)



Figure 2 : photo d'une masse de la FIR droite avec nécrose étendue du périnée (patient P6)

Les aspects paracliniques

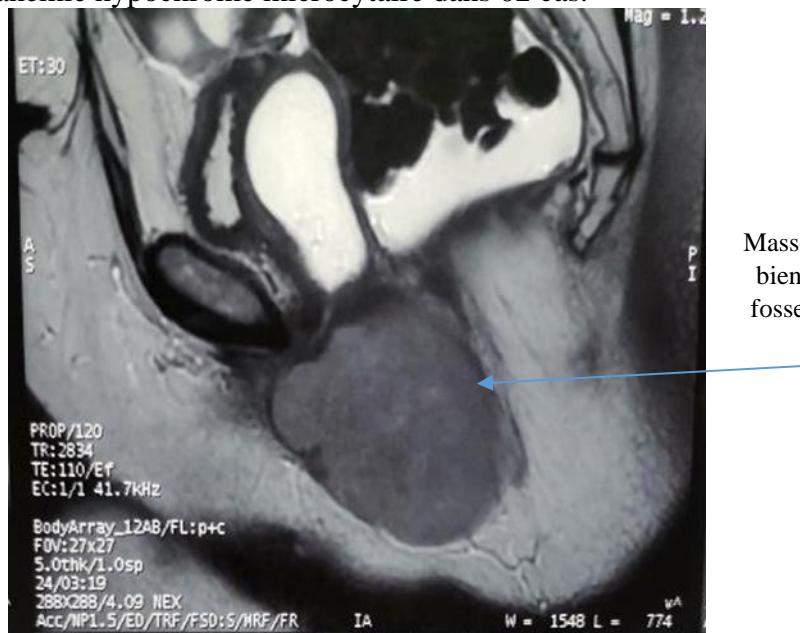
Des examens paracliniques ont été nécessaires. L'anorectoscopie était normale dans tous les cas sauf dans un seul cas, où on retrouvait un bombement pariétal du rectal.

L'IRM était réalisé chez la plupart des patients, couplé à un scanner thoraco-abdomino pelvien chez 4 patients.

Tableau III : Résultats des tumeurs à l'imagerie

| Patients | IRM | TDM |
|----------|---|------------------------|
| P1 | Tumeur d'allure bénigne (Schwannome) | ADP Abdomino Pelvienne |
| P2 | Tumeur d'allure maligne | Sans métastases |
| P3 | Tumeur hétérogène bien limitée | Sans ADP pelvienne |
| P4 | Tumeur maligne envahissant la paroi rectale | ADP pelvienne |
| P5 | Tumeur bénigne bien limitée | Non réalisée |
| P6 | Non Réalisée | Non réalisée |
| P7 | Tumeur bien limitée bénigne | Non réalisée |

L'IRM était contributif chez 6 patients (85,7%). L'IRM n'était pas réalisé chez le patient présentant la gangrène avec septicémie sévère. La biopsie pré-opératoire de la masse a été réalisée dans un seul cas. Cette biopsie avait révélé à tort un Schwannome chez le patient P1. Le bilan biologique demandé a montré une hyperleucocytose à polynucléaire neutrophile dans un cas et une anémie hypochromie microcytaire dans 02 cas.



Masse hypo signale bien limitée de la fosse ischiorectale

Photo 3 : IRM pelvienne sur une coupe de profil
Montrant une tumeur de la fosse ischiorectale avec
Effet de masse sur la cavité vaginale (patiente P5)

Traitements

Le traitement chirurgical a consisté en une résection chirurgicale.

La voie d'abord les lésions observées en per opératoire et les gestes sont représentées dans le tableau (v) suivant :

Tableau IV : Traitement des tumeurs de la fausse ischio rectale

| Patients | Voie d'abord | Lésions per opératoires | Gestes |
|----------|----------------------|---|-------------------------------|
| P1 | Périnéale antérieure | Masse gélatineuse fibreuse adhérente fortement au muscle et inextirpable | résection chirurgicale |
| P2 | Périnéale antérieure | tumeur fibrolipomateuse hémorragique envahissant fixée au muscle obturateur interne | résection chirurgicale |
| P3 | Périnéale antérieure | masse lipomateuse et fibreuse peu hémorragique bien limitée | résection chirurgicale |
| P4 | Périnéale antérieure | Tumeur avec atteinte du mesorectum | Amputation abdomino-périnéale |
| P5 | Abdomino-périnéale | Masse lipomateuse Encapsulée | résection chirurgicale |
| P6 | Périnéale antérieure | Tumeur compliquée de gangrène | résection chirurgicale |
| P7 | Périnéale antérieure | masse lipomateuse peu hémorragique bien limitée | résection chirurgicale |

La résection chirurgicale antérieure était le traitement le plus réalisé (n=6).

Elle était de type R0 chez 04 patientes et type R1 et R2 chez deux patients. Ils s'agissaient de tumeurs adhérentes avec résection carcinologique impossible.

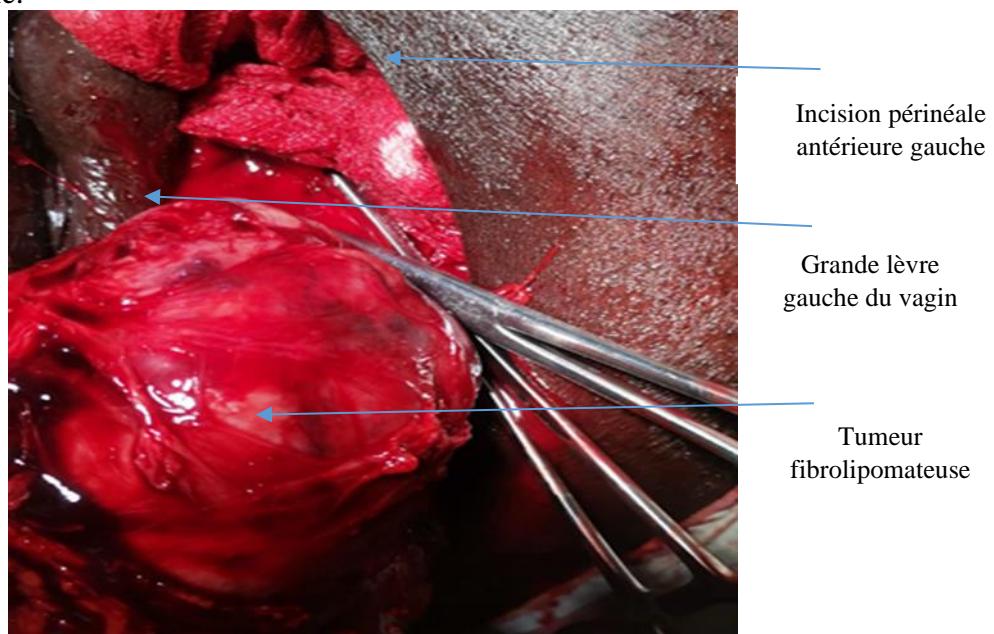


Photo 4 : photo per opératoire d'une résection tumorale antérieure (patiente P5)

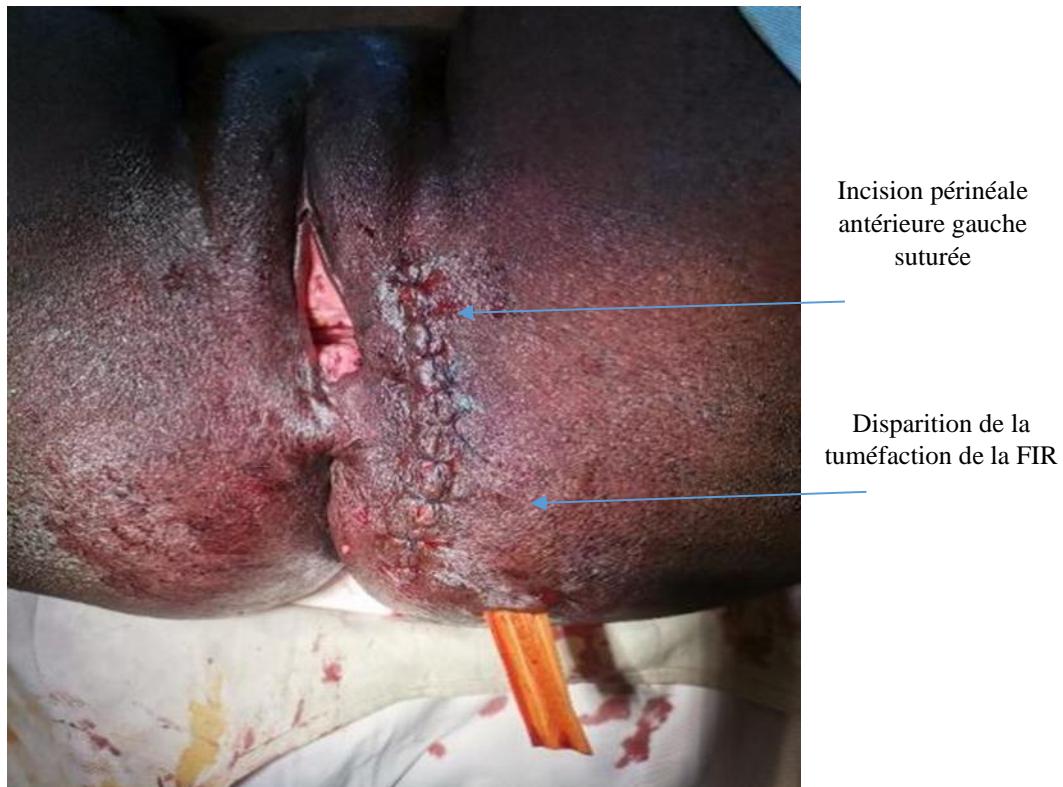


Photo 5 : photo après la suture de la plaie opératoire du périnée antérieur (patiente P5)

L'histologie retrouvait respectivement, des tumeurs d'aspect varié. Elle permettait de diagnostiquer 4 types de tumeurs malignes et 2 types de tumeurs bénignes.

Les tumeurs malignes étaient représentées respectivement par un synovialosarcome (1cas), un cas de carcinome mucineux (photo 6), un cas de mélanome nodulaire et un cas de carcinome épidermoïde.

Les tumeurs bénignes étaient représentées par les lipomes (2cas) et un cas de léiomyome épithéloïde.

L'histologie était dominée par les tumeurs malignes ($n=04$) soit 57%.

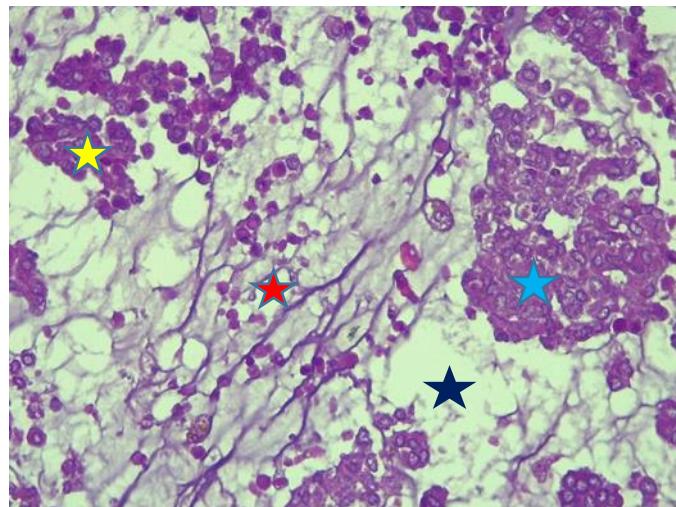


Figure 1 : (HE X40) Carcinome mucineux réalisant une architecture faite de travées (étoile orange), de papilles (étoile jaune), de massifs et d'amas cellulaires (étoile bleue) au sein d'un stroma fibromyoïde abondant (étoile noire). Patiente (P2)

Evolution post-thérapeutique

La répartition des patients en fonction des lésions, des gestes, ainsi que l'évolution a été reportée dans le tableau suivant :

Tableau V : La répartition des patients en fonction des lésions, des gestes, et évolution

| Patients | Age | Sexe | Lésions | Gestes | Evolution |
|----------|-----|------|---|---|-------------------------------------|
| P1 | 21 | M | synovialosarcome | Résection Chirurgicale | Métastase pulmonaire et décès |
| P2 | 56 | F | Carcinome mucineux | Résection Chirurgicale+ Chimiothérapie adjuvante | Intoxication hématologique et décès |
| P3 | 44 | F | Léiomyome épithélioïde | Résection Chirurgicale | Simple |
| P4 | 57 | F | Mélanome nodulaire | Amputation abdomino-périnéale+ Colostomie terminale | Simple |
| P5 | 50 | F | lipome | Résection Chirurgicale | Simples |
| P6 | 65 | M | Carcinome épithélioïde avec Gangrène Du périnée | Résection Chirurgicale+ Colostomie latérale | Septicémie Et Décès |
| P7 | 49 | M | lipome | Résection Chirurgicale | Simple |

L'évolution était simple chez 04 patients. La patiente P4 a présenté une suppuration qui a tari avec le pansement biquotidien au dakin et L mésitran. Le patient (P1) a présenté un envahissement rectal rapidement progressif à J36 post-résection (R2) et métastase pulmonaire compliqué d'une rectorragie et détresse respiratoire. Il est décédé à J39 post-opératoire. Le patient (P6) a présenté une migration post-opératoire de la gangrène au niveau de la fesse, du dos et du flanc homolatéral, ce qui a entraîné une reprise opératoire. Le malade a été interné en réanimation et une antibiothérapie à base d'imipénème 2g/jour a été réalisé associée à des pansements biquotidiens au dakin. L'évolution a été marquée par le décès à J3 post-reprise.

Deux patientes (P2, P4) ont reçu respectivement une radio chimiothérapie concomitante et une radiothérapie adjuvante.

La patiente (P2) a présenté une intoxication hématologique après 02 cures de chimiothérapie selon le protocole (5FU + CISPLATINE).

Elle est décédée à J62 post-opératoire. La patiente (P4) a reçu une radiothérapie adjuvante à raison de 10 grays par semaine pendant 6 semaines. Au total 04 patients sont vivants en bonne santé apparente après un recul de 04 ans.



Discussion

Les aspects cliniques

Les tumeurs de la FIR sont des tumeurs rares. Leur fréquence exacte n'est pas connue. Elle était estimée à 1/40000 admissions ou de 1 à 6 cas par an dans les centres experts comme Mayo clinique selon Whittaker (Whittaker, 1938). Dans cette étude, nous avons recensé 07 cas en 04 ans. Ce

qui montre la rareté de ces tumeurs. Sur le plan clinique, nos malades avaient une longue histoire avec une installation lente de la tumeur. Le temps de latence moyen était de 10 mois avec les extrêmes allants de 05 à 15 mois. Ce temps de latence assez long convergeait avec ceux de la littérature qui s'étendait de quelques mois à plusieurs années (Zineb M, 2011). **Ugo Grossi** détient le record avec une tumeur installée sur 10 ans dans la fosse ischio rectale (**Ugo Grossi,2021**). Cette longue durée pourrait être du fait que, ces tumeurs se développaient dans une fosse cylindrique et profonde. Tant que la tumeur était de petite taille elle ne saurait se manifester. Les signes de ces tumeurs sont pour la plupart peu spécifiques. Les signes de ces tumeurs sont pour la plupart peu spécifiques. Tantôt asymptomatique, alors le diagnostic se fera de façon fortuite comme le cas de Morikawa (Morikawa, 2018) qui trouvait une masse dans la FIR au cours d'un bilan de routine chez un homme de 74 ans. Quant à Ugo Grossi (Grossi, 2021), il a découvert cette tumeur au cours d'un bilan prostatique pour une dysurie et une élévation de l'antigène prostatique. Tantôt ces signes sont à l'extrême avec les grosses tumeurs, dans ce cas ces tumeurs vont s'exprimer sous forme d'un syndrome rectal, une dysurie, dyspareunie ou une sciatalgie. Ce sont des signes d'emprunt non spécifiques selon Filho (Filho E, 2016). Au fur et à mesure que la tumeur grossira elle va entraîner une compression des éléments contenus dans la FIR, en l'occurrence, les vaisseaux rectaux inférieurs et pudentaux, les nerfs rectaux inférieurs et les lymphatiques (Semlali,2016). Ce qui pourrait expliquer l'apparition de la proctalgie, des bourrelets hémorroïdaires, dysurie, ténèse, éprunte, sciatalgie, amyotrophie et œdèmes des membres inférieurs. Dans cette série, les motifs de consultations étaient dominés par la proctalgie et la masse périnéale à proportion égale (42,9%). Dans la plupart des travaux les signes étaient dominés par une gêne, une tuméfaction ou des signes peu spécifiques. C'était le cas pour Claire Besancenot (Besancenot C, 2012) qui présentait une tuméfaction touchant la vulve augmentant de taille pendant les rapports faisant évoquer une bartholinite. L'examen physique des malades retrouvait une masse para-anale chez 5 patients (71.5%) et respectivement une gangrène du périnée et un syndrome de compression de la FIR dans 01 cas.

L'expression clinique dépend aussi de la nature histologique. Ainsi les tumeurs malignes ou agressives s'expriment plus rapidement et avec un syndrome paranéoplasique important (Arbelo C, 2016). C'est pourquoi un de nos patients présentait un syndrome de compression avec amyotrophie sciatalgie, amaigrissement installés de façon rapidement progressive. Par ailleurs, cette absence de spécificité associée à un long temps de latence entraînerait un retard de diagnostic avec une errance diagnostique. C'est pourquoi nous avons diagnostiqué en per-opératoire une tumeur d'allure maligne à un stade de gangrène. C'était un patient qui traitait à tort une tumeur anale comme un prolapsus hémorroïdaire par des cataplasmes sur un terrain

diabétique. Ce qui a entraîné une fistulisation puis une flambée et une gangrène rapidement progressive du périnée. Les gangrènes de Fournier sur tumeur du périnée sont rares et de pronostic sombre. (polo J, 2008). Elles sont le plus souvent dues à la perforation et à la migration des germes dans le fascia entraînant une fascite nécrosante avec une toxémie mortelle. Dans notre cas la fistulisation de la tumeur aurait été occasionnée par le cataplasme. Ce qui aurait favorisé une migration multi bactérienne. Par ailleurs, La plupart de ces tumeurs sont dominées par les extensions secondaires des tumeurs des structures voisines qui sont le plus souvent malignes. Les tumeurs primitives sont rares. Quand elles existent, elles sont le plus souvent bénignes. Baek a réalisé en 2016, une revue de la littérature à travers pubmed et a trouvé que 70% de ces tumeurs primitives étaient bénignes (Baek SK, 2016). Aucun facteur favorisant n'a été incriminé dans la littérature (Filho E, 2016). Cela pourrait être due à la rareté des cas. Ce qui ne favoriserait pas une bonne série d'étude afin de déterminer les facteurs favorisants. Dans notre étude, ces tumeurs survenaient plus chez les femmes (04 cas) soit 66,7%. C'étaient des femmes ménopausées pour la plupart (03 cas). Baek avait trouvé aussi une prédominance féminine à 68% (Baek SK, 2016). Devant la suspicion de ces tumeurs, nous avons eu recours à l'imagerie.

Moyens diagnostiques

La rectoscopie était normale sauf dans un seul cas où elle retrouvait un bombement pariétal du rectum dû à une compression extrinsèque. Nos résultats sont similaires à ceux d'autres auteurs (Erguibi D, 2018). Par ailleurs, Nassif avait recommandé à de son travail réalisé en 2013, que la sigmoidoscopie ou la coloscopie avec biopsie soient obligatoires afin d'évaluer complètement le reste du côlon, car de nombreux rapports ont été publiés sur des tumeurs synchrones, notamment des adénocarcinomes (Nassif MO, 2013). Dans cette étude, l'anorectoscopie réalisée était normale chez la plupart des patients (n=6) et il n'y avait pas de signe de rectorragie ni de syndrome occlusif ou de trouble du transit qui justifieraient la réalisation d'une endoscopie de tout le colon.

L'échographie endoscopique rectale (EUS) est un outil utile pour **la biopsie** si l'échantillon initial n'est pas concluant, car bon nombre de ces tumeurs sont sous-muqueuses et difficiles à biopsier par coloscopie (Nassif MO, 2013). Nous pensons donc que l'endoscopie basse doit être prescrite pour éliminer une tumeur de la lumière anorectale et non pas pour le diagnostic de tumeur de la FIR. Elle ne pourrait pas explorer cette région. Dans le meilleur des cas elle pouvait retrouver un bombement de la paroi suite à une compression de voisinage comme dans notre. La rectoscopie devrait être prescrite uniquement dans les cas de rectorragie ou de syndrome rectal signes suspects d'envahissement de la lumière.

A côté de la rectoscopie, l'imagerie par résonnance magnétique (IRM) a été l'examen de confirmation quasi exclusif de la masse (n=6).

En effet l'IRM est un le maître examen dans cette affection. Elle permet non seulement de confirmer la présence de masse, mais également de préciser les rapports de voisinage, les limites de la masse, son caractère hétérogène et de prévoir son aspect bénin ou malin. Elle permet de faire le bilan d'extension locorégional en cas de tumeur maligne et le choix de la meilleure voix d'abord de la tumeur avant l'indication opératoire (Arbelo,2016 Semlali,2016 Filho, 2016). Elle a une bonne résolution par rapport à la tomodensitométrie au niveau des parties molles. L'IRM a permis à bien d'auteurs de diagnostiquer cette affection. Ainsi, Morikawa a retrouvé une tumeur pararectale fortuitement chez un homme de 42 ans lors d'un examen médical de routine (Morikawa K, 2018). Cependant, il arrive parfois qu'au décours des images confuses, l'**IRM** ne soit pas capable de différencier avec précision les tumeurs bénignes des tumeurs malignes comme dans le cas présenté par Teoh (Teoh KH, 2009).

La tomodensitométrie thoraco-abdomino-pelvienne (TDM TAP) a pour but de faire le bilan de l'extension à distance. Elle est le plus souvent réalisé en cas de tumeur maligne ou présumée comme telle. Nous avons réalisé la TDM TAP dans 04 de nos cas devant une forte suspicion de malignité avant l'intervention chirurgicale. Elle a montré une adénopathie abdominopelvienne dans 02 cas sans métastases à distance. Comme rapporté par certains auteurs (Morikawa, 2018). La TDM avec contraste dans la phase précoce a montré un rehaussement hétérogène intense qui a persisté pendant la phase retardée. Bon nombre d'auteurs réalisaient aussi une biopsie per cutanée pour avoir une confirmation sur la malignité de la tumeur avant de décider de l'indication thérapeutique (Nassif MO, 2013 Teoh KH, 2009). Mais nous pensons qu'une exérèse d'emblée était possible après avoir réalisé, une IRM de bonne qualité. Tel a été notre attitude dans 05 cas. Sauf devant la forte suspicion de syndrome paranéoplasique et signe de compression comme dans 01 de nos cas où une biopsie pour examen histologique a été réalisé. Cet examen n'était pas contributif car il avait permis de relever à tort un Schwannome Certains auteurs retrouvaient une erreur diagnostic comme dans le nôtre aussi. C'était le cas de **Teoh** qui trouvait une lésion bénigne remplie de collagène, qui était confirmée par la biopsie. Cependant, l'exérèse chirurgicale suivie de l'histologie retrouvaient, une tumeur maligne périnerveuse de la FIR (Teoh KH, 2009). Ces erreurs seraient favorisées par des biopsies réalisées dans une zone normale ou douteuse quand il s'agit d'une lésion hétérogène. Alors l'avantage de l'ablation chirurgicale était que toute la tumeur était réséquée en monobloc et on pouvait réaliser minutieusement l'examen histologique. Par ailleurs, selon Wolpert, cette biopsie exposerait le patient à un risque d'infection post-biopsie (Wolpert A, 2002).

Traitemen et évolution

Le traitement de ces tumeurs était avant tout chirurgical comme l'avait recommandé Skinner car même si ces tumeurs sont dominées par la bénignité, elles avaient tendance à évoluer vers la malignité (Skinner DW, 1983).

Nous avons opté pour une exérèse carcinologique dans la mesure du possible. Cette technique était pratiquée par plusieurs auteurs (Arbelo C, 2016 Filho E, 2016). Le problème était celui de la voie d'abord. Certaines écoles recommandaient un abord périnéal postérieur ou voie de kraske, dans le but de faciliter la résection en installant le patient en décubitus ventral. Le champ opératoire pouvait même être agrandi par une incision sur le coccyx (Arbelo C, 2016 Filho E, 2016 Baek SK, 2016). Parfois un sacrifice de certains muscles pouvait être réalisé (RyoSeishima R, 2012). Mais cette voie d'abord même si elle semble plus propice, elle offre un mauvais contrôle des vaisseaux pelviens avec un important risque de lésion des nerfs pelviens latéraux ainsi que le nerf sciatique selon les arguments de Morikawa (Morikawa K, 2018). De plus elle demande une maîtrise totale de l'anesthésiste, de la table opératoire, dans des conditions parfois précaires. Nous pensons que le choix de la voie d'abord ne devait pas être figé. Cela devrait dépendre du volume, du siège, de l'adhérence et du type histologique de la tumeur. Nos patients présentaient des tumeurs qui étaient proches de la paroi antérieure de la FIR (06 cas). Par ailleurs l'installation du malade en position de la taille était une position que l'anesthésiste maîtrisait bien donc il était moins stressé.

Les gestes opératoires étaient dominés par une résection tumorale dans 06 cas comme chez la plus part des auteurs (Zineb M, 20011 Morikawa K, 2018). Cette résection tumorale était associée à une colostomie latérale pour une gangrène du périnée. Cependant, nous avons réalisé, une amputation abdomino-périnéale (AAP) dans 01 cas. Il s'agissait d'une tumeur d'aspect malin avec envahissement du mesorectum. L'histologie était en faveur d'un mélanome. Filho E avait recommandé ce geste devant une tumeur de la FIR qui envahissait le rectum (Filho E, 2016). Quant à Teoh, il avait réalisé une AAP pour une tumeur profondément étalée de la FIR (Teoh KH,2009). A côté de ces différentes voies sus citées, certains auteurs comme Mehta et al préconisaient, une double voie d'abord en combinant simultanément la voie postérieure et la trans-abdominale antérieure. Cette technique permettait de mobiliser un léiomyosarcome et d'épargner le sphincter anal et le nerf sciatique (Metha N, 2015). En per-opératoire, nous avons trouvé que les caractéristiques de ces tumeurs étaient variables. Elles étaient dominées par des tumeurs d'allure maligne (n=4). Ces tumeurs allaient d'une masse lipomateuse bien limitée sans adhérence à une masse adhérente male limitée dont une était fistulisée nécrotique et compliquée d'une gangrène périnéale.

L'évolution post-opératoire immédiate était simple chez 04 patientes. Un cas de suppuration post-opératoire a été traité favorablement. Un patient a

présenté une flambée de sa lésion avec métastase à distance et décès dans un contexte de détresse respiratoire. Il s'agissait d'un synovialosarcome. Selon Lima, les sarcomes sont réputés pour leur agressivité avec récidive et métastase à distance (Lima MA, 2010). Nous avons pensé que le retard diagnostique, l'agressivité de ce cancer et la résection de type R2 serait à l'origine de cette flambée et dissémination de la tumeur. Le dernier patient a été repris pour une migration de la gangrène post-opératoire du périnée. Ce dernier est décédé dans un tableau de choc septique. Le 3^{ème} décès est survenu après deux cures de radio chimiothérapie, après toxicité hématologique. L'évolution à 4 ans est marquée par 04 malades vivants en bonne santé apparente sans récidive tumorale. Dans la littérature, l'évolution était simple, sans récidive chez la plupart des auteurs (Wilson E, 1969 Grossi U, 2021 Teoh KH, 2009). Mais cela était conditionné par la qualité de la résection carcinologique de la tumeur et/ou par la bénignité pour la plupart. Pour la réussite de l'intervention, Teoh a fait recours aux chirurgiens plasticiens afin de reconstruire le périnée (Teoh KH, 2009). Concernant le traitement adjuvant, les avis sont partagés. Pour Seishima, les effets de la radiochimiothérapie post-opératoire restent limités (Seishima R, 2012). De même, Nassif M pensait que le traitement adjuvant ne justifierait pas une intervention chirurgicale médiocre (Nassif MO, 2013). Cependant, Mehta N préfèrait être prudent en associant une thérapie ciblée après résection R0 d'un GIST retro-rectal. L'évolution a été parfaite avec un recul de 02 ans (Mehta N, 2015). Dans cette série, le traitement adjuvant a été réalisé chez 2 patientes respectivement pour un carcinome mucineux et pour un mélanome malin avec atteinte du mésorectum. La patiente atteinte de carcinome mucineux est décédée d'une intoxication suite au protocole de FOLFOX 4.

Conclusion

La tumeur de la FIR est une tumeur rare. L'expression clinique dépendait du stade de la maladie. La résection chirurgicale périnéale antérieure est possible. Dans notre étude, l'histologie des tumeurs de la fosse ischio rectale était en faveur des tumeurs malignes. L'IRM devrait être systématique devant toute proctalgie d'adulte.

Déclaration pour les participants humains

Cette étude a été autorisée par le Directeur Médical Scientifique et le comité d'éthique du Centre Hospitalier Universitaire de Treichville Abidjan. Elle a été réalisée selon les principe de la déclaration d'Helsinki

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

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

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

References:

1. Arbelo-Cruz N, Lisanti C, Walker K, Schwope R, Bui-Mansfield LT, Reiter M. Anatomy and Pathology of the Ischiorectal Fossa. *Contemp Diagn Radiol.* 2016;39(17):1.
2. Semlali S, Eddarai M, El Kharras A, Amil T, Jidal M, Chaouir S, et al. La radioanatomie de la fosse ischio-rectale en TDM et en IRM. *Feuill Radiol.* 2016;56(1):25-33.
3. Filho E, Carvalho A, Costa P, Carvalho A. Resection of ischiorectal fossa tumors - Surgical technique. *J Coloproctology.* 2016;36.
4. Whittaker LD, Pemberton J DeJ. Tumors ventral to the sacrum. *Ann Surg.* 1938;107(1):96-106.
5. Zineb M, Olivier V, Agnès S, Antoine D, Benoît T, André B et al. Tumeur trichilemmale proliférante de la région ischio-rectale. *j.annpat.*(31) 2011 ;316-319.
6. Grossi U, Santoro GA, Sarcognato S, Iacomino A, Tomassi M, Zanus G. Perianal. Tailgut Cyst. *J Gastrointest Surg Off J Soc Surg Aliment Tract.* 2021;25(2):558-60.
7. Morikawa K, Takenaga S, Masuda K, Kano A, Igarashi T, Ojiri H, et al. A rare solitary fibrous tumor in the ischiorectal fossa: a case report. *Surg Case Rep.* 2018;4(1):126.
8. Besancenot C, Jaffro M, Aziza R, Le Guellec S, Ferron G, Boulet B. Angiomyxome agressif du pelvis et du périnée : à propos d'un cas. *Imag Femme.* 2012;22(4):216-20.
9. Polo J. Medina,A. Tejido Sánchez,F. de la Rosa Kehrmann,N. Felip Santamaría,M. Blanco Álvarez,O. et al. Gangrène de Fournier : étude des facteurs pronostiques chez 90 patients. *Actas Urológicas Espagnoles.* Vol 32, n°10, 2008 , Pages 1024-103
10. Erguibi D, El bakouri A, Fahmi Y, Kadiri B. Tumeur stromale à localisation rétro-rectale: entité macroscopique et difficultés chirurgicales. *Pan Afr Med J.* 2018;30:154.
11. Baek SK, Hwang GS, Vinci A, Jafari MD, Jafari F, Moghadamyeghaneh Z, et al. Retrorectal Tumors: A Comprehensive Literature Review. *World J Surg.* 2016;40(8):2001-15.

12. Nassif MO, Trabulsi NH, Dunn KMB, Nahal A, Meguerditchian AN. Soft tissue tumors of the anorectum: rare, complex and misunderstood. *J Gastrointest Oncol* [Internet].2013 [cité 14 mai 2024];4(1). Disponible sur: <https://jgo.amegroups.org/article/view/545>
13. Teoh KH, Reddy S, Beggs I, Al-Nafussi A, Mander BJ, Porter DE. Malignant peripheral nerve sheath tumour in the ischio-rectal fossa. *Colorectal Dis.* 2009;11(5):533-4.
14. Wolpert A, Beer-Gabel M, Lifschitz O, Zbar AP. The management of presacral masses in the adult. *Tech Coloproctology.* 2002;6(1):43-9.
15. Skinner DW, Jacobson I. Anterior sacral meningoceles. *J R Coll Surg Edinb.* 1983;28(4):229-32.
16. Seishima R, Ishii Y, Hasegawa H, Endo T, Ochiai H, Okabayashi K, et al. Large liposarcoma developing in the ischiorectal fossa: Report of a rare case. *Int J Surg Case Rep.* 2012;4(1):51-3.
17. Mehta N, Konarski A, Rooney P, Chandrasekar C. Leiomyosarcoma of the ischiorectal fossa: report of a novel sphincter and sciatic nerve sparing simultaneous trans-abdominal and trans-gluteal resection and review of the literature. *J Surg Case Rep.* 2015;(3): rjv 016.
18. Lima MA, Pozzobon BHZ, Fonseca MFM, Horta SHC, Formiga GJS. Leiomyosarcoma perineal: relato de caso e revisão da literatura. *Rev Bras Coloproctologia.* 2010;30:352-5.

Effect of *Pinus halepensis* Mill. Reforestation on the Above-Ground Biomass and Internode Elongation and Leaf Size of Native Species in Morocco

Khalid Benarchid

Mohammed Khatori

Said Hilali

Laboratory Eco-Design, Energy, Environment and Innovation
Faculty of Sciences and Techniques, Hassan First University, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p192](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p192)

Submitted: 15 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 28 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Benarchid K., Khatori M. & Hilali S. (2024). *Effect of Pinus halepensis Mill. Reforestation on the Above-Ground Biomass and Internode Elongation and Leaf Size of Native Species in Morocco*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 192.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p192>

Abstract

This study aims to determine the effect of the reforestation of *Pinus halepensis* Mill. on the above-ground biomass and morphological characteristics of native species (internode elongation and leaf size) in the Beni Sohane forest. Plant biomass of the herbaceous layer was harvested on randomly selected 2 m² quadrats in reforested plots of ± 12, ± 25, and ± 45-year-old, and native forest controls. The internode length and leaf size (length and width) were measured on plants randomly selected belonging to four native species *Quercus ilex* L., *Pistacia lentiscus* L., *Phillyrea angustifolia* L., and *Cistus creticus* L.. The results showed that *P. halepensis* reforestation had no significant effect on the above-ground biomass and the leaves and internodes dimensions in the young plantations ± 12-year-old. However, as the pine trees mature, the average dry matter weight decreases, especially in stands 45 years old, where this weight was significantly lower than that of natural forests. This fact has led to herders abandoning important pastures previously used by their cattle. In addition, the fast growth of *P. halepensis* trees formed a canopy above all indigenous species resulting in changes in the dimensions of internodes and leaves. For the two oldest plantations, the internode length, leaf width, and length of the 4 species have been significantly increased.

However, the leaf length-to-width ratio decreased significantly, with leaves in reforested plots being larger rather than longer compared to control samples in native forests. Planting *P. halepensis* can negatively impact the long-term growth of native plants, so we recommend periodically removing some of the pines (thinning) to restore the balance of these ecosystems. Thus, species selection for reforestation should consider maximizing rather than destroying ecological and socioeconomic services.

Keywords: Reforestation; *Pinus halepensis*; Phytomass; Exotic species; Shade

1. Introduction

Mediterranean forests have been affected by human activity for centuries. This effect became more pronounced towards the end of the last century as the population and its needs increased. As temperatures rise and precipitation decreases, the composition and overall growth of forests may change dramatically. As a result, some tree species that were once prevalent in an area are dying out, with these native species being replaced by more tolerant invasive species (Lawson & Michler, 2014). Afforestation and reforestation are among the most used strategies to mitigate the effects of climate change, given that, trees capture carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere as they grow and store the carbon in living biomass.

Since the end of the last century, the Beni Sohani Forest has experienced severe degradation due to intense anthropogenic pressure. To remedy this situation, the Water and Forestry departments have reforested large areas, using Aleppo pine (*Pinus halepensis Mill.*) as the main tree species. Reforestation included degraded areas and many areas containing native tree species, e.g. (*Quercus ilex L.*, *Juniperus oxycedrus L.*, *Juniperus phoenicea L.*, *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast., etc.)

Since the 1970s, *P. halepensis* has been one of the most used *Pinus* species in reforestation in the Mediterranean Basin and in many other regions outside its native range (Bello-Rodríguez et al., 2020). It has several properties that make it ideal for reforestation and afforestation projects, such as protection of degraded areas, drought tolerance, fire resistance, rapid growth, soil adaptability, erosion control, and timber production (Bello-Rodríguez 2020 et al. ; Mechergui et al., 2022).

Over the past one million years, human activities have radically altered the natural distribution of the pine, blurring the boundaries between the natural and introduced distribution areas of all native pine species in the Mediterranean basin (Richardson & Nsikani, 2021). Moreover, *P. halepensis* is now considered an invasive species in different parts of the world (Mechergui et al., 2022). We considered this species an invasive species

because it was only introduced in the 1970s to our study area, which was primarily covered with green oaks.

In Beni Sohane Forest, our previous studies showed that the reforestation of *P. halepensis* has negatively affected richness, and floristic diversity (Benarchid et al., 2018), and soil fertility (Benarchid et al., 2022). Several studies report a lack of recovery of spontaneous vegetation in *P. halepensis* plantations 23 years after planting in SE Spain than those reported in adjacent shrublands not reforested (Chaparro & Esteve, 1996). The transformation from shrub-dominated to tree-dominated landscapes of *P. halepensis* in a semi-arid area reduced the productivity of the herbaceous species (Paz-Kagan et al., 2016). On the other hand, the canopy formed by *P. halepensis* trees may affect the morphological characteristics of native species. Changes in light gradients in the canopy of different species and forest types produce changes in leaf traits, and morphological and biochemical adaptations to outperform competitors (Lichtenthaler et al., 2007; Ugarte et al., 2010). To explore the effects of *P. halepensis* reforestation on plant biomass and native species, we measured aboveground dry matter biomass, internode length, and leaf size of four native shrubs and trees *Quercus ilex L.*, *Pistacia lentiscus L.*, *Phillyrea angustifolia L.*, and *Cistus creticus L.*

2. Material and methods

The study was conducted in the Beni Sohane Forest, which is located in the northern Middle Atlas. It is bounded by geographic coordinates of 584 Km and 620 Km in the west and 334 Km and 370 Km in the north (Figure 1). The altitude is between 800 and 1200 meters. The average annual rainfall is 550 mm. Emberger's climagram categorizes the study area as being in the subhumid bioclimatic stage in cool winter (Emberger, 1955). The average temperature of the hottest month is 35.46°C, while the average temperature of the coldest month is 2.45°C. The main soil types are poorly evolved, raw mineral, calcimagnetic, isohumic, and fersiallitic (S.E.I, 2014).

The Beni Sohane Forest experienced three waves of reforestation. The first one began in the 1970s (i.e. trees around 45 years old). The second wave occurred about twenty years later (i.e. trees around 25 years old), and the last one happened during the first decade of the 2000s (i.e. trees around 12 years old).

The observations were carried out on the plant biomass of the herbaceous layer in reforested plots of \pm 12, \pm 25, and \pm 45 -45-year-old, and native forest controls. Above-ground plant material on the ground has been cut using a semi-destructive method on randomly selected 2-square-meter plots, repeated 20 times. dry matter has been Determined after drying to constant weight in an oven at 60 °C (Floret & Pontanier, 1982).

The internode length and leaves dimensions (length and width) were measured on plants randomly selected belonging to four native species *Quercus ilex L.*, *Pistacia lentiscus L.*, *Phillyrea angustifolia L.*, and *Cistus creticus L.* The internodes and the leaf's dimensions (length and width) were measured at a height of between 1 and 2 meters with 40 repetitions. We measured the length along the central veins and the maximum width perpendicular to the central veins. The harvest of plant biomass has been carried out during May, corresponding to the full development of the herbaceous layer.

The statistical processing of the data concerned the comparison of the dry weight of the above-ground biomass and the leaves and internodes dimensions at the level of the reforested area and the native forest. We used Dunnett's 1-way ANOVA test after checking that the normality and homoscedasticity of the variables by the Shapiro-Wilk and Levene tests were not satisfied even after their logarithmic transformation. IBM SPSS Statistics 22 was used to conduct the statistical analyses.

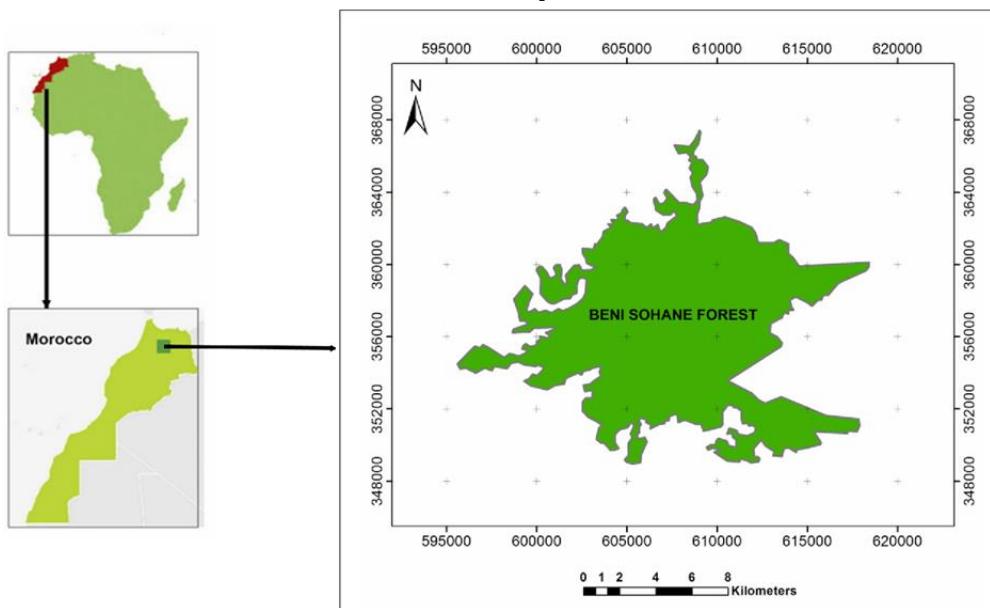


Figure 1: Location of study area

3. Results:

3.1. Effect of *Pinus halepensis* reforestation on above-ground biomass:

The measures of the weight of dry matter above-ground biomass of the herbaceous strata showed that the weight of control was higher than the reforested plots, especially for the oldest reforested plots. This weight decreased at 258g and 129g respectively in reforested plots of \pm 25, and \pm 45-year-old. The statistical analysis showed that these weights were significantly

lower than those recorded in the native forest (509 g). However, biomass weight was almost the same in the youngest plots of \pm 12 years compared to the control samples of the native forest 486 g and 509 g respectively.

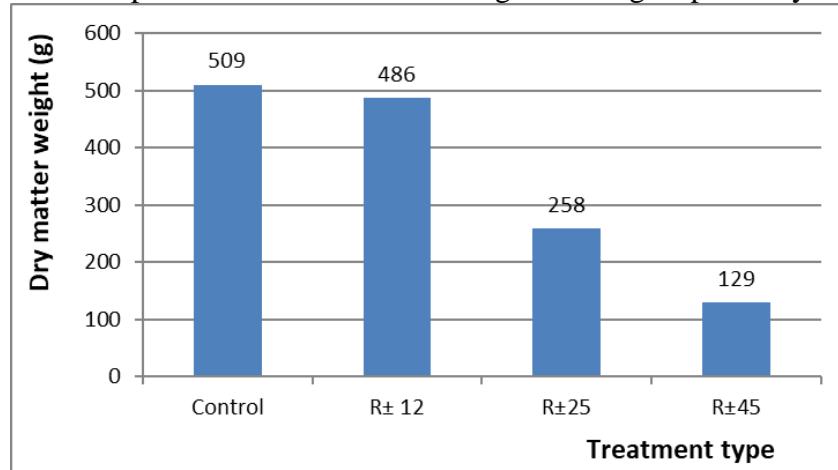


Figure 2: Effect of *Pinus halepensis* reforestation on above-ground biomass

Table 1: Dunnet non-parametric test of dry weight at 5 % significance

| Designations | Mean dry weight (g) | Signification 5 % |
|----------------------------|---------------------|-------------------|
| | 509 | |
| R\pm12 | 486 | 0.993 |
| R\pm25 | 258 | 0.203 |
| R\pm45 | 129 | (,0190)* |

(*) : Significant difference on above-ground biomass between reforested plots and native forests at the significance level $p = 0.05\%$.

3.2. Impact of *Pinus halepensis* reforestation on internode elongation and leaf size of native species:

Reforestation of *P. halepensis* leads to internodal elongation, which increases with reforestation age. The average internode length of reforested plots was higher than those recorded in the control samples of the native forest by 27 % for the youngest plots of \pm 12 -year-old, 101% for the reforested plots of \pm 25-year-old, and 167 % for the reforested plots of \pm 45 -year-old. However, statistical tests of ANOVA revealed no significant difference between the youngest reforested plots and the native plots. However, the internode length in the reforestation plots of \pm 25 and \pm 45 -year-old was significantly longer than the native plots. This elongation was more accentuated for *Phillyrea angustifolia*, the average internodes length of reforested plots of the three ages was higher than those recorded in the control samples by 157 %, and 120 % for *Cistus creticus*, and 78 % for *Quercus ilex*. *Pistacia lentiscus*, on the other hand, had the lowest elongation of 39%.

Reforestation of *P. halepensis* has resulted in wider leaves, especially on older plots. The average leaf width of reforested plots was higher than those recorded in the control samples of the native forest by 24% for the reforested plots of \pm 25-year-old, and 45% for the reforested plots of \pm 45-year-old. However, it did not affect leaf width in \pm 12-year-old reforested plots.

Statistical analysis showed that only in the oldest reforested plots of \pm 45 -year-old, the leaf widths of *Quercus ilex*, *Cistus creticus*, and *Pistacia lentiscus* were significantly larger than those of native plots. There were no significant differences in other reforested plots (Table 2). A great increase in leaf width has been recorded for *Quercus ilex* (45%), followed by *Cistus creticus* (21%), *Pistacia lentiscus* (19%), and only 0.08% for *Phillyrea angustifolia*.

Reforestation of *P. halepensis* has resulted in a slight increase in leaf length on older reforested plots. On average, leaves of reforested plots were longer than those of the control samples of the native forest by 5% for the reforested plots of \pm 25 -year-old, and 10% for the reforested plots of \pm 45 -year-old. However, it did not affect leaf length in \pm 12-year-old reforested plots. Likewise, the increase in leaf length changed little among the four species, -11% for *Cistus creticus*, 4% *Pistacia lentiscus*, 10% for *Phillyrea angustifolia*, and 16% for *Quercus ilex*.

Statistical analysis showed that in the \pm 45-year-old reforestation plots the leaves of *Quercus ilex*, *Cistus creticus*, and *Phillyrea angustifolia* were significantly longer than those of native plots, while there was no significant difference for *Pistacia lentiscus*. In the \pm 25-year-old reforested plots, no significant differences were found for the other species, except for *Cistus creticus*. Similarly, in the \pm 12-year-old reforested plots, no significant differences were found for all species (Table 2).

Reforestation of *Pinus halepensis* has resulted in a slight decrease in the leaf length-to-width ratio on older reforested plots. On average, leaves of reforested plots became larger than longer in comparison with those of the control samples of the native forest by -13% for the reforested plots of \pm 25 -year-old, and -21% for the reforested plots of \pm 45 -year-old. However, in the youngest reforested plots, this proportion was not affected. Excepting for *Phillyrea angustifolia*, this ratio decreased for *Cistus creticus*, *Quercus ilex*, and *Pistacia lentiscus* by 7%, -11%, - 25 %, and - 17% respectively.

Statistical analysis showed that in the \pm 45 -year-old reforestation plots the ratio L/W of *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus* and *Cistus creticus* were significantly lower than those of native plots, while there was no significant difference for *Phillyrea angustifolia*. In the reforested plots of \pm 25 -year-old, excepting *Cistus creticus*, there was no significant difference for the other species. Similarly, there were no significant differences among all tree species

in the \pm 25-year-old reforested plots. Similarly, in the reforested plots of \pm 12-year-old, there was no significant difference for all species.

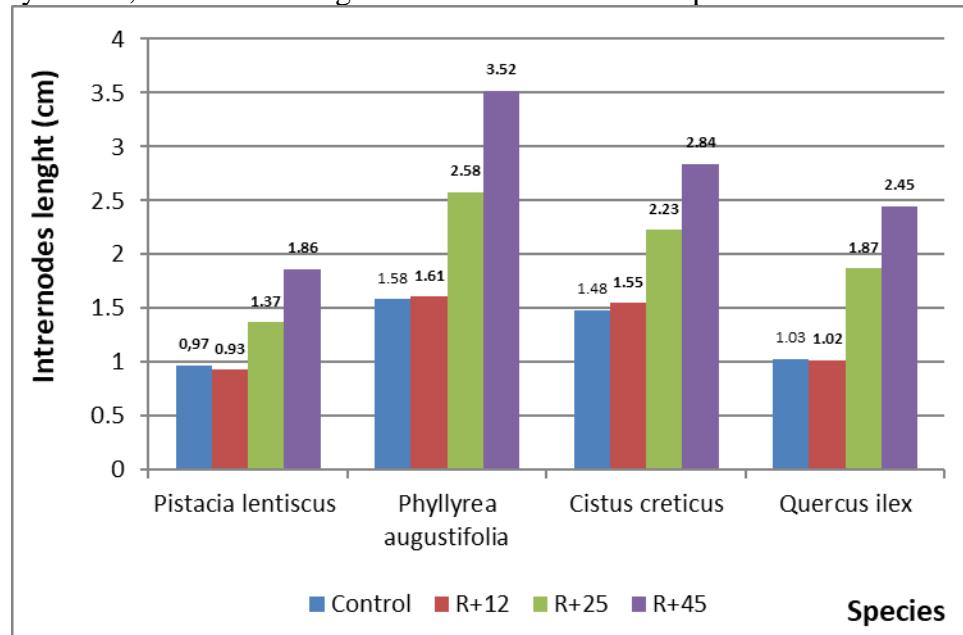


Figure 3: Effect of *Pinus halepensis* reforestation on internode length

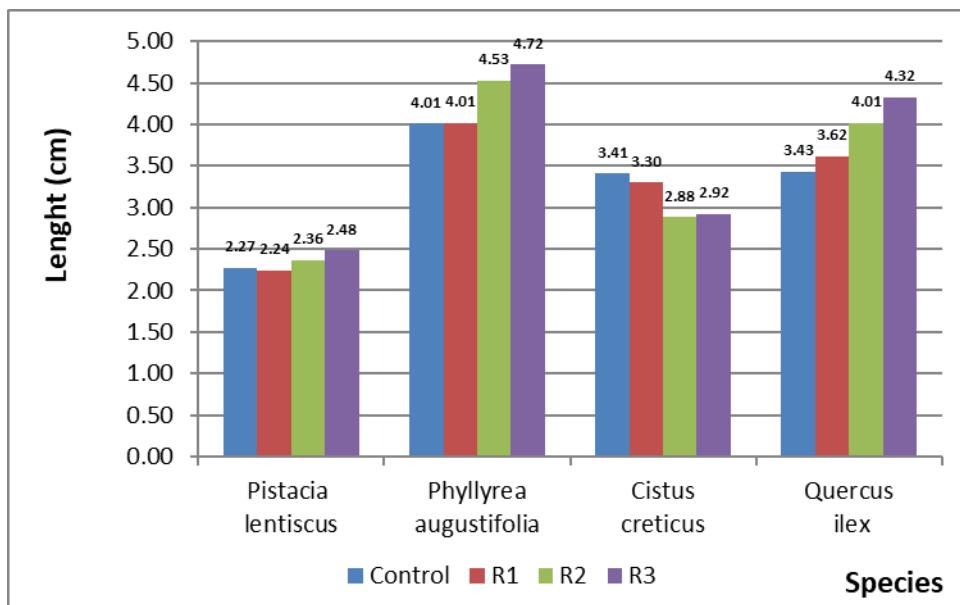


Figure 4: Effect of *Pinus halepensis* reforestation on leaves length

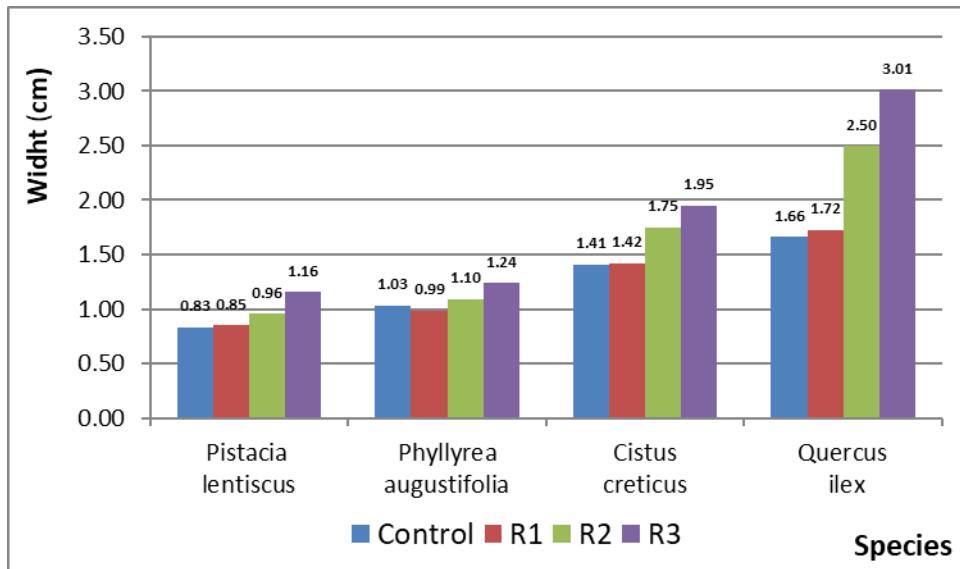


Figure 5: Effect of *Pinus halepensis* reforestation on width leaves

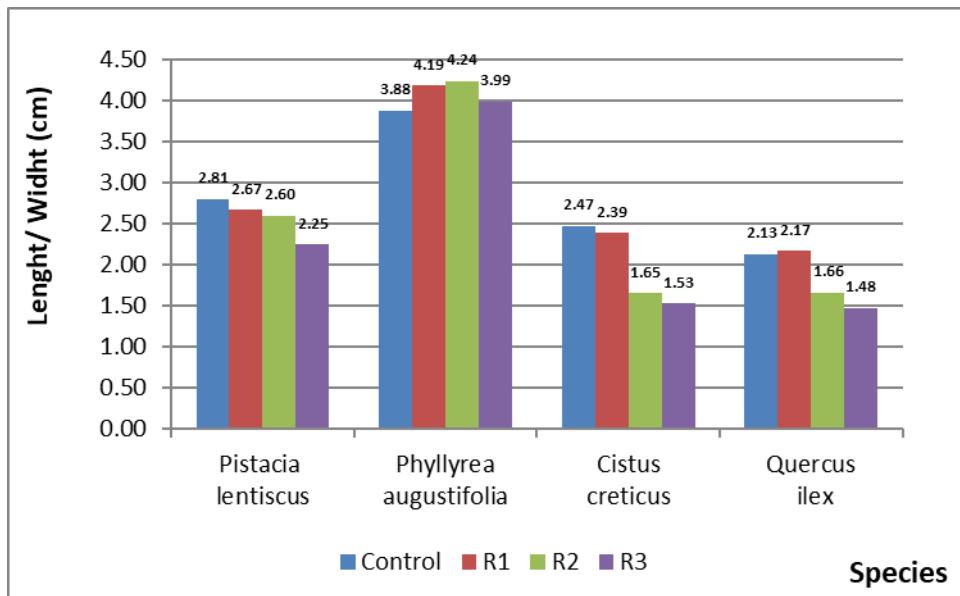


Figure 6: Effect of *Pinus halepensis* reforestation on the leaf length-to-width ratio

Table 2 : Data in columns are means (n=40); data in brackets are Test ANOVA at 5% significance Tukey and Dunett

| Designations | | Internode lenght (cm) | Leaves widht (cm) | Leaves lenght (cm) | Ratio lenght/widht |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Pistacia lentiscus</i> | Control | 0,97 | 0,83 | 2,27 | 2,81 |
| | R_{±12} | 0,93 (0,979) | 0,85 (0,956) | 2,24 (0,994) | 2,67 (0,737) |
| | R_{±25} | 1,37 (0,001)* | 0,96 (0,067) | 2,36 (0,823) | 2,60 (0,410) |
| | R_{±45} | 1,86 (0,000)* | 1,16 (0,000)* | 2,48 (0,208) | 2,25 (0,000)* |
| <i>Phillyrea angustifolia</i> | Control | 1,58 | 1,03 | 4,01 | 3,88 |
| | R_{±12} | 1,61 (0,999) | 0,99 (0,990) | 4,01 (0,995) | 4,19 (0,997) |
| | R_{±25} | 2,58 (0,000)* | 1,10 (0,994) | 4,53 (0,016) | 4,24 (0,006) |
| | R_{±45} | 3,52 (0,000)* | 1,24 (0,214) | 4,72 (0,000)* | 3,99 (0,000)* |
| <i>Cistus creticus</i> | Control | 1,48 | 1,41 | 3,41 | 2,47 |
| | R_{±12} | 1,55 (0,904) | 1,42 (1,000) | 3,30 (1,000) | 2,39 (0,965) |
| | R_{±25} | 2,23 (0,000)* | 1,75 (0,995) | 2,88 (0,000)* | 1,65 (0,000)* |
| | R_{±45} | 2,84 (0,000)* | 1,95 (0,577) | 2,92 (0,000)* | 1,53 (0,000)* |
| <i>Quercus ilex</i> | Control | 1,03 | 1,66 | 3,43 | 2,13 |
| | R_{±12} | 1,02 (0,999) | 1,72 (0,998) | 3,62 (1,000) | 2,17 (1,000) |
| | R_{±25} | 1,87 (0,000)* | 2,50 (1,000) | 4,01 (0,020) | 1,66 (0,016) |
| | R_{±45} | 2,45 (0,000)* | 3,01 (0,001)* | 4,32 (0,000)* | 1,48 (0,000)* |

(*) : Significant difference between reforested plots and native forests at the significance level p = 0.05%

4. Discussion

Our results showed a significant decrease in the weight of dry matter above-ground biomass of the herbaceous strata in reforested plots of \pm 25-year-old and \pm 45-year-old ($P < 0.001$) compared with the native forest. The decrease in above-ground biomass can be explained by the fact that the *Pinus halepensis* colonized all reforested plots by forming a canopy overhanging tree native species *Quercus ilex L.*, *Juniperus oxycedrus*, and *Juniperus phoenicea*, and dominating also all other species. *P. halepensis* is characterised by its great plasticity, high drought tolerance, fire adaptation, fast growth, and soil adaptability (Bello-Rodríguez et al., 2020). Its regeneration capacity is notable, and it is now considered an invasive species in different areas of the world (Mechergui et al., 2022). Several studies report a lack of recovery of spontaneous vegetation in *P. halepensis* plantations 23 years after planting in SE Spain, as well as values of plant cover in seven plantations that were, on average, 20% lower than those reported in adjacent shrublands not reforested (Chaparro & Esteve, 1996). The transformation from shrub-dominated to tree-dominated landscapes of *P. halepensis* in a semiarid area reduced both the productivity of the herbaceous species (Aboveground net primary productivity) and the soil fertility beneath the canopies of the trees, as compared to the productivity and soil fertility under the shrub canopy in a

native shrubland ecosystem (Paz-Kagan et al., 2016). In shade-avoiding plants, a series of morphological adaptations help to outperform competitors and increase fitness in competitive environments, but at the expense of biomass production (Ugarte et al., 2010). The leaf characteristics of the plant also change due to shading, resulting in thinner leaves and a lower photosynthetic rate than in full sun conditions. (Terashima et al., 2006), and this is mainly due to the greater palisade parenchyma, spongy parenchyma, and epidermal tissue thickness, suggesting that leaf internal structure may play an important role in light capture (Gratani, 2014). In addition, there were fewer shrubs in the undergrowth of conifers compared to hardwood species (Rizvi, 2012). Similarly, understorey natural vegetation in *P. halepensis* plantations in the Green Barrage of Algeria was characterized by a considerably low cover (Benabdeli, 1998). *P. halepensis* could impact other species through the production of secondary metabolites or allelochemicals (terpenes and phenols) that can strongly inhibit the germination of other plant species (Fernandez et al., 2013). On the other hand, afforestation by *P. halepensis* had a negative impact on soil moisture, an impact that increased with tree density (Bellot et al., 2004). At the landscape scale, allelopathy in planted forests could interrupt vegetation landscape connectivity by impeding the dispersal and spread of native plant species through afforestation patches. This fragmentation of natural habitat patches could, in turn, restrict the gene flow of native species (Honnay et al., 2002).

The shade produced by the *P. halepensis* canopy also helps inhibit the development of herbaceous understory plants. In addition to competition for water and nutrients, competition for light also leads to the loss of shade-intolerant native species. Indeed, our previous studies showed that the floristic diversity, species, genus, and family richness recorded in the *P. halepensis* reforested plots were significantly lower than those recorded in the control plots. This negative impact was more pronounced for the older plantation. (Benarchid et al., 2018). Other studies in semiarid Mediterranean areas showed that extensive pine plantations reduce species richness and plant diversity in the understory (Chirino et al., 2006). Furthermore, shade treated soybean plants showed significantly decrease in stem diameters and shoot biomass and a significant reduction in cell number and cell size in leaves (Wu et al., 2017).

Nevertheless, reforestation with *P. halepensis* has been the most used method to restore degraded lands in semi-arid areas of the Mediterranean, with the main goal of improving soil conditions to induce succession (Ruiz-Navarro et al., 2009). A canopy of pines or other species can also promote facilitation processes to improve microclimatic conditions and nutrient availability and facilitate the establishment of seedlings (Maestre et al., 2003). In a variety of ecosystems where plants face water stress, shading often enhances plant

growth and survival, but this is not always the case in water-limited ecosystems (Pérez-Devesa et al., 2008). In some cases, the planting of exotic species can be a catalyst for the regeneration of native species. In south-central Madagascar, affected by various disturbances (hurricanes, logging, farming), *Pinus patula* plantations have become an environment conducive to the regeneration of native species (Randriambanona et al., 2019). Improved soil conditions and shading can promote the establishment of grasses under the pine canopy (Bautista, 1999). However, despite the positive impact of *P. halepensis* plantations on the development of herbaceous understory under semi-arid conditions, overall plant cover and species richness decreased (Bautista & Vallejo, 2002). In the mesic climate region of northeastern Catalonia, Spain, oak seedlings are positively correlated with adult pine trees (Lookingbill & Zavala, 2000). However, many studies have suggested that improved microclimatic conditions by the development of *P. halepensis* canopy cannot balance the reduction in soil water availability promoted by the introduction of *P. halepensis*, resulting in a negative effect on the performance of native shrubs (Maestre et al., 2003).

Our results showed that reforestation of *P. halepensis* resulted in internode elongation and increased leaf length and width with increasing plantation age, whereas leaf length-to-width ratio decreased in older reforested plots. As mentioned above, *P. halepensis* dominates all reforested land and all other species by forming canopy overhangs for native species and significantly reducing light under the canopy. Changes in light gradients within the canopy of different species and forest types produce changes in leaf traits (Ugarte et al., 2010). Leaf adaptation to direct sunlight or shade occurs during leaf development and includes special morphological and biochemical adaptations (Lichtenthaler et al., 2007). In shade-avoiding plants, a series of morphological adaptations help to outperform competitors, such as elongation of stem-like structures, elevation of leaves, reduction of branching, and acceleration of flowering (Ugarte et al., 2010). Our study showed that all four species (*Quercus ilex L.*, *Pistacia lentiscus L.*, *Phillyrea angustifolia L.*, and *Cistus creticus L.*) recorded an elongation of internodes that increased with age and shading, and this was more pronounced for *Phillyrea angustifolia*. This internode elongation may increase plant height and improve light interception by the plant. Likewise, the effect of shade treatment on soybean plants showed a significant increase in stem length and petiole length (Wu et al., 2017). In shaded conditions, plants optimize photosynthesis and adapt to reduced light quality and quantity (Gommers et al., 2013). Therefore, they maximize light capture by increasing stem length and positioning leaves out of shade through a network of photoreceptor signaling (Franklin, 2008). This results in carbon being allocated to stem elongation at the expense of root and leaf development (Gommers et al., 2013). Plants have a variety of

photosensory receptors to detect the presence of competitors and thereby adjust their growth and developmental strategies accordingly (Fiorucci & Fankhauser, 2017).

Our results showed an increase in the length and width of leaves in reforested plots, so an increase in the leaf area, for all four species. Indeed, plants can also adopt shade-tolerant strategies by increasing leaf area to maximize photosynthesis. Leaves tend to increase their leaf area in the shade to intercept more light (Clendon & Millen, 1982). Whereas, in the shade treatment, the total leaf area and leaf size of soybean plants were significantly smaller than those of the full sun control plants. Furthermore, the number and size of leaf cells were significantly reduced in the shade (Wu et al., 2017). Our results also indicated that increasing leaf width was more important than increasing leaf length, with leaves in reforested plots becoming larger rather than longer compared to control samples in native forest, especially for *Quercus ilex*. According to Eckardt et al., 1978 *Quercus ilex* is considered a shade-tolerant tree species and becomes the dominant tree species in the later stages of succession, with photosynthesis occurring year-round. It is a shade-tolerant species regenerating under the canopy cover (de Rigo & Caudullo, 2016). On the other hand, *P. halepensis* could act on other species by producing secondary metabolites (terpenes and phenols) that are defensive and therefore participate in the competitive mechanism (Bonin et al., 2007). Plants introduce allelochemicals into the environment through foliar leaching, root exudation, residue decomposition, volatilization, and debris incorporation into soil (Inderjit & Keating, 1999). These allelochemicals can alter physiological processes (e.g., chlorophyll accumulation, photosynthesis, nutrient uptake, cell division, or elongation (Inderjit & Duke, 2003). Indeed, the introduction of *P. halepensis* with afforestation has adversely affected existing late-successional shrubs and suggests that this introduction does not stimulate successional processes in Mediterranean semiarid areas (Bellot et al., 2004). To reduce the ecological risks of afforestation projects, the Convention on Biological Diversity guidelines recommend planting native woody tree species, with the aim of increasing the similarity between planted forests and native forests. However, reforestation with exotic tree species can be beneficial in ecosystem restoration, and sustainable management of the sustainable forest management. Exotic species can sometimes provide food and habitat for the native fauna and help to establish forest cover and soil stabilization more quickly. However, care should be taken to select species with low potential for invasion (Reisman-Berman et al., 2019).

Conclusion

The objective of this work is to study the impact of *Pinus halepensis* reforestation on the above-ground biomass and morphological characteristics of native species (internode elongation and leaf size) in the Beni Sohane Forest. The fast growth of *P. halepensis* trees formed a canopy above all indigenous species resulting in a significant decrease in the weight of dry matter above-ground biomass. This has led to the abandonment of pastures of important pastures previously exploited by cattle. The *P. halepensis* reforestation resulted in changes in internode elongation and leaf size of four native species (*Quercus ilex L.*, *Pistacia lentiscus L.*, *Phillyrea angustifolia L.*, and *Cistus creticus L.*). For the two oldest plantations (\pm 25-year-old and \pm 45-year-old), the internode length, leaf width, and length of the 4 species have been significantly increased. However, the leaf length-to-width ratio decreased significantly, with leaves in reforested plots being larger rather than longer compared to control samples in native forest, especially for *Quercus ilex*.

Regular thinning of the *P. halepensis* trees would be necessary to restore the balance of these ecosystems. Thus, species selection for reforestation should consider maximizing rather than destroying ecological and socioeconomic services.

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

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

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

References:

1. Bautista, S. (1999). Regeneració n post-incendio de un pinar (*Pinus halepensis*, Miller) en ambiente semiarido. Erosió n del suelo y medidas de conservació n a corto plazo. Ph.D. Thesis, University of Alicante, Spain.
2. Bautista, S., & Vallejo, V. R. (2002). Spatial variation of post-fire plant recovery in Aleppo pine forests. Fire and biological processes, 13-24.
3. Bautista, S., & Vallejo, V. R. (2002). Spatial variation of post-fire plant recovery in Aleppo pine forests. Fire and biological processes, 13-24.
3. Bello-Rodríguez, V., Cubas, J., Fernández, Á. B., Del Arco Aguilar, M. J., & González-Mancebo, J. M. (2020). Expansion dynamics of introduced *Pinus halepensis* Miller plantations in an oceanic island (La Gomera, Canary Islands). Forest Ecology and Management, 474, 118374. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118374>

4. Bellot, J., Maestre, F. T., Chirino, E., Hernández, N., & de Urbina, J. O. (2004). Afforestation with *Pinus halepensis* reduces native shrub performance in a Mediterranean semiarid area. *Acta Oecologica*, 25(1), 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2003.10.001>
5. Benabdeli, K. (1998). Premiers résultats dendrométriques des plantations de pin d'Alep (*Pinus halepensis* mill.) dans le barrage vert (zone d'Aflou, Algérie)—Persée. https://www.persee.fr/doc/ecmed_0153-8756_1998_num_24_1_1846
6. Benarchid, K., Khatori, M., & Hilali, S. b. (2018). Impact De La Reforestation De *Pinus halepensis* Sur La biodiversité dans La forêt Beni Sohane (Ribat Al Kheir-Maroc). 13th International Scientific Forum, ISF 2018, 149.
7. Benarchid, K., Mohammed Khatori, & Hilali, S. (2022). Effect of *Pinus halepensis* reforestation on soil fertility in the forest of Beni Sohane (Ribat Al Kheir Region -Morocco). *Eco. Env. & Cons*, 28(1), 78-85. <https://doi.org/DOI> No.: <http://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i01.011>
8. Bonin, G., Bousquet-Melou, A., Lelong, B., Voiriot, S., Nozay, S., & Fernandez, C. (2007). Expansion du pin d'Alep. Rôle des processus allélopathiques dans la dynamique successionnelle. *Forêt Méditerranéenne*, XXVIII(3), 211-218.
9. Chaparro, J., & Esteve, M. A. (1996). Criterios para restaurar la vegetación en ambientes mediterráneos semiáridos. *Quercus*, 121 (p. 14-17).
10. Chirino, E., Bonet, A., Bellot, J., & Sánchez, J. R. (2006). Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in southeastern Spain. *CATENA*, 65(1), 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.09.003>
11. Clendon, J. H. M., & Millen, G. G. M. (1982). The Control of Leaf Morphology and the Tolerance of Shade by Woody Plants. *Botanical Gazette*, 143(1), 79-83.
12. de Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Quercus ilex* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In : San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. E014bcd+ (p. 152-153).
13. Eckardt, F., Berger, A., Methy, M., Heim, G., & Sauvezon, R. (1978). Interception de l'énergie rayonnante, échanges de CO₂, régime hydrique et production chez différents types de végétation sous climat méditerranéen. In : Moyse A (ed) Les processus de la production végétale primaire. Géobiologie, écologie, aménagement. Gauthier-Villars, Paris, pp 1-75. <http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/113841>

14. Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats, vol. 7. Recueil des Travaux de l'Institut Botanique de l'Université de Montpellier, 3-43.
15. Fernandez, C., Santonja, M., Gros, R., Monnier, Y., Chomel, M., Baldy, V., & Bousquet-Mélou, A. (2013). Allelochemicals of *Pinus halepensis* as Drivers of Biodiversity in Mediterranean Open Mosaic Habitats During the Colonization Stage of Secondary Succession. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 298-311. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0239-6>
16. Fiorucci, A.-S., & Fankhauser, C. (2017). Plant Strategies for Enhancing Access to Sunlight. *Current Biology*, 27(17), R931-R940. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.085>
17. Floret, C., & Pontanier, R. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne : Climat, sol, végétation et aménagement. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer.
18. Franklin, K. A. (2008). Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930-944. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02507.x>
19. Gommers, C. M. M., Visser, E. J. W., St Onge, K. R., Voesenek, L. A. C. J., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: When growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, 18(2), 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>
20. Gratani, L. (2014). Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. *Advances in Botany*, 2014, e208747. <https://doi.org/10.1155/2014/208747>
21. Honnay, O., Verheyen, K., Butaye, J., Jacquemyn, H., Bossuyt, B., & Hermy, M. (2002). Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. *Ecology Letters*, 5(4), 525-530. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00346.x>
22. Inderjit, & Duke, S. O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217(4), 529-539. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>
23. Inderjit, & Keating, K. I. (1999). Allelopathy: Principles, Procedures, Processes, and Promises for Biological Control. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 67, p. 141-231). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60515-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60515-5)
24. Lawson, S. S., & Michler, C. H. (2014). Afforestation, restoration and regeneration—Not all trees are created equal. *Journal of Forestry Research*, 25(1), 3-20. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0426-5>
25. Lichtenthaler, H. K., Ac, A., Marek, M. V., Kalina, J., & Urban, O. (2007). Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree

- species. *Plant Physiology and Biochemistry: PPB*, 45(8), 577-588.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.04.006>
26. Lookingbill, T. R., & Zavala, M. A. (2000). Spatial pattern of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* recruitment in *Pinus halepensis* dominated woodlands. *Journal of Vegetation Science*, 11(4), 607-612.
<https://doi.org/10.2307/3246590>
27. Maestre, F., Cortina, J., Bautista, S., & Bellot, J. (2003). Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations? *For Ecol Manage. Forest Ecology and Management*, 176, 147-160. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00269-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00269-4)
28. Mechergui, K., Naghmouchi, S., Alsubeie, M. S., Jaouadi, W., & Ammari, Y. (2022). Biomass, radial growth and regeneration capacity of Aleppo pine, and its possible use as rootstock in arid and degraded areas. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 15(3), 213.
<https://doi.org/10.3832/ifor3954-015>
29. Paz-Kagan, T., Zaady, E., Shachak, M., & Karnieli, A. (2016). Transformation of shrublands to forests : The role of woody species as ecosystem engineers and landscape modulators. *Forest Ecology and Management*, 361, 257-268.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.021>
30. Pérez-Devesa, M., Cortina, J., Vilagrosa, A., & Vallejo, R. (2008). Shrubland management to promote *Quercus suber* L. establishment. *Forest Ecology and Management*, 255(3), 374-382.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.074>
31. Randriambanona, H., Randriamalala, J. R., & Carrière, S. M. (2019). Native forest regeneration and vegetation dynamics in non-native *Pinus patula* tree plantations in Madagascar. *Forest Ecology and Management*, 446, 20-28.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.019>
32. Reisman-Berman, O., Keasar, T., & Tel-Zur, N. (2019). Native and non-native species for dryland afforestation: Bridging ecosystem integrity and livelihood support. *Annals of Forest Science*, 76(4), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0903-2>
33. Richardson, D. M., & Nsikani, M. M. (2021). Mediterranean pines as invasive species in the Southern Hemisphere. Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean Basin, 83-99.
34. Rizvi, S. J. (2012). Allelopathy: Basic and applied aspects. Springer Science & Business Media.
35. Ruiz-Navarro, A., Barberá, G. G., Navarro-Cano, J. A., Albaladejo, J., & Castillo, V. M. (2009). Soil dynamics in *Pinus halepensis*

- reforestation : Effect of microenvironments and previous land use. *Geoderma*, 153(3-4), 353-361.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.024>
36. S.E.I. (2014). Société Environnement Ingénierie SARL. Etude d'aménagement de la forêt de Beni Sohane. Rapport n°1. Haut Commissariat aux Eaux et Forêt et de la Lutte Contre la Desrtification de Fès- Boulmane. 41 p.
37. Terashima, I., Hanba, Y. T., Tazoe, Y., Vyas, P., & Yano, S. (2006). Irradiance and phenotype: Comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 343-354.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erj014>
38. Ugarte, C. C., Trupkin, S. A., Ghiglione, H., Slafer, G., & Casal, J. J. (2010). Low red/far-red ratios delay spike and stem growth in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3151-3162.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erq140>
39. Wu, Y., Gong, W., & Yang, W. (2017). Shade Inhibits Leaf Size by Controlling Cell Proliferation and Enlargement in Soybean. *Scientific Reports*, 7(1), 9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>

Diversité et cartographie des ligneux le long des grandes artères de la ville de Brazzaville : cas des arrondissements 1 Makélékélé, 2 Baongo et 4 Moungali, République du Congo

Saint Fédrice Ndzai, Docteur

Destin Chelvin Vindou Siassia, Ingénieur

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Duvaress Alverick Jeansy Kimbembe, Ingénieur

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Institut National de Recherche Forestière (IRF),

Cité Scientifique de Brazzaville, République du Congo

Gerleo Lassy Moundaga, Ingénieur

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Laboratoire de Production Végétale (LPV), Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville Université Marien Ngouabi, République du Congo

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Guy Foly Mpela, Doctorant

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo, Docteur

Ravhy Laurent Ondon, Ingénieur

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Chauvelin Douh, Maître de Conférences

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Institut National de Recherche Forestière (IRF),

Cité Scientifique de Brazzaville, République du Congo

Pierre Mbete, Maître de Conférences

Félix Koubouana, Maître de Conférences

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

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p209

Submitted: 07 October 2023
Accepted: 23 August 2024
Published: 31 August 2024

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

Cite As:

Ndzai, S. F., Siassia, D. C. V., Kimbembe, D. A. J., Moundaga, G. L., Mpela, G. F., Gomo, M.-S. M., Ondon, R. L., Douh, C., Mbete, P., & Koubouana, F. (2024). *Diversité et cartographie des ligneux le long des grandes artères de la ville de Brazzaville : cas des arrondissements 1 Makélékélé, 2 Baongo et 4 Moungali, République du Congo.* European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 209. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p209>

Résumé

A l'échelon mondial, toutes les forêts jouent un rôle crucial dans la régulation du climat du fait qu'elles sont l'un des principaux réservoirs de carbone de la terre, leur survie évite donc l'aggravation de l'effet de serre. Réalisée dans la ville de Brazzaville, notamment dans trois : Moungali, Baongo et Makélékélé dont l'objectif général était d'améliorer les connaissances des ligneux se trouvant le long des grandes artères. L'étude a portée sur la mesure le géoréférencement de tous les arbres de diamètre supérieur ou égal à 5 cm à 1,30 m du sol se trouvant le long des grandes artères des arrondissements. Au total, 824 arbres dont 39 espèces, 31 genres et 20 familles. Arrondissement Moungali a présenté plus d'arbres (478) que les deux autres. La famille des Fabaceae est la plus représentée qualitativement dans tous les arrondissements (Baongo, Makélékélé et Moungali) avec respectivement 71,26 %, 35,20 et 44,14 %. Les sept (7) espèces les mieux représentées avec une fréquence relative de 100 % sont : *Bauhinia purpurea*, *Cananga odorata*, *Delonix regia*, *Eucalyptus Sp.* *Mangifera indica*, *Millettia laurentii* et *Terminalia mantaly*. Les moyennes sur les indices de diversités ont été d'ordre $3,40 \pm 0,22$ pour Shannon et $0,77 \pm 0,004$ pour l'Equitabilité de Piélou. L'analyse du Coefficient de Sorensen a montré une affinité floristique entre les trois arrondissements ($51,37 \pm 3,76\%$). La structure diamétrique a présenté une allure exponentielle décroissante. Le diamètre moyen le plus élevé a été obtenu à Moungali avec $1207,85 \pm 921,64$ cm. Cette étude a permis de comprendre que les grandes artères de Brazzaville présentent une bonne diversité floristique dont la gestion rationnelle s'avère nécessaire. Aussi, ces résultats pourront servir de données de références dans le programme d'aménagement de la ville.

Mots-clés: Diversité, Ligneux, Artère, Arrondissement, Brazzaville

Diversity and mapping of woody vegetation along major arteries in the city of Brazzaville: the case of arrondissements 1 Makélékélé, 2 Baongo, and 4 Moungali, Republic of Congo

Saint Fédrice Ndzaï, Docteur

Destin Chelvin Vindou Siassia, Ingénieur

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Duvaress Alverick Jeansy Kimbembe, Ingénieur

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Institut National de Recherche Forestière (IRF),

Cité Scientifique de Brazzaville, République du Congo

Gerleo Lassy Moundaga, Ingénieur

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Laboratoire de Production Végétale (LPV), Ecole Nationale Supérieure

d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville Université Marien Ngouabi,

République du Congo

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Guy Foly Mpela, Doctorant

Mat-Sheridan Mikoungui Gomo, Docteur

Ravhy Laurent Ondon, Ingénieur

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Chauvelin Douh, Maître de Conférences

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Institut National de Recherche Forestière (IRF),

Cité Scientifique de Brazzaville, République du Congo

Pierre Mbete, Maître de Conférences

Félix Koubouana, Maître de Conférences

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole

Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF), Brazzaville

Université Marien Ngouabi, République du Congo

Abstract

On a global scale, all forests play a crucial role in climate regulation, as they are one of the earth's main carbon reservoirs, and their survival

therefore prevents the greenhouse effect from worsening. Carried out in the city of Brazzaville, particularly in three areas: Moungali, Baongo, and Makélékélé, the general aim was to improve knowledge of the woody plants found along the main arteries. The study involved measuring and georeferencing all trees with a diameter of 5 cm or more at 1.30 m above ground level located along the main arteries of the districts. In all, 824 trees were surveyed, including 39 species, 31 genera, and 20 families. Arrondissement Moungali had more trees (478) than the other two. The Fabaceae family is the most represented qualitatively in all boroughs (Baongo, Makélékélé, and Moungali), with 71.26%, 35.20 and 44.14% respectively. The seven (7) best-represented species with a relative frequency of 100% are *Bauhinia purpurea*, *Cananga odorata*, *Delonix regia*, *Eucalyptus* Sp. *Mangifera indica*, *Millettia laurentii* and *Terminalia mantaly*. The averages for the diversity indices were 3.40 ± 0.22 for Shannon and 0.77 ± 0.004 for Piélou Equitability. Analysis of Sorenson's Coefficient showed a floristic affinity between the three districts ($51.37 \pm 3.76\%$). The diametric structure showed a decreasing exponential trend. The highest mean diameter was obtained in Moungali at 1207.85 ± 921.64 cm. This study has shown that Brazzaville's main arteries have a good diversity of flora, which needs to be managed rationally. These results can be used as reference data for the city's development program.

Keywords: Diversity, Ligneux, Artery, Borough, Brazzaville

Introduction

Les forêts tropicales jouent un rôle important dans le monde en offrant de nombreux services écosystémiques (Mille et Louppe, 2015 ; FAO, 2020). Elles contiennent d'importantes quantités de stocks de carbone et regorgent une très grande biodiversité (Lewis et al., 2009 ; Ifo et al., 2016). La gestion rationnelle de l'écosystèmes forestiers est l'un des multiples problèmes auxquels se heurtent beaucoup de pays africains en général et le Congo en particulier. Les forêts de la République du Congo présente une superficie forestière d'environ 23,5 millions d'hectares, soit 69 % du territoire national (NERF, 2016). En dehors de ses grands massifs forestiers, s'ajoutent les forêts urbaines et périurbaines de Brazzaville qui subissent de nos jours une dégradation et une exploitation très accentuées résultants des activités anthropiques (Kimpouni et al., 2013 ; Mikoungui et al., 2020 ; Ndzai et al., 2022).

Les forêts urbaines de Brazzaville disposent d'un grand potentiel forestier faisant partie du deuxième poumon écologique mondial déclinant une biodiversité dont la conservation et la gestion durable constituent actuellement les enjeux de toute politique forestière conséquente (Miabangana et al., 2020). La végétation forestière naturelle de Brazzaville, comptait jusqu'aux années

1970 cinq massifs dont quatre (la Tsiémé, la Glaciaire, la Corniche et le Tchad) ont disparu sans que leur biodiversité ne soit connue (Makany, 1976 ; Nzingoula, 2016). Cette disparition a conduit à l'augmentation de la température dans le milieu urbain par les fortes chaleurs et les inondations (N'Zala et Miakkodila, 2002). La forêt reste le seul moyen de lutte contre l'augmentation de la température (Lewis et al., 2009 ; Ifo et al., 2016). D'où la nécessité de réaliser plus d'études floristiques dans les forêts urbaines de la ville de Brazzaville où l'on trouve des ligneux afin de favoriser leur gestion durable et rationnelle de ces ressources forestières. Les arbres de Brazzaville occupent des formes d'utilisation : alignement, cour ou jardin, clôture et plantation intra-urbaine (N'Zala et Miakkodila, 2002 ; Mikoungui et al., 2020 ; Ndzaï et al., 2022). Les espaces urbains comportant des ligneux atténuent l'effet des chaleurs suffocantes, améliorent le microclimat, protègent du vent, du bruit et de la poussière. Ils constituent des lieux de recréation et d'ornement nécessaires au bien-être humain.

La foresterie urbaine joue un rôle très important dans la ville de Brazzaville, cependant, elle reste méconnue. Il convient désormais d'assurer leur aménagement afin d'améliorer le cadre de vie des populations de Brazzaville (N'Zala et Miakkoudila, 2002). A notre connaissance, peu d'étude sur la diversité et la cartographie des ligneux le long des artères de la ville de Brazzaville n'a été entreprise alors que la disparition des espèces ligneuses le long des avenues s'accentue. C'est dans ce contexte que la présente étude a été réalisée le long des grandes artères de la ville de Brazzaville dans le but de promouvoir une gestion durable de la foresterie urbaine. La gestion rationnelle des ressources forestières ne saurait être effective sans une bonne connaissance de la structure et de la composition spécifique d'un écosystème (Kambalé et al., 2016). L'objectif général de cette étude est de contribuer à la connaissance des ligneux se trouvant le long des grandes artères principales de Brazzaville dans les trois arrondissements : Makélékelé 1, Baongo 2 et Moungali 4. Spécifiquement, elle vise à : (1) déterminer la diversité floristique dans ces artères ; (2) déterminer la structure diamétrique de ces arbres ; et (3) cartographier les espèces ligneuses le long de ces artères.

Materiel et Méthodes

Présentation du milieu d'étude

La ville de Brazzaville, capitale politique de la République du Congo s'étend entre $04^{\circ} 6'$ et $4^{\circ} 23'$ de la latitude Est et $15^{\circ} 5'$; $15^{\circ} 25'$ de la longitude Sud. Elle domine le fleuve Congo par la corniche profondément entaillée par les ravins (Vennetier, 1977). La ville est limitée au Nord par le district d'Ignié, au Sud-Ouest par le district de Goma Tsé-Tsé à l'Est par RDC et au Nord-Ouest par le district de Mayama. Elle compte neuf (9) arrondissements (figure 1).

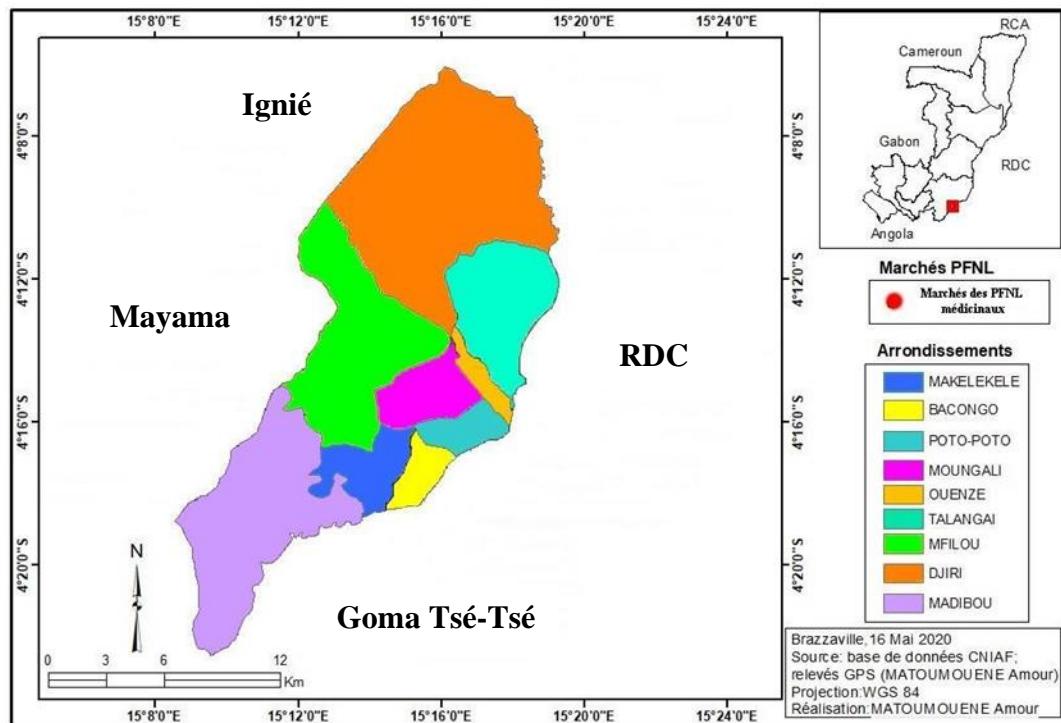


Figure 1 : Situation géographique et administrative de la ville de Brazzaville

Brazzaville est soumise à un climat de type bas congolais (Aubreville, 1949 ; Samba Kimbata, 1978). La température moyenne annuelle est d'environ 25°C avec une faible amplitude thermique de 5 à 6°C. On observe une petite saison sèche de janvier et février avec une absence de pluies mais de température élevée. La petite saison de pluies s'étale de mars à avril accompagné d'une grande saison sèche de mai à septembre avec absence de pluie. Par contre, la grande saison des pluies commence d'octobre à mai soit 3 mois.

Le relief de Brazzaville est relativement plat avec néanmoins un secteur de collines (319 mètres) dominant la vallée du fleuve Congo, sur les rebords des plateaux Batéké et, fusionnant à l'ouest avec des plateaux des cataractes (Vennetier, 1977). Brazzaville est arrosée par deux principaux cours d'eau, la Djiri au nord et le Djoué au sud (Vennetier, 1977). On note au centre la rivière Tsiémé et l'Ouest un affluent de la rivière Djoué qui est la M'filou. Les sols de Brazzaville sont faiblement ferralitiques (Vennetier, 1966). Depuis les années 1965-1970, Brazzaville comptait encore de nombreux espaces verts. Parmi lesquelles nous avons : les galeries forestières de Nganga-lingolo, Djoumouna, Djiri et la forêt de l'île Mbamou dans les environs de la ville. La ville était constituée du patrimoine ligneux : les Réserves Forestières de la

Patte d’Oie et Tsiémé, les jardins publics du square de Gaulle et de la Basilique Sainte Anne (Makoumbou et Massamba, 2000).

Méthodes

Collecte des données

Le choix des arrondissements a été fait en termes de la densité des arbres se trouvant le long des grandes artères dans une partie de Brazzaville. Pour ce faire, une prospection de terrain a été effectuée au préalable pendant 3 mois pour choisir les artères les mieux densifiées en espèces ligneuses de grandes tailles. A la fin de la prospection, 3 arrondissements ont été retenus avec 14 artères à savoir : arrondissement 1 Makélékélé (5 artères), arrondissement 2 Baongo (3 artères) et arrondissement 4 Moungali (6 artères). Les mesures ont été effectuées sur tous les arbres de diamètre ≥ 5 cm de part et d’autre des artères. Le diamètre a été mesuré à 1,30 cm du sol à l’aide d’un compas forestier. Pour les arbres présentant les fourches, contreforts et les malformations, les mesures ont été reportées au-dessus de 1,30 cm en ajoutant 30 cm à la limite initiale. Tous les arbres identifiés ont été géoréférencés à l’aide d’un GPS de marque Garmin 64 pour les cartographier.

Traitement et analyse floristique

Les données recueillies sur le terrain ont été saisies dans le tableau Microsoft Excel 2016 pour la création de la base de données.

Richesse spécifique : d’après Pascal (2003), elle désigne le nombre d’espèces recensées par unité de surface.

Elle renseigne sur le nombre des individus identifiés par espèce, genre et famille recensé dans chaque placette.

Spectre écologique : Deux spectres (Spectre brut et pondéré) de nature floristique différente ont été calculés pour évaluer qualitativement et quantitativement les données collectées (Ndzai et al., 2022).

- Spectre brut (Sb) : il permet d’évaluer qualitativement la flore ligneuse, il a pour formule suivante (équation 1) :

$$Sb (\%) = \frac{\text{Nombre d'espèces par famille}}{\text{Nombre total d'espèces des familles}} \times 100 \quad (Eq\ 1)$$

- Spectre pondéré (Sp) : il sert à évaluer quantitativement la flore ligneuse, à partir de la formule suivante (équation 2) :

$$Sp (\%) = \frac{\text{Nombre individus par famille}}{\text{Nombre total d'individus des familles}} \times 100 \quad (Eq\ 2)$$

Densité relative (Dr) : elle consiste à apprécier la dominance des espèces et des familles de la composition floristique ligneuse. Elle a été déterminée par l'équation utilisée par Ndzaï (2020).

$$Dr(\%) = \frac{\text{Nombre d'individu d'une famille ou d'une espèce}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100 \quad (Eq\ 3)$$

Dominance relative d'une espèce : elle permet de mettre en évidence les espèces ou les familles qui occupent plus de place dans l'échantillon considéré à l'intérieur d'une formation forestière étudiée (Ndzai, 2020).

$$Dominance\ relative = \frac{\text{Surface terrière d'une espèce ou famille}}{\text{Surface terrière totale d'une espèce ou famille}} \times 100 \quad (Eq\ 4)$$

Fréquence relative (Fr) : elle permet d'apprécier l'hétérogénéité de la composition des espèces d'une zone donnée. Elle a été déterminée par la formule ci-dessous.

$$Fr. = \frac{\text{nombre de relevés où l'espèce est présente}}{\text{nombre total de relevés}} \times 100 \quad (Eq\ 5)$$

Coefficient de similarité : le coefficient de similarité de Sorensen a permis de savoir si deux artères A et B comparées sur le plan floristique appartiennent à la même communauté végétale (Ngueguim et al., 2010). Pour une valeur de Sorensen (K) supérieure à 50 %, on peut conclure que les deux parcelles comparées appartiennent à une même communauté végétale. Dans le cas contraire, les deux parcelles appartiennent à des communautés végétales différentes.

$$\text{Sorensen (K \%)} = \frac{2C}{A+B} \times 100 \quad (Eq\ 6)$$

Avec : A = nombre d'espèces de la parcelle a ; B = nombre d'espèces de la parcelle b et C = nombre total des espèces communes aux parcelles a et b.

Distribution par classes de diamètres des groupements

Les arbres inventoriés dans chaque arrondissement ont été groupés par classe de diamètres pour réaliser des structures de populations. Ces classes ont été réparties comme suit : [5-9,9 cm = classe 0], [10-19,9 cm = classe I], [20-29,9 cm = classe II], [30-39,9 cm classe III], [40-49,9 cm = classe IV] et ∞ .

Cartographie des arbres

Le logiciel QGiS version 3.26.1 a été utilisé pour la localisation des arbres le long des artères de ces arrondissements.

Analyse statistique des données

L'Analyse de variance (ANOVA) a été effectuée pour comparer les moyennes des indices calculées dans les différentes artères étudiées. L'ANOVA compare les moyennes deux à deux des différents groupes. Cette analyse a pour but d'établir différences significatives ou non entre les groupes. Le niveau de significativité choisi pour ces analyses est de 5 % (P-Valeur = 0,05).

Rsultatas et Discussion

Résultats

Composition et richesse floristique

A l'issue de l'inventaire réalisé dans les différents arrondissements que sont Moungali, Baongo et Makélékélé, 824 arbres ligneux ont été recensés. Les 824 arbres ligneux inventoriés appartiennent à 39 espèces, 31 genres repartis au sein de 20 familles. Moungali est l'arrondissement qui domine majoritairement avec 478 arbres soit 58,00 % suivi de Makélékélé, 179 (21,72 %) arbres et enfin Baongo est l'arrondissement qui présente le moins d'arbres avec 167 arbres (20,27 %) (Tableau I). Pour la composition et la richesse floristique par arrondissement, Makélékélé est prépondérant sur les autres arrondissements avec 24 espèces, 22 genres et 17 familles (Tableau I).

Tableau I : Composition et richesse floristique de trois arrondissements

| Arrondissement | Effectif | % effectif | Espèce | Genre | Famille |
|----------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Baongo | 167 | 20,27 | 17 | 14 | 9 |
| Makélékélé | 179 | 21,72 | 24 | 22 | 17 |
| Moungali | 478 | 58,00 | 23 | 20 | 14 |
| Total | 824 | 100 | 39 | 31 | 20 |

La figure 2 présente les résultats des spectres brut et pondéré des différences familles inventoriées. Elle indique que le nombre d'espèces et d'individus par famille varient d'une famille à une autre.

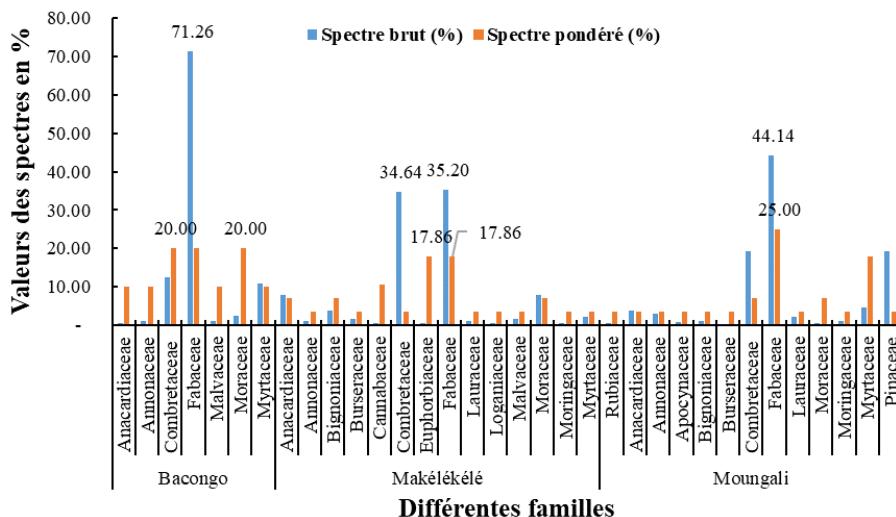


Figure 2 : Spectres brut et pondéré en fonction des familles

Il ressort de cette figure que, quantitativement (spectre pondéré), les familles des Combretaceae, Moraceae et des Fabaceae avec 20,0 % chacun sont les plus représentées. A Makélékélé, celle des Euphorbiacées et des Combretaceae avec 17,86 % chacune sont les plus représentées. A Moungali, ce sont les Fabaceae qui sont les plus représentées avec 25,00 %.

Par contre, qualitativement (spectre brut), les Fabaceae sont les plus représentées dans tous les arrondissements (Baongo, Makélékélé et Moungali) avec respectivement 71,26 %, 35,20 et 44,14%.

Le tableau II indique que sept (7) espèces sont mieux représentées avec une fréquence relative de 100 %, il s'agit de : *Bauhinia purpurea*, *Cananga odorata*, *Delonix regia*, *Eucalyptus* Sp., *Mangifera indica*, *Mellettia laurentii* et *Terminalia mantaly*. Il montre également que, *Terminalia mantaly* (17,79 %), *Mellitia laurentii* (11,53 %) et *Albizia lebbeck* (10,32 %) sont les espèces les plus abondantes. Les autres espèces sont faiblement représentées et moins abondantes.

Tableau II : Fréquence et densité relative par espèce

| Espèce | Fréquence relative | Densité relative |
|---|--------------------|------------------|
| <i>Acacia manguim</i> Wild. | 66,67 | 8,74 |
| <i>Albizia ferruginea</i> (Guille & Perr.) Benth. | 66,67 | 0,12 |
| <i>Albizia lebbeck</i> Benjamin Lisan | 66,67 | 10,32 |
| <i>Bauhinia purpurea</i> L. J Rojas-Sandov | 100,00 | 6,67 |
| <i>Cananga odorata</i> Hook.f.& Thomon | 100,00 | 2,18 |
| <i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby | 66,67 | 1,21 |
| <i>Delonix regia</i> (Ojer ex Hook.) Raf | 100,00 | 1,94 |
| <i>Eucalyptus</i> Sp. | 100,00 | 2,79 |
| <i>Mangifera indica</i> L. | 100,00 | 3,76 |

| | | |
|--|--------|-------|
| <i>Markhamia tomentosa</i> (Benth.)K. | 66,67 | 0,24 |
| <i>Milletia laurentii</i> De Wild. | 100,00 | 11,53 |
| <i>Moringa oleifera</i> Martin L | 66,67 | 0,73 |
| <i>Newbouldia laevis</i> (P.Beauv.)Seem.exBureau | 66,67 | 1,21 |
| <i>Peltophorum pterocarpum</i> Dieng Biran | 66,67 | 6,07 |
| <i>Persea americana</i> M Yasir | 66,67 | 1,58 |
| <i>Terminalia mantaly</i> H. Perrier | 100,00 | 17,96 |
| <i>Terminalia superba</i> Engl.& Diels. | 66,67 | 1,58 |

Abondance des espèces

Il ressort du tableau III que, *Acacia manguim* (28,98 %) suivi de *Milletia laurentii* (26,81 %) et *Terminalia superba* (15,69 %) sont les espèces les plus dominantes à Baongo. En ce qui concerne, la densité relative, *Acacia manguim*, *Milletia laurentii* et *Eucalyptus* Sp. avec respectivement 29,34 % ; 22,16 % et 10,78 % sont les espèces qui présentent plus des individus. A Makélékélé, *Terminalia mantaly* (36,01 %), *Milletia laurentii* (24,00 %) et *Mangifera indica* (8,97 %) sont les espèces qui occupent plus de l'espace. Dans Moungali, *Terminalia mantaly* (25,26 %), *Peltophorum pterocarpum* (17,30 %) et *Milletia laurentii* (8,76 %) sont les espèces qui occupent plus de l'espace. Parc contre, en termes d'abondance, les espèces les plus abondantes sont : *Pinus caribaea*, *Terminalia mantaly* et *Albizia lebbeck*.

Tableau III : Abondance des espèces

| Arrondissements | Espèces | Dominance relative (%) | Espèces | Densité relative (%) |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Baongo | <i>Acacia manguim</i> | 28,98 | <i>Acacia manguim</i> | 29,34 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 26,81 | <i>Milletia laurentii</i> | 22,16 |
| | <i>Terminalia superba</i> | 15,69 | <i>Eucalyptus</i> Sp. | 10,78 |
| Makélékélé | <i>Terminalia mantaly</i> | 36,01 | <i>Terminalia mantaly</i> | 27,37 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 24,00 | <i>Bauhinia purpurea</i> | 12,85 |
| Moungali | <i>Mangifera indica</i> | 8,97 | <i>Milletia laurentii</i> | 12,85 |
| | <i>Terminalia mantaly</i> | 25,26 | <i>Pinus caribaea</i> | 20,29 |
| | <i>Peltophorum pterocarpum</i> | 17,30 | <i>Terminalia mantaly</i> | 18,83 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 8,76 | <i>Albizia lebbeck</i> | 15,06 |

Similarité de Sorenson

L'analyse du tableau V montre que, Moungali et Makélékélé présentent la meilleure similarité avec 55,32 %, suivi de Baongo et Moungali avec 50,00 % puis vient en dernière position Baongo et Makélékélé avec une similarité de 48,78 % avec une moyenne générale de $1,37 \pm 3,76\%$.

Tableau V : Indice de Sorenson

| Arrondissements | Espèces | Dominance relative (%) | Espèces | Densité relative (%) |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|---|----------------------|
| Baongo | <i>Acacia mangium</i> | 28,98 | <i>Acacia mangium</i> | 29,34 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 26,81 | <i>Milletia laurentii</i> | 22,16 |
| | <i>Terminalia superba</i> | 15,69 | <i>Eucalyptus</i> Sp. | 10,78 |
| Makélékélé | <i>Terminalia mantaly</i> | 36,01 | <i>Terminalia mantaly</i> | 27,37 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 24,00 | <i>Bauhinia purpurea</i> <i>Milletia laurentii</i> | 12,85 |
| Moungali | <i>Mangifera indica</i> | 8,97 | <i>Pinus caribaea</i> | 20,29 |
| | <i>Terminalia mantaly</i> | 25,26 | <i>Terminalia mantaly</i> | 18,83 |
| | <i>Peltophorum pterocarpum</i> | 17,30 | <i>Albizia lebbeck</i> | 15,06 |
| | <i>Milletia laurentii</i> | 8,76 | | |

Structure diamétrique général

Les arbres le long des artères principales de ces trois arrondissements présentent un total de 13 classes de diamètre avec une allure décroissante (figure 3).

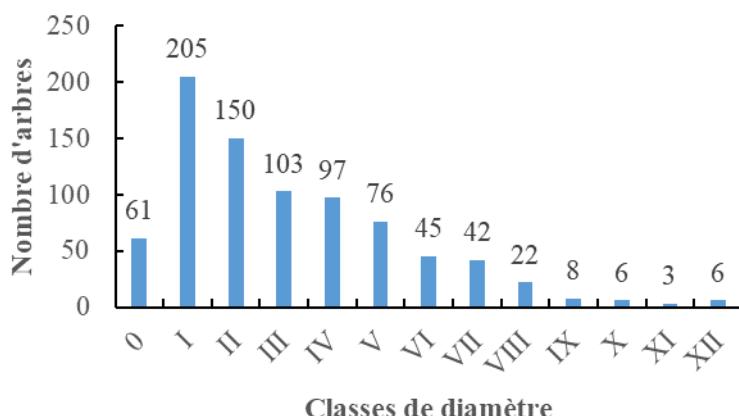


Figure 3 : Structure diamétrique de la population végétale étudiée

Il ressort de cette figure que, la classe de diamètre I présente le grand nombre d'arbre (205 arbres), suivie de la classe II (150 arbres) puis la classe III (103 arbres). Les autres classes sont faiblement représentées.

Structure diamétrique par arrondissement

La planche 1 montre les structures diamétriques de trois arrondissements dont les nombres d'arbres varient d'une classe à une autre.

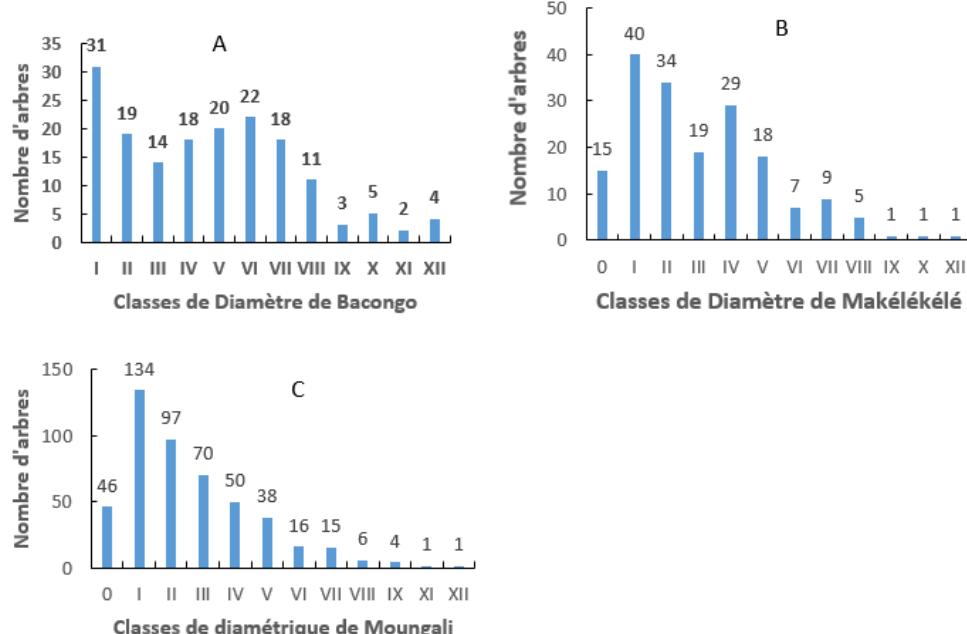


Planche 1 : Structure diamétrique de populations végétales des arrondissements

Dans l'ensemble, la classe I présente le nombre d'arbre le plus important dans ces trois arrondissements. L'Arrondissement 2 Baongo (planche 1-A), la classe I présente nombre d'arbres le plus important des arbres avec 31 arbres, suivie de la classe VI (22 arbres) et de la classe V (20 arbres). Les autres classes sont faiblement représentées nombre. A Makélékélé (planche 4-B), la classe I a plus d'arbres, soit 40 suivie de la classe II (34 arbres), la classe IV (29 arbres). Les autres classes de diamètre sont faiblement représentées. A Moungali (planche 4-C), la classe I présente un nombre important d'arbre soit 134 arbres suivie de la classe II (97 arbres) puis la classe III avec 70 arbres et la classe IV avec 50 arbres.

Diamètre moyen

L'analyse du tableau VIII présente le diamètre moyen par arrondissement avec une différence significative ($P\text{-Valeur} = 0,029$). Ce tableau montre qu'à Moungali, le diamètres moyen est de $1207,85 \pm 921,64$ cm,

suivi de Baongo ($703,42 \pm 407,46$ cm). Par contre, Makélékélé présente le diamètre le plus faible avec $521,17 \pm 378,20$ cm.

Tableau VIII : Diamètre moyen par arrondissement

| Arrondissements | Moyenne (cm) |
|-----------------|----------------------|
| Baongo | $703,42 \pm 407,46$ |
| Makélékélé | $521,17 \pm 378,20$ |
| Moungali | $1207,85 \pm 921,64$ |

Localisation des arbres dans les trois arrondissements parcourus

La figure 4 présente la localisation des arbres inventoriés le long des artères principales de Brazzaville.

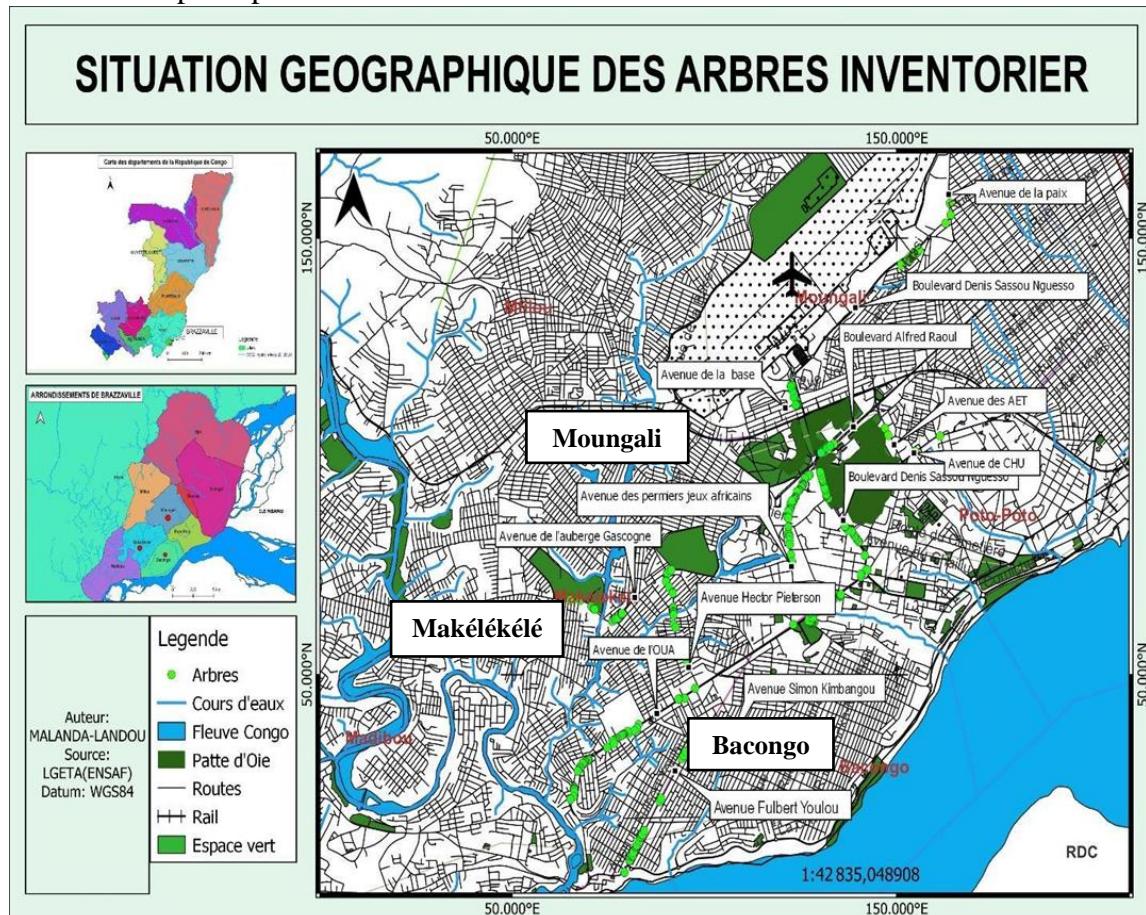


Figure 5 : Localisation des arbres

Il ressort de cette figure que, les arbres le long des avenues de Brazzaville sont bien alignés et on observe des espaces vides sur cette carte. La concentration des arbres est plus marquée à Moungali avec les zones forestières. A Baongo, la densité est faible par rapport à Makélékélé.

Discussion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent une richesse importante tant sur le plan floristique que structurale sur les grandes artères. En comparant avec d'autres études réalisées dans la Réserve Forestière de la Patte d'Oie de Brazzaville ainsi que dans la cartographie des forêts de la ville de Brazzaville (Makoumbou et Massamba, 2000 ; Kimpouni et al., 2013 ; Zingoula, 2016). Il ressort que, Brazzaville était dans une zone fortement forestière détruite par l'urbanisation. La composition floristique de la ville de Brazzaville varie d'un arrondissement à un autre. Moungali présente plus d'arbres soit 478 que les autres arrondissements. Cette situation est due certainement au nombre d'avenues parcourues dans l'arrondissement de Moungali qui est supérieur à ceux des autres arrondissements. De même, ces avenues sont mieux garnies par les arbres en prenant l'exemple du Boulevard Alfred Raoul.

La faible composition floristique des deux autres arrondissements pourrait s'expliquer par l'urbanisation et l'occupation anarchique du domaine public par les installations commerciales. De plus, ce résultat serait aussi dû aux dimensions et à la structuration de ces artères, car comparativement au boulevard Alfred Raoul, les autres artères présentes de faibles dimensions et des formes différentes.

Cette étude indique que, quantitativement (spectre pondéré), les familles Combretaceae et qualitativement (spectre brut), celle des Fabaceae sont les plus représentées. La dominance de ces familles est due certainement à un nombre important des individus du genre *Terminalia*, *Delonix* et *Albizia*. De même, la forte dominance des Fabaceae peut s'expliquer par le regroupement de toutes les Légumineuses en une seules famille par le système APG. Ces espèces végétales sont les plus abondantes sur les avenues de Brazzaville, car elles jouent un rôle d'ombrage et d'ornement. Les résultats de cette étude confirment ceux obtenus par N'Zala et Miakodila (2002). Les résultats de l'abondance indiquent bien la forte représentation de ces familles dans ces arrondissements.

L'analyse des résultats sur fréquence relative révèle que 7 espèces : *Bauhinia purpurea*, *Cananga odorata*, *Delonix regia*, *Eucalyptus* Sp. *Mangifera indica*, *Milletia laurentii* et *Terminalia mantaly*, atteignent un pourcentage de 100 %. La forte fréquence de ces espèces est due certainement par leur capacité d'adaptation au sol et au climat de la ville de Brazzaville ainsi que la forme ornementale. Cependant, celles dont le pourcentage est de 66,67 % et de 33,33 % signifient qu'elles n'ont été retrouvées que dans deux ou dans l'une de ces trois arrondissements. Par contre, *Terminalia mantaly*, *Mellitia laurentii* et *Albizia lebbeck* sont les espèces les plus abondantes de ces arrondissements. L'abondance de ces espèces est confirmée par leur

croissance très rapide ainsi qu'à la capacité d'adaptation (Kimpouni et al., 2013) ; N'Zala et Miankodila, 2002).

Les résultats de la dominance relative montrent qu'à Baongo *Acacia manguim*, *Millettia laurentii* et *Terminalia superba* sont les espèces les plus gros en diamètre. A Makélékélé, *Terminalia mantaly*, *Milletia laurentii* et *Mangifera indica* sont les espèces à plus gros diamètre. Alors qu'à Moungali, *Terminalia mantaly*, *Peltophorum pterocarpum* et *Mellitria laurentii* sont les espèces à gros diamètre. Ces espèces témoignent l'ancienneté de ces arrondissements.

La similarité des relevés est affirmée quand la valeur de l'indice de Sorensen est supérieure à 50 %. Dans le cas contraire, les relevés appartiennent à des communautés végétales différentes (Ngueguim et al., 2010). Les résultats de l'étude révèlent que, la valeur moyenne du coefficient de Sorensen est de $51,37 \pm 3,76$ %. Cela montre une affinité floristique entre ces arrondissements. Ces trois arrondissements appartiennent donc à une même communauté végétale. Il serait donc possible que les 3 arrondissements aient été aménagés dans le cadre d'un même projet. Ce résultat confirme celui de la fréquence relative de cette même étude selon lequel plus de sept (7) espèces partagent les mêmes arrondissements.

Les structures des populations de la présente étude affichent une tendance en forme exponentielle décroissante. Par conséquent, elles traduisent une régression du nombre de tiges lorsqu'on passe des classes de petits diamètres aux classes de diamètres supérieurs. Ce résultat montre la volonté du gouvernement et des populations de planter les arbres.

Les résultats de cette étude sur la cartographie des espèces ligneuses le long des grandes artères dans trois arrondissements de Brazzaville montrent une bonne répartition des arbres le long de ces artères. Par contre, il y a des vides le long de ces artères qui méritent d'être regarnis pour une bonne gestion de la ville. Le regarnissage dans les endroits vides sur ces artères pourrait jouer un rôle très important dans la lutte contre le changement climatique, les fortes chaleurs ainsi que les érosions. Ils contribueront également au charme des arrondissements et la ville.

Conclusion

Cette étude menée dans les trois arrondissements : Baongo, Makélékélé et Moungali avait pour objectif de contribuer à la connaissance des ligneux se trouvant le long des grandes artères principales de Brazzaville. Les résultats de cette étude ont montré que, la ville de Brazzaville se trouve dans une zone fortement forestière avec une dominance de la famille des espèces végétales appartenant à la famille des Fabaceae. Mais dans chaque arrondissement, les espèces suivantes ont été les plus abondantes, notamment : *Acacia manguim*, *Millettia laurentii* et *Terminalia superba* à Baongo.

Terminalia mantaly, *Millettia laurentii* et *Mangifera indica* à Makélékélé. Par contre, *Terminalia mantaly*, *Peltophorum pterocarpum* et *Millettia laurentii* à Moungali. Les indices de Shannon ont indiqué une diversité maximale sans abondance d'une seule espèce.

Remerciements: Les auteurs de cet article remercient tous les étudiants de LGETA pour leur engagement dans la collecte de données sur le terrain ainsi qu'à Monsieur Florian MALANDA LANDOU pour la réalisation de la carte.

Contribution des Auteurs: Tous les auteurs ont participé à la rédaction et la lecture de ce manuscrit. Par contre, SFN et RLO ont participé à la collecte de données et à la compilation du manuscrit.

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

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

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

References:

1. Aubreville A., 1949. Climat, forêt et désertification de l'Afrique Tropicale. La Rose, Paris, 35p
2. FAO, 2020. Evaluation des ressources forestières mondiales 2020- Principaux résultats-Rome. <https://doi.org/104060/ca8753fr>.
3. Ifo S. A., Moutsambote J. M., Koubouana F., Yoka J., Ndzai S., Bouetou-Kadilamio L.N., Mampouya H., Jourdain C., Bocko Y., Mantota A. B., Mbemba M., Mouanga-Sokath D., Odendé R., Mondzali R., Yeto E., Mampouya W., Ouissika B. C. and Loumeto J.J. 2016. Tree Species Diversity, Richness, and Similarity in Intact and Degraded Forest in the Tropical Rainforest of the Congo Basin: Case of the Forest of Likouala in the Republic of Congo. *International Journal of Forestry Research* 2016
4. Kambalé K., 2016. Diversité ligneuse, valeur d'usage et de stock de carbone des systèmes Agro forestiers à base de cacaoyers du territoire de beni/ à l'est de la RDC. Thèse présentée en vue de l'obtention du Diplôme de MSc en Agroforesterie et optimisation des services éco systémiques des espaces naturels et cultivés du Bassin du Congo. Option : Services environnementaux, Faculté D'agronomie et Des Sciences Agricoles, Université DSCHANG, Beni R.D. Congo 102 p.

5. Kimpouni V., Mbou P., Gakosso G. et Motom M., 2013. Biodiversité floristique du sous-bois et régénération naturelles de la forêt de la Patte d’Oie de Brazzaville. Ecole Normal Supérieure. Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(3), 1255-1270.
6. Lewis S., Lloyd Jon, Sitch, Stephen, Mitchard Edward T. A. and Laurance W. F., 2009. Changing Ecology of Tropical Forests: Evidence and Drivers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 529-549.
7. Makany L., 1976. Végétation des Plateaux Téké (Congo). Collection des travaux de l’Univ. de Brazzaville, 301 p.
8. Makoumbou C. et Massamba A. A., 2000. Inventaire floristique et mode de dissémination des espèces végétales dans la forêt du parc zoologique de Brazzaville, Mémoire C.A.P.E.S. de Kengué, 61 p.
9. Miabangana et Lubini A., 2015. Analyse floristique et phytogéographique de la végétation de l’île de Loufémou à Brazzaville (République du Congo). *Geo-Eco-Trop*, 39(1) : 55-66.
10. Mikoungui Gomo M-S., N’zala D. et Ndzaï S.F., 2020. Diversité floristique des dépendances vertes périurbaines de Brazzaville (Congo) menacée de dégradation. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 14 (7) : 2567-2582.
11. Milles G., Louppe D., Billand A., Sist P., Jourdan R., 2015. Mémento du forestier tropical. *Editions Quae*, 1198 p.
12. N’Zala D et Miankodila P., 2002. Arbres et espaces verts à Brazzaville (Congo). *Bois et Forêts des Tropiques* 272 (2): 88–92
13. Ndzaï S.F., Koubouana F., Mpela G.F., Ayessa L., Mikoungui Gomo M., Douh C., Mboukou M., Mbete P., Vindou Sissia D.C., Mabengo C.B., Malonga Mbouchi L. & Mvila Oumba L.M., 2022. Diversité des Épiphytes Vasculaires de la Forêt Secondaire de Koubola (Département du Pool, District de Goma Tsé-Tsé) et de la Forêt du Parc Zoologique de Brazzaville, République du Congo. *European Scientific Journal, ESJ*, 18 (40), 240. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p240>
14. NERF, 2016. Soumission au Secrétariat CCNUCC. 65p.
15. 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.* 2010 14 (1), 167-176. 10p
16. Nzinguila Loufouma S., 2016. Dynamique du changement de la couverture forestière de la ville de Brazzaville entre 1946 ET 1966. Mémoire de fin de formation, ENSAF, UMNG, Brazzaville Congo, 73 P.

17. Pascal J P., 2003. Notions sur la structure et dynamique des forêts tropicales humides, 13p.
18. Samba Kimbata M.J., 1978. Le climat du Bas-Congo, thèse de 3^{ème} cycle, Université de Bourgogne, Dijon, 280p + figures.
19. Vennetier P., 1966. Géographie du Congo Brazzaville : la couverture végétale et les sols du Congo. Paris, 169p.
20. Vennetier P., 1977. République Populaire du Congo. Les atlas Jeunes Afrique, édition J.A. ; Paris.

Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks in the Mono River basin (Benin, West Africa)

Biao Iboukoun Eliezer

Assistant Professor, National School of Mathematical Engineering and Modeling, National University of Sciences, Technology, Engineering and Mathematics, Abomey, Benin

Obada Ezechiel

Assistant Professor, National School of Public Works, National University of Sciences Technology, Engineering and Mathematics, Abomey, Benin

Moussa Djibril Aliou

Segbede Armand

Assistant Professor, National School of Mathematical Engineering and Modeling, National University of Sciences, Technology, Engineering and Mathematics, Abomey, Benin

Alamou Adechina Eric

Full Professor, National School of Public Works, National University of Sciences Technology, Engineering and Mathematics, Abomey, Benin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n24p228](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p228)

Submitted: 12 July 2024

Copyright 2024 Author(s)

Accepted: 29 August 2024

Under Creative Commons CC-BY 4.0

Published: 31 August 2024

OPEN ACCESS

Cite As:

Biao I.E., Obada E., Moussa D.A., Segbede A. & Alamou A.E. (2024). *Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks in the Mono River basin (Benin, West Africa)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (24), 228.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n24p228>

Abstract

Hydrological models are developed to simulate river flows over a watershed for many practical applications in the field of water resource management. However, the rainfall-runoff models mostly used in the Mono river basin struggle to better simulate high river flows. This paper presents a modeling approach based on Artificial Neural Networks (ANN) under different input meteorological parameters in the Mono River basin to better take into account the non-linearity of the relationship between rainfall and runoff. To this end, precipitation, potential evapotranspiration, and previously observed flow have been used for the daily flow simulation. The Levenberg-

Marquardt algorithm is used to train the ANN rainfall-runoff models over the other optimization training algorithms mostly implemented in the study area. The analysis of the rainfall-runoff variability allowed us to show the strong correlation between rainfall and runoff and the impact of the Nangbéto dam on the flows at Athiémé. The results obtained after the training, validation, and testing of the ANN models are satisfactory (e.g., the coefficient of correlation varies between 0.93 and 0.99). The most efficient model has been identified and implemented in the Mono river basin at Nangbéto. The satisfactory results obtained show that ANN models can be considered good alternatives for traditional rainfall-runoff modeling approaches.

Keywords: Mono river basin, variability, modeling, artificial neural networks, Levenberg-Marquardt algorithm, non-linearity

Introduction

Rainfall is generally the greatest contribution to the water balance of a river basin. The transformation of rainfall into flow is a phenomenon of great importance which, for several years, has been the subject of numerous studies. Indeed, the rainfall-runoff relationship is one of the most complex hydrologic phenomena to comprehend due to the tremendous spatial and temporal variability of the river basin characteristics and precipitation patterns, as well as the number of variables involved in modeling of physical processes (Joshi and Patel, 2011).

Several studies used artificial neural networks (ANN) for modelling complex hydrological processes, such as rainfall-runoff (Hsu and Gupta, 1995; Lorrai and Sechi, 1995; Minns and Hall, 1996; Dawson and Wilby, 1998; Tokar and Johnson, 1999; Rajurkar et al., 2002; Wilby et al., 2003; Giustolisi and Laucelli, 2005; Jain and Srinivasulu, 2006). Relatively few studies have tested the practicability of using ANN with various input configurations to model the rainfall-runoff relationship. For example, the river flow does not only depend on total rainfall, but also on other meteorological parameters. Thus, a simple adjustment to ANN input data can be made to ameliorate their performance in flow simulation. Researches also showed that ANN are one of the most promising tools in hydrology (ASCE Task Committee, 2000a; 2000b; Maier and Dandy, 2000; Dawson and Wilby, 2001). ANN can map the underlying relationship between input and output data without a prior understanding of the process under investigation (Kalteh, 2008). However, according to Kalteh (2008), ANN have been mostly criticized for their black-box nature due to the fact that the primary application of an ANN is the nonlinear modeling of input-output observations in order to obtain accurate modeling of the system's response. Nevertheless, several authors such as (Chergui, 2019; Lek et al., 1996; Kharroubi et al., 2016; Yao

et al., 2014) showed that these models, inspired by the functioning of biological neurons, are very efficient for simulating and predicting river flows in catchment areas. Zohou et al. (2023) used two ANN models such as the Long Short-Term Memory (LSTM) and Recurrent Gate Networks (GRU) in the Oueme River basin at Savè outlet in Bénin. They found a strong similarity between the observed and simulated flows. Their results demonstrate the effectiveness of artificial intelligence-based models in hydrological modeling. Mohseni and Muskula (2023) examined the rainfall-runoff-based model development using ANN models in the Yerli sub-catchment of the Upper Tapi basin in India. These authors used the Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization and Conjugate Gradient Scaled algorithms to train the ANN rainfall-runoff models. Their results show that Levenberg-Marquardt creates the most accurate model.

In the Mono River basin, the non-linearity of the rainfall-runoff relationship accentuated by the presence of the Nangbéto dam, limits hydrological modeling by conventional methods. To date, relatively few studies have used ANN rainfall-runoff models in the study area and a clear picture of its performance is lacking. In order to fill this gap, the present study examines the rainfall-runoff modeling development by using ANN models under different input meteorological parameters in the Mono River basin at Athiéme. The Levenberg-Marquardt algorithm is used to train the ANN rainfall-runoff models over the other optimization training algorithms mostly implemented in the study region. The performance of the most efficient model is then tested at Nangbéto outlet of the investigated river basin.

Materials and methods

Study area and data used

The Mono River basin at Athiéme occupies an area of 21,500 km² shared between two West-African countries, Togo and Benin. Specifically, it is located between the latitudes 06°16'N and 09°20'N, and the longitudes 0°42'E and 2°25'E (Figure 1). It hosts the Nangbéto hydropower dam, which was built in 1987 and utilized by the two countries. The river serves as a natural border between the two countries in the southern part. The climate is tropical (two rainy seasons and two dry seasons) downstream and subequatorial (one rainy season and one dry season) upstream (Lawin et al., 2019). This river basin is patterned in the south by floodplains and plateaus, and higher landforms in the north and north-west, e.g., the Atakora Mountains with a height of 800 m and their southern extensions are the Togo mountains (Amoussou et al., 2020). Its water storage capacity is 1,715 Mm³ (Amoussou, 2010).

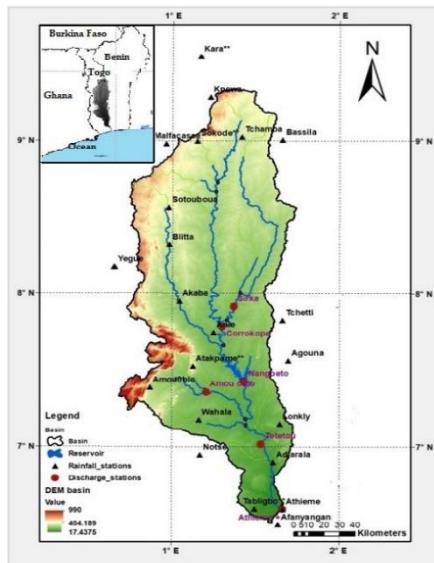


Figure 1: Study area

Observed meteorological data (daily rainfall data, potential evapotranspiration data estimated by the Penman-Monteith formula) and daily river discharge data were provided respectively, by the Benin and Togo Meteorological Department and the National Directorate of Water (DG-Eau) of Benin. The observed data are considered for the period 1961–2010 (good compromise, taking into account the length of the available data in the different stations). Average rainfall over the basin is obtained by the ordinary kriging method applied to 17 rainfall stations.

Methods

Rainfall-runoff interannual variability

The rainfall and runoff anomaly indices are calculated using Eq (1) for the analysis of the interannual variability of these variables.

$$\varepsilon_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X} \quad (1)$$

where X_i is the annual value of rainfall/runoff in year i ; \bar{X} is the average value of X_i over the period 1961–2010 and σ_X its standard deviation.

Data preprocessing

Before loading the data into the ANN rainfall-runoff models, a few transformations were applied, such as data normalization and transforming time series into supervised learning series. Normalization and standardization

are common techniques not limited to time series. Especially when working with algorithms that are sensitive to the range of input values (e.g. neural networks), this preprocessing step plays an important role. The simplest way to transform a time series forecast into a supervised learning problem is by creating lag features. The first approach is to predict the value of time t given the value at the previous time $t - 1$. A key function to help transform time series data into a supervised learning problem is the Pandas shift() function. Given a DataFrame, the shift() function can be used to create copies of columns that are pushed forward (rows of NaN values added to the front) or pulled back (rows of NaN values added to the end). This is the behavior required to create columns of lag observations, as well as columns of forecast observations for a time series dataset in a supervised learning format.

Normalization

Precipitation and evapotranspiration data will be normalized in [0, 1] according to the relationship:

$$y = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

where x and y stand respectively for the initial and normalized data vectors. x_{max} and x_{min} are respectively the maximum and minimum values of the initial data. For the flow data, a logarithmic transformation is applied.

Split the Dataset

Our hydrometeorological data is divided into three main parts to ensure the training, validation, and testing of the ANN models (Table 1). It has been noticed a lot of missing data in the observed data. Thus, consecutive years without gaps have been identified and the period 1971-1977 is used for supervised learning.

- A first data set is used to train the models. This set covers 60% of the dataset (01-01-1971 to 11-03-1975). This data set allows learning the different weights of the neurons constituting our network.
- A second data set is used to validate the model parameters (validation set). This set represents 20% of the dataset (12-03-1975 to 05-08-1976). This data sample provides an unbiased evaluation of the model fit on the training data set while adjusting the models hyperparameters.
- A third data set is used to test the real performance of the models. This dataset also represents 20% of the dataset (06-08-1976 to 31-12-1977). This is the test sample and it is used only after the model is fully trained (using the training and validation sets). This step allows to provide an unbiased assessment of the fit of the final model on the training dataset.

Table 1: Dataset split

| Phase | Percentage | Period |
|----------------|------------|-------------|
| Training set | 60% | |
| Validation set | 20% | 1971 - 1977 |
| Test set | 20% | |

Artificial Neural Networks model

The model of neural networks used in this study is the multi-layer perceptron (MLP). An MLP consists of at least three layers of nodes: an input layer, a hidden layer and an output layer (Figure 2). Except for the input nodes, each node is a neuron that uses a nonlinear activation function. MLP utilizes a chain rule based supervised learning technique called backpropagation or reverse mode of automatic differentiation for training.

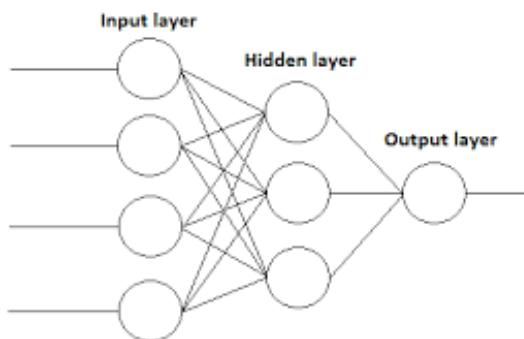


Figure 2: Multi-layer Perceptron

When the signals X_i , are presented to the input of the neuron, the information processing module performs their weighted addition, denoted by v_k , such as:

$$v_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} X_j \quad (3)$$

where w_{kj} stands for the weight from neuron j to neuron k.

Then a transfer function ϕ is applied to the resulting signals, while adding to its an external quantity called the activation threshold b_k . A value representative of all the signals (y_k) is then obtained at the output of the neuron such that

$$y_k = \phi(v_k + b_k) \quad (4)$$

The transfer function ϕ can be linear or non-linear. In the present study, the transfer function ϕ used for the hidden layer is the hyperbolic tangent function (due to its main properties such as: non-linearity, smoothness, output range between -1 and 1, etc..) given by Eq (5)

$$\phi(v) = \tanh(v) = \frac{1}{1 - e^{-2v}} - 1 \quad (5)$$

whereas the one used for the output layer is the identity function (purelin)

$$\phi(v) = v \quad (6)$$

Levenberg-Marquardt algorithm

The principle of this algorithm is based on an iterative method of adjusting the free parameters of a Multilayer Perceptron network (Marquardt, 1963). It uses the principle of minimizing an error cost function. The free parameters of the network are adjusted at each iteration according to the value of the error taken at the output of the network.

Assuming that \hat{y} is the output of the network:

$$\hat{y} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^p \alpha_k \tanh(v_k + b_k) \quad (7)$$

where p is the number of neurons of the hidden layer; α_k is the weight linking the neuron k of the hidden layer to the neuron of the output layer.

The associated error is given at each iteration by $e = y - \hat{y}$ (Eq. 8)

$$e = y - \left[\alpha_0 + \sum_{k=1}^p \alpha_k \tanh(v_k + b_k) \right] \quad (8)$$

The cost function that the Levenberg-Marquardt algorithm seeks to minimize while adjusting the network parameters is the squared error related to Eq (8). This algorithm uses the Gauss-Newton method to determine the optimal parameters of the network.

River flow simulation

We used the neural network fitting and neural network time series modules in MATLAB. For the simulation of the river flow, three types of models of neural network are investigated. The first ANN model considers a combination of precipitation, potential evapotranspiration on day t and observed flow values on day $t - 1$ as input variables for the flow simulation on day t . These variables are mostly the inputs of hydrological models.

- **Model 1**

$$Q(t) = f_1(P(t), ETP(t), Q(t-1)) \quad (9)$$

where

$$f_1 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \alpha_j \tanh(v_k + b_k) \text{ and } v_k = w_{k1}P(t) + w_{k2}ETP(t) + w_{k3}Q(t-1)$$

In Eq (9), $P(t)$, $ETP(t)$ and $Q(t-1)$ stand respectively for precipitation, potential evapotranspiration on day t , and the river flow on day $t-1$.

The second ANN model considers only previously observed precipitations as input variables for the daily flow simulation.

- **Model 2**

$$Q(t) = f_2(P(t-1), P(t-2), \dots, P(t-r)) \quad (10)$$

By taking into account the expression of f_2 , Eq (10) can be written in the form

$$Q(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^p \alpha_k \tanh(w_{k0} + w_{k1}P(t-1) + \dots + w_{kr}P(t-r)) \quad (11)$$

The third ANN model considers a combination of previously observed precipitation, potential evapotranspiration and flow values as input variables for the daily flow simulation.

- **Model 3**

$$Q(t) = f_3(P(t-1), ETP(t-1), Q(t-1)) \quad (12)$$

which can be written in the form

$$Q(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^p \alpha_k \tanh(w_{k0} + w_{k1}P(t-1) + w_{k2}ETP(t-1) + w_{k3}Q(t-1)) \quad (13)$$

Table 2 shows the different parameters used to configure the networks.

Table 2: Parameters of ANN models used

| Parameters | Choice |
|---|---|
| Type of network | Feed-forward back propagation |
| Structure of the developed network | Multi-layers Perceptron (Feed-Forward) |
| Input | Parameters of the function f according to the model (P, ETP, previous river flow Q) |
| Output | River flow (Q) |
| Learning algorithm | Levenberg-Marquardt |
| Performance functions | Mean Squared Error (MSE), coefficient of correlation (R) and Nash coefficient |
| Number of layers | 2 |
| First layer activation function (hidden layer) | Tangential sigmoid |
| Second layer activation function (output layer) | Linear (PURELIN) |

The Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient can be given in the form:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_s^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \quad (14)$$

where \bar{Q}_0 is the mean observed river flow, Q_s^t is the simulated river flow and Q_0^t is the observed river flow at time t.

Then, the most efficient models are tested in the Mono River basin at Nangbéto outlet in order to judge their capability to provide a good simulation in another river sub-basin of the study area.

Results and Discussion

Distribution of daily river flow

The study period is divided into two part: 1961 – 1987 (period before the establishment of the Nangbéto dam) and 1988 – 2010 (period after the establishment of the dam in 1987). This subdivision was done to consider the effect of the dam's operation on the flow at Athiéme outlet. Figure 3 shows that the distribution of daily flows presents a high variability from 1988-2010 compared to the period preceding the impoundment of the dam. There is an increase of about 37% in the average annual flow after the dam's impoundment compared to the previous one. Indeed, Nangbéto dam has a strong influence on the flows at Athiéme outlet, and this confirms the artificial nature of the Mono's hydrological regime since the establishment of the Nangbéto dam. These results align with the works of Amoussou (2010) and Biao et al. (2021).

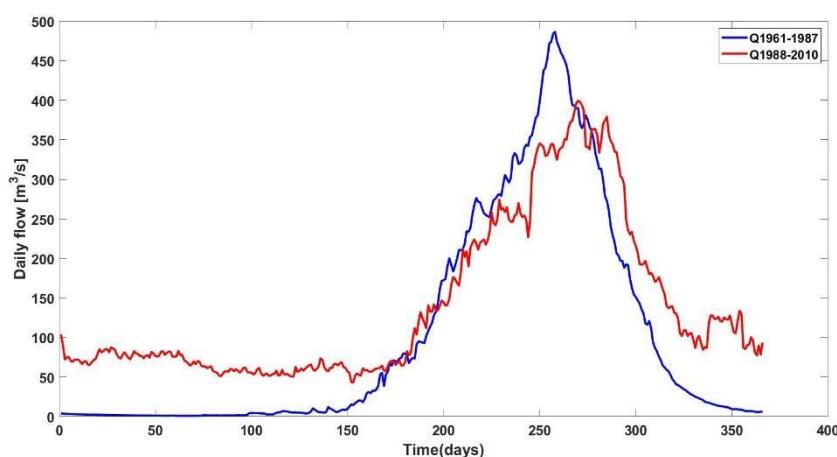


Figure 3: Distribution of daily river flows at Athiéme outlet

Rainfall-runoff interannual variability

Figure 4 shows a drop in rainfall over the last two decades of the study period compared to the 1960s. However, this drop is less pronounced than that of the period 1970-1975. It is almost the same pattern for runoff. This justifies the correlation between rainfall and runoff. The two extremes (i.e. wet year in 1963 and dry year in 1983) coincide for both rainfall and flow.

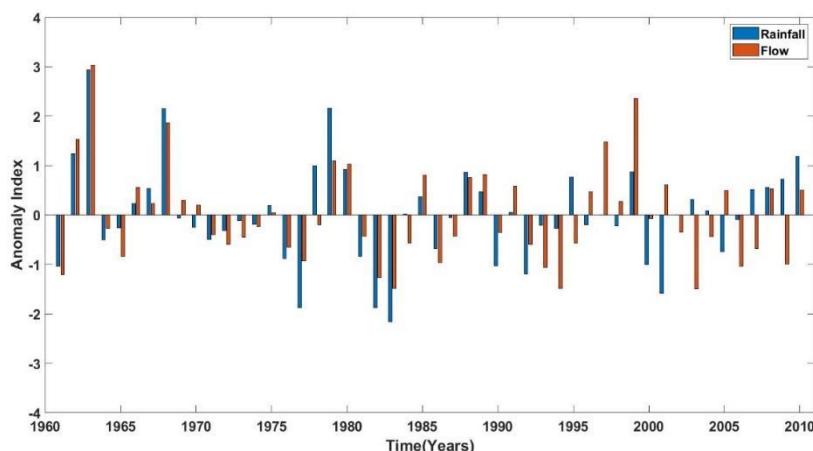


Figure 4: Rainfall-runoff interannual variability

Supervised learning

Supervised learning is performed over the period 1971-1977 because it represents the longest series of consecutive years without gaps.

Neural network fitting

Figure 5 shows the network configured for Model 1. One can see that the input of the network is three (3), which represents the three (3) input parameters of the model (i.e. $P(t)$, $ETP(t)$, $Q(t - 1)$) and at the output we have the flow at day t . In the hidden layer we notice 10 neurons, whereas in the output layer only one neuron is seen because we have one output (i.e. flow). The vector of weights W and that of the biases b , as well as the transfer functions are indicated on the network.

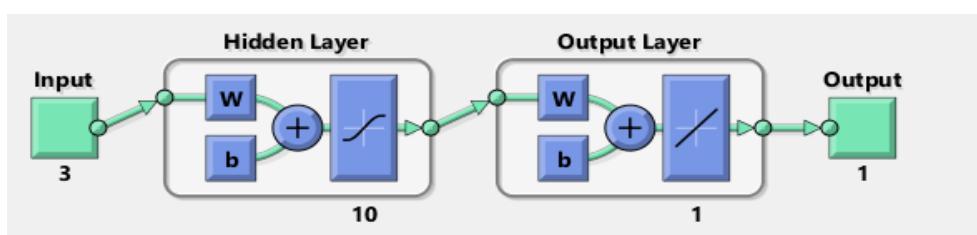


Figure 5: Network configured for Model 1

Results of supervised learning, after 12 iterations, are summarized in Figure 6:

| Results | | | |
|-------------|---------|------------|------------|
| | Samples | MSE | R |
| Training: | 1533 | 3.71042e-2 | 9.96424e-1 |
| Validation: | 511 | 3.39696e-2 | 9.96835e-1 |
| Testing: | 511 | 6.41221e-2 | 9.93044e-1 |

Figure 6: Supervised learning results using Model 1

Neural network time series

Figure 7 shows the network configured for Model 2. Once the data is entered, the network is created with 10 neurons with the specificity of the delay number $r = 100$ as shown in Figure 7. At the input we have precipitations and at the output, the flow.

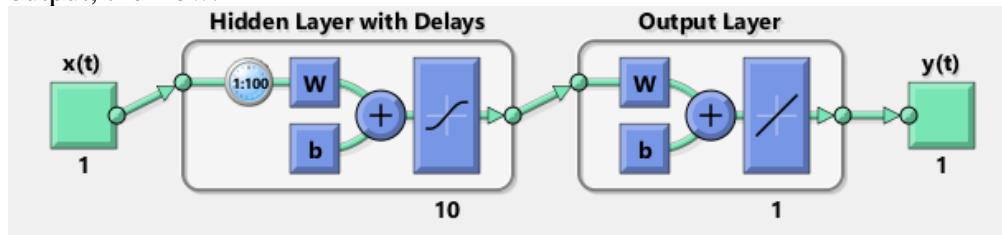


Figure 7: Network configured for Model 2

Results of the supervised learning, after 23 iterations, are given in Figure 8:

| Results | | | |
|-------------|---------------|------------|------------|
| | Target Values | MSE | R |
| Training: | 1533 | 6.88162e-1 | 9.30525e-1 |
| Validation: | 511 | 9.62730e-1 | 9.03944e-1 |
| Testing: | 511 | 9.70365e-1 | 9.06945e-1 |

Figure 8: Supervised learning results using Model 2

Figure 9 shows the network configured for Model 3. We can see that the input of the network is three (3), which represents the three (3) input parameters of the model ($P(t - 1)$, $ETP(t - 1)$, $Q(t - 1)$) and at the output we have the flow. $x(t)$ at the input is composed of the first two (2) parameters, while the $y(t)$ is the third model parameter. The number of delays r is 1. In the hidden layer we have 10 neurons and one neuron at the output layer. The vector of

weights W and that of the biases b as well as the transfer functions are indicated on the network.

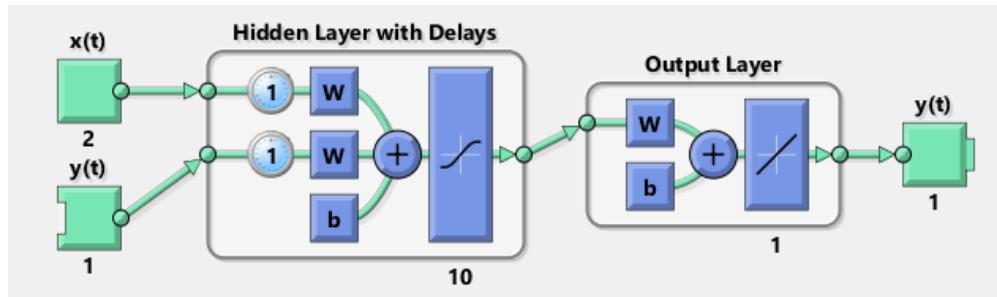


Figure 9: Network configured for Model 3

Results of the supervised learning, after 27 iterations, are summarized in Figure 10:

| Results | | | |
|-------------|---------------|------------|------------|
| | Target Values | MSE | R |
| Training: | 1533 | 3.97633e-2 | 9.96182e-1 |
| Validation: | 511 | 4.58328e-2 | 9.95357e-1 |
| Testing: | 511 | 3.78191e-2 | 9.96055e-1 |

Figure 10: Supervised learning results using Model 3

Table 3 summarized the performance of the three models.

Table 3 : Performance of the models

| Models | Training | | Validation | | Testing | |
|---------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | R | MSE | R | MSE | R | MSE |
| Model 1 | 0.99 | 0.037 | 0.99 | 0.034 | 0.99 | 0.064 |
| Model 2 | 0.93 | 0.688 | 0.90 | 0.962 | 0.91 | 0.970 |
| Model 3 | 0.97 | 0.039 | 0.95 | 0.045 | 0.96 | 0.037 |

The results of Table 3 allow us to conclude that the three investigated models performed well in training, validation and testing, which are justified by the values of R close to 1 and those of the MSE is low because the error order is between 10^{-1} and 10^{-2} , especially for Models 1 and 3. Indeed, Models 1 and 3 performed better than Model 2. This can be justified by adding a second meteorological parameter (i.e. evapotranspiration) as input to the ANN model. These findings have also been highlighted by Aoulmi et al. (2020) who tested the practicability of ANN models with different input configuration in Seybouse basin (Northeast Algeria). They found that as much input variables are numerous, as more the model of ANN is efficient.

Simulation of Mono river flow at Athiémé

Precipitation and potential evapotranspiration data for the time-period 1961-1964, which have not been taken into account for supervised learning, were now used to simulate the river flow. Figures 11, 12 and 13 show the flows simulation respectively from Models 1, 2 and 3. It can be seen from these figures that Model 1 better reproduce the observed hydrograph compared to Models 2 and 3. The values of the performance criteria MSE, R and Nash used in this study are given in Table 4. The values of the criteria MSE, R and Nash confirm the excellent quality of model 1 over Models 2 and 3.

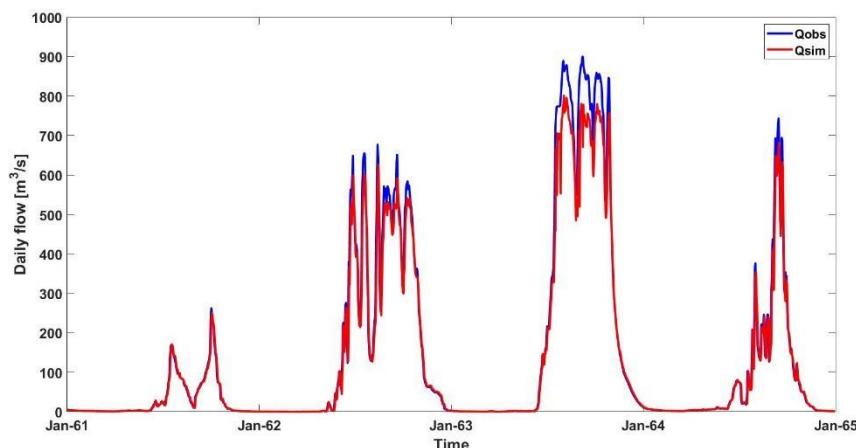


Figure 11: Observed and simulated flows in Mono River basin at Athiémé for the time-period 1961-1964 using Model 1

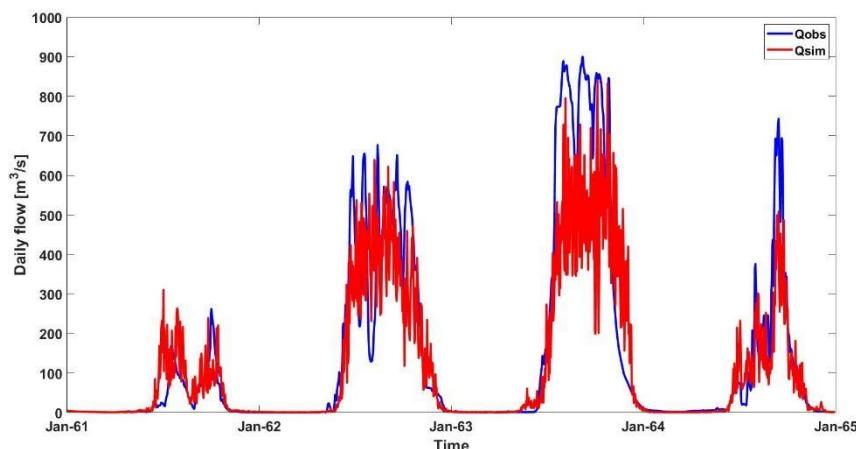


Figure 12: Observed and simulated flows in Mono River basin at Athiémé for the time-period 1961-1964 using Model 2

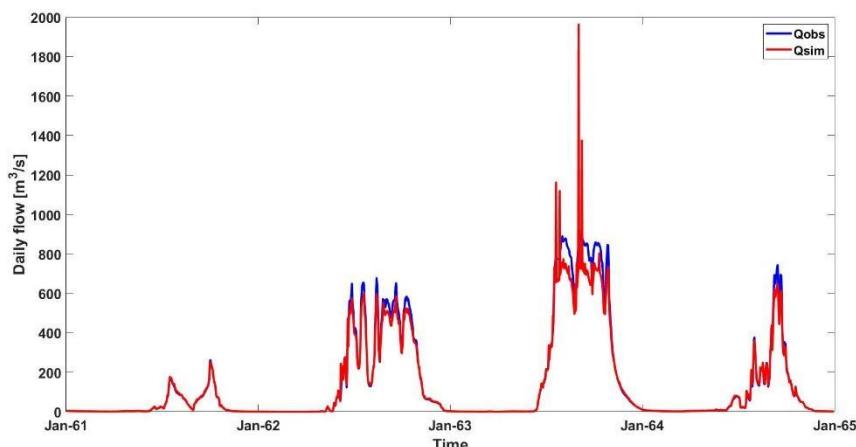


Figure 13: Observed and simulated flows in Mono River basin at Athiéme for the time-period 1961-1964 using Model 3

Table 4: Models performance (ranged by decreasing performance)

| Models | MSE | R | Nash | Quality |
|--------|--------|------|--------|-----------|
| Model1 | 0.0270 | 0.99 | 99.61% | Excellent |
| Model3 | 0.0282 | 0.97 | 96.61% | Excellent |
| Model2 | 0.9885 | 0.93 | 86.23% | Good |

The works carried out by Biao et al. (2021) on the hydrological modeling of the Mono basin at Athiéme showed that with the use of HBV (Seibert, 2005), ModHyPMA (Afouda and Alamou, 2010), GR4J (Perrin et al., 2007), AWBM (Boughton, 2004) hydrological models and a combination of these four models, the values of the Nash criterion varie between 36% and 81%. In addition, the works of Koubodana et al. (2021), which used GR4J and IHACRES (Jakeman and Hornberger, 1993) hydrological models, gave values of the Nash criterion between 60% and 90%. Thus, one can conclude that the performances of the investigated ANN models in this research are better than those found in previous works in the study area. The ANN models used in this study better simulate high river flows compared to the hydrological models mostly used the study area. However, the uncertainties that are still associated with the peaks can be explained as a result of increasing soil moisture, rather than isolated rain spells in the basin. Based on the power and capacity to simulate reasonably correct flows, ANN models can be considered good alternatives for traditional rainfall-runoff modeling approaches.

Testing the most efficient models at Nangbéto outlet

The most efficient model in simulating flow in Mono River basin at Athiéme (i.e. Model 1) tested with data from the Mono River basin at Nangbéto outlet

responds also well and gives a Nash criterion of 80% (Figure 14). The results obtained by Amoussou et al. (2014) in this aforementioned basin using GR4J hydrological model gave a value of the Nash criterion of about 78% over the period 1996-2003 and 62% over the period 2004-2010. We can therefore realize the generalization capacity of the ANN models. The good capability of ANN to model hydrological process has also been highlighted by previous studies. For instance, Riad et al. (2004) showed that ANN are useful and powerful tools for handling complex problems compared to traditional models. Kumar et al. (2016) concluded that the simulated daily runoff using ANN model fairly matched with the observed values. The findings of this present study clearly show that the artificial neural networks can better model rainfall-runoff relationship.

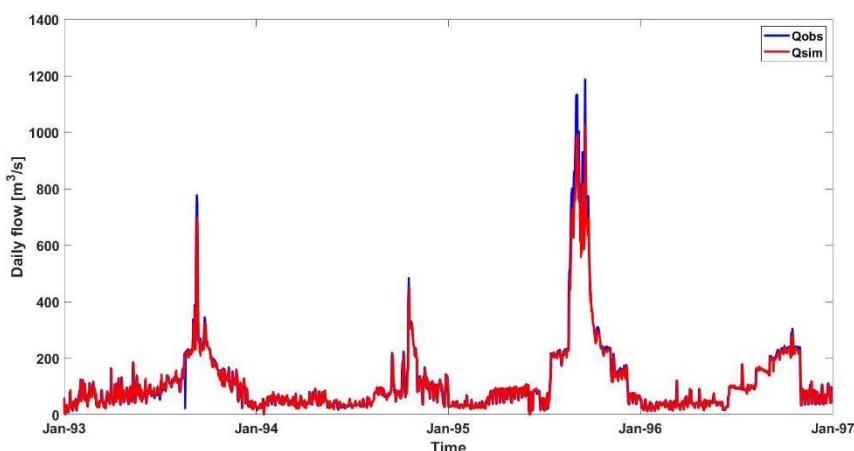


Figure 14: Observed and simulated flows in Mono River basin at Nangbéto for the time-period 1993-1996 using Model 1

Conclusions

The main contribution of this paper is to investigate ANN rainfall-runoff models under different input meteorological parameters for a better understanding of the hydrological behavior of the Mono River basin. The study of the rainfall-runoff variability showed a strong correlation between rainfall and runoff and highlights the main role played by the Nangbéto dam in the non-linearity of the rainfall-runoff relationship at the Athiéme outlet. Using ANN models under different input meteorological parameters with the Levenberg-Marquardt algorithm allowed us to simulate river flow and gave good performances (Nash criterion varies between 86% and 99%). The investigated models were very efficient and gave simulated flows almost identical to the observed flows. However, as much input variables are numerous, as more the model of ANN is efficient. The implementation of the most efficient model (i.e. Model 1) in the Mono River basin at Nangbéto outlet

yielded also to good results and confirms, therefore, the generalization capacity of ANN. The ANN approach is a promising tool to solve problems in water resources and management.

Acknowledgments: The authors thank researchers and institutions who provided datasets for this work.

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

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

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

References:

1. Afouda A, Alamou E. (2010). Modèle hydrologique basé sur le Principe de Moindre Action (MODHYPMA). Annale des Sciences Agronomiques du Bénin, 13(1):23-45.
2. Amoussou E. (2010). Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat Unique, Université de Bourgogne, Dijon, France, CRCCNRS UMR5 210p.
3. Amoussou, E., Tramblay, Y., Totin, H.S.V., Mahé, G., Camberlin, P. (2014). Dynamique et modélisation des crues dans le bassin du Mono à Nangbéto (Togo/Bénin), Hydrological Sciences Journal., 59, 2060–2071, <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.87101>.
4. Amoussou, E., Awoye, H., Henri S., Vodounon, T., Obahoundje, S., Camberlin, P., Diedhiou, A., Kouadio, K., Mahé, G., Houndénou, C., Boko, M. (2020). Climate and Extreme Rainfall Events in the Mono River Basin (West Africa) Investigating Future Changes with Regional Climate Models, Water, 12: 833. <https://doi.org/10.3390/w12030833>.
5. Aoulmi, Y., Marouf, N., Amireche, M. (2020). The assessment of artificial neural network rainfall-runoff models under different input meteorological parameters Case study : Seybouse basin, Northeast Algeria, Journal of Water and Land Development, 50, 38 – 47, DOI : 10.24425/jwld.2021.138158.
6. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology Artificial neural networks in hydrology. (2000a). I: preliminary concepts. Journal of Hydrologic Engineering, 5(2),115-123.
7. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology Artificial neural networks in hydrology. (2000b). II:

- hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 124-137.
- 8. Biao, I.E., Obada, E., Alamou, A.E., Zandagba, E.J., Chabi, A., Amoussou, E., Adounkpe, J., Afouda, A. (2021). Hydrological modeling of the Mono River basin at Athieme, Proc. IAHS, 98, 1–6, <https://doi.org/10.5194/piahs-98-1-2021>.
 - 9. Boughton, W. (2004). The Australian water balance model. *Environmental Modelling & Software*, 19(10), 943-956. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.007>.
 - 10. Chergui, A. (2019). Modélisation pluie-débit par les réseaux de neurones du bassin versant de SYBOUSSE. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique urbaine, Université Larbi Ben M'hidi O.E.B, Algérie, 113p.
 - 11. Dawson, C.W., Wilby, R.L. (1998). An artificial neural network approach to rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, 43(1), 47-65.
 - 12. Dawson, C.W., Wilby, R.L. (2001). Hydrological modelling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography*, 25(1), 80-108.
 - 13. Giustolisi, O., Laucelli, D. (2005). Improving generalization of artificial neural networks in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 50(3), 439-457.
 - 14. Hsu, K.L., Gupta, H.V., Sorooshian, S. (1995). Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water Resources Research*, 31(10), 2517-2530.
 - 15. Jain, A., Srinivasulu, S. (2006). Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques. *Journal of Hydrology*, 317, 291-306.
 - 16. Jakeman, A.J., Hornberger, G. M. (1993). How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?. *Water Resources Research*. 29, 2637–2649.
 - 17. Joshi J., Patel V.M. (2011). Rainfall-Runoff Modeling Using Artificial Neural Network (A Literature Review), In Proceedings of the National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, Anand, Gujarat, India, 13–14 May.
 - 18. Kalteh, A.M. (2008). Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks (ANNs): modelling and understanding, *Caspian Journal of Environmental Sciences*, Vol. 6 No.1 pp.53~58.
 - 19. Kharroubi, O., Blanpain, O., Masson, E., Lallahem, S. (2016). Application du réseau des neurones artificiels à la prévision des débits horaires : Cas du bassin versant de l'Eure, France, *Hydrological*

- Sciences Journal, 61:3, 541-550,
DOI:10.1080/02626667.2014.933225.
20. Koubodana, H.D., Atchonouglo, K., Adounkpe, G.J., Amoussou, E., Kodja, D.J., Koungbanane, D., Afoudji, K.Y., Lombo, Y., Kpemoua, K.E. (2021). Surface runoff prediction and comparison using IHACRES and GR4J lumped models in the Mono catchment, West Africa. 4th Edition of the FRIEND WATER AOC International Conference on the Hydrology of the Great Rivers of Africa, Cotonou, 16 – 18.
21. Kumar, P.S., Praveen, T.V., Prasad, M.A. (2016). Artificial Neural Network Model for Rainfall-Runoff -A Case Study, International Journal of Hybrid Information Technology, Vol.9, No.3, pp. 263-272, <http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2016.9.3.24>.
22. Lawin, A. E., Hounguè, N. R., Biaou, C. A., Badou, D. F. (2019). Statistical Analysis of Recent and Future Rainfall and Temperature Variability in the Mono RiverWatershed (Benin, Togo), Climate, 7, 1, <https://doi.org/10.3390/cli7010008>.
23. Lek, S., Dimopoulos, I., Derraz, M., Yel, G. (1996). Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels, Revue des Sciences de l'Eau, 1996, Vol. 9, N°3, 319-331.
24. Lorrai, M., Sechi, G.M. 1995. Neural nets for modelling rainfall-runoff transformations. Water Resources Management, 9, 299-313.
25. Maier, H.R., Dandy, G.C. (2000). Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. Environmental Modelling Software, 15, 101-124.
26. Marquard D. (1963). An algorithm for the least-squares estimation of nonlinear. Journal of Applied Mathematics, 11, 431-441.
27. Minns, A.W., Hall, M.J. (1996). Artificial neural networks as rainfall runoff models. Hydrological Sciences Journal, 41(3), 399-417.
28. Mohseni, U., Muskula, S.B. (2023). Rainfall-Runoff Modeling Using Artificial Neural Network- A Case Study of Purna Sub-Catchment of Upper Tapi Basin, India, Environmental Sciences Proceedings, 25, 1, <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14232>.
29. Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2007). Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR) CEMAGREF Disponible. <http://www.cemagref.fr/webgr>.
30. Rajurkar, M.P., Kothiyari, U.C., Chaube, U.C. (2002). Artificial neural networks for daily rainfall-runoff modelling. Hydrological Sciences Journal, 47(6), 865-877.

31. Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., Najjar, Y. (2004). Predicting Catchment Flow in Semi- arid Region via Artificial Neural Network Technique, *Hydrological Process*, vol.18, pp. 2387-2393.
32. Seibert J. (2005). HBV light. Version 2. User' s Manual. Stockholm.
33. Tokar, A.S., Johnson, P.A. 1999. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(3), 232- 239.
34. Wilby, R.L., Abrahart, R.J., Dawson, C.W. (2003). Detection of conceptual model rainfall- runoff processes inside an artificial neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 48(2), 163- 181.
35. Yao, K., Kouassi A., Amani K., Ouattara K., Loukou K., Jean, B. (2014). Application des réseaux de neurones formels pour la prévision des débits mensuels du Bandama blanc à la station de Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire), *Afrique SCIENCE*, 10(3), 134 - 145.
36. Zohou, P.J, Biao, I.E., Aoga, J., Houessou, O., Alamou, A.E., Ezin, C.E. (2023). Modeling River Discharge using Deep Learning in the Ouémé catchment at Savè outlet (Benin, West Africa), *SSRG International Journal of Geo-informatics and Geological Science*, Volume10 Issue 1, 29-35.