

European Scientific Journal, *ESJ*

March 2021

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

March 2021 edition vol. 17, No. 10

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

About the Journal

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

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

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

Sincerely,

Jovan Shopovski, PhD

European Scientific Journal (ESJ)

Managing Editor

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Vayia Karaiskou,
Open University of Cyprus

Robert Szucs,
Szolnok University College, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Daniel Barredo,
University Laica Eloy Alfaro de Manabi, Ecuador

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

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

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

John Kamau Gathiaka,
University of Nairobi, Kenya

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

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

Chaudhry Zahid Javid,
Taif University, Saudi Arabia

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Gloria Esteban de la Rosa,
University of Jaen, Spain

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Naheed Vaida,
University of Kashmir, India

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Michele Minor-Corriveau,
Laurantian University, Canada

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Mariangela Giusti,
University of Milan - Bicocca, Italy

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Ziad Said,
College of the North Atlantic, Qatar

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Mona Kassem,
National Research Centre, Egypt

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Thomas Fenzl,
Alps-Adria University of Klagenfurt, Austria

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Stefanos Spaneas,
University of Nicosia, Cyprus

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Wei Hao,
Beijing Normal University, China

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Nishan Rafi Havandjian,
California Polytechnic State University, USA

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Kevin B. O'Connor,
McGill University, Canada

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Nawab Ali Khan,
Aligarh Muslim University, India

Marinella Lorinczi,
University of Cagliari, Italy

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

Bianca Gioia Marino,
University of Naples Federico II, Italy

Franko Milost,
Faculty of Management, Koper, Slovenia

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

Daniel Velasco,
Chicago School of Professional Psychology, USA

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeoascoechea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Oihab Allal-Cherif,
KEDGE Business School, France

Izabela Dembinska,
University of Szczecin, Poland

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Alicia Marchant Rivera,
University of Malaga, Spain

Lucia D'Ambrosi,
University of Macerata, Italy

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Francesco Lenci,
Institute of Biophysics, Italy

Hafiz Muhammad Iqbal,
University of the Punjab, Pakistan

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Asma Zaidi,
Kansas City University of Medicine and Biosciences, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

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

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

Horst Hanke,
Technical University Darmstadt, Germany

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

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

Irina Matijosaitiene,
Kaunas University of Technology, Lithuania

Anita Auzina,
Latvia University of Agriculture, Latvia

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Andre Ozer,
University of Liege, Belgium

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Mohsen Hanif,
Kharazmi University, Iran

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Salem Marzougui,
ElKef, Tunisia

Tunjica Petrusevic,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

Cosmin Stefan Dogaru,
University of Bucharest, Romania

Tiffany T. Boury,
Franciscan University of Steubenville, USA

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Jawed Iqbal,
National University of Sciences & Technology, Pakistan

Tanzer Celikturk,
Pamukkale University, Turkey

Ruth Erika Lerchster,
Alpen-Adria University Klagenfurt, Austria

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

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

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Murtaz Kvirkaia,
Grigol Robakidze University, Georgia

Enrique Jerez Abajo,
University of Zaragoza, Spain

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Efthymios Papatzikis,
Canadian University, Dubai, UAE

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Hilal YIildirir Keser,
Bursa Technical University, Turkey

Miriam Agreda Montoro,
University of La Rioja, Spain

Claudio Tugnoli,
University of Trento, Italy

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Sayeeduzzafar Qazi,
University of Science and Technology, Saudi Arabia

Jose Javier Romero Diaz de la Guardia,
University of Granada, Spain

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

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

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Armando Carteni,
University of Naples Federico II, Italy

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

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

Leila Ghudushauri,
Tbilisi State University, Georgia

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Kira Trostina,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Marek Semela,
Brno University of Technology, Czech Republic

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

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Susan Poyo,
Franciscan University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Virginia Pulcini,
University of Torino, Italy

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Iveta Reinholde,
University of Latvia, Latvia

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Claudio Fabian Guevara,
University of Guadalajara, Mexico

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

Aysegul Ozbebek Tunc,
Istanbul University, Turkey

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

Mary Kathryn Mc Vey,
Franciscan University of Steubenville, USA

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

Eugenio D'Angelo,
Pegaso Telematic University, Italy

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Komina Amevoin,
University of Lome, Togo

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Jose Antonio Marin,
University of Granada, Spain

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

Jorge Wozniak,
National University of Tres de Febrero, Argentina

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Judit Sole Resina,
Autonomous University of Barcelona, Spain

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Angeles Aguilera Velasco,
University of Guadalajara, Mexico

Rachid Hsissou,
Ibn Tofail University, Morocco

Svetlana Melentijevic,
Complutense University of Madrid, Spain

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

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 Elgezzeery,
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 Superieure Abidjan (ENS Ivory Coast)

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Sports University of Tirana, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
University of Moulay Ismail, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Milad Reda Qelliny,
Minia University, Egypt

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Mohammadreza Hadizadeh,
Central State University, USAa

Mushtaq Ismael Hasan,
Thi-Qar University, Iraq

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Abdelaaziz El Bakkali,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fostsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
University Abdelmalek Saadi, Morocco

Gnamien Konan Bah Modeste,
Jean Lorougnon 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

Nishant Agrawal,
Nirma University, India

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Alaa Abdulhady Jaber,
University of Technology, Iraq

Asli Cazorla Milla,
American University in the Emirates, UAE

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

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

Elsa Kristo,
University of Tirana, Albania

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Bashar H. Malkawi,
University of Sharjah, UAE

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Ousmane Tanor Dieng,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Ozgur Muhittin Esen,
Istanbul University, Turkey

Saif Ur Rehman,
PMAS-Arid Agriculture University, Pakistan

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Kalbis Institute, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

Dimitrios Belias,
University of Thessaly, Greece

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Youssef Babakhouya,
Inje University, South Korea

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore "Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael's Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Nawaz Ahmad,
Institute of Business Management, Pakistan

Varij Nayan,
Central Institute for Research on Buffaloes, India

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
University of East Cancun, Mexico

Jonida Lesha,
University of Tirana, Albania

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

Hanif Qureshi,
University of Cincinnati, USA

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

Zayde Ayvaz,
Canakkale Onsekiz Mart University, Turkey

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

Pablo Ezequiel Flores-Kanter,
University Siglo 21, Argentina

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Marcelo Simon Mendes,
University of Sorocaba, Brazil

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

Table of Contents:

Cuarentena por COVID-19, factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de enfermería.....1

Carlos Enrique Fernández Hernández

Javier Salazar Mendoza

María Esperanza Conzatti Hernández

Edith Castellanos Contreras

María de los Ángeles Onofre Santiago

Oscar Daniel Luna Hernández

Ivett Rodríguez Muñoz

Ernestina Méndez Cordero

Analysis of Respiratory Tract Cancer: A Population-Based Study.....25

Pedro M. P. Ferreira

Isabela M. Turcatto

André A. R. Takahashi

Laércio S. Paiva

Luíz Vinícius A. Sousa

Psychometric properties of the COVID-19 associated PTSD-Scale.....36

Samer Jamil Rudwan

Caracterisation des performances de croissance et de resistances aux maladies et aux ravageurs de sept (7) varietes de patate douce (Ipomoea Batatas (I), Lam., 1793) dans la region de bouake, Cote d'Ivoire.....51

Kouame N'guessan

Dibi Konan Evrard Brice

Essis Brice Sidoine

Toure Nin Céline

Ngbesso Mako François De Paul

Relación entre el desequilibrio de músculos flexores y extensores de rodilla y las lesiones musculares en atletas de la Selección Mexicana de Taekwondo.....64

José Luis Reyes Salazar

Ivonne Stefanie Curiel Sigler

Gustavo Argenis Hernández Segura

Dynamique hydrologique et évolution morpho sédimentaire du lac Ahémé au Sud-Ouest du Bénin.....77

Sylvestre Yantikoua

Raoul Laïbi

Rodrigue Adechina

Christophe Kaki

Daouda Mama

Philippe Laleye

Lactate Clearance at 24 of Hours as Predictors of Outcome in Children with Shock.....99

Bibhudatta Mishra

Satyen Gyani

Arjit Mohapatra

Bishwajit Mishra

Vidya Patawari

Portage Digestif des Bêta-Lactamases à Spectre Élargi Chez Quelques Patients de l'hôpital de la Caisse Nationale de Prévoyance Sociale de Maroua (Cameroun).....107

Justine Maiworé

Martin-Paul Baane

Daouda Youssouf

Jean Bole

Felicien Yvelin Nympeye Nango

Assessment of Radical Scavenging and Sickling Inhibitory Activities of the Bark of *Disthemonanthus Benthamianus* (Caesalpiniaceae).....121

Akakpo-Akue Joël

Ahon Gnamien Marcel

Kplé Tatiana Kangah Mireille

Fofié Yvette

Ibrahime Sanogo

Yapo-Crezoit Antoinette Claire Chiyae

Kra Adou Koffi Mathieu

**Connaissances du Personnel Médical sur la Période des 1000 Premiers
jours de vie à Lomé, Togo.....137**

D.A.E. Akolly

A.A. Ketevi

E. Tsolenyanu

K.M. Guedenon

F. Agbeko

K.E. Djadou

A.D. Gbadoe

**Chorologie, Ecologie et Usages des espèces sauvages apparentées aux
légumes feuilles cultivées du genre Solanum L. au Sénégal : Cas de la zone
des Niayes.....147**

Cossi Sosthène Assogbadjo

Doudou Diop

Ahuéfa Mauricel Kégbé

Yves Djihounouck

Ndongo Diouf

Jules Diouf

Ablaye Ngom

Mame Samba Mbaye

Achille Ephrem Assogbadjo

Kandioura Noba

**Integrated Water Resources Vulnerability Assessment: A
Multidimensional Approach and Geographic Information System Based
in Fès, Meknès, and Ifrane Perimeters, Morocco.....179**

Soumaila Kanga Idé

Mustapha Naimi

Mohamed Chikhaoui

**Efficacité du rechargement de la plage de Pilote Bar (Saint-Louis) après
une décennie d'érosion.....207**

Omar Balde

Issa Sakho

Mouhamadou Bachir Diouf

Mamadou Bop

Djibril Tine

Wardou Ibouroi

**Déterminisme génétique de la tolérance de *Lagenaria siceraria* (Molina)
Standley (Cucurbitaceae) aux insectes ravageurs et recherche de
marqueurs microsatellites SSR associés aux gènes.....233**

Anzara Guy Roland

Angui Chia Michelle Valérie

Doubi Bi Tra Serges

Akaffou Doffou Selastique

Zoro Bi Irié Arsène

Assessment of Surface Water Quality using Indices and Geographic Information System in the Sebou River Basin, Morocco.....249

Soumaila Kanga Idé

Mustapha Naimi

Mohamed Chikhaoui

Maladies et plantes vasculaires du Karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) au Bénin.....270

Valerien A. Zinsou

André A. Fanou

Gildas C. Tchemadon

Huguette A. Dossa

Judith A. P. Doumatey

Balkissou Amadou Sambo Poulo

Rosalie Houénoumadin

Armand K. Natta

A Trainee's Approach for Effective Operating Room Learning.....290

Hassan Tahir

Madiha Haroon

Usman Ali Mobin

Faisal Siddiqi

Mirza Arshad Beg

**Nivel de Conocimiento de Métodos Anticonceptivos en Estudiantes
Universitarios.....305**

Yessica García Pérez

Diana Areli Araiza Cervantes

Carlos Alonso Ángeles Álvarez

Ruth Magdalena Gallegos Torres

**Impact du Plan d'action Communal de Meknes (2016-2021) dans
l'amélioration de la Qualité des Ressources Hydriques de Ville de Meknes
cas de l'oued R'dom.....318**

Baouahi Farid

Zin Nacer-Eddine

**Ethnobotanical Study of Some Medicinal Species Used in Kimvula City
(Kongo Central/ RDC).....345**

L. K. Lassa

G. B. Ilumbe

A. M. Biloso

D. M. Y. Masens

JP. M. Habari

F. L. Lukoki

**Impact of Climate Change on Priority Plant Species Conservation in The
Forests Under ONAB (the National Wood Office of Benin)
Management.....378**

S. Donalde Dolorès M. Deguenon

Rodrigue A. Idohou

T. Jean-Didier Akpona

Fortuné Azihou

E. Achille Assogbadjo

Brice Sinsin



Cuarentena por COVID-19, factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de enfermería

Est. Carlos Enrique Fernández Hernández

Dr. Javier Salazar Mendoza

M.C. Enf. María Esperanza Conzatti Hernández

Dra. Edith Castellanos Contreras

M.C. Enf. María de los Ángeles Onofre Santiago

LE. Oscar Daniel Luna Hernández

Dra. Ivett Rodríguez Muñoz

Dra. Ernestina Méndez Cordero

Universidad Veracruzana, Mexico

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p1](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p1)

Submitted: 11 February 2021

Accepted: 12 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fernández Hernández C.E., Salazar Mendoza J., Conzatti Hernández M.E., Castellanos Contreras E., Onofre Santiago M.L., Luna Hernández O.D., Rodríguez Muñoz I. & Méndez Cordero E. (2021). *Cuarentena por COVID-19, factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de enfermería*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p1>

Resumen

Introducción: en la pandemia por COVID-19 se han implementado políticas de salud poco usuales como la cuarentena en la población, modificando entornos sociales, laborales y escolares siendo los jóvenes los más afectados ya que no todos estaban preparados para acatar esas indicaciones, generando estrés o ansiedad, afecciones que generalmente son remediadas por el consumo de drogas psicoactivas como alcohol y tabaco. **Objetivo:** determinar si la cuarentena por COVID-19, es un factor de consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería. **Método:** investigación cuantitativa, descriptiva, correlacional, prospectiva y trasversal, en una muestra de 266 estudiantes de la Licenciatura de Enfermería de la Región Orizaba de la Universidad Veracruzana, con muestreo no probabilístico por cuota. Se aplicó el AUDIT y ASSIST de la OMS. **Resultados:** 86.1% posee conocimiento alto sobre COVID-19, 63.5% ingirió alcohol en la vida, 30.8% toma de 1 a 2 copas y 93.3% nunca perdió la noción de lo que sucedía. Por

otro lado, 59.0% probó tabaco, 16.2% consumieron 1 o 2 veces en tres meses y 100% negó padecer problemas por este hábito. **Conclusión:** 20.4% son hombres y 79.6% mujeres de distintas edades y semestres, 92.5% no tuvo COVID-19, 53.0% son consumidores ocasionales de alcohol y 29.5% fuman con riesgo bajo, en aquellas personas que tuvieron resultados bajos de conocimiento de COVID-19, aumentó el uso de alcohol ($rs = -.121$, $p < 0.05$), para el uso de tabaco no hubo cambios; los resultados se contraponen con otros autores.

Palabras claves: Pandemia, COVID-19, cuarentena, drogas y estudiantes de Enfermería

COVID-19 Quarantine, a Factor Associated with Legal Drug Use in Nursing Students

Est. Carlos Enrique Fernández Hernández

Dr. Javier Salazar Mendoza

M.C. Enf. María Esperanza Conzatti Hernández

Dra. Edith Castellanos Contreras

M.C. Enf. María de los Ángeles Onofre Santiago

LE. Oscar Daniel Luna Hernández

Dra. Ivett Rodríguez Muñoz

Dra. Ernestina Méndez Cordero

Universidad Veracruzana, Mexico

Abstract

Introduction: during the COVID-19 pandemic, unusual health policies such as quarantine have been implemented in the population, modifying social, work and school environments, with young people being the most affected since not all of them were prepared to comply with these indications, generating stress or anxiety, conditions that are generally remedied by the consumption of psychoactive drugs such as alcohol and tobacco. **Objective:** to determine whether COVID-19 quarantine is a factor in the consumption of legal drugs in nursing students. **Method:** quantitative, descriptive, correlational, prospective and transversal research, in a sample of 266 students of the Nursing Degree of the Orizaba Region of the Universidad Veracruzana, with non-probabilistic sampling by quota. The AUDIT and ASSIST of the WHO were applied. **Results:** 86.1% had a high knowledge of COVID-19, 63.5% had ingested alcohol in their lifetime, 30.8% had 1 to 2 drinks and 93.3% had never lost track of what was happening. On the other hand, 59.0% tried tobacco, 16.2% consumed 1 or 2 times in three months and

100% denied suffering problems due to this habit. **Conclusion:** 20.4% are men and 79.6% women of different ages and semesters, 92.5% did not have COVID-19, 53.0% are occasional alcohol consumers and 29.5% smoke with low risk, in those people who had low COVID-19 knowledge results, alcohol use increased ($r_s = -.121$, $p < 0.05$), for tobacco use there were no changes; the results are in contrast with other authors.

Keywords: Pandemic, COVID-19, quarantine, drugs and nursing students

Introduction

La pandemia de COVID-19 derivada de la enfermedad por el nuevo virus SARS-COV-2 que se identificó el 31 de diciembre de 2019 en una ciudad asiática, afectó de manera negativa a los individuos de diferentes naciones (BBC News, 2020a), pues para el 27 de febrero de 2020, se habían confirmado 82 mil 294 casos de infección en todo el mundo, de los cuales 95.5% se concentraba en China y el porcentaje restante permanecía disperso en 57 países más, donde Estados Unidos, Canadá y Brasil eran las únicas naciones del continente americano con casos confirmados (Secretaría de Salud, 2020).

La enfermedad por coronavirus (COVID-19) es de tipo infecciosa causada por un coronavirus con cuadros respiratorios de leves a moderados, con afecciones médicas subyacentes, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas o cáncer, tienen más probabilidades de presentar un cuadro grave, se propaga a través de las gotículas de saliva o las secreciones nasales que se generan cuando una persona infectada tose o estornuda (OMS, 2021), al tratarse de un problema de salud nuevo, provocó que se dispersara información verdadera y falsa por diferentes medios de comunicación de una manera masiva, pues el hecho de enfrentarla era importante ya que se había convertido rápidamente en una pandemia, generó que se volviera el foco de atención de la humanidad sin importar el grupo de edad al que perteneciera (OPS, 2020a).

Los diferentes Gobiernos, a fin de limitar el contacto y expansión de la enfermedad, estipularon medidas de distanciamiento y fue la Organización Mundial de la Salud (2020c), quien estipuló el período de cuarentena por COVID-19 que se refiere a restringir actividades o separar a las personas que no están enfermas pero que pueden haber estado expuestas al SARS-CoV-2, con el objetivo de prevenir la propagación de la enfermedad en el momento en que los usuarios empiezan a presentar síntomas o no.

En México, aún cuando se respetó el distanciamiento social, la actividad de las personas continuó con nuevas formas y con ello el acceso instantáneo a todo tipo de información a través del internet, la facilidad de conocer las cifras estadísticas en cualquier momento, los cambios económicos y grandes restricciones públicas afectan a la representación de una nación

como a su población generando y agravando problemas psicológicos como estrés o ansiedad, siendo los jóvenes más afectados, pues es muy común que ellos quieran remediar ese mal con alguna sustancia que altere su estado de conciencia (Oteo, 2005), en muchos de los casos, drogas legales que son aquellas sustancias con efectos psicoactivos permitidas, no siendo su uso penado por ley a pesar de conocerse sus posibles efectos. Este estatus legal puede referirse a su uso a nivel recreativo o bien a estar pensados para otros usos, que no incluyen su consumo para lograr alterar la psique, y por los cuales se considera algo permitido como el alcohol y tabaco (Psicología y mente, 2021).

Es por eso, que las personas se encuentran inmersas en una sociedad de cambio constante donde el consumo de drogas influye de manera masiva (Oteo, 2005). No obstante, la situación actual se caracteriza por políticas de salud estrictas e implementadas forzosamente en todo el mundo y han modificado completamente el ámbito social, laboral, cultural e incluso escolar de los jóvenes (BBC News, 2020b). En un informe realizado por Sun et al. (2020) a 6 mil 416 personas en China sobre su comportamiento adictivo a internet y sustancias durante la pandemia de COVID-19, los resultados obtenidos mencionan que 46.8% tuvo mayor dependencia al uso de internet, 32.7% de bebedores de alcohol y 13.6% de fumadores aumentaron la cantidad de consumo.

De igual forma, a nivel nacional (Natera et al., 2020), realizaron un estudio a 679 mexicanos para evaluar la implementación de un programa preventivo sobre el consumo de alcohol durante la pandemia, encontrando que el 65.4% presentó ingesta moderada de bebidas embriagantes, 2.2% son consumidores de riesgo y al menos 30% mantuvo abstinencia a esta droga durante marzo y agosto de 2020. Por lo tanto, el devastador efecto que viene ocasionando esta pandemia como la propagación y generalización de la enfermedad, han originado que se dicten políticas gubernamentales de salud pública, que se enfocan principalmente en el distanciamiento social y cuarentena de la población (CDC, 2020), cuyo objetivo general es que todos los países controlen la afección, frenando la transmisión y reduciendo la mortalidad asociada a la enfermedad (OMS, 2020a).

Sin embargo, no todas las personas estaban preparadas para acatar esas indicaciones sobre todo en los hogares donde el ingreso económico mensual es mínimo, ya que la mayoría de la población económicamente activa, genera ganancias al día y por otra parte los estudiantes de diferentes niveles no contaban con el recurso tecnológico o de red para cumplir con sus actividades académicas, generando preocupación, estrés, ansiedad y en algunos casos, exposición al consumo de drogas legales como alcohol y tabaco (OPS, 2020b). A nivel nacional, la Comisión Nacional Contra las Adicciones (CONADIC), menciona que el consumo de drogas lícitas (alcohol y tabaco) se ha ubicado

como uno de los problemas de salud pública de mayor relevancia, debido a las consecuencias sanitarias y sociales que experimentan quienes las consumen (CONADIC, 2017).

El beber alcohol sigue obteniendo datos elevados pues de acuerdo con la Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco (ENCODAT), reporte de alcohol 2016-2017 elaborado por la Secretaría de Salud, la prevalencia de consumo de bebidas embriagantes en 2016 fue de 53.3%, así como la ingesta en el último mes de 39.9% para la población adulta de 18 a 65 años (Secretaría de Salud, 2017a). En cuanto al consumo de tabaco, 14.9 millones de mexicanos entre 12 a 65 años lo fumaba, siendo los hombres lo de mayor proporción (11 millones 78 mil) que las mujeres (3 millones 812 mil) (Secretaría de Salud, 2017b). Por lo antes citado y la búsqueda de información en diversas fuentes, se confirma la importancia del estudio: si la cuarentena por COVID-19 es un factor predisponente para el consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería es relevante, puesto que en la actualidad no existe suficiente información que indague sobre el hábito de ingesta de alcohol y tabaco en la población durante el confinamiento, debido a la escasez de estudios que entrelacen estos factores, siendo la principal limitante al realizar este proyecto, independientemente de la dificultad para adaptarse a una nueva normalidad.

Objetivo

Determinar si la cuarentena por COVID-19, es un factor de consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería.

Método

El diseño de la presente investigación por el análisis y alcance de resultados es cuantitativa, de diseño descriptiva y correlacional, exponiendo los resultados de forma numérica y describiendo los hallazgos más importantes a fin de contrastar con hechos empíricos; por el tiempo de ocurrencia de los acontecimientos y registro de información recabando los datos de la fuente directa; por la secuencia del estudio durante el período septiembre 2020-febrero 2021 es transversal, determinando la cuarentena por COVID-19 como factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería y mediante la aplicación, se dio respuesta a los objetivos planteados (Canales, Alvarado & Pineda, 2013; Ortiz & García 2014; Grove, Gray & Burns, 2016; Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Muestra

El estudio se llevó a cabo en la Facultad de Enfermería de la Región Orizaba perteneciente a la Universidad Veracruzana, con estudiantes de tercero, quinto, séptimo, noveno, onceavo y treceavo semestre, así como

pasantes en servicio social de la Licenciatura en Enfermería del plan de estudios 2013, obteniendo un total de 540 personas.

De acuerdo con Polit y Hungler (2020), aplicando la fórmula para poblaciones finitas, con un nivel de significancia estadística de 1.96 (95.0%) y error máximo aceptable de 0.05, se obtuvo una muestra de 225 casos, representando el 41.66% de la población; por la temática abordada se determinó aplicar el instrumento de investigación a un total final de 266 estudiantes (49.0%) de la Licenciatura de Enfermería de la Universidad Veracruzana, en el período septiembre 2020-febrero 2021.

Muestreo

La obtención de la muestra fue a través del método de muestreo no probabilístico por cuota que, según Canales, Alvarado y Pineda (2013), consiste en que el investigador selecciona la muestra considerando el fenómeno o variables a estudiar. Para este caso fue que los participantes estuvieran inscritos en la Facultad de Enfermería Orizaba de la Universidad Veracruzana, cursando el tercer período o superior, sin importar el sexo, edad o religión y retomando el Concentrado de inscripción de la Facultad de Enfermería Orizaba, período septiembre 2020-febrero 2021.

Por otra parte, los criterios de selección fueron, inclusión: estudiantes de la Licenciatura de Enfermería inscritos en el período septiembre 2020-febrero 2021 de la Facultad de Enfermería Orizaba, de tercero, quinto, séptimo, noveno, onceavo, treceavo o más semestres con rango de edad entre 18 y 30 años, sexo indistinto, con disponibilidad de tiempo, que estuvieron dispuestos a participar en dicha investigación, que accedieron a responder el instrumento en versión electrónica y que firmaron el consentimiento informado (Google, 2020b). Se excluyeron a los alumnos de nuevo ingreso, así como a los casos que presentaron tratamiento para dejar de consumir alcohol y tabaco. Se eliminaron a los participantes que costearon dos o más veces, no completaron el instrumento aplicado, mostraron desinterés o poca confiabilidad en sus respuestas, que desertaron al momento de responder el cuestionario y los casos que tuvieran una matrícula diferente a las registradas en el concentrado de inscripción del período septiembre 2020-febrero 2021 (Tamayo, 2014).

Instrumento de medición

Se diseñó de manera electrónica en la plataforma de Google formularios (Google, 2020b), acompañado de un formato de consentimiento informado aprobado por el entrevistado, con los nombres del entrevistador y director del proyecto, también se integró una cédula de identificación de datos, que permitió evaluar las características sociodemográficas de la muestra en estudio, conteniendo edad, sexo, estado civil, lugar de procedencia, práctica

religiosa, con quién vive el estudiante e incluso dos preguntas que hacen referencia al diagnóstico y cuarentena que experimentaron los usuarios durante el período septiembre 2020-febrero 2021.

En el segundo apartado se encuentra el cuestionario sobre conocimiento general de COVID-19 y medidas de prevención, retomado por las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (2020b). Está Integrado por 16 reactivos con respuestas de opción múltiple, evalúa conocimientos y generalidades sobre la nueva enfermedad, preguntando a los estudiantes las medidas de higiene y protección, sana distancia, identificación de síntomas y estrategias de afrontamiento (Google, 2020b).

El tercer apartado está dirigido para medir la variable consumo de alcohol con el instrumento: Identificación de Desórdenes por Uso de Alcohol (AUDIT, por sus siglas en inglés), que fue desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (2001) junto a un grupo internacional de investigadores, publicado en 1989 y actualizado en 1992 por Babor, Higgins, Suander & Monteiro (2001), por otro lado, Garcúa, Novalbos, Martínez & O'Ferral (2016), mencionan en un estudio de validación que la fiabilidad y validez del test fue aceptable, puesto que utilizaron el alfa de Cronbach, obteniendo 0.75 y demostrando una buena consistencia interna. Este instrumento está integrado por 10 preguntas: las tres primeras hacen referencia a la frecuencia y cantidad sobre el consumo de alcohol, las tres siguientes evalúan los síntomas de dependencia al producto y las últimas cuatro, investigan los resultados obtenidos por este hábito. Cada una de las preguntas tiene una escala de respuesta de 0 a 4, dando una puntuación máxima de 40 y mínima 0. Los resultados se clasifican en 0 abstinencia, 1 y 7 consumo ocasional, 8 a 15 consumo de riesgo, 16 y 19 consumo perjudicial e igual o mayor a 20 dependencia al alcohol.

En el cuarto apartado está dirigido a la evaluación de consumo de tabaco mediante la Prueba de Detección de Consumo de Alcohol, Tabaco y Sustancias (ASSIST, por sus siglas en inglés), el cual fue desarrollado por la Organización Mundial de la Salud en 1997 (OMS, 2004) y adecuado a la población latinoamericana por la Organización Panamericana de la Salud en 2011 y Tiburcio et al. (2016), mencionan en su estudio titulado Validez y confiabilidad de la prueba de detección de consumo de tabaco y sustancias (ASSIST) en estudiantes universitarios aplicado a 1176 estudiantes mexicanos que dicho cuestionario obtuvo 0.87 de fiabilidad general mediante la prueba de consistencia Alfa de Cronbach, así como una puntuación de 0.83 en la misma prueba de consistencia, pero solo en la variable tabaco.

Las opciones de respuestas del instrumento son las siguientes: la primera pregunta identifica el consumo de cualquier sustancia en algún momento de la vida del entrevistado, con opciones de respuesta dicotómica (sí y no) con una puntuación de 3 y 0 respectivamente. Las demás interrogantes

hasta la séptima muestran respuestas de tipo Likert. Al final de la entrevista se suman las puntuaciones de las preguntas 1 a la 7 para cada sustancia específica. Se debe hacer una sumatoria, generando un puntaje mínimo de 0 y máximo de 39. Se consideran de riesgo bajo a aquellos puntuados entre 0 y 3, riesgo moderado los de 4 a 26 y riesgo alto para más quienes acumulan más de 27 puntos.

Recolección y análisis de datos

El proyecto fue autorizado por el comité de bioética de la Facultad de Enfermería de Orizaba, previa solicitud por parte de los responsables, después, se asignó un Director del proyecto donde se expuso el objetivo del estudio y finalidad. Posteriormente, se procedió a trabajar con los estudiantes de la Licenciatura en Enfermería de los diferentes semestres del período escolar septiembre 2020-febrero 2021, de la Región Orizaba, utilizando la técnica de entrevista y el método, un instrumento previamente seleccionado, que cubriera los criterios de fiabilidad, validez y consistencia interna, mismo que se adaptó a su versión electrónica (Google, 2020b) para facilitar la obtención de información y proceder al análisis.

Análisis de datos

Se utilizó el programa Google Formularios (Google, 2020a) para convertir el instrumento de medición en formato digital y así elaborar un análisis de la información mediante la creación de una base de datos en Excel. Dichos resultados, se transformaron a códigos numéricos para transferirlos al programa digital Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 15.0.1 para Windows (SPSS, Inc. 2006), formando una nueva base de datos donde se integran todas las derivaciones obtenidas de los instrumentos aplicados previa validación y revisión. El plan de análisis estuvo integrado por estadística descriptiva (Celis & Labrada, 2014; Arceo, Ornelas & Domínguez, 2010; Orellana, 2001), mediante el uso de frecuencia, porcentajes, medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y dispersión (desviación típica, mínimo y máximo); para evaluar la normalidad de las variables, se utilizó la prueba de Kolmogorov Smirnov (García, González, Jornet, 2010), mediante Rho Spearman (Díaz et al., 2014), se determinó la correlación de variables.

Resultados

Tabla 1. Generación, semestre, edad y estado civil por sexo

Generación	Sexo			
	Masculino		Femenino	
	f	%	f	%
1900	14	5.3	63	23.7
1800	10	3.8	48	18.0
1700	20	7.5	73	27.4
1600	8	3.0	23	8.6
1500	1	0.4	2	0.8
Otra	1	0.4	3	1.1
Semestre que cursa actualmente				
Tercero	14	5.3	63	23.7
Quinto	10	3.8	49	18.4
Séptimo	20	7.5	73	27.4
Noveno	8	3.0	23	8.6
Onceavo	1	0.4	1	0.4
Treceavo semestre o más	1	0.4	3	1.1
Grupo de edad				
18 a 20 años	10	3.8	71	26.7
21 a 23 años	29	10.9	115	43.2
24 a 26 años	10	3.8	15	5.6
27 a 29 años	2	0.8	8	3.0
30 años y más	3	1.1	3	1.1
Estado civil				
Soltero(a)	47	17.7	189	71.0
Casado(a)	2	0.8	11	4.1
Unión libre	5	1.9	12	4.5
Total	54	20.4%	212	79.6%

Nota: Fuente: cédula de identificación de datos, $n = 266$.

La Tabla 1, muestra la generación, semestre, grupo de edad y estado civil en relación con el sexo de los estudiantes. La de mayor participación fue de la matrícula 1700 con el 34.9% (7.5% masculinos y 27.4% femeninos) y los de menor valor fueron de la 1500 (0.4% masculinos y 0.8% femeninos). Lo anterior confirma los criterios del Plan de Estudios 2013 de la Licenciatura en Enfermería (Universidad Veracruzana, 2013), donde señala que el tiempo promedio de egreso/titulación es de cinco años, es decir que de la matrícula 1500, en su mayoría egresaron o se encuentran en proceso de titulación. Por otra parte, la segunda variable expresa que el mayor número de participantes

cursan el séptimo período, pues se obtuvo un 34.9% (7.5% masculinos y 27.4% femeninos) mientras que los alumnos que cursan el onceavo semestre colaboraron un 0.8% (0.4% masculinos y 0.4% femeninos). Algo semejante ocurre con el grupo de edad, ya que sobresalió el rango de 21 a 23 años con un 54.1% (10.9% masculinos y 43.2% femeninos) en contraste con el 2.2% (1.1% masculinos y 1.2% femeninos) que obtuvieron los del sector de 30 años y más, relacionando lo planteado en el documento titulado Principales cifras del sistema educativo nacional 2018-2019 (Secretaría de Educación Pública, 2019), el cual señala que existe una prevalencia de adultos jóvenes con 18 a 22 años en educación a nivel superior.

Así mismo, en el estado civil predominaron los participantes solteros de aquellos que están casados, pues se obtuvo el 88.7% (17.7% masculinos y 71.0% femeninos) y 4.9% (0.8% masculinos y 4.1% femeninos) respectivamente, relacionándose con un estudio (Pineda, Lara, Rocha, Piña & Romero, 2016) a 469 estudiantes de la Licenciatura en Enfermería en México. Dicha investigación expone que el 97% de los participantes son solteros ya que el rango promedio de edad fue de 20, lo que se relaciona a tener un buen rendimiento escolar dado que cuenta con mayor tiempo para las actividades académicas, relaciones interpersonales y concluir con éxito su formación profesional.

Para resumir la variable de sexo, es significativo que en todos los casos sobresalió el femenino pues en las diferentes matrículas, semestre actual, grupo de edad y estado civil se obtuvo el 79.6% de participación (211 usuarias de la población total final) lo que confirma que en el área de enfermería siguen predominando las mujeres sin embargo, existe aumento del número de varones que solicitan unirse a esta carrera, pues en la actualidad, la Universidad Veracruzana no hace distinción de género en ninguna área (Universidad Veracruzana, 2013).

Tabla 2. Antecedentes de COVID-19

Antecedente	Sí		No		Total	
	f	%	f	%	f	%
Tiene o tuvo COVID-19	20	7.5	246	92.5	266	100%
Estuvo en cuarentena por diagnóstico de COVID-19	31	11.7	235	88.3	266	100%

Nota: Fuente: cédula de identificación de datos, $n = 266$.

En la Tabla 2, se hace mención sobre los participantes que fueron diagnosticados con COVID-19 así como los que permanecieron resguardados en sus casas por dicha enfermedad. El 7.5% afirmó haber padecido esta afección en algún momento y el 92.5% respondió negativamente esta interrogante. Por otro lado, el 11.7% mencionaron haber estado en cuarentena por probable diagnóstico o diagnóstico confirmado de sars-cov-2 y el 88.3%

no, sin embargo, estas personas resguardaron su integridad haciendo caso a las recomendaciones de las diferentes entidades sanitarias.

Lo anterior tiene relación con el comunicado oficial número 174 del Plan COVID-19 (H. Ayuntamiento de Orizaba, 2020), que menciona que para el 31 de agosto del 2020 existían mil 558 casos confirmados acumulados en esa región, 124 personas sospechosas de padecerla y al menos 780 resultados fueron negativos a esta enfermedad.

Tabla 3. Conocimiento del COVID-19

Conocimiento	Correcto		Incorrecto	
	f	%	f	%
Los coronavirus causan enfermedades respiratorias en humanos y animales	266	100	0	0
El SARS y MERS-CoV son enfermedades de los coronavirus	228	85.7	38	14.3
SARS-CoV-2 es el nombre del nuevo coronavirus	220	82.7	46	17.3
De persona a persona se propaga el nuevo coronavirus	264	99.2	2	0.8
COVID-19 es el nombre de la nueva enfermedad	226	85.0	40	15.0
Una persona asintomática puede contagiar de COVID-19	236	88.7	30	11.3
Tos, fiebre y cefalea son síntomas principales de COVID-19	158	59.4	108	40.6
Personas con sistema débil o enfermedades empeoran por COVID-19	254	95.5	12	4.5
Debe ponerse en cuarentena si se expuso al COVID-19	224	84.2	42	15.8
La cuarentena por COVID-19 es restringir el movimiento de la gente	182	68.4	84	31.6
El aislamiento por COVID-19 es separar a los enfermos de los demás	216	81.2	50	18.8
Distanciamiento físico, es alejarse físicamente de otra persona (1.5 metros)	250	94.0	16	6.0
El cloro es el desinfectante para utilizar en casa y evitar el COVID-19	133	50.0	133	50.0
El distanciamiento físico y cuarentena previenen el contagio de COVID-19	262	98.5	4	1.5
El uso de cubrebocas no evita el contagio de COVID-19	28	10.5	238	89.5
Los síntomas del COVID-19 aparecen entre 1 y 12 días	159	59.8	107	40.2

Nota: Fuente: cédula de identificación de datos, **SARS**= Síndrome respiratorio agudo severo, **MERS-CoV**= Síndrome respiratorio de oriente medio, **SARS-CoV-2**= Síndrome respiratorio agudo severo Coronavirus tipo 2, **COVID-19**= Enfermedad por coronavirus de 2019, *n*= 266.

La Tabla 3 demuestra el conocimiento general del COVID-19, así como la detección o aparición de signos y síntomas, factores de riesgo, medidas de prevención o reducción y diferenciación de conceptos como cuarentena, aislamiento y distanciamiento por la nueva enfermedad. Cabe señalar que en la mayoría de las preguntas se obtuvo un valor por encima del

80.0% en respuestas correctas, por ejemplo, la variable de las afecciones que causan los coronavirus presentó 85.7% e incluso, el 100% respondió correctamente qué son los coronavirus, es decir que la población conoce e identifica los elementos principales básicos de la enfermedad y cuentan con una formación que permite comprender el problema

Por otro lado, en la variable tiempo en que se desarrollan los síntomas en relación con la exposición del agente patógeno obtuvo un 59.8% de respuestas acertadas, 50.0% respondió correctamente la pregunta del desinfectante a utilizar en casa y tan sólo el 10.5% acertó sobre el uso de cubrebocas, relacionándose con un estudio elaborado en Cuba (Gómez, Diéguez, Pérez, Tamayo & Iparraguirre, 2020), ya que reportaron que el 95.4% tenía conocimiento general sobre el COVID-19, el 80.0% reconocieron los síntomas clínicos de la enfermedad y el 93.7% conocen la diferenciación de ésta con otras afecciones respiratorias.

Tabla 4. Clasificación de la COVID-19 y consumo de alcohol

Consumo de alcohol	Conocimiento de COVID-19					
	CM		CA		Total	
	f	%	f	%	f	%
No consume alcohol	20	7.5	86	32.2	106	39.7%
Consumo ocasional	14	5.3	127	47.7	141	53.0%
Consumo de riesgo	1	0.4	14	5.3	15	5.7%
Consumo perjudicial	1	0.4	1	0.4	2	0.8%
Dependencia al alcohol	1	0.4	1	0.4	2	0.8%
Total	37	14%	229	86%	266	100%

Nota: Fuente: Cuestionario de Identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol (AUDIT), (OMS, 2001), cédula de identificación de datos, **CM**= Conocimiento medio, **CA**= Conocimiento alto, *n*=266.

Para responder el consumo de alcohol sobre el conocimiento de COVID-19, se integró la Tabla 4, obteniendo los siguientes resultados: 32.2% de los participantes que tiene un conocimiento alto no consumen alcohol, el 47.7% lo hacen de manera ocasional, 5.3% cuentan con una ingesta de riesgo y el 0.8% restante bebe de manera perjudicial o tiene dependencia a esta droga (0.4% para cada una). Por otro lado, el 7.5% de los que no consumen alcohol tienen un conocimiento medio de la nueva enfermedad, 5.3% beben de manera ocasional y al menos el 0.4% la ingieren de una forma riesgosa, al igual que los participantes que toman de modo perjudicial o cuentan con una adicción.

Tabla 5. Clasificación de la COVID-19 y consumo de tabaco

Consumo de tabaco	Conocimiento de COVID-19					
	CM		CA		Total	
	f	%	f	%	f	%
No consume	18	6.8	93	35.0	111	41.8%
Riesgo bajo	9	3.4	70	26.1	79	29.5%
Riesgo moderado	10	3.8	64	24.1	74	27.9%
Riesgo alto	0	0	2	0.8	2	0.8%
Total	37	14%	229	86%	266	100%

Nota: Fuente: Prueba de Detección de Consumo de Alcohol, Tabaco y Sustancias (ASSIST), (OMS, 2011), cédula de identificación de datos, **CM**= Conocimiento medio, **CA**= Conocimiento alto, *n*=266.

Para contrastar el conocimiento de los participantes en relación con el COVID-19 y su consumo de tabaco se realizó la Tabla 5, destacando que el 35.0% de los que tienen un alto conocimiento de esta afección, no son consumidores, 26.1% tiene un riesgo bajo, 24.1% lo hacen de manera moderada y al menos un 0.8% fuman peligrosamente. De forma similar, se encuentran los usuarios con conocimiento medio ya que el 6.8% no inhalan cigarrillos, 3.4% lo hacen de menor forma llegando a un riesgo bajo y al menos el 3.8% lo hace de manera moderada.

Tabla 6. Prueba de normalidad de variables

Variables	Kolmogorov Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Conocimiento del COVID-19	.136	266	.000
Consumo de alcohol	.272	266	.000
Consumo de tabaco	.280	266	.000

Nota: Fuente: Cuestionario de Identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol (AUDIT), (OMS, 2001), Prueba de Detección de Consumo de Alcohol, Tabaco y Sustancias (ASSIST), (OMS, 2011), *Sig. <0.05 (variable no normal), *n*=266.

Para evaluar la normalidad de las variables en estudio, se utilizó la prueba estadística de Kolmogorov Smirnov (García, González & Jornet, 2010), que se aplica para determinar el comportamiento de las mismas cuando se tiene una población mayor a 60 casos (Celis & Labrada, 2014), dado el resultado que no existe agrupación unificada, se rechaza el criterio normal, puesto que se obtuvo un puntaje de significancia inferior (Sig. <0.05), por ello se determina utilizar la prueba de correlación de Rho Spearman (Díaz et al., 2014), por no tener homocedasticidad (Tabla 6).

Para establecer la relación de variables (Tabla 7), se utilizó la prueba estadística Rho Spearman (34), dado el valor no normal. Quienes tuvieron conocimiento alto del COVID-19 (C19), fueron los de generaciones avanzadas

(GDP), es decir, existe mayor compromiso a la formación de temas actuales, realizando búsqueda de su propio autoaprendizaje, puesto que el problema es reciente para todos ($r_s = .186$, $p < 0.01$), elementos que se respalda al evaluar la edad (GEP), dado que sobresalieron los de 21 a 23 años ($r_s = .124$, $p < 0.05$), y son estos, quien mayor permanencia han tenido en la Facultad de Enfermería y han cursado Experiencias Educativas y semestres (SCA) que les otorgaron herramientas básicas e importancia del cuidado de la persona sana o enferma ($r_s = .184$, $p < 0.01$). Por otro lado, la Generación del participante (GDP), es acorde al grupo de edad (GEP), ($r_s = .578$, $p < 0.01$), semestre (SCA) ($r_s = .993$, $p < 0.01$) y son quienes viven con sus padres (ADV), ($r_s = .174$, $p < 0.01$), es decir, tienen la protección de hogar, alimento, ropa y cobertura de necesidades básicas como seres humanos. En cuanto a las personas que tuvieron diagnóstico de COVID-19 (T19), tuvo que guardar cuarentena en casa (CPC), para proteger la salud ($r_s = .785$, $p < 0.01$), por esto, es de suma importancia vigilar al grupo vulnerable pues están en riesgo de re infección o tener complicaciones al estado de salud, asimismo, se debe considerar importante la formación de los estudiantes en la temática actual para que éstos al mismo tiempo, informen a sus familias.

Por otra parte, el nivel de conocimiento bajo del COVID-19 (C19), determinó el consumo de alcohol (CAL), es decir, que en aquellas personas que tuvieron resultados bajos, aumentó el uso de la sustancia, sin medir las consecuencias al estado de salud ($r_s = -.121$, $p < 0.05$). En cuanto al consumo de alcohol (CAL), quienes puntuaron como ocasional, se clasificaron en usuarios de riesgo bajo, moderado y alto (CTA) y permaneció la utilización de ambas sustancias, es decir que a mayor presencia de una, se agudizó la otra ($r_s = .138$, $p < 0.01$), por tanto, puede ser un elemento principal para el diseño de actividades que se enfoquen en disminuir el problema, puesto que se encuentran en formación, personas que estarán dedicadas al cuidado de salud, máxime que es en la familia donde se aprueba la utilización de alcohol (ADV), es decir, al no percibir el riesgo mayor presencia de éste ($r_s = .139$, $p < 0.05$).

Tabla 7. Correlación de variables mediante la prueba de Rho Spearman

Variables		C19	CAL	CTA	GDP	GEP	ADV	SCA	T19	CPC
C19	CC	1.000								
	Sig. (bilateral)	.								
	N	266								
CAL	CC	-.121*	1.00							
	Sig. (bilateral)	.049	.							
	N	266	266							
CTA	CC	-.096	.138*	1.000						
	Sig. (bilateral)	.117	.025	.						
	N	266	266	266						
GDP	CC	.186**	-.109	-.101	1.000					
	Sig. (bilateral)	.002	.075	.101	.					
	N	266	266	266	266					
GEP	CC	.124*	-.072	-.058	.578**	1.000				
	Sig. (bilateral)	.043	.241	.342	.000	.				
	N	266	266	266	266	266				
ADV	CC	.025	.139*	.010	.174**	.303**	1.000			
	Sig. (bilateral)	.688	.023	.872	.004	.000	.			
	N	266	266	266	266	266	266			
SCA	CC	.184**	-.120	-.105	.993**	.579**	.178**	1.000		
	Sig. (bilateral)	.003	.051	.088	.000	.000	.004	.		
	N	266	266	266	266	266	266	266		
T19	CC	-.061	-.033	-.089	-.099	-.105	-.038	-.101	1.000	
	Sig. (bilateral)	.325	.595	.146	.108	.088	.542	.099	.	
	N	266	266	266	266	266	266	266	266	
CPC	CC	-.011	.030	-.065	-.072	-.043	-.021	-.075	.785**	1.000
	Sig. (bilateral)	.852	.623	.294	.245	.489	.734	.224	.000	.
	N	266	266	266	266	266	266	266	266	266

Nota: Fuente: cédula de identificación de datos, Cuestionario de Identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol (AUDIT), (Organización Mundial de la Salud, 2001), Prueba de Detección de Consumo de Alcohol, Tabaco y Sustancias (ASSIST), (Organización Mundial de la Salud, 2011), **C19**= Conocimiento de COVID-19, **CAL**= Consumo de alcohol, **CTA**= Consumo de tabaco, **GDP**= Generación del participante, **GEP**= Grupo de edad del participante, **ADV**= Actualmente, en dónde vive, **SCA**= Semestre que cursa actualmente, **T19**= Usted tiene o tuvo diagnóstico de COVID-19, **CPC**= Estuvo en cuarentena por probable diagnóstico o diagnóstico confirmado por COVID-19, **CC**= Coeficiente de correlación, **N**= Número de casos, *. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral), **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral), *n*=266.

Discusión

Sun et al. (2020), Cunial et al. (2020), Vieitez et al. (2020), Aguilar, Lazarevich, Mendoza & López, (2018), REVIVA (2017) y Betancourth, Tacan & Córdoba (2017), destacaron la participación de las mujeres puesto que todos reportaron más del 50.0%, coincidiendo con esta investigación donde prevalece el mismo género, así como el grupo de edad con una media

de 21 a 23 años. Ahora bien, conforme al estado civil de igual forma se detecta semejanza con las investigaciones de Aguilar, Lazarevich, Mendoza & López (2018) REVIVA (2017) y Betancourth, Tacan & Córdoba (2017), ya que representan el 88.3%, 94.1% y 93.8% como usuarios solteros respectivamente. Sin embargo, datos relacionados con escolaridad (generación y semestre que cursan), religión, lugar de origen y donde viven los usuarios no se detectaron, encontrando desigualdad con este trabajo a excepción de Aguilar, Lazarevich, Mendoza & López (2018), donde únicamente reportan que 61.3% de los casos vivían en casa de sus progenitores asemejándose al porcentaje obtenido (77.7%).

Por otro lado, al analizar el consumo de alcohol se reportan similitudes y discrepancias con los demás trabajos. Para el estudio de Sun et al. (2020), existe una diferencia en el rango de frecuencia puesto que en la población que estudiaron, 18.7% beben de manera ocasional en comparación con el 53% reportado en este proyecto al igual que los que ingieren regularmente existiendo 26.4% de diferencia y los que no toman bebidas alcohólicas (3.4% contra 39.7%).

De la misma manera, existen discrepancia con los resultados obtenidos por Cunial et a. (2020), puesto que refieren que tan solo el 15.95% no toma bebidas embriagantes en comparación con el 36.5% reportado en este trabajo, 15.5% bebía todos los días en comparación y 4.79% lo hacía sólo fines de semana en comparación con 0.8% de los usuarios que lo hace de dos a cuatro veces por semana. Sin embargo, existe similitud en el consumo mensual y semanal, puesto que solo existe una diferencia de 1.06%. Por otro lado, se identificó similitud con el estudio de Aguilar, Lazarevich, Mendoza & López (2018), donde la mayoría ingirió alcohol (95.0%) en el último mes (66.2%) y durante el último año, provocaron lesiones por este hábito con 4.0%.

Por otra parte, con el proyecto de Martínez et al. (2018), únicamente se encontraron diferencias con los resultados, pues refieren que el 92.0% de los encuestados bebió alguna vez en su vida, 90.2% lo seguían haciendo en el último año, 38.7% de ellos consumen en forma de riesgo y 9.4% lo hizo en los últimos 30 días, semejándose con lo obtenido por Betancourth et al. (2017). No obstante, al analizar los datos obtenidos en el estudio Percibite 2 (REVIVA, 2017), destacaron los valores de ingesta de alcohol de por vida y consumo en los últimos 12 meses, existiendo 8.9% y 6.4% de diferencia con lo obtenido en este trabajo de investigación con lo que existe similitud en estas variables mencionadas. Por otro lado, respecto al consumo de tabaco se detectaron diferencias en algunos estudios de Sun et al. 2020 y Martínez et al. (2018), puesto que más alumnos han probado tabaco (59.0%), 58.2% fuma actualmente, 53.0% tiene mayor prevalencia de consumo ocasional y 25.2% ha empezado a consumir tabaco (últimos 3 meses).

Sin embargo, para el apartado que evalúa conocimiento sobre el COVID-19 se identificó similitud entre las respuestas obtenidas que el 5.5%, consideraron que su salud puede empeorar si se enferman (de COVID-19), el 0.6% reconoce los síntomas básicos y el 18.5% sabe que medidas se deben seguir para prevenir la enfermedad, siendo ésta una diferencia entre ambos proyectos, independientemente de que Vieitez et al. (2020), no clasificaron el nivel de conocimiento de las personas.

De esta manera, son evidentes las diferencias entre los valores de consumo de alcohol y tabaco que se encontraron en los trabajos, independientemente de las igualdades en el rango de edad, estado civil y género que presentan los usuarios. Para concluir, no existieron datos que relacionaran el consumo de alcohol y tabaco con el conocimiento o cuarentena por la nueva afección, debido a que en la actualidad no hay suficientes investigaciones que se enfoquen en estudiar la relación de estas variables entre sí pues aún se desconoce mucha información referente al origen, factores y causa del COVID-19.

Conclusiones

Para concluir la investigación y los aportes hacia el conocimiento se señala que, en cuanto a los datos sociodemográficos de la población en estudio; la muestra fue de 266 estudiantes inscritos en la Facultad de Enfermería Orizaba de los cuales el 79.6% son mujeres y 20.4% hombres con rango de edad de 21 a 23, cursando el séptimo semestre. El 88.7% son solteros y provienen de zonas urbanas (80.8%) y profesan el catolicismo (77.7%), el 92.5% no presentó diagnóstico confirmado de COVID-19 y 88.3% se resguardó en casa a pesar de no haber padecido esta afección. Lo anterior indica que los profesionales de enfermería que se insertarán a laborar en las diferentes instituciones del país de la región y el país son jóvenes en mayor proporción mujeres, con una formación integral para atender las demandas de salud de la población, fundamentada en conocimientos, habilidades, actitudes y valores éticos en el cuidado y colaboración con el equipo de trabajo, acorde a las necesidades y promoviendo la salud como lo expresa González et al. (2014).

Para analizar el nivel de conocimiento que tiene la población en estudio sobre la cuarentena por COVID-19, se examinaron diferentes dimensiones, el primero (conocimiento general) obtuvo un rango mayor de respuestas correctas siendo 82.7%, lo que significa que la mayoría reconoce el nombre del nuevo coronavirus y la enfermedad que causa, 99.2% conoce el método de propagación y el 100% identifica que los virus mencionados causan enfermedades en seres humanos y animales.

En la clasificación del consumo de alcohol el 39.8% de los estudiantes no beben sustancias embriagantes, 53.0% lo hacen de manera ocasional, 5.6%

de riesgo y 0.8% perjudicial o tienen dependencia a esta droga, mientras que para el tabaco el 41.7% no inhala esta droga, 29.7% tiene riesgo bajo, 27.8% moderada y al menos 0.8% fuma a tales grados de padecer un riesgo alto para su salud, es decir, que más de la mitad de la muestra, tiene un comportamiento adictivo, por tanto, es de gran importancia la continuidad de estudios e intervenciones a fin de regular el patrón hacia drogas legales, ya que estos, pueden potenciar riesgo o complicaciones y de no hacerlo, el nivel de calidad de cuidados, podría ser deficiente y por tanto, exponer a la población receptora de atención o los sistemas de salud.

Para determinar si la cuarentena por COVID-19, es un factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería, por el valor de la prueba de correlación ($rs = -.121$, $p < 0.05$), se confirma la hipótesis de trabajo, dando respuesta a la pregunta de investigación: la cuarentena por COVID-19 es un factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería a pesar de que la mayoría se resguardó en casa y no presentó diagnóstico confirmado e incluso, se puede observar que al beber líquidos embriagantes es más probable utilizar tabaco ($rs = .138$, $p < 0.01$), como complemento, a pesar de que la mayoría de los estudiantes vivan en casa con sus padres ($rs = .139$, $p < 0.05$).

Por tanto, se debe considerar importante, establecer estrategias de atención y educación en los estudiantes, ya que su tiempo libre o para disminuir la tensión que provoca la cuarentena por COVID-19, lo utilizan para el uso de drogas legales y esto, puede agudizar el problema. Ante esto, se recomienda que los profesionales de salud, así como estudiantes de Enfermería sigan realizando trabajos de investigación con objetivos similares a los mencionados en este proyecto, con enfoques cuantitativos, cualitativos o mixtos para servir como referencias empíricas e incluso inspirar a la realización de programas de salud que ayuden a prevenir o reducir las consecuencias psicológicas de las pandemias que en la actualidad son un problema de salud pública.

Además, se deben formar a los profesores en el manejo de técnicas psicológicas para el manejo de estrés como señala Tenelanda et al. (2019) y a los padres de familia en la atención de jóvenes y adolescentes para la prevención y educación en salud en el consumo de drogas legales y con el uso de estrategias efectivas, implementarlas en este período de cuarentena por COVID-19, proponiendo el uso eficiente del tiempo libre y actividades que disminuyan el estrés, preocupación y tensión que puedan vivir en este período de pandemia y que conduzca al uso de alcohol y tabaco, evitando así como lo expresa Christiansen (2016), la narcoviencia que puede traer grandes problemas a la salud si no es considerada como un problema que puede afectar no solo a quien lo consume, sino a quien está dependiente de los cuidados profesionales.

Así también, las instituciones de educación superior tienen el desafío de dotar los recursos tecnológicos a los profesores y estudiantes (Méndez et al., 2020) que permita el desarrollo de nuevas propuestas educativas desde espacios virtuales y procesos que permitan continuar con la calidad educativa donde integren saberes enfocados al consumo de drogas legales y el período de pandemia.

References:

1. Aguilar, J., Lazarevich, I., Mendoza, J., & López, F. (noviembre, 2018). Consumo de alcohol en estudiantes universitarios mexicanos del área de salud. *Revista de Ciencias Clínicas*, 20(1). Recuperado de <https://www.terceridad.net/publicaciones/Uam1912-02Aguilar%20PDF.pdf>
2. Arceo, J., Ornelas, J., & Domínguez, S. (2010). *Manual de medicina basada en evidencias*. México: El Manual Moderno.
3. Babor, T., Higgins, J., Saunders, J., & Monteiro, M. (2001). *The Alcohol Use Disorders Identification Test Guidelines for Use in Primary Care*. Recuperado de http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/who_msd_msb_01.6a.pdf
4. BBC News. (11 de febrero de 2020a). *Enfermedad por coronavirus llamada Covid-19*. Recuperado de <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-51466362>
5. BBC News. (17 de marzo de 2020b). *Coronavirus: qué es el distanciamiento social y por qué los expertos insisten en practicarlo para combatir la pandemia de covid-19*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51899782>
6. Betancourth, S., Tacan, B., & Córdoba, E. (marzo, 2017). Consumo de alcohol en estudiantes universitarios colombianos. *De Universidad y Salud*, 19(1). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n1/0124-7107-reus-19-01-00037.pdf>
7. Canales, F., Alvarado, E., & Pineda, E. (2013). *Metodología de la investigación; Manual para el desarrollo de personal de salud*. México: Limusa.
8. Celis, A., & Labrada, V. (2014). *Bioestadística (3ª Ed.)*. México: El Manual Moderno. México.
9. Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2020). *Quarantine and isolation*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/quarantine/quarantineisolation.html>
10. Comisión Nacional contra las Adicciones [CONADIC]. (2017). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco, ENCODAT 2016-2017*. Recuperado de

- <https://www.gob.mx/salud%7Cconadic/acciones-y-programas/encuesta-nacional-de-consumo-de-drogas-alcohol-y-tabaco-encodat-2016-2017-136758>
11. Cunial, S., Dulbecco, P., & Güelman, M. (2020). *Consumo de alcohol en la cuarentena por covid-19*. Recuperado de <https://www.issup.net/files/2020-06/Estudio-alcohol-en-cuarentena%20G.GERMANI.pdf>
 12. Christiansen, M. L. (2016). ¿Narcoinfierno O Narcolandia? Una Epistemología Intempestiva Sobre El Relato Oficial De La Violencia En México. *European Scientific Journal, ESJ, 12*(11), 129. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p129>
 13. Díaz, I., García, C., León, M., Ruíz, F., Lizama, P., & Boccardo, G. (2014). *Guía de asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS)*. Recuperado de file:///C:/Users/enfermería/Downloads/9_Coeficientes_de_asociaci_n_Pearson_y_Spearman_en_SPSS.pdf.
 14. García, M., Novalbos, J., Martínez, J., & O'Ferral, C. (julio, 2016). Validación del test para la identificación de trastornos por uso de alcohol en población universitaria: AUDIT y AUDIT-C. *Adicciones, 28*(4). Recuperado de <http://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/view/775/0>
 15. García, R., González, J., & Jornet, M. (2010). *SPSS: pruebas no paramétricas: Kolmogorov Smirnov*. Recuperado de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf
 16. Gómez, T., Diéguez, R., Pérez, M., Tamayo, O., & Iparraguirre, A. (mayo, 2020). Evaluación del nivel de conocimiento sobre COVID-19 durante la pesquisa en la población de un consultorio. *Revista estudiantil 16 de abril, 59*(277). Recuperado de http://www.rev16deabril.sld.cu/index.php/16_04/article/view/925
 17. González, E., & Arras, A. M. (2014). Profesionalización de la enfermería y desempeño, desde la óptica del jefe inmediato superior en chihuahua, chihuahua. *European Scientific Journal, ESJ, 10*(1). <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n1p%p>. Recuperado de <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/2564>
 18. Google (2020a). *Crear y calificar cuestionarios con Formularios de Google*. Recuperado de <https://support.google.com/docs/answer/7032287?hl=es-419>
 19. Google. (2020b). *Instrumento de investigación cuarentena por COVID-19, factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de Enfermería*. Recuperado de <https://forms.gle/yfiHUjKeNsfFCfbTA>

20. Grove, S., Gray, J., & Burns, N. (2016). *Investigación en enfermería; Desarrollo de la práctica de enfermería basada en la evidencia (6ª Ed.)*. Barcelona, España: ELSEVIER.
21. H. Ayuntamiento de Orizaba. (2020). *Comunicado Oficial 174, plan COVID-19 México*. Recuperado de <http://www.orizaba.gob.mx/covid-19>
22. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ª Ed.)*. México D.F., México: Interamericana editores, S. A. de C. V.
23. Martínez, D., Martínez, F., & Velázquez, A. (enero, 2018). Consumo de alcohol y tabaco en estudiantes de primero de Medicina de la Universidad del País Vasco. *Revista española de drogodependencias*, 43(1). Recuperado de https://www.aesed.com/upload/files/vol-43/n1/num-completos/v43n1_orig1.pdf
24. Méndez, M. O., Olvera, M. Y., Cabrera, A. P., Ordoñez, J. E., Buendía, D. I., & Guilcapi, M. A. (2020). Evaluación de la Virtualización del Aprendizaje y los Desafíos en la Educación Superior en el Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre. *European Scientific Journal, ESJ*, 16(31), 81. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n31p81>
25. Natera, G., Medina, P., López, S., Arroyo, M., Sánchez, Y., Pérez, A., Bautista, N., Hernández, S., & Martínez, N. (2020). *La covid, el alcohol y la depresión: ¿qué pasó en México en el primer nivel de atención y las DIT, durante la pandemia?. De la Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado de <https://www.paho.org/es/documentos/covid-alcohol-depression-que-paso-mexico-primer-nivel-atencion-dit-durante-pandemia>
26. Orellana, L. (2001). *Estadística descriptiva*. Recuperado de http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf
27. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2001). *AUDIT. Cuestionario de identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol. Pautas para su utilización en la Atención Primaria*. Recuperado de https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2009/audit_spa.pdf
28. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2004). *Global status report on alcohol 2004*. Recuperado de https://www.who.int/substance_abuse/publications/global_status_report_2004_overview.pdf
29. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2011). *La prueba de detección de consumo de alcohol, tabaco y sustancias (ASSIST), manual para uso en la atención primaria*. Recuperado de

- https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85403/9789275332368_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
30. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020a). *Consideraciones relativas a los ajustes de las medidas de salud pública y sociales en el contexto de la COVID-19. Orientaciones provisionales*. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331970/WHO-2019-nCoV-Adjusting_PH_measures-2020.1-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 31. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020b). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. Recuperado de https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses?gclid=Cj0KCQjw4f35BRDBARIsAPePBHxcsk59DsSxGo-N-JiWpH4ayxAg_fsPJrg7Pe9VxjQ2P9QH8JglWboaAufQEALw_wcB
 32. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020c). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. Recuperado de <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>
 33. Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020a). *Las redes sociales y COVID-19: la contribución de BIREME*. Recuperado de https://www.paho.org/bireme/index.php?option=com_content&view=article&id=479:redes-sociais-e-covid-19-a-contribuicao-da-bireme&Itemid=183&lang=es
 34. Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2020b). *Salud mental y COVID-19*. Recuperado de <https://www.paho.org/es/salud-mental-covid-19>
 35. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Coronavirus*. Recuperado de https://www.who.int/es/health-topics/coronavirus#tab=tab_1
 36. Ortiz, F. G., & García M. (2014). *Metodología de la investigación; El proceso y sus técnicas*. México: LIMUSA.
 37. Oteo, A. (2005). *Tendencias en el consumo de drogas en la juventud española y efectos sobre su salud*. Recuperado de <http://www.injuve.es/sites/default/files/RJ84-11.pdf>
 38. Pineda, J., Lara, A., Rocha, E., Piña, I., & Romero, R. (2016). *Perfil de ingreso de los estudiantes de la Licenciatura en Enfermería en una Institución de Educación Superior*. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/enfermeriaimss/eim-2018/eim181f.pdf>

39. Polit, D., & Hungler, B. (2000). *Investigación científica en Ciencias de la Salud (6ª Ed.)*. México D. F: Mc Graw-Hill interamericana.
40. Psicología y mente (2021). *¿Qué son las drogas legales y qué tipos existen?*. Recuperado de <https://psicologiamente.com/drogas/drogas-legales>
41. Red Veracruzana de Investigación en Adicciones [REVIVA]. (2017). *Reporte Técnico PERCÍBETE 2. De Universidad Veracruzana*. Recuperado de <https://www.uv.mx/mpicd/files/2018/10/ReporteTecnico-Percibete2017.pdf>
42. Secretaría de Educación Pública [SEP]. (2019). *Principales cifras del sistema educativo nacional 2018-2019*. Recuperado de https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica_e_indicadores/principales_cifras/principales_cifras_2018_2019_bolsillo.pdf
43. Secretaría de Salud [SS]. (2017a). *ENCODAT Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017 reporte de alcohol*. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1rMIKaWy34GR51sEnBK2-u2q_BDK9LA0e/view
44. Secretaría de Salud [SS]. (2017b). *ENCODAT Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017 reporte de tabaco*. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1Iktptvdu2nsrSpMBMT4FdqBIk8gikz7q/view>
45. Secretaría de Salud [SS]. (2020). *Comunicado técnico diario nuevo coronavirus en el mundo (COVID-19) (Informe No. 37)*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/537793/Comunicado_Tecnico_Diario_COVID-19_2020.02.27.pdf
46. SPSS, Inc. (2006). *Guía breve de SPSS 15.0*. Recuperado de http://www.um.es/ae/soloumu/pdfs/pdfs_manuales_spss/SPSS%20Brief%20Guide%2015.0.pdf
47. Sun, Y., Li, Y., Bao, Y., Meng, S., Sun, Y., Schumann, G., Kosten, T., Strang, J., Lu, L., & Shi, J. (2020). *Brief report: increased addictive internet and substance use behavior during the COVID-19 pandemic in China*. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/ajad.13066>
48. Tamayo, M. (2014). *El proceso de la investigación científica*. México: LIMUSA.
49. Tenelanda, D., Damián, D. L., Célleri, S. P., Castillo, M. P., & Inca, N. M. (2019). *Técnicas Psicológicas Para Manejar El Estrés Académico En El Proceso De Aprendizaje Del Idioma Inglés*.

- European Scientific Journal, ESJ, 15(4), 421.*
<https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n4p421>
50. Tiburcio, M., Rosette, M., Natera, G., Martínez, A., Carreño, S., & Pérez, D. (marzo, 2016). Validez y confiabilidad de la prueba de detección de consumo de alcohol, tabaco y sustancias (ASSIST) en estudiantes universitarios. *Adicciones, 28(1)*. Recuperado de <https://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/view/786/750>
51. Universidad Veracruzana [UV]. (2013). *Licenciatura en Enfermería, Plan de Estudios 2013*. Recuperado de <https://www.uv.mx/orizaba/enfermeria/files/2016/06/PLAN-DE-ESTUDIOS-junio-16.pdf>
52. Vieitez, I., Larrea, S., Romero, F., & Cicoella, L. (2020). *Conocimientos, actitudes y prácticas relacionadas a la pandemia del covid-19 en comunidades indígenas de Yucatán y Chiapas*. Recuperado de https://knowledgecommons.popcouncil.org/cgi/viewcontent.cgi?article=2144&context=departments_sbsr-pgy



Analysis of Respiratory Tract Cancer: A Population-Based Study

Pedro M. P. Ferreira, AS

Isabela M. Turcatto, AS

André A. R. Takahashi, AS

Laércio S. Paiva, PhD

Luiz Vinícius A. Sousa, PhD

Centro Universitário Saúde ABC (CUSABC), Brazil

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p25](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p25)

Submitted: 27 January 2021

Accepted: 08 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ferreira P.M.P., Turcatto I.M., Takahashi A.A.R., Paiva L.S. & Sousa L.V.A. (2021). *Analysis of Respiratory Tract Cancer: A Population-Based Study*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 25. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p25>

Abstract

Cancer is one of the main causes of mortality in Brazil and in the world. Respiratory cancer is one of the most expressive fractions. It is important to study its incidence and try to correlate its association with behavioral factors in big urban centers such as the ABC region in Sao Paulo. This paper focuses on analyzing and comparing the incidence of respiratory tract cancers in the population of the ABC region and their respective correlations with the state of Sao Paulo and Southeast region. This is an ecological observational study with temporal analysis, using secondary data referring to hospital admissions for cancer of the larynx, trachea, and lung in the ABC region from 2008 to 2017. In the ABC region, the female sex showed a greater increase in older age groups. Sao Paulo showed a significant increase for both genders in the age group over 60 years old. Southeast region showed the greatest significant variation, with the male gender decreasing in the younger age groups and increasing in the older age groups, while the female is increasing in older age groups. Airway cancers in the younger age groups for both males and females are decreasing in all regions analyzed. For older age groups, numbers are increasing especially in the ABC region. The most important correlation found in this study is an increase in the number of cases of these diseases in women

compared to men, which may suggest that females have increased their tobacco consumption, while men appear to be decreasing.

Keywords: Neoplasm, larynx, trachea, bronchus, lung, smoking, ABC region

Introduction

Cancer was responsible for the death of 9.6 million people around the world in 2018, according to the WHO (World Health Organization - Cancer Country Profiles, 2014). In Brazil, the total number of cancer deaths in 2014 was 223.700 (INCA, 2015). From this number, respiratory tract neoplasms were responsible for 2.4% of the total deaths in the country, being that 14.1% of male deaths in Brazil were due to complications from lung cancer, trachea, and bronchi. Respiratory tract neoplasms were responsible for 10.6% of deaths in women (Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), GBD Compare, 2017).

Lung cancer is mostly common among all respiratory tract cancers. Lung cancer is the third most common cancer besides colorectal cancer and breast cancer. Lung cancer is also the leading cause of cancer death in men and the second in women (MAO et al., 2016). In addition, the National Cancer Institute reported that in 2018, there were 31,270 new cases of lung cancer in the country (INCA, 2015). The worldwide incidence of lung cancer, including tracheal cancer, was 1,368,524 new cases in men and 725,352 in women (Bray et al., 2018).

The high incidence of this type of cancer is mainly related to smoking and passive exposure to tobacco, which represents the main risk factors (Araujo et al., 2001). This becomes evidence by the difference on the incidence of lung cancer in both genders. Of all the new cases of lung cancer in Brazil, 18,740 were in men and 12,530 in women, which could be related to the differences in the pattern of adherence and smoking cessation in both sexes. Out of the newly diagnosed cases, 85% are related to the consumption of tobacco-like substances (INCA; 2015).

Primary tracheal cancer is rare, and its incidence is very low when compared to laryngeal or lung cancer, since this condition represents only 0.2% of respiratory tract neoplasms (Honings et al., 2007). Due to its low incidence, knowledge of its epidemiology is still relatively limited.

The worldwide incidence of laryngeal cancer was 154.977 cases in men and 22.445 cases in women, which represents 1% of the total cancer cases (Bray et al., 2018). Also, laryngeal cancer is one of the few oncological diseases in which the 5-year survival rate is declining from 66% to 63% in the last 40 years, even though the overall incidence rates are declining (Siegel et al., 2016). The main risk factors for this neoplasm are smoking and alcohol consumption. Tobacco use was directly related to the development of

laryngeal cancer, with the risk for smokers being 10 to 15 times higher than for non-smokers, reaching up to 30 times in heavy smokers (Kuper et al., 2002; Rothman et al., 1996).

Regarding to smoking, Brazil is a country that differs from developed countries. Developed countries have been showing a drop in the incidence of this type of cancer from the 90's due to policies to combat smoking (Dela Cruz et al., 2011). Brazil showed an upward trend in the number of diagnosed cases. In 1990, airway cancers were responsible for 1.47% of deaths in the country, while in 2017 that number rose to 2.4% (Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), GBD Compare, 2017).

The Southeast region is a major economic hub in the country and is home to the largest city in the country, containing the largest population concentration in the country, according to IBGE data (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018). In the Brazilian states, Sao Paulo is the fourth with the highest incidence of deaths from respiratory tract neoplasms, with 1.89% of the number of deaths due to these diseases (Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), GBD Compare, 2017). This high incidence may also be related to the massive presence of industrial hubs in the state, and occupational exposure is a major risk factor for this neoplasm (INCA, 2015).

The ABC region is a major economic hub in the state of Sao Paulo, in addition to housing a large part of the national industry, with metallurgy being one of the most common (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018). The population residing in that location may be subjected to a high prevalence of cancers of the respiratory tract due to exposure to tobacco and its derivatives and pollution from industry.

Cancer is a pathology responsible for high mortality rates in the world and in Brazil, in addition to considerably reducing the quality of life of patients. The epidemiological study of these diseases evaluated by regions is important to assess the effectiveness of cancer prevention policies, since their manifestation is largely related to environmental and behavioral risk factors. The ABC region has no epidemiological study on the incidence of respiratory tract cancer, even though it has great economic importance for the state of Sao Paulo. It was considered important that there are studies that assess these issues in order to expand and improve health services in the region.

The aim of this study was to analyze the prevalence of cancers of the respiratory tract in the population of the ABC region and their respective consequences for the state of Sao Paulo.

Method

Observational and ecological study with temporal analysis used secondary data regarding hospital admissions for respiratory cancer and conditions of the ABC region (Brazil from 2008 to 2017).

The study was carried out with individuals living in the ABC region, which has about 2,702,071 people according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). This region is originally configured by the cities of Santo André, São Bernardo do Campo, and São Caetano do Sul. The cities of Mauá, Diadema, Ribeirão Pires, and Rio Grande da Serra are currently incorporated into the region (Kuper et al., 2002).

Board 1. Inclusion and exclusion criteria for this study based on the data organization available by the Informatics Department of the National Health System

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
<ul style="list-style-type: none">• Age ranges from 20 – 79 years old• Cases of hospital admission only• Residents of the ABC region, Sao Paulo and Southeast region• Diagnosis of larynx, trachea, lung and bronchial neoplasm	<ul style="list-style-type: none">• Any data that is not officially available and registered at DATASUS platform• Individuals with mortality data• Residents from any other area but admitted in one of ABC region, Sao Paulo or Southeast hospitals

In addition, hospital admissions data from the Southeast region and from the state of Sao Paulo was also acquired and compared with ABC region's data, following the same definition of airway neoplasm.

The definition of airway neoplasm was according to the tenth revision of the International Classification of Diseases (ICD10) in the codes: C32, C33, C34, which correspond to Malignant Neoplasm of the Larynx, Malignant Neoplasm of the Trachea, Malignant Neoplasm of the bronchi, and lung on the ICD-10 morbidity list. The number of hospital admissions was obtained by the Hospital Information System of the Unified Health System (SIH / SUS), which are available at DATASUS. Hospital admissions for respiratory cancer are included in the database of the Brazilian Ministry of Health, available on the website of the Department of Informatics of SUS (DATASUS), which is the official base of data on public health in Brazil, being available for free access to the user on the website [<http://datasus.saude.gov.br/>] (Sousa et al., 2017).

For the descriptive analysis of qualitative variables, absolute frequency and relative frequency were used for quantitative variables, measures of central tendency, dispersion, and respective 95% confidence intervals by normality test (Shapiro-Wilk test). The trend of the hospitalization rate for malignant cancer of the larynx, trachea, bronchi, and lungs was evaluated using Linear Regression. From these models, the values of β (slope), p (probability), and r^2 (predictive capacity of the model) were used. The confidence level adopted was 95% and the statistical program used was Data Analysis and Statistical Software for Professionals (Stata) version 13.0®.

As this study was based on secondary data, not being able to identify the individual and the data being freely and unrestricted on the internet, there

was no need for this project to be sent to the Research Ethics Committee for its appreciation, as expressed in the resolution 466/2012.

Results

The total number of hospitalizations for men and women for respiratory cancers in the ABC region for the age group from 20 to 79 years, in the period from 2008 to 2017, was 4,019; the state of Sao Paulo shows 17,287 hospitalizations, and the Southeast region gave 68,964.

In the ABC region of Sao Paulo, the population that showed the greatest significant increase in the hospitalization rate was female, mainly in the age groups of 60 to 64, 65 to 69, 70 to 74 and 75 to 79, with an increase of 10.17 ($p = 0.009$), 11.22 ($p < 0.001$), 5.63 ($p = 0.001$) and 4.4 ($p = 0.014$), respectively, while the total increase in the female hospitalization rate was 0.29 ($p = 0.004$) in Table 2. Meanwhile, in the Sao Paulo ABC region, there were no significant increase ($p < 0.05$) for any age group in males. There was a decrease in the male hospitalization rate of 4.77 ($p = 0.028$) for the age group of 30 to 34 years (Table 1).

The state of Sao Paulo showed a significant increase in hospitalization rates for respiratory cancer from the age of 60 onwards, both for men and women (Tables 1 and 2). In males, there was an increase of 11.43 ($p = 0.035$) for the 60 to 64 age group; an increase of 19.09 ($p = 0.006$) for the 65 to 69 age group; an increase of 12.06 ($p = 0.02$) for the 70 to 74 age group; and an increase of 6.58 ($p = 0.004$) for the 75 to 79 age group. It was also possible to verify a significant decrease in male hospitalization rates for the 40-44 age groups: 45 to 49 and 50 to 53, being 2.79 ($p = 0.026$), 5.9 ($p = 0.004$), and 17.29 ($p = 0.001$) respectively (Table 1).

Table 1. Linear regression of the incidence of hospitalization (per 100,000 inhabitants) of males between the period of 2008 and 2017

Age range	ABC region		Sao Paulo		Southeast	
	β	p^*	β	p^*	β	p^*
20 - 24	-1.21	0.366	-0.29	0.555	-0.19	0.128
25 - 29	-1.33	0.121	-0.24	0.663	-0.5	0.005
30 - 34	-4.77	0.028	-0.01	0.976	-0.4	0.025
35 - 39	-0.5	0.796	-0.98	0.322	-0.4	0.114
40 - 44	-0.5	0.697	-2.79	0.026	-1.38	0.032
45 - 49	-2.98	0.467	-5.9	0.004	-2.54	0.006
50 - 54	-14.26	0.111	-17.29	0.001	-2.3	0.03
55 - 59	6.5	0.486	1.2	0.772	5.91	0.02
60 - 64	21.08	0.08	11.43	0.035	12.66	<0.001
65 - 69	9.87	0.505	19.09	0.006	13.55	<0.001
70 - 74	11.44	0.145	12.06	0.02	8.31	<0.001
75 - 79	12.42	0.265	6.58	0.004	2.91	0.01

Standardized for age according to the world population of the World Health Organization International Disease Classification, 10th review. Codes: C61, C53 and C67

* β Regression: beta value of the regression

Source: Hospital Information System (SIH / SUS)

Data made available by the Informatics Department of the National Health System (DATASUS - www.datasus.gov.br). Ministry of Health, Brazil

For women in the Sao Paulo region, there was a significant increase of 0.29 ($p = 0.004$) in the total hospitalization rate. In addition, there was a significant increase in hospitalization rates for cancers of the respiratory tract, especially in the 60 to 79 age group, whereas for the 60 to 64 age group, the increase was 10.17 ($p = 0.009$); for the 65 to 69 age group, the increase was 11.22 ($p = 0.001$); for the 70 to 74 age group, the increase was 5.63 ($p = 0.001$), and for the 75 to 79 age group, the increase was 4.4 ($p = 0.014$) (Table 2).

The Southeast region presented the biggest significant variations in the hospitalization rates for respiratory cancer, being that the male population suffered the biggest changes. Thus, the male population in the Southeast has an increase of 0.35 ($p < 0.001$) in hospitalization rates; meanwhile, the female population in the Southeast has experienced an increase of 0.25 ($p < 0.001$) in the rates of total hospitalization for respiratory cancers (Tables 1 and 2).

Table 2. Linear regression of the incidence of hospitalization (per 100,000 inhabitants) among women between 2008 and 2018

Age range	ABC region		Sao Paulo		Southeast	
	β	P	β	p	β	p
20 - 24	-1.47	0.194	-0.32	0.447	-0.009	0.938
25 - 29	-1	0.241	0.45	0.215	-0.05	0.785
30 - 34	-2.45	<0.001	0.12	0.776	0.13	0.277
35 - 39	-0.12	0.857	-0.58	0.586	-0.13	0.634
40 - 44	-7.7	0.088	-0.45	0.711	-0.31	0.374
45 - 49	-0.77	0.77	-1.2	0.553	-0.94	0.086
50 - 54	2.48	0.506	-4.87	0.026	1.3	0.063
55 - 59	6.97	0.129	5.07	0.095	5.44	<0.001
60 - 64	21.12	<0.001	10.17	0.009	7.96	<0.001
65 - 69	11.55	0.028	11.22	0.001	6.85	<0.001
70 - 74	1.11	0.809	5.63	0.001	3.14	<0.001
75 - 79	-4.41	0.108	4.4	0.014	2.27	<0.001

Standardized for age according to the world population of the World Health Organization International Disease Classification, 10th review. Codes: C61, C53 and C67

* β Regression.: beta value of the regression

Source: Hospital Information System (SIH / SUS)

Data made available by the Informatics Department of the National Health System (DATASUS - www.datasus.gov.br). Ministry of Health, Brazil

The male population in the Southeast suffered the greatest variation. For the age groups from 25 to 29, 30 to 34 years, 40 to 44 years, 45 to 49 years and 50 to 54 years, there was a significant decrease in hospitalization rates, with a reduction of 0.5 ($p = 0.005$), 0.4 ($p = 0.025$), 1.38 (0.032), 2.54 (0.006) and 2.3 (0.03), respectively. On the other hand, the age groups from 55 to 79 years old suffered a significant increase in hospitalization rates. For the 55 to 59 age group, the increase was 5.91 ($p = 0.02$); for the 60 to 64 age group, the increase was 12.66 ($p < 0.001$); for the 65 to 69 age group, the increase was 13.55 ($p < 0.001$); for the 70 to 74 age group, the increase was 8.32 ($p < 0.001$); and for the 75 to 79 age group, the increase was 2.91 ($p = 0.01$) (Table 1)

The female population in the Southeast region suffered only a significant increase in hospitalization rates for respiratory cancers. The 55 to 79 age group showed significant increases with the 55 to 59 age group increasing by 5.44 ($p < 0.001$); the 60 to 64 age group showed an increase of 7.96 ($p < 0.001$); the 65 to 69 range showed an increase of 6.85 ($p < 0.001$); the 70 to 74 age group showed an increase of 3.14 ($p < 0.001$); and the 75 to 79 age group showed an increase of 2.27 ($p < 0.001$) (Table 2).

Discussion

The results of this study indicate that the incidence of cancer of the respiratory tract was significantly higher among men than among women, mainly for the age groups from 50 years old upwards for all the studied regions. There was no significant reduction in the incidence rates of these diseases in women in the youngest age groups in any region, with the exception of the ABC region, where there was a significant reduction for the age group from 30 to 34 years old, and in the state of Sao Paulo, where there was a significant reduction for the range of 50 to 54 years old. Among males, there was a significant reduction in the incidence of airway cancers in all regions studied, especially in the age group of 30 to 55 years.

The greatest increase in cases of respiratory cancer in males, mainly in the Southeast and in the state of Sao Paulo, is partially explained by the higher consumption of tobacco by this population, mainly in the age groups from 50 years old (Augusto Monteiro et al., 2007; De SÁ et al., 2016; Guimaraes et al., 2013). The male predominance in the number of cases is in line with the trend for the country found by Souza et al. (2012). The study by Souza et al. (2012), despite analyzing lung cancer mortality, also pointed to an incidence decline for the male population aged 30 to 69 years. From that age on, there was an increase in mortality, which also pointed to an increase in mortality from lung cancer in women aged 29 and over (Souza et al., 2012).

These findings may be closely related to smoking, as they seem to follow a trend seen in different countries. In the United States, there was a decrease in the incidence of lung cancer in men and an increase in the female

population since 1995. This difference is attributed to a historical difference in the pattern of cigarette consumption between genders, in which women cigarette consumption increased about twenty years after men (Jemal et al., 2008, 2009; Souza et al., 2012). Canada also showed a similar trend. In that country, a decline in lung cancer mortality for the male population has been observed since the 1980s. Thus, this is with tobacco consumption by men decreasing from the 1960s, while women also only decreased 20 years later (Canadian Cancer Society's Steering Committee on Cancer Statistics, 2011; Souza et al., 2012).

The results of this study are close to the results of other studies of the entire country. In Brazil, there was an increase in the mortality rate from lung cancer in the period from 1980 to 2007 for both men and women, but this increase was greater in men. The mortality rate decreased for men up to 64 years old but increased from 65 years old, while the mortality rate for women increased for all age groups (Souza et al., 2012).

The increase in diseases related to tobacco consumption is related to the prevalence of tobacco consumption in the past (Malta et al., 2010). In Brazil, the use of tobacco started to increase from the 1950s onwards being greater in the 1970s. Although this consumption is higher in men, some studies have shown that the decrease in tobacco consumption seems to have been more accentuated in men, being that women would be decreasing consumption later, as in other countries (Vigescola, 2010; Guimaraes et al., 2013; Malta et al., 2010).

The significant decline in the number of cases in men for the 30 to 34 age group in the ABC region, for the 40 to 53 age group for the state of Sao Paulo, and for the 25 to 54 age group seems to follow the trend seen both for other countries and for Brazil. This shows that men are stopping smoking a few years before women, and this do not have any significant reduction in younger age groups. Even with these results, the incidence of this cancer in men over the age of 50, both for Sao Paulo and for the Southeast, are still increasing more than women, which reflects the tendency of men to smoke more than women. However, there is a marked decrease in the incidence of smoking, especially among men and young people with higher purchasing power (Guimaraes et al., 2013), which also seems to be reflected in this study.

The increase in the incidence of respiratory cancer in women, mainly in the age group from 60 to 69 years for the ABC region, in the age group from 60 years to Sao Paulo and in the age group from 55 years to Southeast, may also be related to a greater demand by women for the health system than men. One reason for this is the reproductive issue, which increases the frequency of women in the search for health care (Travassos et al., 2002). Women have a tendency to present a more negative view about health and, as a result, seek medical assistance more frequently with the diagnosis of chronic diseases

being more common in women than men (Travassos et al., 2002). Airway cancer is a chronic disease that can take years to manifest, which could make it to be underreported. The greater presence of women in health centers could be a factor that leads to a greater increase in the incidence of cases compared to men. This does not seem to be true, since the increase in incidence in women occurred from the age of 50 onwards. Other studies have shown that in older age groups, the search for medical assistance in England does not differ between genders (Travassos et al., 2002).

The results seem to reflect what was expected from the literature. It is important to note that there is still an important increase in the incidence of cancer of the respiratory tract for both genders. Even with the reduction in the incidence of these diseases in the younger age groups, especially among men, respiratory cancers are still a serious health problem in Brazil, requiring care by health agencies to reduce their negative impacts on the parents. As this disease can be related to habits such as smoking, it is important that people should have access to more accessible and more concrete information about the incidence of these diseases.

Study Limitation

This study is limited because it uses data from the DATASUS platform, which depends on the notification of each health region. Therefore, these data may be subject to limitations due to differences in the social and health context of each region of the country. In addition, there is no additional information to correlate cancer of the respiratory tract with its risk factors, such as smoking and pollution. However, this is the main information platform of the health system in Brazil and it justifies its use for that study.

Conclusion

Respiratory cancer is still a serious health problem in Brazil, requiring care by health agencies to reduce its negative impacts in the country. As this disease is related to habits such as smoking, it is important that people should have access to more accessible and more concrete information about the incidence of these diseases.

There is a decline in airway cancers in the younger age groups for both males and females in all regions analyzed. On the other hand, there is still an important increase in the number of cases, especially in the ABC region in the older age groups. There is also an important increase in the number of cases of these diseases in women compared to men, which may suggest that females have increased their tobacco consumption, while men appear to decrease it.

References:

1. Araujo, L.H. et al. (2001). Lung cancer in Brazil. *Seminars in Oncology*, v. 28, n. 2, p. 143–152.
2. Augusto Monteiro, C. et al. (2007). Population-based evidence of a strong decline in the prevalence of smokers in Brazil (1989–2003). *Bulletin of the World Health Organization*, v. 85, n. February, p. 660–667.
3. Brasil. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva Estimativa (2016). *Incidência de Câncer no Brasil*. Rio de Janeiro: INCA, 2015
4. Bray, F. et al. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, v. 68, n. 6, p. 394–424.
5. Canadian Cancer Society's Steering Committee on Cancer Statistics (2011). *Canadian cancer statistics*. Toronto: [s.n.] Cancer INd 2010.
6. Vigescola – Vigilância de tabagismo em escolares: dados e fatos de 17 cidades brasileiras [Vigescola - smoking surveillance in school: facts and figures of 17 Brazilian cities]. 2010. Available from: <http://www.inca.gov.br/vigescola/docs/viges>.
7. De Sá, V. K. et al. (2016). Lung cancer in Brazil: Epidemiology and treatment challenges. *Lung Cancer: Targets and Therapy*, v. 7, p. 141–148.
8. Dela Cruz, C. S., Tanoue, L. T., & Matthay, R. A. (2011). Lung Cancer: Epidemiology, Etiology, and Prevention. *Clinics in Chest Medicine*, v. 32, n. 4, p. 605–644.
9. Guimaraes, R. M. et al. (2013). Mortality distribution due to tracheal, lung, and bronchial cancer by gender (Brazil, 1980-2010). *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 39, n. 5, p. 633–635.
10. Honings, J. et al. (2007). Incidence and treatment of tracheal cancer: A nationwide study in The Netherlands. *Annals of Surgical Oncology*, v. 14, n. 2, p. 968–976.
11. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2019). *GBD Compare*. Seattle, WA: IHME, University of Washington, 2017. Available from: <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>. (Acessado em)
12. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018). *Censo demográfico – 2010*. <https://www.ibge.gov.br/>
13. Jemal, A. et al. (2008). Annual report to the nation on the status of cancer, 1975-2005, featuring trends in lung cancer, tobacco use, and tobacco control. *Journal of the National Cancer Institute*, v. 100, n. 23, p. 1672–1694.
14. Jemal, A. et al. (2009). *Cancer Statistics*, 2009. v. 59, n. 4, p. 225–

- 249.
14. Kuper, H., Boffetta, P., & Adami, H. O. (2002). Tobacco use and cancer causation: Association by tumour type. *Journal of Internal Medicine*, v. 252, n. 3, p. 206–224.
 15. Malta, D. C. et al. (2010). Prevalence of smoking among adults residing in the federal District of Brasília and in the state capitals of Brazil, 2008. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 36, n. 1, p. 75–83.
 16. Mao, Y. et al. (2016). Epidemiology of Lung Cancer. *Surgical Oncology Clinics of North America*, v. 25, n. 3, p. 439–445.
 17. Rothman J, K. et al. (1996). Epidemiology of laryngeal cancer. *European Journal of Cancer Part B: Oral Oncology*, v. 32, n. 5, p. 293–305.
 18. Siegel, R. L., Miller, K. D., & Jemal, A. (2016). Cancer statistics. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, v. 66, n. 1, p. 7–30.
 19. Sousa, L. V. DE A. et al. (2017). Trends in Stroke-Related Mortality in the ABC Region, São Paulo, Brazil: An Ecological Study between 1997 and 2012. *The Open Cardiovascular Medicine Journal*, v. 11, n. 1, p. 111–119.
 20. Souza, M. C. De., Vasconcelos, A. G. G., & Cruz, O.G. (2012). Trends in lung cancer mortality in Brazil from the 1980s into the early 21st century: age-period-cohort analysis. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 28, n. 1, p. 21–30,
 21. Travassos, C. et al. (2002). Utilização dos serviços de saúde no Brasil: Gênero, características familiares e condição social. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, v. 11, n. 5–6, p. 365–373.
 22. World Health Organization (2014). *Cancer Country Profiles*



Psychometric properties of the COVID-19 associated PTSD-Scale

Prof. Dr. Samer Jamil Rudwan
University of Nizwa, Sultanate of Oman

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p36](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p36)

Submitted: 30 January 2021
Accepted: 10 March 2021
Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Rudwan S.J. (2021). *Psychometric properties of the COVID-19 associated PTSD-Scale*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 36. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p36>

Abstract

This study aimed to create a scale to measure post-traumatic stress disorder (PTSD) symptoms related to the COVID 19 crisis. Based on the available studies, the Davidson PTSD scale dimensions were used in this online survey. Accordingly, a new scale was designed based on the clinical characteristics of the symptoms of the PTSD, so questions revolved around the possible psychological PTSD symptoms associated with COVID 19. Descriptive approach was used. The study involved 423 participants from the Sultanate of Oman, of whom, 219 were male and 204 were female. Statistical analyses of the scale were conducted using reliability, criterion-related validity, as well as exploratory and confirmatory factor analysis. The factor analysis revealed three factors to which 15 items of 17 items were loaded that reflect the clinical features of PTSD symptoms. Overall, the scale showed good internal consistency and stability, with relatively good correlations between the items within the factors. The analysis of the confirmation factors led to model fit validation with 14 items, with the results showing a high degree of conformity. Accordingly, the results were discussed, and further studies suggested to further verify and confirm the scale validity.

Keywords: COVID 19, PTSD, mental health, exploratory factor analysis, confirmatory factor analysis

Introduction

The theoretical framework and background of the study

With the increasing spread of psychological problems and disorders as a result of the corona crisis, it has become necessary to provide suitable diagnostic tools required by psychologists and doctors from various disciplines as well as by people working in the field of crisis intervention to help those affected and to make appropriate decisions.

In most countries, medical institutions face many difficulties and psychological stress when dealing with emergencies. The same applies to basic medical and psychological care and psychological support for people infected with coronavirus and their families as well as those who have recovered from the disease. Furthermore, psychological pressures faced by medical workers, including doctors, nurses, assistants, and clerks, have resulted in symptoms of multiple mental disorders, such as anxiety, depression, obsessive-compulsive disorder, as well as symptoms of primary and secondary PTSD. An analysis of 2,144 calls made through the mental health hotline, conducted by the Wuhan Mental Health Center, found that 70 % of the hotline users were the general public in the period from February 4 to 20, 2020, with 2.2 % of medical workers calling the hotline. In total, 19.5 % suffered from various mental disorders was 19.5 % and the percentage of other employees was 8.3 % (Sanwang, Win, Dong, Bin& Cui, 2020).

The spread of the coronavirus has increased the risk of developing mental disorders in patients with a predisposition to the disorder or worsening symptoms in patients with original mental disorders. Some disorders are also directly related to corona infection, others may be related to behavioral warnings regarding the corona, including those related to long imprisonment, homestays, and lack of social activities.

Several studies have shown the prevalence of mental disorders among health workers and general population, for example, in China and Italy, varies, with anxiety symptoms in 12 to 20 %, depression between 14 to 20 %, sleep problems in 8%, and post-traumatic stress reactions between 35 to 40 % (Lai et al., 2020; Rossi et al., 2020). The prevalence of anxiety and depression in southern China in a sample of the population where none of their relatives or those around them was infected with coronavirus were 8.3 % and 14.6 %, respectively, and the percentage of those who had a person who had been infected with coronavirus in their area rose to 12.9 % and 22.4 %. This rate is much higher than the prevalence of anxiety in groups that were not infected, 6.7 %, and 11.9 % (Lei, Xiaoming, Shuai & Jinrong, 2020). In a Chinese study of students isolated for illness, the prevalence of PTSD symptoms was 2.7 % and depression was 9.0 %, in addition to anxiety and sleep disorders (Tanga et al., 2020). In a systematic review and meta-analysis conducted based on available databases on the prevalence of stress, anxiety, and depression in the general population during the COVID-19 pandemic in Science Direct, Embase,

Scopus, PubMed, The Web of Science Databases (ISI), and Google Scholar of 17 studies from Japan, Iran, China, India, Iraq, Nepal, the United Kingdom, Spain, Italy, and Nigeria, concluded that the pressure distribution was 29.6% (the conclusion was based on five studies in which the sample size was 9074 using the Depression, Anxiety and Stress Scale, DASS-21). The prevalence of anxiety was 31.9 % (based on 17 studies where the number of respondents with a sample size of 63,439), and the prevalence of depression was 33.7 % (based on 14 studies with a sample size of 44,531). The study also found that the highest prevalence of anxiety (32.9) was in Asia, whereas the highest prevalence of stress was in Europe (31.9), with the highest prevalence of depression in Asia (35) (Salari et al., 2020). There are literature reviews dealing with adolescents' mental disorders related to coronavirus due to stressful life events, prolonged home detention, intense sadness, domestic violence, and excessive use of the Internet and social media, which reported that the COVID-19 pandemic may exacerbate mental disorders, such as PTSD, depression, anxiety, and symptoms associated with grief. Adolescents with mental disorders are at risk of disruption or changes in care and management and may experience an increase in symptoms (Guessoum et al., 2020). A Pakistani study (Aqeel, Shuja, Abbas, Rehna & Ziapour, 2020) of 500 students using the Beck Depression Scale, Beck Anxiety Inventory, Revised Illness Perception Questionnaire, and The Warwick-Edinburgh Mental Well-being Scale for assessing depression, anxiety, illness perception, and mental health disorders found that the prevalence of anxiety was higher than that of depression. The level of mild anxiety reached 20.5%, moderate anxiety was 13.6 %, while the level of severe anxiety was 22.7 % and the level of natural anxiety was 43.2 %. Regarding depression, it was found that the degree of normal depression was 65.9 %, mild depression 9.10 %, the average was 9.12 %, and severe anxiety was 15.90 %. The multiple regression analysis also concluded that anxiety disorders and depression mediated the relationship between mental health and awareness of the current illness. In Singapore, the prevalence of anxiety was 14.5 %, depression was 8.9 % and stress was 6.6%, with a 7.7 % incidence of PTSD. Also, 10 % of non-medical health care workers suffered from anxiety, which is higher than the anxiety levels experienced by medical professionals, whose anxiety rate was 10.8 % (Tan et al., 2020).

It is too early to assess the psychological effects of the coronavirus, however, the available overviews show the variety of mental health problems and disorders resulting from the coronavirus crisis, regardless of whether these problems are directly related to the disease, such as anxiety, symptoms of PTSD, depression, fear of stigma, or whether problems that are not directly related, such as those resulting from the deterioration of the economic situation, staying at home, domestic violence and social isolation between different groups (Turabian, 2020). Nirmita et al. (2020) stated that in their

survey between March 20 and 30, 2020, for example, the Kaiser Family Foundation found that the proportion of older people who reported the existence of anxiety and stress-related to the coronavirus was 31 %, 49 % of adults.

The psychosocial characteristics of the coronavirus crisis are similar to those of other crises in general, such as time continuity, risk expectations, difficulty in controlling potential, and predicting outcomes. However, this crisis differs from others in several features including the difficulty of assessing the degree of proximity or distance to the hazard. In some cases, despite the preventive measures in place, it is difficult to avoid infection. Also, there is the fear of inadvertently harming others in the event of illness and the associated feelings of guilt. In addition to viewing the disease as a kind of stigma that in some cases can lead to social isolation and suicide attempts. Besides, we refer to suicide attempts due to the economic conditions resulting from the coronavirus crisis, domestic violence, and alcohol consumption. Foreign nationals in some countries have also suffered from discrimination, which has come in various forms, such as avoidance and bullying in some cases (Goya, Chauhan, Chhikara, Gupta & Singh, 2020; Gunnell et al., 2020; Mamun & Griffiths, 2020; Thakur & Jain, 2020).

The study problem and objectives

This study is concerned with providing a measure of COVID-19-related PTSD and defining its global components. Providing a suitable measuring instrument is therefore one of the fundamental steps in understanding the nature of the psychopathological reactions to corona and helps in determining the extent to which psychological symptoms are spreading. Based on the above, the objectives of this study were:

- Create a reliable scale for measuring PTSD symptoms
- Exploring the psychometric properties of the questionnaire
- Checking the global structure of the scale through exploratory factor analysis
- Verify the validity of the model using confirmatory factor analysis

The study importance

The importance of this study is to develop a PTSD symptom scale that can help mental health professionals reliably diagnose people with PTSD symptoms, then help plan psychological support and appropriate interventions.

The limits of the study

The study limits are determined in the time frame of the implementation between March and June 2000, the extent of the efficiency of the items to cover symptoms of PTSD, the sample characteristics, and the effectiveness of the statistical methods to answer the questions raised.

Methodology and Procedures

The descriptive approach was used for its convenience in achieving the study objectives, and in answering questions related to PTSD symptoms and the mental health scale of the Criterion Related Validity examination.

The sample

The data for the study were obtained through an electronic survey. The sample consisted of 423 respondents from the Sultanate of Oman, undergraduate, graduate and postgraduate students. The mean age of the entire sample was 37.04 ± 7.48 years, including 219 men with a mean age of 38.42 ± 8.31 years and 204 women with a mean age of 35.56 ± 7.02 . None of the respondents stated that they had developed symptoms of the corona at the time of the study.

Corona-related PTSD scale

The scale was mainly designed based on the Davidson scale (Davidson et al., 1997; Davidson, Tharwani & Connor, 2002; Meltzer-Brody, Churchill & Davidson, 1999) and contained 17 items to measure three dimensions: intrusive re-experiencing, avoidance/numbness traumatically experience, and hyperarousal. The scale was used in many studies and had good psychometric indicators, with Cronbach's alpha coefficients above 0.90. These reliability coefficients were extracted from studies on various samples such as Davidson et al. (1997), McDonald, Beckham, Morey, and Calhoun (2009) and Meltzer-Brody, Churchill, and Davidson (1999).

In the current study, we adjusted the 17 items to ask about the situation that is specifically related to the coronavirus, for example: "I am having difficulty enjoying my life and doing daily activities that I am used to due to the corona crisis?" Answers were rated on a hex scale from (one to six): all the time, most of the time, a relatively good time, sometimes a little, no time. A high score indicates symptoms of PTSD.

We used the Davidson Scale as a guide for formulating new items related to Corona. We have formulated a similar content item structure to make sure the content validity of PTSD symptoms. Accordingly, the developed scale can be viewed as a new instrument, ie not as a mere translation and use of the Davidson scale.

Results

Scales validity and reliability in its current version.

Face Validity

The modified version of the scale was reviewed by a number of experts in this field to ensure clarity of the Items and the extent to which the scale covered the dimensions of PTSD symptoms. There were no major modifications.

Internal Consistency

The average correlation between items: In the first step, the correlations between the 17 items were calculated, with the average correlation matrix between the scale items shown in Table 1.

Table 1: Average Inter-PTSD Correlation Matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	19	10	11	12	13	14	15	16
PTSD01	1.000															
PTSD02	.440	1.000														
PTSD03	.602	.473	1.000													
PTSD04	.510	.351	.567	1.000												
PTSD05	.199	.073	.292	.437	1.000											
PTSD06	.112	.108	.106	.222	.335	1.000										
PTSD07	.427	.382	.357	.305	.162	.261	1.000									
PTSD08	.401	.222	.390	.437	.213	.201	.389	1.000								
PTSD09	.401	.287	.328	.309	.109	.209	.452	.554	1.000							
PTSD10	.397	.246	.348	.325	.090	.148	.397	.471	.710	1.000						
PTSD11	.377	.298	.350	.276	.139	.160	.329	.310	.415	.468	1.000					
PTSD12	.319	.232	.334	.363	.083	.201	.414	.456	.450	.520	.396	1.000				
PTSD13	.401	.346	.392	.443	.163	.165	.486	.453	.529	.568	.359	.679	1.000			
PTSD14	.416	.306	.338	.363	.134	.213	.507	.422	.468	.516	.351	.544	.671	1.000		
PTSD15	.434	.393	.383	.336	.112	.166	.495	.394	.458	.488	.468	.545	.587	.607	1.000	
PTSD16	.437	.380	.433	.396	.164	.115	.480	.437	.529	.566	.377	.503	.665	.630	.643	1.000
PTSD17	.498	.381	.471	.447	.218	.177	.464	.391	.395	.440	.298	.477	.564	.508	.600	.640

Table 1 shows that most of the items are related to one another to an acceptable degree, with some items showing weak correlations. The lowest correlation was 0.07 between two items (5 and 2), while the highest correlation was 0.67 between two items (12 and 13). Since the scale is based on different dimensions, initially all items were kept in the subsequent analyzes, and the decision whether or not to remain weakly correlated items was based on the results of the exploratory and confirmatory factor analysis.

Reliability

The analysis of the item reliability and the corrected overall correlation of the items led to the result shown in Table 2.

Table 2 shows that all Cronbach's alpha coefficients were high for individual items, with the lowest discriminant coefficient for item no. 6 reaching a value of 0.25, which is an acceptable coefficient. In contrast, the highest Corrected PTSD-Total Correlation for item 16 reached a value of 0.71. The Cronbach's alpha coefficient for the full scale was 0.91.

Table 2: PTSD-Total Statistics

	Scale Mean if PTSD Deleted	Scale Variance if PTSD Deleted	Corrected PTSD-Total Correlation	Squared Multiple Correlation	Cronbach's alpha if PTSD Deleted
PTSD01	44.6245	244.120	.546	.465	.905
PTSD02	46.0072	255.403	.434	.301	.908
PTSD03	45.1017	245.832	.578	.527	.904
PTSD04	44.5593	240.586	.592	.541	.904
PTSD05	44.1930	250.182	.373	.356	.911
PTSD06	44.4987	257.321	.251	.196	.914
PTSD07	44.8670	241.687	.596	.406	.904
PTSD08	44.0508	243.118	.568	.416	.905
PTSD09	44.4622	238.953	.638	.588	.902
PTSD10	44.6623	239.009	.618	.551	.903
PTSD11	45.0906	239.361	.615	.413	.903
PTSD12	44.7640	239.082	.619	.442	.903
PTSD13	44.6219	239.339	.689	.574	.901
PTSD14	44.6565	239.205	.684	.574	.901
PTSD15	45.1591	235.879	.714	.613	.900
PTSD16	44.8950	236.108	.719	.638	.900
PTSD17	45.3090	240.361	.663	.489	.902

Validity

Criterion Validity

The criterion validity was checked by analyzing the correlation coefficient of the PTSD scale with the GENERAL WELL-BEING20 by Heubeck and Neil (2000). The general mental health scale has 20 items that measure two dimensions: mental well-being and mental distress. The analysis showed the presence of a negative correlation coefficient (-0.67) between the total value of the corona-associated PTSD symptom scale and the total value for mental health. There was also a negative correlation with the sub-dimension “psychological well-being” with a value of -0.54, while the correlation with the sub-dimension “psychological distress” was positive with a correlation value of 0.70.

Exploratory factor analysis

The seventeen items were subjected to an exploratory analysis to examine the global item structure and check the validity of the theoretical assumption on which the item construction was based, namely the grouping of sporadic symptoms into specific syndromes that correspond to the symptoms described in the specialist references on symptoms of PTSD. Table 3 gives an overview of the rotated factor analysis matrix, its commonality, and the degree of saturation.

Table 3: Rotated Factor Matrix

Items	Factor			Commonalities
	1	2	3	
13 Because of the corona crisis, I get bouts of tension and anger.	.737			.692
12 Due to the corona crisis, I find it difficult to fall asleep or my sleep has become restless.	.712			.615
14 Due to the COVID19 crisis, I am having trouble concentrating.	.686			.597
15 As a result of this crisis, I feel on the verge of collapse and it has become easy to get distracted.	.683			.649
16 I get nervous and tense for the slightest reason and have the worst expectations.	.641			.520
17 I'm scared, my heart is beating faster, and I'm upset when people around me talk about COVID19.	.592	.4 7		.562
7 I have the feeling that my memory is blurry and that I am having difficulty remembering familiar things due to the corona crisis.	.470			.395
3 I Often have annoying thoughts that I could be infected with COVID19.		.7 5 1		.644
4 I get angry about the things that might remind me of the COVID19 virus.		.6 5 0		.516
1 I have fantasies, memories, and thoughts about the risk of developing COVID19.		.6 3 9		.550
2 I have bad dreams about getting infected with the COVID19 virus.		.4 6 8		.312
5 I try to avoid thoughts or feelings that remind me of the COVID19 virus.		.4 0 6		.168
9 I feel isolated, distancing from people, and I no longer feel any joy because of the corona crisis.			.8 5 3	.846
10 I have the feeling that my feelings are frozen as a result of the corona crisis.	.448		.6 4 3	.639

8	I am having trouble enjoying my life and doing the daily activities that I was used to before the corona crisis?	.4 7 0	.426
11	Due to the corona crisis, it is difficult for me to imagine the possibility of staying alive for a long time to achieve my life goals.		.291
6	I avoid following anything (news and information) that may remind me of the COVID19 virus.		.067

The factor analysis was conducted using the method of maximum likelihood and the varimax rotation. Kaiser's criterion was that the variance of the factor or its eigenvalue should be greater than or equal to one. The factor analysis revealed three factors that explained the relatively acceptable percentage of 49.93 % of the total variance of the items. The three factors comprised 15 items out of 17 items. Since the saturation of the remaining two items was lower than the predetermined saturation on the factor (0.40), these items were excluded. The KMO value was 0.92 and Bartlett's test of sphericity was significant (0.00).

Table 3 also shows that almost all factors were saturated with items consistent with each other and expressed homogeneous groups of symptoms that can be divided into PTSD-specific syndromes concerning COVID-19.

The stability factor for the items of each separate factor was calculated again separately. The Cronbach's alpha for the first factor was 0.89, the corrected total correlation of the items was between 0.58 and 0.77, the Cronbach's alpha for the second factor was 0.79 and the corrected total correlations of the items were between 0.33 and 0.76, the Cronbach's alpha for the third factor was 0.77. The corrected total correlation of the items was between 0.47 and 0.69.

Confirmatory factor analysis

The structural validity of the scale was checked using confirmatory factor analysis based on the factors that resulted from the exploratory factor analysis to test the quality of the model fit. This procedure was performed by testing the GFA structural validity model, factor confirmatory analysis, and the compatibility of the AMOS structural model. The exploratory factor analysis yielded 15 items saturated with three factors, which explains 49.93 % of the total variance, and the interpretation ratios were 22.07 % for the first factor, 15.14 % for the second factor, and 12.17 % for the third factor.

Accordingly, the patterns were designed according to these three dimensions. Figure 1 shows the results of the first-order confirmatory analysis in its final form after deleting item 17 due to the high value of the residual covariances, the deletion of which led to an improvement in the model fit.

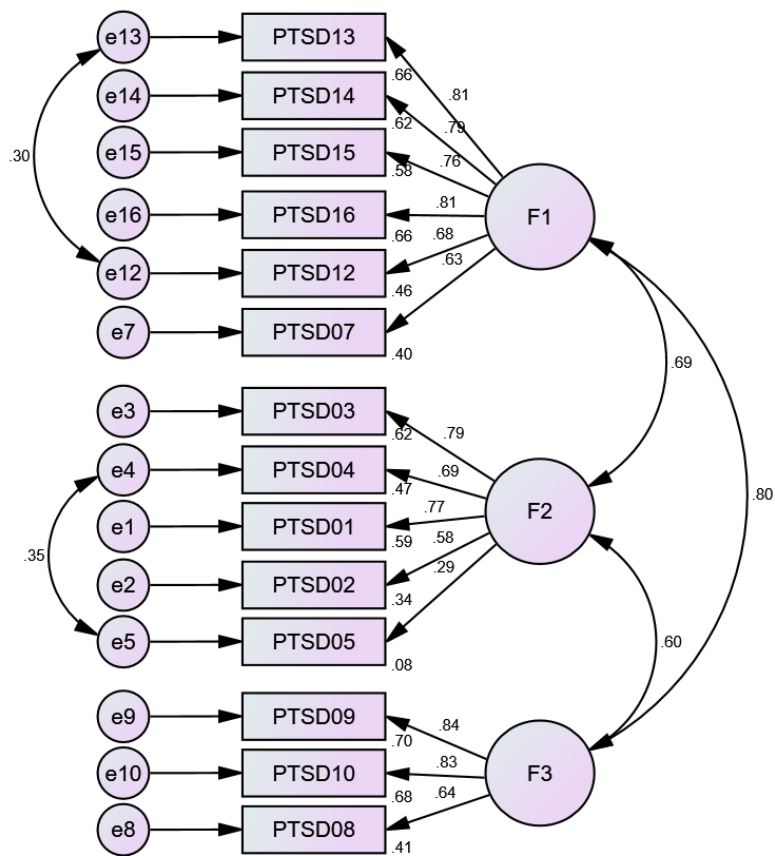
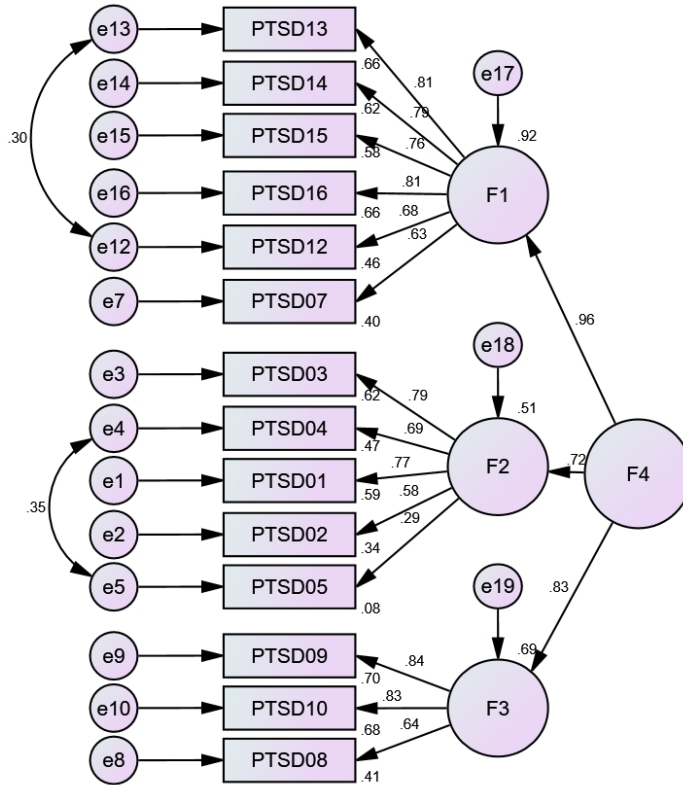


Figure 1 : First-order confirmatory analysis: interpreting the latent variables for correlations between the observed variables



To clarify the quality of the model's indicators, some indicators were presented in Table 4.

Table 4: Indicators of the Goodness-of-Model fit

Indicator	computed value	Acceptance Criteria
Chi-Square or χ^2	184.96	n.s.
DF	72	/
Probability level	0.000	
CMIN /DF	2.56	$\chi/df < 5$
absolute fit index		
RMSEA	0.061	RMSEA < 0.08
Baseline Comparisons		
TLI	0.95	TLI > 0.90

Figure SEQ Figure * ARABIC 2: Second-order confirmatory analysis

NFI	0.93	NFI > 0.90
CFI	0.96	CFI > 0.95

From Table 4, it can be concluded that the indicators for the goodness of fit were good and that all model estimates showed a function at the 0.01 level. However, it should be noted that the chi-square value was not significant and the CMIN/DF was less than 5. This is a good indicator of the model. The RMSEA index was less than 0.08 and greater than 0.05) Also, all other values met the conditions for the goodness of fit.

Discussion

This study developed a scale for measuring the symptoms of PTSD related to COVID-19 with good psychometric properties and reliability coefficients suitable for use. The scale was characterized by high stability coefficients. The correlations between the symptoms of PTSD associated with COVID-19 were high with both mental health and the dimensions of psychological well-being and distress.

Factor analysis revealed three factors, reflecting 15 out of 17 elements, which were characterized by a high degree of consistency in their content and agreement with clinical facts, confirming the obvious validity based on which the scale was established. The consistency of the factors with one another was demonstrated by separately calculating the stability coefficients and the correlation of the element with the total degree of the elements of each factor. The overall correlation coefficients for the items were between 0.33 and 0.77 and the stability coefficients were between 0.77 and 0.89). Some saturation of the factors suggested that the various symptoms measured were not entirely independent of each other and that other underlying factors need further investigation.

The analysis of the first and second-order confirmation factors led to the validation of the model and concluded that 14 items represent the best model. The indicators for the goodness of fit achieved good values. Nevertheless, further tests with other samples are required, such as infected persons, as well as people who have recovered from the disease and their close relatives. These further studies could provide more evidence for the validity of the scale.

References:

1. Aqeel, M., Shuja, H. K., Abbas, J., Rehna, T. & Ziapour, A. (2020). *The influence of illness perception, anxiety, and depression disorders on students' mental health during the COVID-19 outbreak in Pakistan:*

- A web-based cross-sectional survey. doi:
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30128/v1>
2. Davidson, J., Book, S., Colket, J., Tupler, L., Roth, S., David, D. & Feldman, M. (1997). Assessment of a new self-rating scale for post-traumatic stress disorder. *Psychological Medicine*, 27(1), pp. 153-160. doi: <https://10.1017/s0033291796004229>
 3. Davidson, J., Tharwani, H. & Connor, K. (2002). Davidson Trauma Scale (DTS): Normative scores in the general population and effect sizes in placebo-controlled SSRI trials. *Depression and Anxiety*, 15(2), pp. 75-78. doi: <https://10.1002/da.10021>
 4. Goya, I. K., Chauhan, P., Chhikara, K., Gupta, P. & Singh, M. P. (2020). Fear of COVID 2019: First suicidal case in India! *Asian Journal of Psychiatry*, 101989, pp. 101989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2020.101989>
 5. Guessoum, S. B., Lachal, J., Radjack, R., Carretie, E., Minassian, S., Benoit, L. & Moro, M. R. (2020). Psychiatry research. *Adolescent psychiatric disorders during the COVID-19 pandemic and lockdown*, 291, pp. 113264. doi: <https://doi:10.1016/j.psychres.2020.113264>
 6. Gunnell, D., Appleby, L., Arensman, E., Hawton, K., John, A., Kapur, N. & Pirkis, J. (2020). Suicide risk and prevention during the COVID-19 pandemic. *The Lancet Psychiatry*, 7(6), pp. 468-471. doi: [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30171-1](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30171-1)
 7. Heubeck, B. & Neil, J. (2000). Confirmatory factor analysis and reliability of the Mental Health Inventory for Australian adolescents. *Psychological Reports*, 87(2), pp. 431-440. doi: <https://DOI:10.2466/PR0.87.6.431-440>
 8. Lai, J., Ma, S., Wang, Y., Cai, Z., Hu, J., Wei, N. & Hu, S. (2020). Factors associated with mental health outcomes among health care workers exposed to coronavirus disease in 2019. *JAMA network open*, 3(3), pp. e203976. doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.3976>
 9. Lei, L., Xiaoming, H., Shuai, Z. & Jinrong, Y. (2020). Comparison of the prevalence and associated factors of anxiety and depression among people affected versus people unaffected by quarantine during the COVID-19 epidemic in southwestern China. *Med Sci Monit*, 26, pp. e924609. doi: <https://DOI:10.12659/MSM.924609>
 10. Mamun, M. A. & Griffiths, M. (2020). First COVID-19 suicide case in Bangladesh due to fear of COVID-19 and xenophobia: Possible suicide prevention strategies. *Asian Journal of Psychiatry*, 51, p. 102073. Advance online publication. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2020.102073>

11. McDonald, S., Beckham, J., Morey, R. & Calhoun, P. (2009). The validity and diagnostic efficiency of the Davidson Trauma Scale in military veterans who have served since September 11th, 2001. *Journal of Anxiety Disorders*, 23(2), pp. 247–255. doi: <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2008.07.007>
12. Meltzer-Brody, S., Churchill, E. & Davidson, J. (1999). Derivation of the SPAN, a brief diagnostic screening test for posttraumatic stress disorder. *Psychiatry Research*, 88(1), pp. 63-70. doi: [https://doi.org/10.1016/s0165-1781\(99\)00070-0](https://doi.org/10.1016/s0165-1781(99)00070-0)
13. Nirmita, P., Rabah, K., Kendal, O., Cynthia, C., Rache, G., Liz, H. & Priya, C. (2020). *The Implications of COVID-19 for Mental Health and Substance Use*. Retrieved from <https://www.kff.org/>: https://www.kff.org/report-section/the-implications-of-covid-19-for-mental-health-and-substance-use-issue-brief/#endnote_link_460419-1
14. Rossi, R., Socc, V., Pacitt, F., Di Lorenzo, G., Di Marco, A., Siracusano, A. & Rossi, A. (2020). Mental health outcomes among frontline and second-line health care workers during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) Pandemic in Italy. *JAMA network open*, 3(5), pp. e2010185. doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.10185>
15. Salari, N., Hosseinian-Far, A., Jalali, R., Vaisi-Raygani, A., Rasoulpoor, S., Mohammadi, M. & Khaledi-Paveh, B. (2020). Prevalence of stress, anxiety, depression among the general population during the COVID-19 pandemic: a systematic review, and meta-analysis. *Globalization and health*, 16(1), pp. 57. doi: <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00589-w>
16. Sanwang, W., Win, X., Dong, Y., Bin, L. & Cui, M. (2020). *Psychological Influence of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic on the General Public, Medical Workers, and Patients With Mental Disorders and its Countermeasures*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psych.2020.05.005>
17. Tan, B., Chew, N., Lee, G., Mingxue, J., Goh, Y., Yeo, L. & Sharma, V. (2020). *Singapore, Psychological Impact of the COVID-19 Pandemic on Health Care Workers in*. doi: <https://doi.org/10.7326/M20-1083>
18. Tanga, W., Huc, T., Hu, B., Jine, C., Wang, G., Xie, C. & Xu, J. (2020). Prevalence and correlates of PTSD and depressive symptoms one month after the outbreak of the COVID-19 epidemic in a sample of home-quarantined Chinese university students. *Journal of Affective Disorders*, 274, pp. 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.05.009>

19. Thakur, V. & Jain, A. (2020). COVID 2019-suicides: A global psychological pandemic. *Brain, Behavior, and Immunity*, 88, pp. 952–953. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.04.062>
20. Turabian, J. (2020). Implications on mental health by the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: The role of the general practitioner. *Arch Psychiatr Ment Health*, 4, pp. 035-041. doi: <https://doi.org/10.29328/journal.apmh.1001016>



Caracterisation des performances de croissance et de resistances aux maladies et aux ravageurs de sept (7) varietes de patate douce (*Ipomoea Batatas* (l), Lam., 1793) dans la region de bouake, Cote d'Ivoire

Kouame N'guessan

Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (LAPA), UFR Agroforesterie, Côte d'Ivoire

Dibi Konan Evrard Brice

Essis Brice Sidoine

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Programme Plantes à Racines et Tubercules (PRT), Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV), Côte d'Ivoire

Toure Nin Céline

Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (LAPA), UFR Agroforesterie, Côte d'Ivoire

Ngbesso Mako François De Paul

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Programme des Cultures Maraichères (PCM), Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p51](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p51)

Submitted: 30 September 2020

Accepted: 23 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

N'guessan K., Evrard Brice D.K., Brice Sidoine E., Nin Céline T. & François De Paul N.M. (2021). *Caracterisation des performances de croissance et de resistances aux maladies et aux ravageurs de sept (7) varietes de patate douce (Ipomoea Batatas* (l), Lam., 1793) dans la region de bouake, Cote d'Ivoire. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 51.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p51>

Résumé

La production de la patate douce, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., reste confrontée à de nombreuses contraintes agronomiques. Pour mieux faire face à ces contraintes, une étude a été réalisée dans le but de déterminer les caractères agronomiques de sept (7) variétés de patate douce cultivée au centre de la Côte d'Ivoire (Bouaké) afin de sélectionner les variétés les plus adaptées.

Dans cette étude, le taux de survie, la biomasse aérienne, la résistance aux insectes et ravageurs ont été évalués. Les résultats obtenus ont montré que les variétés Covington, CIP et Irène ont enregistré les meilleurs taux de survie. Au niveau de la biomasse aérienne la variété Irène s'est distinguée des autres variétés. La variété Fadanga a été moins sensible pour l'ensemble des nuisibles influençant la patate douce.

Mots-clés : Patate douce, variétés, caractères agronomiques, sélection, performance

Characterization of Growth Performance and Resistance to Diseases and Pests of Seven (7) Varieties of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* (L), Lam., 1793) in the Bouake Region, Cote d'Ivoire

Kouame N'guessan

Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (LAPA), UFR Agroforesterie, Côte d'Ivoire

Dibi Konan Evrard Brice

Essis Brice Sidoine

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Programme Plantes à Racines et Tubercules (PRT), Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV), Côte d'Ivoire

Toure Nin Céline

Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (LAPA), UFR Agroforesterie, Côte d'Ivoire

Ngbesso Mako François De Paul

Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Programme des Cultures Maraichères (PCM), Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV), Côte d'Ivoire

Abstract

The production of the sweet potato, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., still faces many agronomic constraints. To better face these constraints, a study was carried out in order to determine the agronomic characteristics of seven (7) varieties of sweet potato cultivated in the center of Côte d'Ivoire (Bouaké) in order to select the most suitable varieties. In this study, survival rate, aboveground biomass, resistance to insects and pests were assessed. The results obtained show that the Covington, CIP, and Irene varieties recorded the best survival rates. In terms of aerial biomass, the Irene variety stood out

from other varieties. The Fadanga variety was less susceptible to all the pests influencing the sweet potato.

Keywords: Sweet potato, varieties, agronomic character, selection, performance

1. Introduction

La patate douce, *Ipomea batatas* est une plante dicotylée appartenant à la famille des convolvulaceae. Cette famille comporte plus ou moins 50 genres et plus de 1000 espèces. Parmi ces espèces, seule *Ipomea batatas* revêt une importance économique et elle est aussi consommée comme salade ou légume vert (Amani, 2017). Sa culture se fait dans les régions tropicales et subtropicales telles que l'Amérique Centrale (le Pérou ou les Philippines). *Ipomea batatas* comprend des milliers de variétés qui se distinguent par le port et la couleur des tiges, la forme, le type, la taille et la couleur des pétioles et des feuilles, ainsi que par la peau et la chair des racines tubéreuses, etc.

La patate douce constitue la septième (7^{ième}) culture alimentaire dans le monde après le blé, le riz, le maïs, la pomme de terre, l'orge et le manioc (Hironori *et al.*, 2007). Elle est la seconde plante à racines et à tubercules après le manioc dans les pays tropicaux (FAOSTAT, 2006) et la troisième (3^{ième}) en Afrique subsaharienne après le manioc et l'igname (Karyeija *et al.*, 1998). L'Asie enregistre la plus grande production avec plus de 75 %, puis l'Afrique avec 20 %, l'Amérique 4 % et l'Europe inférieure à 1 %. Les superficies emblavées sont de 4,02 millions d'hectares en Asie et de 3,74 millions d'hectares en Afrique. Les rendements moyens varient de 5,4 t/ha (Afrique) à 19,5 t/ha (Asie). En 2011, environ 8 millions d'hectares de terres cultivables dans le monde ont été utilisées pour produire la patate douce dont plus de 95 % de la production mondiale provenait des pays en voie de développement. La Côte d'Ivoire avait une production de 47 914 tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2018). Cette production est essentiellement composée de patate douce à chair blanche et jaune. La patate douce est cultivée dans toutes les régions du pays. Elle est consommée sous diverses formes (légume, frite, bouillie, foutou, etc.).

Cependant, de nombreux facteurs limitent la production de cette culture. Ce sont entre autres : la perte progressive des variétés traditionnelles, la baisse de la fertilité des sols, le manque de variétés à haut potentiel de rendement, la pression parasitaire, le manque de disponibilité de bonnes semences en temps utile et le faible niveau d'adoption des technologies mises au point par la recherche. Pour résoudre ces problèmes, il est initié par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) en collaboration avec Helen Keller International (HKI) un programme de sélection des variétés performantes. La sélection de ces variétés est faite selon leur vigueur, leur résistance aux maladies et ravageurs, leur teneur en vitamine A, leur

rendement, leur état sanitaire, leur aptitude à la cuisson et leur goût. C'est ce qui justifie notre travail dont l'objectif est de déterminer les performances de croissance et de résistances aux maladies et aux ravageurs des différentes variétés de patate douce.

2. Matériel Et Méthodes

2.1. Zone D'étude

Bouaké, appelée Gbékékro jusqu'en 1900, est une ville du centre de la Côte d'Ivoire, située à 350 km environ d'Abidjan (Yesso *et al.*, 1991). La ville est sur un relief plat, avec une importante constellation de 143 villages dénombrés dans un rayon de 20 kilomètres. La végétation de la région est recouverte d'une savane boisée et traversée par la rivière Kan. Cette ville est située à la latitude 7°69 N et longitude 5°03 O, s'étend sur une superficie d'environ 72 km² (Allouko, 2011). Elle est influencée par un climat tropical humide. En plus d'une amplitude thermique élevée (22 °C les matins à 35 °C les après-midi), d'un ensoleillement constant et d'une hygrométrie faible, on distingue aussi quatre saisons pour la ville de Bouaké (Yesso *et al.*, 1991). On a une saison chaude, sèche et non pluvieuse (novembre à février), une saison chaude, humide et pluvieuse (mars à juin), une saison fraîche, humide et peu pluvieuse (juillet à août) et enfin une saison fraîche, humide et pluvieuse (septembre et octobre).

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de sept (7) variétés de patate douce que sont : Fadanga ; Pourpre (T9-Purple) ; Covington ; Tiébélé 2 ; CIP (CIP19906261) ; CIP4 (BF52XCIP4) et la variété Irène.

2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (figure 1) est un bloc de Fisher comportant un seul facteur à trois répétitions. La parcelle élémentaire d'une longueur de 5 m et d'une largeur de 3 m est composée de 24 buttes. La distance entre deux parcelles élémentaires est de 1,5 m. La distance entre deux répétitions consécutives est de 2 m. Ainsi une répétition comporte sept parcelles élémentaires représentant les sept variétés. La répétition a été réalisée sur une longueur de 44 m et une largeur de 3 m. L'expérimentation est faite sur une superficie de 572 m². Pour cette expérimentation, aucun fertilisant n'a été utilisé.

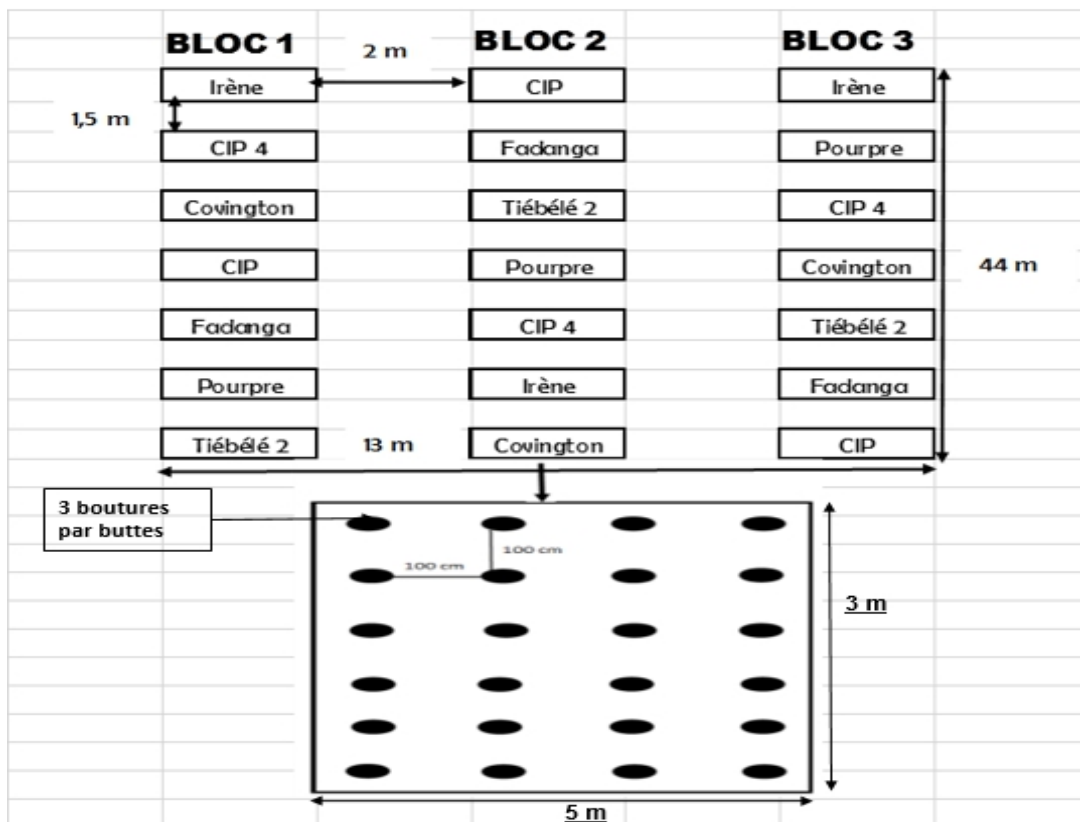


Figure 1. Dispositif expérimental

2.4. Mise en place des cultures

Le site a préalablement été désherbé. Ensuite, le piquetage et le labour ont été effectués avant la confection des buttes de 1 m². Des boutures de quatre (4) nœuds ont été coupées puis plantées sur des buttes. Ces boutures d'une longueur d'environ 30 cm ont été effeuillées avant d'être repiquées à raison de trois boutures par butte. Les boutures ont été repiquées de façon oblique avec 2 nœuds dans le sol et 2 nœuds hors du sol. Le repiquage et la coupe des boutures ont été effectués le même jour. Ce repiquage a été fait variété par variété et bloc après bloc.

2.5. Entretien du champ

L'entretien de la parcelle a été fait par sarclage manuel, régulièrement réalisé afin de débarrasser le champ des mauvaises herbes.

2.6. Collecte des données

Plusieurs paramètres ont été observés pendant le déroulement de l'essai. Il s'agit du taux de levé des plants, du poids de la biomasse aérienne

fraiche, de l'incidence et de la sévérité des virus et enfin de l'incidence des attaques des ravageurs et des charançons sur les variétés de patate douce.

Taux de reprise (Tr)

Après le repiquage des plants, l'émission de nouvelles feuilles et la survie des boutures traduisent la reprise de leur croissance. Ainsi un mois après le repiquage des boutures, le nombre de plant levé a été compté afin de déterminer le taux de reprise selon la formule suivante :

$$Tr = \frac{\text{Nombre de Plant Levé (NPL)}}{\text{Nombre de Plant repiqués (NPPE)}} * 100 \quad (1)$$

Le poids de la biomasse aérienne (PBA)

Le poids de la biomasse aérienne a été mesuré à la récolte en sectionnant les tiges à l'aide d'une paire de ciseaux suivi de leurs pesées ;

Incidence des viroses (IxPV)

Deux observations ont été faites pour voir l'état sanitaire des plants. La première a eu lieu 6 semaines après la plantation et la deuxième, 3 mois après la plantation. Ainsi le taux de plants virosés (TxPV) se traduisant par le nombre de plants virosés (NPV) sur le nombre total de plant (NTP) est déterminé par la formule suivante :

$$IxPV = (NPV / NTP) \times 100 \quad (2)$$

Indice de sévérité des viroses

La sévérité de la maladie a également été déterminé à l'aide d'une feuille de notation allant de 1 à 9 établit pour la patate douce :

1. pas de symptômes viraux ;
2. symptômes viraux peu clairs ;
3. symptômes viraux clairs 5 pc des plantes par parcelle ;
4. symptômes viraux clairs chez 6 – 15 pc des plantes par parcelle ;
5. symptômes viraux clairs chez 16 - 33 pc des plantes par parcelle ;
6. symptômes viraux clairs chez 34- 66 pc des plantes par parcelle (plus de 1/3 ; moins de 2/3) ;
7. symptômes viraux clairs chez 67 – 99 pc des plantes par parcelle (2/3 à presque toutes) ;
8. symptômes viraux clairs chez toutes les plantes par parcelle (non rabougris) ;
9. symptômes viraux sévères chez toutes les plantes par parcelle (retard de croissance).

Incidence des ravageurs (InRav)

Il a été calculé en faisant le quotient du nombre de racines tubéreuses attaqués par les ravageurs (tubercules comprenant des galeries faites par les rongeurs) sur le nombre total de racines tubéreuses ; le tout multiplié par cent (100) ;

$$\text{InRav} = \frac{\text{Nombre de racines attaqués par les ravageurs}}{\text{Nombre total de racines}} * 100 \quad (3)$$

Incidence des attaques de charançons (InCharn)

Il a été déterminé en faisant le quotient du nombre de racines tubéreuses attaqués (tubercules comprenant des galeries faites par les larves de charançons) sur le nombre total de racines tubéreuses ; le tout multiplié par cent (100) ;

$$\text{InCharn} = \frac{\text{Nombre de racines attaqués par les charançons}}{\text{Nombre total de racines}} * 100 \quad (4)$$

2.7. Traitement de données

Les données collectées ont fait l'objet d'analyse de variance (ANOVA) à un facteur avec sept (7) variables à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Cette analyse a été utilisée pour évaluer l'effet de la variété sur les paramètres mesurés de la patate douce. En cas de différences significatives au seuil de 5 %, le test de Fisher a été utilisé pour classer les moyennes en groupes homogènes.

3. Résultats

3.1. Taux de survie

Les taux de survie des plants de chaque variété aux différents stades de croissance de la patate douce (repiquage jusqu'à la récolte) sont présentés par le Tableau 1. L'analyse de ce paramètre aux différents stades de développement de la patate douce a révélé une différence significative entre les variétés ($P < 0,001$).

Au stade plantule, le taux de survie le plus faible ($20,83 \pm 7,73$ %) est enregistré avec la variété Fadanga pendant que la plus grande valeur de ce paramètre ($90,74 \pm 3,49$ %) est obtenue avec la variété Irène. A ce stade, le taux de survie des variétés CIP 4, Pourpre et Tiébébé 2 présentent une différence significative à celui de la variété Irène. Le taux de survie entre les variétés Irène, Covington et CIP n'est pas significativement différent.

Au stade floraison, les taux de survie varient de $14,81 \pm 4,46$ % (variété Fadanga) à $79,17 \pm 6,36$ % (variété CIP). Le taux de survie n'est pas

significativement différent entre les variétés Irène, Covington et CIP. Cependant, les taux de survie des variétés CIP 4, Fadanga, Tiébébé 2 et Pourpre sont significativement différents de celui de la variété Irène.

A la production, les taux de survie varient de $7,4 \pm 1,6$ % (variété Fadanga) à $50,92 \pm 18,07$ % (variété Covington). A ce stade, d'une part, les taux de survie des variétés Irène et CIP ne présentent pas de différence significative de même que ceux des variétés CIP 4 et Pourpre d'autre part. Par ailleurs, les taux de survie des variétés CIP4, Fadanga, Tiébébé et Pourpre sont significativement différents de celui de la variété Irène. Cependant, les taux de survie des variétés Fadanga et Tiébébé ne sont pas significativement différents. Dans l'ensemble, du stade plantule à la production le taux de survie de la variété (Irène) a baissé d'au moins 20 % en passant d'un stade à un autre.

Tableau 1. Taux de survie des plants des différentes variétés selon les stades de croissance de la patate douce

Variétés	NPPE	Stade plantule (%)	Stade de floraison (%)	Production (%)
IRENE	72	$90,74 \pm 3,49^a$	$69,44 \pm 11,11^a$	$40,27 \pm 7,35^{a,b}$
CIP 4	72	$43,12 \pm 2,87^b$	$32,4 \pm 3,49^b$	$19,44 \pm 6,05^c$
COVINGTON	72	$78,24 \pm 8,92^a$	$65,27 \pm 8,33^a$	$50,92 \pm 18,07^a$
CIP	72	$89,35 \pm 5,61^a$	$79,17 \pm 6,36^a$	$41,2 \pm 3,49^{a,b}$
FADANGA	72	$20,83 \pm 7,73^c$	$14,81 \pm 4,46^c$	$7,4 \pm 1,6^d$
POURPRE	72	$50,15 \pm 9,88^b$	$33,8 \pm 13,70^b$	$20,37 \pm 2,12^c$
TIEBELE 2	72	$52,31 \pm 8,37^b$	$37,03 \pm 2,12^b$	$13,42 \pm 3,21^d$
P (ANOVA)	-	<i>0,000001</i>	<i>0,000001</i>	<i>0,000087</i>

Les moyennes portant les mêmes lettres ne présentent pas de différences significatives selon les tests d'ANOVA et LSD de Fisher au seuil de 5 %. **NPPE** : Nombre de Plants Repiqués.

3.2. Biomasse aérienne des variétés de la patate douce

La figure 2 présente la biomasse aérienne de chaque variété. La biomasse aérienne varie d'une variété à une autre. La variété Irène a produit la plus forte biomasse aérienne par rapport aux six (6) autres variétés. Sa biomasse aérienne est d'environ (10 kg/ha). La plus faible biomasse aérienne a été obtenue par la variété Tiébébé 2 (2,33 kg/ha). De même, les variétés Fadanga (3,5 kg/ha) et CIP 4 (3,33 kg/ha) ont également des biomasses aériennes faibles comparativement à la variété Irène. Par ailleurs, les variétés CIP, Covington et Pourpre ont donné des biomasses aériennes moyennes respectivement de 5,56 kg/ha, 6,66 kg/ha et 6,18 kg/ha.

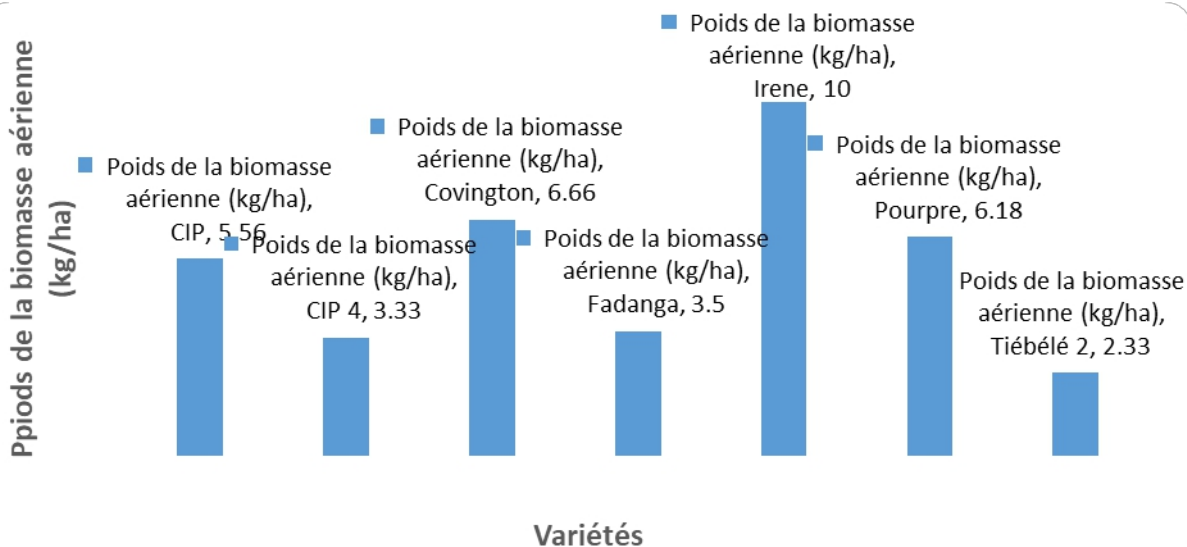


Figure 2. Biomasse aérienne en fonction des variétés de patate douce

3.3. Incidence des ravageurs, des charançons et des virus sur les variétés de patate douce

Le Tableau 2 présente les différentes attaques de maladie et ravageurs subies par chaque variété. Une différence hautement significative a été enregistrée entre les variétés concernant les attaques induites par les charançons (insectes) ($P < 0,001$). Les valeurs moyennes des attaques par ces derniers montrent que la variété Fadanga est la moins attaquée ($5 \pm 3,60$) alors que la variété Covington est la plus attaquée ($45,33 \pm 11,37$). Les effets des attaques des charançons sur les variétés Irène ($11,67 \pm 15,31$), CIP 4 ($11 \pm 9,64$), Fadanga ($5 \pm 3,60$) et Tiébélé 2 ($6 \pm 4,58$) ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Hormis les variétés Covington et CIP, les autres variétés ont pratiquement eu la même sensibilité que Irène face aux charançons.

Quant à l'influence des autres ravageurs, des différences significatives ont été observées au niveau des différentes variétés. Les variétés CIP 4, Fadanga, Pourpre et Tiébélé 2 n'ont subi aucune attaque de ces derniers. La variété Covington (01 tubercule attaqué) a été la plus attaquée. Les variétés CIP et Irène ont connu les mêmes dégâts face aux ravageurs. Les moyennes d'attaque sont à environ $0,67 \pm 0,58$ chez ces deux dernières.

Une différence significative a été observée entre les variétés au niveau de la sévérité des viroses ($P < 0,001$). Elle a varié de 2 ± 0 (variétés CIP 4 et Fadanga) à $7,66 \pm 0,58$ (variété Tiébélé 2). Les variétés CIP 4, Covington et Fadanga ne présentent pas de différence significative. Ces variétés ont été moins virosées par rapport aux autres variétés. L'effet des virus a été plus sévère chez les variétés Tiébélé 2, CIP et Pourpre que chez Irène,

contrairement aux variétés Covington ; Fadanga et CIP4 chez lesquelles celui-ci a été moins sévère.

Tableau 2. Influence des charançons, ravageurs et des virus sur les variétés

Variétés	Charançons (%)	Ravageurs (%)	Virus
			Sévérité
IRENE	11,67 ± 15,31 ^c	0,67 ± 0,58 ^{a,b}	4 ± 0 ^c
CIP 4	11 ± 9,64 ^c	0 ± 0 ^b	2 ± 0 ^d
COVINGTON	45,33 ± 11,37 ^a	1 ± 0 ^a	2,33 ± 0,58 ^d
CIP	28,67 ± 7,50 ^b	0,67 ± 0,58 ^{a,b}	6 ± 0 ^b
FADANGA	5 ± 3,60 ^c	0 ± 0 ^b	2 ± 0 ^d
POURPRE	13,33 ± 4,04 ^{b,c}	0 ± 0 ^b	5,67 ± 0,58 ^b
TIEBELE 2	6 ± 4,58 ^c	0 ± 0 ^b	7,66 ± 0,58 ^a
P (ANOVA)	<i>0,000712</i>	<i>0,008984</i>	<i>0,000001</i>

Les moyennes portant les mêmes lettres ne présentent pas de différences significatives selon les tests d'ANOVA et LSD de Fisher au seuil de 5 %.

Discussion

Les différents paramètres évalués au cours de cet essai ont révélé pour certains une différence significative et d'autres aucune différence.

Le taux de survie a varié d'une variété à une autre et d'un stade à un autre. Du stade plantule à la production, les variétés Irène, CIP et Covington ont respectivement enregistré les taux de survie les plus élevés. Ces variétés (Irène, CIP et Covington) ont obtenu des taux de survie similaires aux stades plantule et floraison. Par contre, au stade production la variété Covington s'est distinguée des deux autres avec le plus grand taux de survie. Les variétés Tiébélé 2 ; Pourpre ; CIP 4 et Fadanga ont présenté des taux de survie largement inférieurs à celui de Irène. Ce résultat pourrait s'expliquer d'une part, par la vigueur des boutures et d'autre part, par l'adaptation aux aléas climatiques des différentes variétés mais aussi, par l'état de l'environnement dans lequel l'essai a été conduit. Des résultats similaires ont été obtenus par Ndekani (2014), au cours des travaux menés dans le sol de Mbanza-Ngungu (RDC Congo), où il a montré que le taux de levé était différent suivant les variétés en comparant les rendements de quatre (4) variétés d'arachide. Yves *et al.* (1997) soutiennent que les conditions pluviométriques qui ont régné pendant la reprise des boutures de patate douce ont influencé négativement la survie des variétés introduites.

La comparaison du poids des tiges aériennes, a révélé une différence significative entre les différentes variétés. Le poids de la biomasse aérienne d'Irène est largement supérieur à celui des six (6) variétés. Ce résultat pourrait être dû aux conditions de culture (climat et sol) qui étaient identiques pour toutes les variétés mises en essai. Ces conditions n'ont sûrement pas été favorables pour les six (6) variétés, surtout pour les variétés CIP 4 ; Fadanga et Tiébélé 2 qui ont obtenu les plus faibles poids en biomasse aérienne.

Contrairement à Irène, qui s'adapte facilement à l'écologie auquel il est soumis, ces conditions de culture lui ont été très probablement favorables. En effet, la variation des conditions environnementales est l'un des paramètres qui agit sur les poids des tiges de patate douces. Djinet *et al.* (2015) confirment bien ce résultat en prouvant qu'il existe une différence significative entre la biomasse aérienne des dix variétés de patate douce qu'ils ont comparé dans deux conditions climatiques différentes.

L'incidence des ennemis de la patate douce a montré également des différences significatives entre la plupart des variétés. Globalement, toutes les variétés de patate douce ont été attaquées par les charançons. Cela serait imputable à la saison dans laquelle l'essai a été conduit notamment la saison sèche. Cette saison sèche, est favorable à l'accès des charançons aux racines tubéreuses de patate douce (Janssens, 2001). En effet, c'est pendant cette saison où il y'a manque d'eau dans le sol que les larves des charançons se multiplient et deviennent très actives dans le sol. Par ailleurs, les variétés Fadanga ; Pourpre ; Tiébélé 2 et CIP 4 résistent très bien aux ravageurs vu qu'elles ont un pourcentage d'attaque inférieur à celui de CIP et Irène qui a une bonne résistance face à ces derniers. Seul Covington a eu un pourcentage d'attaque supérieur à celui d'Irène mais, cette valeur est relativement faible et on pourrait dire que celle-ci résiste également aux ravageurs. Aussi, la sévérité de l'attaque des virus est moins forte chez les variétés CIP 4 ; Covington et Fadanga que Irène. Ces dernières sont donc très résistantes face aux viroses comme c'est le cas chez Irène. Par contre les variétés CIP ; Pourpre et surtout Tiébélé 2 ne résistent pas aux viroses car elles ont été plus attaquées par les virus qu'Irène. Tout ceci pourrait être dû au milieu de culture et aussi aux caractères génétiques de chaque variété cultivée. Nos résultats sont en parfait accord avec ceux de Banganingwa (2011), dans l'étude menée sur le manioc à Bunia (RDC) et ses environs, qui affirme que la sensibilité à la mosaïque des variétés de manioc cultivées dépend à la fois des conditions du milieu et surtout de leur patrimoine génétique.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer les caractères agronomiques de sept variétés de patate douce dans la région de Bouaké. Aux différents stades de croissance, les meilleurs taux de survie ont été enregistrés chez les variétés Irène, CIP et Covington. La variété Irène a produit plus de biomasse que les six autres variétés. Aussi, l'étude a montré que la variété Fadanga a été la moins attaquée par les charançons. En revanche seules les variétés CIP, Irène et Covington ont été affectés par les ravageurs. L'effet des virus a été plus sévère chez les variétés Tiébélé 2, CIP et Pourpre. Vu la performance des variétés Irène, CIP et Covington dans la région de Bouaké, elles pourraient

très bien aussi s'adapter dans les autres zones agro écologiques du pays. Ainsi en termes de sélection, elles seraient bien indiquées.

Remerciements

Ce travail a été possible grâce au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), la fondation Helen Keller International (HKI) et la société Agri Ivoire Environnement (AIE).

References:

1. Allouko, J.R. (2011). Etude du prégrossissement d'*Oreochromis niloticus* en étang de rizipisciculture. Mémoire de fin d'étude de Diplôme d'Agronomie Approfondie, Institut National Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 50 pp.
2. Amani, N.V. (2017). Etude comparative de différentes techniques culturales (buttes, billons et labour à plat) sur le rendement de 5 génotypes de la patate douce dans les conditions pédoclimatiques de Kabare (cas du groupement de Bugorhe). Diplôme de Sciences Agronomiques Et Environnement, Université Evangélique En Afrique (Congo). Avril 2017. 36 pp.
3. Banganingwa, A.A. (2011). Etude sur l'incidence et sévérité de la mosaïque africaine du manioc à Bunia (RDC) et ses environs. Mémoire pour le grade d'ingénieur agronome, Université de Bunia RDC 48 pp.
4. Djinet, A.I., Nana, R., Tamini, Z. & Badiel, B. (2015). Etude comparée des paramètres agromorphologiques de dix (10) variétés de patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam cultivées au champ dans deux (2) conditions climatiques au Tchad et au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3): 1243-1251. DOI: 10.4314/ijbcs.v9i3.9
5. FAOSTAT (2006). <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. (<http://www.ars-grin.gov/>).
6. FAOSTAT (2018). <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>, consulté le 23 mai 2018.
7. Hironori, M., Ogasawara, F., Sato, K., Higo, H. and Minobe, Y. 2007. Isolation of a regulatory gene of anthocyanin biosynthesis in tuberous roots of purple-fleshed sweet potato. *Plant Physiology*, 143: 1252-1268. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.106.094425>
8. Janssens, M.J.J. (2001). Sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L) Lam: *In Crop Production in the tropical Romain* H Raemaekersed. pp 205-220.
9. Karyejja, R.F., Gibson, R.W.J. & Valkonen, P.T. (1998). The significance of sweet potato feathery mottle virus in subsistence sweet potato production in Africa. *Plant Disease*, 82 : 4-15.

10. Ndekani, M.C. (2014). Etude comparative sur les rendements des 4 variétés d'arachide dans le sol de Mbanza-Ngungu. Mémoire de fin de cycle, faculté des sciences agronomiques, Université Kongo, Kisantu, République Démocratique Congo, pp 38.
11. Yesso, P., Kone, D. & Meyer, C. (1991). Reprise post-partum et cyclicité des vaches trypanotolérantes en fonction de la variation saisonnière en région centre Côte d'Ivoire *In* : IAEA sur l'Amélioration de la Productivité du Bétail Indigène Africain en Utilisant les Méthodes Radio-immunologiques et Apparentées. Réunion de Coordination FAO. 3, Bouaké, IDESSA, pp 22.
12. Yves, J., Dennis, A., Shannon, F., Brockman, E. & Julène, M. (1997). Essai d'adaptation de variétés de patate douce (*Ipomea batatas*) aux conditions de culture du Nord-Ouest d'Haïti. Productive land use systems project Haïti. pp 52.

Relación entre el desequilibrio de músculos flexores y extensores de rodilla y las lesiones musculares en atletas de la Selección Mexicana de Taekwondo

José Luis Reyes Salazar, PSS. Ft.
Ivonne Stefanie Curiel Sigler, PSS. Ft.
Gustavo Argenis Hernández Segura, M.I.M
Universidad Autónoma de Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p64](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p64)

Submitted: 24 November 2020

Accepted: 12 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Reyes Salazar J.L., Curiel Sigler I.S. & Hernández Segura G.A. (2021). *Relación entre el desequilibrio de músculos flexores y extensores de rodilla y las lesiones musculares en atletas de la Selección Mexicana de Taekwondo*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 64. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p64>

Resumen

Introducción: El taekwondo es un arte marcial moderna y actualmente uno de los deportes de combate olímpico más populares, se caracteriza por técnicas de patadas y altos niveles de fuerza en la musculatura extensora y flexora de rodilla. El alto índice de lesiones musculares y la suspensión de la actividad deportiva que conlleva han ocasionado que aumente cada vez más el interés en la atención pero sobre todo en la prevención de la lesión. **Objetivo:** Identificar la relación entre el desequilibrio y las lesiones musculares, específicamente de los músculos isquiotibiales, en una población de atletas de taekwondo de alto rendimiento. **Metodología:** Se trata de un estudio transversal, descriptivo y correlacional. El estudio se realizó con 15 atletas de la Selección Mexicana de Taekwondo siendo el principal criterio de exclusión el que no estuvieran en proceso para juegos olímpicos 2021, las variables estudiadas fueron el desequilibrio muscular medido a través de dinamometría isocinética y el número de lesiones musculares en isquiotibiales en el último año. El estudio fue aprobado por el comité de bioética de la Universidad Autónoma de Querétaro y está apegado al código de Nuremberg, la declaración de Helsinki y la Ley General de salud. **Resultados:** Para las variables cuantitativas se utilizó la prueba exacta de Fisher para datos

categoricos y examinar la asociación. El 47% de la muestra reportó un desequilibrio muscular significativo y al menos una lesión muscular en isquiotibiales en el último año del mismo lado que el desequilibrio ($p=.007$) y destacó la extremidad izquierda con el mayor grado de desequilibrio con un 57%. **Conclusión:** La alta incidencia de lesiones musculares en el ámbito deportivo y específicamente en esta población, debe ser atendida de manera integral por un equipo multidisciplinario mediante la aplicación de test y evaluaciones regulares, que permitan identificar focos de alarma que puedan predisponer al atleta a una lesión deportiva en el futuro.

Palabras clave: Fuerza muscular, cuádriceps, músculos isquiotibiales

Relationship Between Knee Flexor and Extensor Muscle Imbalance and Muscle Injuries in Athletes of the Mexican Taekwondo Team

José Luis Reyes Salazar, PSS. Ft.
Ivonne Stefanie Curiel Sigler, PSS. Ft.
Gustavo Argenis Hernández Segura, M.I.M
Universidad Autónoma de Querétaro, México

Abstract

Introduction: Taekwondo is a modern martial art and currently one of the most popular Olympic combat sports, it is characterized by kicking techniques and high levels of strength in the knee flexor and extensor muscles. The high rate of muscle injuries and the suspension of sports activity that it entails have caused an increasing interest in care but especially in injury prevention. **Objective:** To identify the relationship between muscle imbalance and injuries, specifically of the hamstrings, in a population of high-performance taekwondo athletes. **Methodology:** This is a cross-sectional, descriptive and correlational study. The study was carried out with 15 athletes from the Mexican Taekwondo National Team, the main exclusion criterion being that they were not in process for the 2021 Olympic games, the variables studied were muscle imbalance measured through isokinetic dynamometry and the number of muscle injuries in hamstrings in the past year. The study was approved by the bioethics committee of the Autonomous University of Querétaro and is attached to the Nuremberg Code, the Declaration of Helsinki, and the General Health Law. **Results:** For quantitative variables, Fisher's exact test was used for categorical data and the association was examined. 47% of the sample reported a significant muscle imbalance and at least one hamstring

muscle injury in the last year on the same side as the imbalance ($p = .007$) and highlighted the left limb with the highest degree of imbalance with 57%.

Conclusion: The high incidence of muscle injuries in the sports field and specifically in this population must be comprehensively addressed by a multidisciplinary team through the application of regular tests and evaluations, which block the identification of sources of alarm that may predispose the athlete to a future sports injury.

Keywords: Muscle strength, quadriceps muscle, hamstring muscle

Introduction

El taekwondo se ha convertido en un deporte de combate olímpico y en uno de los deportes de contacto más practicados en la actualidad, se estima que aproximadamente 80 millones de sujetos lo practican en todo el mundo (Fortina, Mangano, Carta y Carulli, 2017). Se caracteriza por combates breves en los cuales predominan principalmente técnicas que requieren a las extremidades inferiores para realizar patadas potentes, en otras palabras, el taekwondo destaca por altos niveles de fuerza en la musculatura de los miembros inferiores para asegurar la ejecución eficaz de las diversas técnicas durante el combate.

Está altamente comprobado que la práctica deportiva induce efectos benéficos en la salud a corto y a largo plazo, sin embargo, esta representa al mismo tiempo un riesgo potencial de lesiones musculoesqueléticas para los atletas (Fortina et al., 2017). En un estudio epidemiológico de taekwondo que reporta dos periodos olímpicos (1997-2000 y 2001-2004) se señalan a las lesiones musculares en el muslo como el cuarto puesto de incidencia (Altarriba-Bartes et al., 2014); del mismo modo, de Hoyo (2013) indica que el bíceps femoral en su porción larga y al tendón proximal del semimembranoso son el lugar donde habitualmente se localizan las lesiones musculares.

El origen de estas lesiones puede suceder por diversos mecanismos, por un traumatismo directo en la zona afectada o como sucede más comúnmente, por una elongación. Este último, puede tener lugar en la ejecución del gesto deportivo, durante una contracción muscular excéntrica y cuando la tensión muscular es máxima (Balius y Pedret, 2013). El alto índice de lesiones musculares y la suspensión de la actividad deportiva que conllevan han ocasionado que aumente cada vez más el interés en la atención pero sobre todo en su prevención (Pruna, 2015).

Desde la antigüedad, en el ámbito de la medicina deportiva, ha sido fundamental el estudio del rendimiento muscular, para lo cual, numerosos autores han optado por la evaluación isocinética, por brindar información más precisa, fiable y manejable. La dinamometría isocinética como sistema informático y robótico de evaluación se utiliza para procesar los datos

cuantitativos obtenidos de la capacidad muscular (Loeza, Fritzel y Barrios, 2014) al ejecutar un movimiento contra resistencia en un rango determinado de movimiento y una resistencia constante y programable (Martínez et al., 2014). Dicha evaluación suele utilizarse de forma comparativa entre un segmento corporal y su homónimo opuesto o entre sí mismo (Ayala, Sainz, Croix y Santoja, 2012). Los valores cuantitativos registrados tras la evaluación suelen obtenerse en términos de magnitudes físicas de fuerza, potencia y trabajo, expresados en newton-metro (Nm), watt (W) y joule (J) respectivamente (Loeza et al., 2014; Martínez et al., 2014).

Actualmente esta herramienta es utilizada también con frecuencia para evaluar el equilibrio muscular al comparar la fuerza generada entre grupos musculares. Para su medición se han propuesto diversos protocolos de evaluación y parámetros tanto de velocidad como de tipo de contracción utilizada, entre los que destacan, los índices convencional y funcional, cada uno de ellos con características específicas que los diferencian entre sí. En el índice convencional se utiliza la contracción concéntrica para ambos grupos musculares, mientras que en el índice funcional se utiliza la contracción concéntrica para el cuádriceps y la contracción excéntrica para los isquiotibiales (Ayala et al., 2012). Así mismo, las velocidades utilizadas en ambos casos suelen utilizarse entre 40 a 60°/s para evaluar la fuerza y de 60 a 120°/s para medir el trabajo (Cruz-Medina et al., 2008).

Maly, Mala, Bujnovsky, Hank y Zahalca (2019) refieren que la diferencias de fuerza entre grupos de músculos aparecen en atletas jóvenes y pueden generar a largo plazo desequilibrios en la adaptación de los tejidos. Dicho equilibrio constituye un parámetro importante en el desempeño deportivo de un atleta (Martínez et al., 2014). Así mismo, un desequilibrio importante se ha asociado con un incremento en la probabilidad de sufrir desgarros de la musculatura isquiotibial (Santos, Pedrinelli, Rubio, Guilherme y D' Andrea, 2016; van Dyk et al., 2016).

A pesar de la vasta evidencia científica publicada acerca del desequilibrio muscular como factor de riesgo, existen muy pocos estudios dedicados al taekwondo y la prevención de lesiones en este deporte. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar la relación del desequilibrio de fuerzas entre la musculatura flexora y extensora de la rodilla en el desarrollo de lesiones musculares de isquiotibiales específicos para la población de deportistas de taekwondo de alto rendimiento en México. Todo esto sería útil en la prevención de este tipo de lesiones, estableciendo factores predisponentes que pueden ser atendidos de forma temprana, disminuyendo la incidencia de lesiones musculares y mejorando el desempeño deportivo.

Metodología

Se realizó un estudio de tipo transversal, descriptivo y correlacional, con una muestra de 15 de atletas de la Selección Mexicana de Taekwondo.

El protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el Subcomité de investigación de la Licenciatura en Fisioterapia de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro, posteriormente, el Comité de Bioética de la misma facultad e institución. El desequilibrio en las extremidades inferiores fue evaluado mediante dinamometría isocinética, así mismo, las lesiones musculares previas serán obtenidas mediante el expediente médico de cada atleta.

a) Parámetros

Para calcular el porcentaje de desequilibrio muscular se utilizó el índice convencional, el cual resulta de la división del pico máximo de torque de los flexores entre el pico máximo de torque de los extensores de rodilla. A pesar de haber poco consenso del valor normal de la proporción isquiotibiales/cuádriceps, se considera 0.60 como el valor con mayor aceptación (Tlatoa, 2014; Martínez et al., 2014).

b) Participantes

Se invitó a participar en el estudio a todos aquellos deportistas activos de la Selección Mexicana de Taekwondo. Como criterios de inclusión esenciales se consideró que no estuvieran en proceso de preparación para juegos olímpicos 2020 y que estuvieran sanos de cualquier condición que pudiera alterar los resultados de la prueba. Todos los participantes fueron mayores de 18 años con distribución similar entre hombres y mujeres con un 53% y 46% respectivamente.

Al momento de la evaluación, los atletas se encontraban en una etapa precompetitiva dentro de su macrociclo deportivo, con entrenamientos matutinos y vespertinos de lunes a sábado con un promedio de 25 horas de entrenamiento a la semana.

c) Antecedentes de lesiones

Previo a las evaluaciones isocinéticas, fue recabada la información antropométrica (peso, talla, IMC), antecedentes de lesiones musculares en isquiotibiales, características del entrenamiento y la antigüedad practicando el deporte de cada atleta (Tabla 1).

d) Evaluación isocinética

Para este estudio se utilizó el equipo isocinético CSMI Humac Norm. La calibración y las evaluaciones isocinéticas fueron realizadas en todos los casos por un médico, siendo el mismo para todos los casos. Se realizaron 2

series de 5 repeticiones con 1 minuto de descanso entre series para cada lado, comenzando siempre con el lado dominante de cada atleta. Se utilizó un protocolo concéntrico/concéntrico a $60^{\circ}/s$ y $120^{\circ}/s$. Previo a cada prueba todos los participantes realizaron un calentamiento en bicicleta ergométrica fija durante 10 minutos (Nerín, Montaña, Carrasco y Martínez, 2005; Santos Silva et al., 2016).

e) Posicionamiento

Para cada evaluación, los participantes fueron colocados en posición sedente en la mesa de pruebas del equipo CSMI Humac Norm. Para garantizar su posicionamiento y alineación de segmentos, se utilizaron cinchos estabilizadores en la zona de pecho y muslo y se realizó una sujeción del tobillo y pie al brazo de palanca, además de un cojín lumbar para mantener el apoyo del tronco en el respaldo del equipo, logrando un rango de movimiento libre de 0° de extensión hasta 90° de flexión de rodilla y un ángulo de 85° del muslo en relación con el tronco (Figura 1).



Figura 1. Posicionamiento y alineación de segmentos en la mesa de pruebas.

f) Procedimiento de evaluación

Para las evaluaciones, el grupo de atletas se dividió en dos partes, los cuales fueron evaluados en dos días distintos aunque a misma hora del día. Previo a la evaluación se les explicó el procedimiento de la prueba y la tarea que debían ejecutar,

Posterior al calentamiento, cada atleta fue colocado en la mesa de pruebas del dinamómetro y fue posicionado debidamente como se mencionó

anteriormente. Una vez posicionados, se les dio la oportunidad a los atletas de probar el movimiento que tenían que ejecutar durante la prueba de manera activa y sin resistencia para familiarizarlos con el equipo y la prueba. Tras 5 minutos de descanso, se comenzó de la misma manera con la extremidad no dominante.

Resultados

Se evaluó la fuerza de la musculatura extensora y flexora de rodilla de 15 atletas (8 hombres y 7 mujeres) mediante dinamometría isocinética; Al momento de la evaluación todos los atletas eran mayores de 18 años (21 ± 2), además, reportaron un promedio de 14 años de antigüedad practicando el deporte. Cabe señalar que todos los participantes presentaron lateralidad homogénea diestra y ninguno de ellos se había sometido previamente a una evaluación isocinética. Las características antropométricas se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Datos antropométricos y datos de los participantes		
Sexo	8 hombres	7 mujeres
Edad (años)	$21,7 \pm 2,2^*$	
Peso (kg)	$63,4 \pm 11,1$	
Talla (cm)	$175,9 \pm 11,8$	
IMC (kg/m²)	20 ± 2	
Antigüedad en el deporte (años)	$14,1 \pm 3,7$	
Horas de entrenamiento/semana (h)	$25 \pm 0,0$	
* \pm Desviación estándar		

Al comparar los resultados obtenidos tras las evaluaciones isocinéticas, se observó en todos los casos valores superiores en los músculos extensores de rodilla en comparación con los músculos flexores en referencia al pico máximo de torque (Nm), lo cual fue más notorio en la extremidad izquierda a $60^\circ/s$ (Tabla 2 y 3). Así mismo, en promedio, de acuerdo a todos los casos, la extremidad inferior izquierda presentó el mayor desequilibrio muscular entre agonistas y antagonistas con un 57% a $60^\circ/s$, a diferencia de la extremidad derecha la cual solo presentó un 60% a la misma velocidad. Como se esperaba, la diferencia entre músculos flexores y extensores de rodilla se vería reducida a mayores velocidades, de este modo, a $120^\circ/s$ presentaron un desequilibrio de tan solo 65% y 68% respectivamente (Tabla 4).

Tabla 2. Características de la prueba y pico máximo de torque (Nm) a 60°/s				
	Músculos flexores		Músculos extensores	
Velocidad	60°/s		60°/s	
Rango de movimiento	0° a 90°		0° a 90°	
Número de repeticiones	5		5	
Lado	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
Pico máximo de torque* (Flexores/extensores)	102,5 ± 24*	88,4 ± 29	173,4 ± 45	158,6 ± 38
<i>*Pico máximo de torque (Nm)</i>				
<i>*± Desviación estándar</i>				

Tabla 3. Características de la prueba y pico máximo de torque (Nm) a 120°/s				
	Músculos flexores		Músculos extensores	
Velocidad	120°/s		120°/s	
Rango de movimiento	0° a 90°		0° a 90°	
Número de repeticiones	5		5	
Lado	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo
Pico máximo de torque* (Flexores/extensores)	92,9 ± 25*	87,9 ± 40	139,4 ± 45	123,5 ± 37
<i>*Pico máximo de torque (Nm)</i>				
<i>*± Desviación estándar</i>				

Tabla 4. Promedio de desequilibrio muscular a 60°/s y 120°/s para ambos lados.		
	60°/s	120°/s
Lado derecho	60 ± 7*	68 ± 9
Lado izquierdo	57 ± 9	65 ± 8
<i>*± Desviación estándar</i>		

El 46 % de los atletas presentó alguna lesión muscular en los isquiotibiales en el último año, del mismo modo, el 46 % de estos presentó un desequilibrio muscular significativo en al menos una extremidad. Cabe mencionar que en todos los casos de lesión muscular coincidió con la extremidad cuyo desequilibrio muscular era significativo. Además, en dos casos de desequilibrio muscular no se había presentado aún ninguna lesión en isquiotibiales así como también, un participante presentó desequilibrio muscular en ambas extremidades, sin embargo, solo había sufrido de lesión muscular en una sola extremidad.

Para establecer la relación entre las lesiones musculares de isquiotibiales y el desequilibrio muscular entre flexores y extensores de rodilla, se utilizó la prueba exacta de Fisher como prueba para analizar datos categóricos y examinar la asociación, comúnmente utilizada con tamaños de muestra pequeños. De esta manera se encontró significancia estadística en aquellos casos con un desequilibrio muscular significativo que habían padecido una lesión muscular en isquiotibiales ($p = .007$), los cuales

corresponden al 47% de la muestra. El 40% representaba a aquellas personas sin desequilibrio muscular y sin lesión de isquiotibiales, y el 13% restante a aquellas personas que tienen un desequilibrio muscular significativo pero que aún no habían sufrido una lesión muscular (Tabla 5).

Tabla 5. Casos de desequilibrio y lesión muscular		
	Número de casos	Asociación
Total de participantes	15	
Casos de desequilibrio muscular	9	
Casos de lesión muscular	7	
Casos de desequilibrio muscular con lesiones musculares	7	P = .007

Discusión

Dentro de los datos obtenidos se encontraron coincidencias con autores como Croisier et al. (2008), Cameron, Adams y Maher (2003) y Orchard (2001) quienes han encontrado la misma relación entre estas dos variables en diversos deportes, así mismo, el desequilibrio entre estos grupos musculares también se ha asociado con otro tipo de lesiones, entre las que destacan las lesiones del ligamento cruzado anterior (Cheung, Smith y Wong, 2012; Santos et al., 2016). Las mediciones a través de dinamometría isocinética han sido utilizadas como valor predictivo, tratamiento y seguimiento y valoración (Cruz et al., 2008), por ser un método preciso que proporciona información fiable y manejable. Tras la evaluación, se encontraron diferencias significativas entre la magnitud física de pico máximo de torque (Nm) en el aparato extensor en comparación con el aparato flexor de rodilla, probablemente debido al mayor requerimiento físico para ejecutar el gesto motor predominante en el taekwondo como saltos y lanzamientos de patadas (Martínez et al., 2014), así mismo, contrario a lo que mencionan Ferreira, Gomes, Santos, de Arruda y de Franca (2010), la lateralidad homogénea derecha en el grupo muestra, pudo condicionar el mayor desequilibrio muscular encontrado en la extremidad inferior izquierda, como también, los menores valores de pico máximo de torque generados en esa misma extremidad.

Estudios previos han propuesto la idea de una falsa debilidad de isquiotibiales a la hora de medir la relación isquiotibiales: cuádriceps (H: Q por sus siglas en inglés) asociada a un desarrollo mayor de la fuerza del cuádriceps que a una debilidad propiamente dicha de los isquiotibiales, lo cual puede tener lugar en aquellas disciplinas donde predominen actividades de salto y golpeo con la extremidad inferior (Bogdanis y Kalapotarakos, 2016; Cameron et al., 2003), por otro lado, se ha estudiado también la mayor activación neuromuscular de cuádriceps en comparación con los isquiotibiales

en las acciones de recepción del salto y/o cambios de dirección y aceleración (Vanmeerhaeghe y Romero, 2013).

Así mismo, se pudo identificar mayor variación en la relación H: Q a velocidades más bajas, es decir, 60°/s, misma que, como se esperaba, se vería reducida a mayor velocidad (Rosone, Fogarty y Mahaffey, 2001). En dos casos particulares de desequilibrio muscular no se había presentado ninguna lesión muscular de isquiotibiales en el último año, si bien, autores han señalado al desequilibrio muscular como factor de riesgo y predictor de lesiones, otros señalan a este tipo de lesiones como multifactoriales y a pesar de que existan factores predisponentes es necesaria la presencia de un factor detonante (Balius et al., 2013).

Si bien, se pudo identificar un desequilibrio muscular en el 46% de los atletas evaluados, para calcular dicho desequilibrio entre el cuádriceps e isquiotibiales se utilizó el índice convencional. Autores como Ayala et al. (2011) señalan esta modalidad como método idóneo para evaluar el desequilibrio, sin embargo, otros autores como Aagaard et al. (1998) sugieren realizar las evaluaciones con contracciones excéntrico/concéntrico (índice funcional) para isquiotibiales y cuádriceps respectivamente, apoyándolo en que la actividad muscular que ejecutan los isquiotibiales durante los gestos en el que el cuádriceps se contrae concéntricamente, es distinta y más bien se trata de una contracción excéntrica. A pesar de contar con estas dos posturas aún no se ha llegado a un consenso universal al respecto.

Conclusión

La alta incidencia de lesiones musculares que suelen presentarse en el ámbito deportivo y específicamente en esta población debe ser, en la medida de lo posible, prevenida para evitar las consecuencias y complicaciones que estas conllevan. Ha sido ampliamente estudiada la relación entre el desequilibrio muscular entre flexores y extensores de rodilla y las lesiones musculares en otros deportes, sin embargo, hasta la fecha existen pocos estudios enfocados específicamente en el taekwondo, por lo que son necesarios más estudios que examinen diferentes variables específicas a esta disciplina.

Es prioritaria la intervención multidisciplinaria de profesionales entorno al atleta de alto rendimiento en la implementación de evaluaciones y test enfocados a detectar datos de alarma que pudieran predisponer al atleta a desarrollar alguna lesión deportiva en el futuro y que esta pueda ser atendida de manera temprana y en última instancia mejorar su desempeño deportivo.

Por otro lado es importante destacar la necesidad de investigar sobre nuevos protocolos para establecer valores estándar en este tipo de procedimientos de evaluación y plantear métodos más apropiados de

evaluación de acuerdo a la actividad muscular que se desarrolla en una actividad funcional o en un determinado gesto deportivo.

References:

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *The American journal of sports medicine*, 26(2), 231–237. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>.
2. Altarriba-Bartes, A., Drobnic, F., Til, L., Malliaropoulos, N., Montoro, JB e Iruiria, A. (2014). Epidemiología de las lesiones en atletas de taekwondo de élite: estudio retrospectivo transversal de dos períodos olímpicos. *BMJ abierto*, 4 (2), e004605. doi: 10.1136 / bmjopen-2013-004605.
3. Ayala, F., Sainz de Baranda, P., de Ste Croix, M. y Santonja, F. (2012). *Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la modificación de desequilibrios musculares*. [en línea] apunts.org. Disponible en: <https://www.apunts.org/es-validez-fiabilidad-ratios-fuerza-isocinetica-articulo-X0213371712807039> [Consultado el 19 de febrero de 2020].
4. Balius, R. y Pedret, C. (2013). *Lesiones Musculares en el Deporte* (1.^a ed., pp. 27-36). Editorial Médica Panamericana.
5. *Muscle Injuries Clinical Guide 3.0, Guía de manejo de lesiones musculares: Guía de práctica clínica*. FCBarcelona, 2015.
6. Bogdanis, G. C., & Kalapotharakos, V. I. (2016). Knee Extension Strength and Hamstrings-to-Quadriceps Imbalances in Elite Soccer Players. *International journal of sports medicine*, 37(2), 119–124. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1559686>.
7. Cameron, M., Adams, R. and Maher, C., (2003). Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Physical Therapy in Sport*, [online] 4(4), pp.159-166. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466853X03000531>> [Accessed 16 August 2020].
8. Croisier, J.-L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J.-M. (2008). Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469–1475. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>.
9. Cruz-Medina, Eva y León-Hernández, Saúl Renán, y Arellano-Hernández, Aurelia y Martínez-Gonzaga, Enrique y García-Guerrero, Eduardo y Coronado-Zarco, Roberto (2008). Evaluación isocinética y estado funcional en pacientes posoperados por hernia de disco lumbar.

- Cirugía y Cirujanos, 76 (5), 373-380. [Fecha de Consulta 29 de Enero de 2021]. ISSN: 0009-7411. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=662/66276503>
10. Cheung, R., Smith, A., & Wong, D. (2012). H:Q Ratios and Bilateral Leg Strength in College Field and Court Sports Players, *Journal of Human Kinetics*, 33(2012), 63-71. doi: <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0045-1>.
 11. Cruz-Medina, Eva y León-Hernández, Saúl Renán y Arellano-Hernández, Aurelia y Martínez-Gonzaga, Enrique y García-Guerrero, Eduardo y Coronado-Zarco, Roberto (2008). Evaluación isocinética y estado funcional en pacientes posoperados por hernia de disco lumbar. *Cirugía y Cirujanos*, 76 (5), 373-380. [Fecha de Consulta 15 de Agosto de 2020]. ISSN: 0009-7411. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=662/66276503>.
 12. Ferreira, Aparecido Pimentel, Gomes, Sérgio Adriano, Ferreira, Carlos Ernesto Santos, Arruda, Miguel de, & França, Nanci Maria de. (2010). Avaliação do desempenho isocinético da musculatura extensora e flexora do joelho de atletas de futsal em membro dominante e não dominante. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 32(1), 229-243. <https://doi.org/10.1590/S0101-32892010000400016>.
 13. Fortina, M., Mangano, S., Carta, S. & Carulli, C.. (2017 agosto 4). Analysis of Injuries and Risk Factors in Taekwondo during the 2014 Italian University Championship. *Joints*, v.5, 168-172. 2019, Noviembre 7, De PubMed. Base de datos.
 14. Fort Vanmeerhaeghe, A. y Romero Rodriguez, D. (2013). *Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas*. [en línea] apunts.org. Disponible en: <https://www.apunts.org/es-analisis-factores-riesgo-neuromusculares-lesiones-articulo-X0213371713445417> [Consultado el 19 de febrero de 2020].
 15. de Hoyo, M., Naranjo-Orellana, J., Carrasco, L., Sañudo, B., Jiménez-Barroca, J. J., & Domínguez-Cobo, S.. (2013). Revisión sobre la lesión de la musculatura isquiotibial en el deporte: factores de riesgo y estrategias para su prevención. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(1), 30-37. Recuperado en 08 de noviembre de 2019, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1888-75462013000100007&lng=es&tlng=es.
 16. Loeza, P., Fritzel, W. and Barrios, J. (2016). Correlación entre prueba isocinética y test de potencia anaeróbica y agilidad. *Revista mexicana de investigación en cultura física y deporte*, [online] (9), pp.47-59. Available at: http://ened.conade.gob.mx/Documentos/REVISTA%20ENED/Revista9/Revista%20ENED_v2.pdf [Accessed 17 Jan. 2020].

17. Maly, T., Mala, L., Bujnovsky, D., Hank, M. y Zahalka, F. (2019). Diferencias morfológicas e isocinéticas de fuerza: variación bilateral e ipsilateral según la actividad deportiva. *Medicina abierta (Varsovia, Polonia)*, 14, 207–216. doi: 10.1515 / med-2019-0014.
18. Martínez, L., Pegueros, A., Ortíz, A., Del villar, A., Flores, V. and Pineda, C. (2014). Valoración isocinética de la fuerza y balance muscular del aparato extensor y flexor de la rodilla en taekwondo. *Gaceta Médica de México*, [online] (3), pp.272-280. Available at: https://www.anmm.org.mx/GMM/2014/s3/GMM_150_2014_S3_272-278.pdf [Accessed 4 Dec. 2019].
19. Orchard J. W. (2001). Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in Australian football. *The American journal of sports medicine*, 29(3), 300–303. <https://doi.org/10.1177/03635465010290030801>.
20. Rosene, JM, Fogarty, TD y Mahaffey, BL (2001). Isquiotibiales isocinéticos: proporciones de cuádriceps en atletas interuniversitarios. *Revista de entrenamiento atlético*, 36 (4), 378–383.
21. Santos, P., Pedrinelli, A., Rubio, E., Guilherme, C. and D’Andrea, J., (2020). Evaluación isocinética de músculos flexores y extensores en jugadores de fútbol profesional antes de iniciar la fase de pretemporada. *Revista Latinoamericana de Cirugía Ortopédica*, [online] (1), pp.54-57. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444972516300249>> [Accessed 26 March 2020].
22. Tlatoa, H. (2014). *Torque máximo absoluto e índice convencional isocinético de rodilla en futbolistas profesionales del 2007 al 2012*. [en línea] Elsevier.es. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medicina-e-investigacion-353-articulo-torque-maximo-absoluto-e-indice-X2214310614603822> [Consultado el 20 de febrero de 2020].
23. van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., Witvrouw, E. (2016). Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(7), 1789–1795. <https://doi.org/10.1177/0363546516632526>.



Dynamique hydrologique et évolution morpho sédimentaire du lac Ahémé au Sud-Ouest du Bénin

Sylvestre Yantikoua

Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement, Département des
Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi
(LGME/DST/FAST/UAC). Ecole Doctoral Sciences de la Vie et de la Terre,
Université d'Abomey-Calavi (ED-SVT/FAST/UAC)

Raoul Laïbi

Rodrigue Adechina

Christophe Kaki

Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement,
Département des Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi
(LGME/DST/FAST/UAC)

Daouda Mama

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, l'Institut Nationale de l'Eau,
Université d'Abomey-Calavi (LHA/INE/UAC)

Philippe Laleye

Laboratoire d'hydrobiologie et d'Aquaculture,
Université d'Abomey-Calavi (LHA/FSA/UAC)

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p77](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p77)

Submitted: 18 November 2020

Accepted: 12 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Yantikoua S., Laïbi R., Adechina R., Kaki C., Mama D. & Laleye P. (2021). *Dynamique hydrologique et évolution morpho sédimentaire du lac Ahémé au Sud-Ouest du Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 77. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p77>

Résumé

Le lac Ahémé dans le complexe estuarien sud-ouest béninois connaît de nos jours, un véritable problème de dégradation dû à l'évolution naturelle et aux activités anthropiques ayant contribué à accélérer la vulnérabilité de l'hydrosystème. La présente étude, basée sur l'analyse de l'évolution bathymétrique et sédimentologique des fonds lagunaires vise à caractériser le rythme de comblement du lac Ahémé. La bathymétrie du lac Ahémé indique un plan d'eau encaissé, à fond plat, avec des profondeurs moyennes comprises

entre 1,6 et 2,4 mètres. Les sédiments sont vaseux dans la partie centrale du Nord au centre du lac, sablo-vaseux au Sud et à l'Est puis sableux à l'Est et aux abords du lac en contact avec les plateaux de Terre de Barre. L'analyse comparative des cartes sédimentologiques et bathymétriques des années successives, a montré que le lac se comble au fil des ans, particulièrement dans sa partie sud. L'évolution des faciès sédimentaires du lac de 1999 à 2018 montre une plus large extension des vases et vases sableuses dans la partie sud du lac alors qu'elles se cantonnaient autrefois dans la moitié sud du lac. La répartition des vases n'est donc plus uniforme, comme c'était le cas il y a une vingtaine d'années. Une telle évolution bathymétrique est le signe tangible d'un comblement et cet état de chose est préjudiciable aux organismes vivants inféodés dans le milieu.

Mots clés : Lac Ahémé, sédimentologie, bathymétrie, comblement

Hydrological dynamics and morpho-sedimentary evolution of Lake Ahémé in South-West Benin

Sylvestre Yantikoua

Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement, Département des Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi (LGME/DST/FAST/UAC). Ecole Doctoral Sciences de la Vie et de la Terre, Université d'Abomey-Calavi (ED-SVT/FAST/UAC)

Raoul Laïbi

Rodrigue Adechina

Christophe Kaki

Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement, Département des Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi (LGME/DST/FAST/UAC)

Daouda Mama

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, l'Institut Nationale de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi (LHA/INE/UAC)

Philippe Laleye

Laboratoire d'hydrobiologie et d'Aquaculture, Université d'Abomey-Calavi (LHA/FSA/UAC)

Abstract

Lake Ahémé in the south-western Beninese estuary complex is nowadays experiencing a real problem of degradation due to natural evolution and anthropic activities that have contributed to accelerate the vulnerability of the hydro system. The present study, based on the analysis of the bathymetric

and sedimentological evolution of the lagoon bottoms, aims at characterizing the filling rate of Lake Ahémé. The bathymetry of Lake Ahémé indicates an entrenched, flat-bottomed body of water with average depths between 1.6 and 2.4 meters. The sediments are muddy in the central northern part of the lake, sandy-muddy in the south and east, then sandy in the east, and on the edges of the lake in contact with the Terre de Barre plateaus. Comparative analysis of the sedimentological and bathymetric maps of successive years has shown that the lake fills up over the years, particularly in its southern part. The evolution of the sedimentary facies of the lake from 1999 to 2018 shows a wider extension of the mud and sandy mud in the southern part of the lake whereas they were formerly confined to the southern half of the lake. The distribution of mud is therefore no longer uniform, as was the case some twenty years ago. Such a bathymetric evolution is the tangible sign of a filling and this state of affairs is detrimental to the living organisms that are dependent on the environment.

Keywords: Lake Ahémé, sedimentology, bathymetry, infilling

Introduction

La zone littorale du Bénin dispose d'un écosystème aquatique, fourni et varié, représenté de l'aval vers l'amont par une composante maritime importante, un système de lagunes et de lacs et un réseau hydrographique dans lequel s'inscrit le lac Ahémé. Situé au Sud-Ouest du Bénin, le lac Ahémé est l'un des plans d'eau majeur du complexe fluvio-lagunaire sud-ouest et constitue le deuxième plan d'eau du Bénin en termes de superficie après le lac Nokoué à l'Est. Il bénéficie aussi bien des apports continentaux et marins. L'importance de sa biodiversité fait de lui un écosystème très attractif pour les populations. Mais, les pressions humaines et les contraintes naturelles auxquelles cet écosystème est aujourd'hui soumis à raison de sa position géographique, le fragilisent et rendent très vulnérable l'économie de la zone. En effet, le lac Ahémé est confronté à un véritable problème de comblement dû aux apports issus de l'érosion des plateaux le bordant, des bassins versants alimentant ses berges, et aux mauvaises pratiques de pêche contribuant à accélérer le processus de dégradation de l'environnement. Cette situation a eu pour conséquences, la réduction considérable des captures des ressources halieutiques, la migration des pêcheurs vers les autres pays de la sous-région à la recherche de zones de pêche plus favorables (Badahoui, 2008). L'objectif de cette étude, est d'évaluer le rythme de comblement du lac Ahémé face à la pression sans cesse croissante des activités anthropiques. Elle s'appuiera sur l'analyse des données bathymétrique et sédimentologique. La bathymétrie permettra de mettre en évidence la morphologie du fond du lac à l'échelle du

temps. L'analyse sédimentologique rendra compte de l'hydrodynamique ce qui aboutira à la mise en relief de la répartition des différents faciès.

Présentation du milieu d'étude

1.1. Localisation et aspect géomorphologique

La zone d'étude est située au Sud-Ouest du Bénin. Elle fait partie du complexe fluvio-lagunaire sud-ouest béninois qui regroupe le lac Ahémé, le chenal Aho et la lagune côtière, tous associés à un réseau très dense de chenaux de marée anastomosés souvent bordés de palétuviers. Le lac Ahémé est délimité par deux reliefs tabulaires inclinés en pente douce vers le Sud : les plateaux de Comé et d'Allada qui surplombent le lac avec des altitudes variant entre 40 et 50 m. Les minces cordons sableux de la plage actuelle assurent la séparation entre le système lagunaire et l'océan atlantique (figures 1&2).

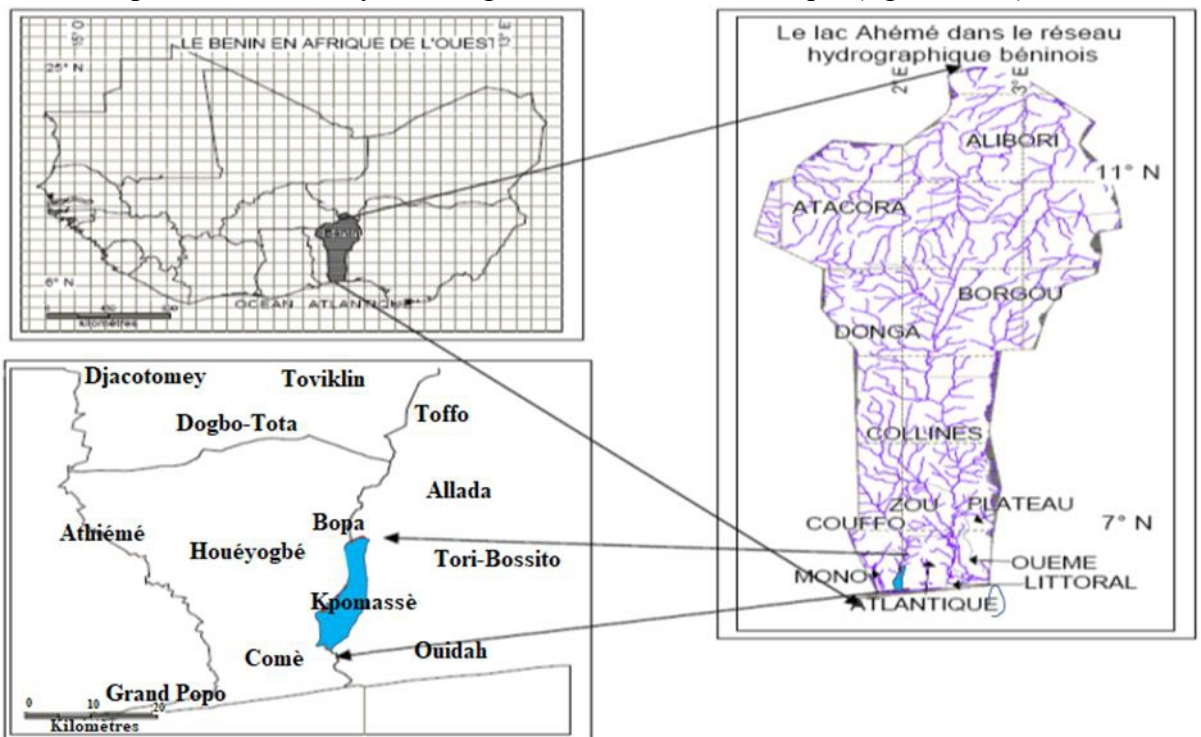


Figure 1 : Carte de localisation du lac Ahémé dans le littoral du sud-ouest béninois

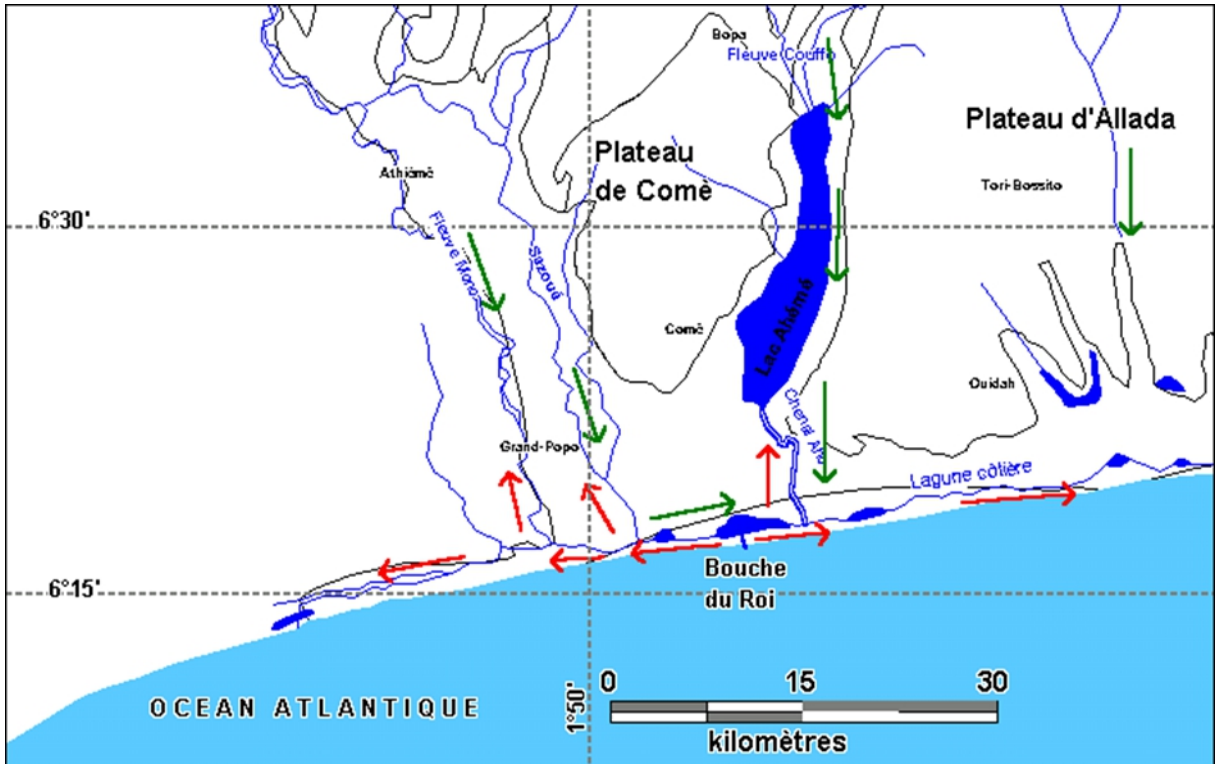


Figure 2 : Lac Ahémé dans le système hydrologique du complexe sud-ouest du Bénin
Source : Base de données CATCH 2002

1.2. Facteurs Climatiques

Les principaux traits caractéristiques du climat dans le milieu d'étude sont ceux du Sud du Bénin, marqués par le climat subéquatorial de type bimodal avec quatre saisons dans l'année que sont : i) une grande saison des pluies de mi-mars à mi-juillet ; ii) une petite saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre ; iii) une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars ; et iv) une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre. La hauteur d'eau recueillie au cours de l'année varie entre 950 et 1300 mm (ASECNA, 2018).

De manière générale, les vents ont une orientation sud-ouest. Leur vitesse moyenne mensuelle varie entre 3 et 5 m.s-1. Les vents qui prédominent sur le littoral de Cotonou sont ceux du SW (64 %) avec une forte fréquence dans les mois de février, mars, avril, juin et octobre. Les vents du WSW (16,07 %), plus fréquents de juillet à septembre ont une vitesse moyenne mensuelle qui oscille autour de 6 m/s (ASECNA, 2012). Ceux du SSW (14,40 %) sont très peu fréquents ces dernières décennies ; leurs vitesses moyennes mensuelles décroissent de 5 m/s en janvier à 3,6 m/s en mars, novembre et décembre (ASECNA, 2012).

La température moyenne varie très peu dans le milieu littoral du Bénin (environ 27°C à Cotonou et à Ouidah). Les températures maximales sont

relevées généralement au cours des mois de février à Avril, qui correspondent au pic de la saison sèche avec des journées ensoleillées (31-33°C) suivies de nuit fraîches (23-24°C). Les plus faibles s'observent entre Juillet et Août (25°C).

1.3. Hydrologie

L'hydrologie continentale de la zone d'étude est marquée par le lac Ahémé, le Couffo qu'il reçoit en provenance du Nord, le chenal Aho qui le relie vers le Sud à l'océan atlantique par le biais de la lagune côtière qui le rattache au fleuve Mono.

D'une longueur de 24 km et d'une largeur variant entre 2 et 5,5 km, le lac Ahémé a une superficie de 78 km² à l'étiage et de 100 km² en crue (Pliya, 1980). Ce plan d'eau, encaissé à l'intérieur des terres, présente des rives à parois plus ou moins abruptes et dissymétriques aux limites des plateaux de Terre de Barre. Les profondeurs inférieures sont à 1,5 m au Sud du lac, puis varient entre 1,5 et 2,5 m au centre et au Nord du lac. Toutefois, des profondeurs relativement importantes allant de 3 à 4,5 m peuvent être observées au Nord du lac à l'entrée du fleuve Couffo qui est son principal tributaire (Oyédé et *al.*, 2007).

L'hydrologie marine qui joue un rôle important dans le fonctionnement du système lagunaire est caractérisée par la houle et la marée. Ces deux grands forçages océaniques contrôlent la dynamique du secteur d'une part, et influencent son système hydrologique, d'autre part. Les travaux de Guilcher (1959), Sitarz (1960), et Rossi (1989) montrent que la marée est du type semi-diurne avec des marnages extrêmes de +1,95 m et -0,20 m, l'amplitude moyenne tournant généralement autour d'un mètre (type microtidal). La direction et le régime des houles sont liés à des tempêtes dans l'Atlantique sud, notamment, celles générées par l'anticyclone de Saint Hélène et, accessoirement, à des vents locaux. Elles font apparaître deux saisons de houle : l'une, avec des houles de faibles hauteurs (0,4 à 0,5m en moyenne) d'octobre/novembre à mai ; l'autre, où, durant l'été boréal, de juin à septembre, les hauteurs atteignent et dépassent 2 m. Les directions de houle sont constantes et montrent une prédominance des directions S à SSW pour les premières houles et SSW à SW pour les secondes. La houle est le facteur essentiel de la dynamique des sédiments essentiellement sableux sur le littoral béninois et a une période comprise entre 10 s et 15 s avec une fréquence moyenne de 11 - 12 s. L'obliquité de la houle au déferlement par rapport au rivage varie entre 4° et 9°, avec une moyenne autour de 6°-7°. Elle entraîne un courant de dérive littorale dirigée d'Ouest en Est et dont la vitesse mesurée à Cotonou est de l'ordre de 0,3 à 1 m/s. Ce courant est responsable du transit de 1,2 à 1,5 million de m³ de sables de Lomé (à l'Ouest) à Cotonou (à l'Est) le long de la côte du golfe de Guinée, chaque année (Sitarz, 1960 ; NEDECO,

1975 ; LACKNER, 1983 ; LCHF, 1984 ; Rossi et Antoine, 1990). La salinité des eaux marines varie de 34 à 36g/L, la température de surface varie de 27° à 30°C en saison chaude, et de 22° à 26° en saison froide (Abe, 1996).

2. Matériel et méthode

Les données traitées dans cette étude sont issues des campagnes bathymétrique et sédimentologique réalisées en Juillet-Août 2018. Le suivi des hauteurs d'eau aux stations d'Adjatokpa et de Bopa situées au bord du lac Ahémé a permis de calibrer les données par rapport à un niveau de référence. La campagne bathymétrique s'est déroulée en juillet-août 2018 à l'aide d'un traceur GPS MAP 521S équipé d'un sondeur à double fréquence suivant des transects de direction Est-Ouest distants en moyenne de 200 m l'un de l'autre.

- ***Prélèvement de sédiment***

Le prélèvement de sédiment a été fait à la benne de Birg-Ekman (C'est un appareil qui sert à faire des prélèvements ponctuels de sédiments mous) suivant un quadrillage par des radiales est-ouest. La non-perturbation de l'échantillon à la remontée et la pénétration modérée dans la vase rendent cet échantillonneur très pratique pour l'étude des sédiments superficiels. Ensuite, ces échantillons ont été décrits sur place selon la caractérisation sédimentaire établie par Larssonneur en 1977 avant d'être emballé dans les sachets polyéthylène et étiquetés et transportés au laboratoire pour étude granulométrique. Les équidistances entre les radiales sont de 600 m dans le lac (Figure 3). Sur chaque radiale, les points d'échantillonnage ont été positionnés à des intervalles de 400 m (Figure 3). Les points d'échantillonnage ont été localisés le long des radiales à l'aide d'un GPS et localisés sur une carte topographique de l'IGN au 1/50 000. Aux différents points d'échantillonnages, le sens d'écoulement des eaux qui est tantôt dirigé vers le nord tantôt vers le sud a souvent apprécié.

- ***Analyse granulométrique***

Elle est réalisée pour connaître la répartition quantitative de chaque classe dimensionnelle de particules élémentaires constituant l'échantillon. A cet effet, une masse *mt* égale à 200 g de chaque échantillon de sédiments préalablement séchés a été prélevée et lavée sur un tamis à mailles carrées d'arêtes de 50 µm pour séparer la fraction sableuse de la fraction silto-argileuse. Après séchage à l'étuve à une température de 80°C pendant 24 heures, la fraction sableuse recueillie est tamisée à sec sur une colonne de huit tamis (série AFNOR) de mailles d'arêtes décroissantes de 2mm à 0,050 mm. Ce tamisage est fait avec un appareil Rotap de type « Bioblock Scientific » pendant 10 mn à une amplitude de 70 vibrations/mn. Chacune des fractions retenues par chaque tamis est pesée et consignée pour la construction

d'histogrammes et de courbes cumulatives et le calcul des paramètres granulométriques de Folk et Ward (1957).

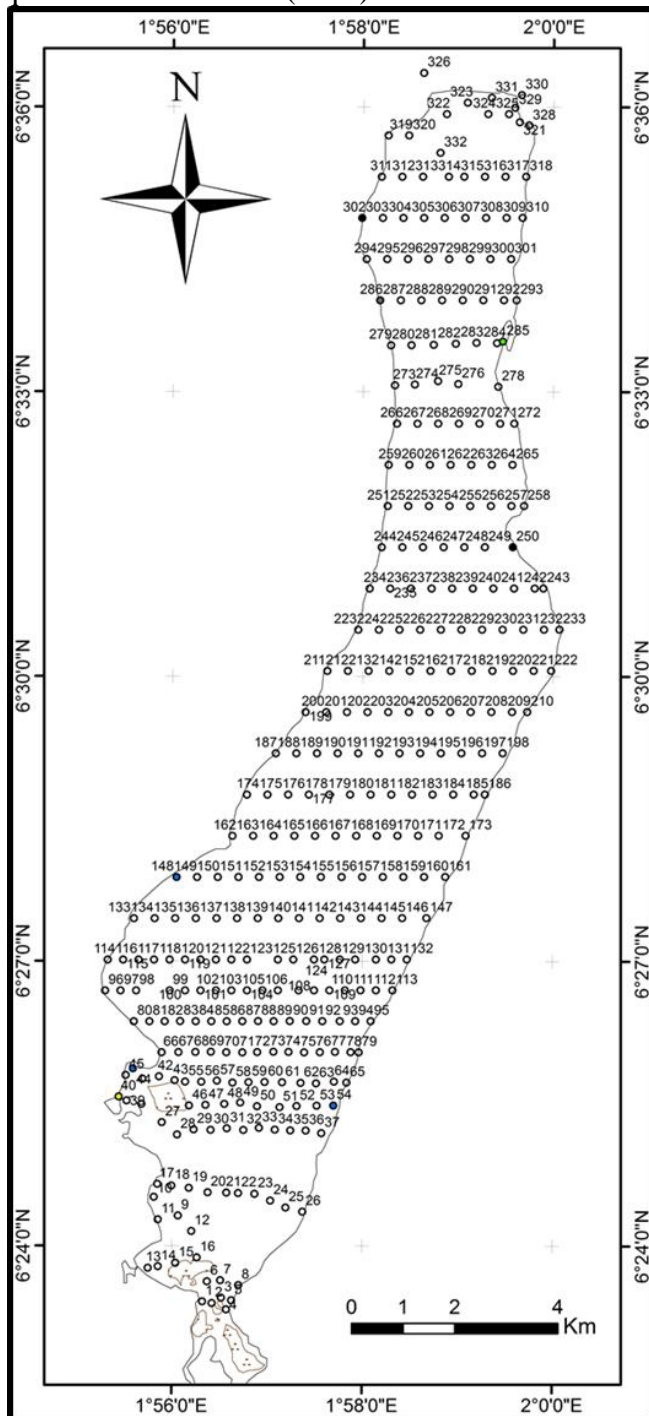


Figure 3: Position des sections bathymétriques et des points d'échantillonnage de sédiments dans le lac Ahémé

3. Résultats et discussion

Pour décrire, les phénomènes de rétroaction entre hydrologie et sédimentologie au sein du lac Ahémé et ses chenaux, les études sédimentologiques et bathymétriques ont été actualisées dans le cadre de la présente étude. Les résultats obtenus ont été ensuite comparés aux données issues des travaux antérieurs. Faut-il le rappeler, le lac Ahémé constitue le centre d'intérêt du Département des Sciences de la Terre, depuis les années 1983 et bénéficie à ce titre d'une abondante revue bibliographique qui a permis de retracer l'évolution bathymétrique et sédimentaire avec notamment les travaux antérieurs de Oyédé, 1983 ; Montcho et Sègbédji, 1993 ; Roche International, 1999 ; SOMUSFOR, 2013, etc. C'est donc fort de ces connaissances étalées sur près de trois décennies que l'étude sur le comblement du lac Ahémé a été entreprise.

3.1. Rappels sur le fonctionnement hydrologique du lac Ahémé avant et après la construction du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono

Le lac Ahémé est un milieu complexe où arrivent les eaux du Couffo mais aussi du Mono et de la Sazoué ; notamment en saison du crue (Oyédé, 1983 ; Oyédé et *al.*, 1988). Le chenal Aho d'orientation nord-sud relie le lac et la lagune. Chaque année, la première crue de juin-juillet du Couffo est très déterminante sur la montée du niveau des eaux du système qui demeurent toutefois saumâtres. Par contre, en août-octobre, (crue du Mono), que ce soit avant ou après la mise en service du barrage, les courants du Mono deviennent très forts dans le système lagunaire et les eaux y deviennent purement douces. Ainsi, à basse marée, la quasi-totalité des eaux du Mono traverse la lagune côtière et se déverse directement dans la mer par la Bouche du Roy (Oyédé, 1983). A haute marée, bien que l'essentiel des eaux du Mono se déversent aussi dans la mer par la Bouche du Roy, une partie remonte le chenal Ahô pour se stocker dans le lac Ahémé (Pliya, 1976 ; Oyédé, 1983). Durant l'étiage du Mono, avant la mise en service du barrage, du fait qu'aucun apport d'eau douce substantiel n'arrive dans l'estuaire, les échanges hydrologiques s'effectuent quasi exclusivement avec les eaux marines et la salinité dans l'estuaire reste élevée (Oyédé, 1983 ; PNUD, 1987). Après le barrage, sous l'effet de la permanence des écoulements du fleuve Mono et de l'importance de leurs débits, les équilibres d'eau dans l'estuaire s'effectuent désormais avec un mélange eaux marines - eaux du Mono. Ainsi, le régime d'eau purement marine de l'estuaire en saison sèche avant le barrage fait place à un régime d'eaux saumâtres après le barrage (Oyédé, 1983).

Par ailleurs, après la mise en eau du barrage de Nangbéto, l'installation d'un écoulement fluvial d'étiage permanent et non négligeable fait que le

niveau d'eau dans le système est désormais plus élevé à l'étiage qu'auparavant (on passe de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ à $39 \text{ m}^3/\text{s}$).

En conclusion, avant comme après le barrage de Nangbéto, le système lagunaire voit ses eaux s'écouler dans un sens ou dans l'autre en fonction des marées et des saisons hydrologiques des fleuves Mono et Couffo. La salinité des eaux de l'estuaire varie également en fonction des coefficients de marée et des saisons hydrologiques des fleuves Mono et Couffo.

3.2. Caractéristiques morphologiques du lac Ahémé

3.2.1. Analyse bathymétrique

La carte bathymétrique est le reflet de la disposition des sédiments au fond du lac. C'est elle qui traduit l'évolution morphologique entre les mesures de deux périodes différentes. Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude ont permis d'établir la carte bathymétrique de la Figure 4.

3.2.2. Description des fonds bathymétriques de la campagne de juillet-août 2018

L'analyse de la Figure 4 montre que, du point de vue de la bathymétrie des fonds, le lac présente trois domaines :

- *Les fonds entre 0,4 et 1,6 mètre de profondeur*

Ils correspondent à la bordure du lac, avec une dénivellation de 1,2 mètre. Une telle dénivellation de bordure confirme que le lac Ahémé est un plan d'eau lagunaire encaissé. Toutefois, la pente est beaucoup plus douce dans la partie sud-ouest du lac, entre Akodéha et Guézin.

- *Les fonds entre 1,6 et 2,4 mètres de profondeur*

Ils représentent la grande partie de l'étendue du lac, laissant apparaître une configuration plate du fond du lac.

- *Les fonds entre 2,4 et 3 mètres de profondeur*

Ils forment les plus importantes profondeurs du lac, définissant un domaine plus étroit structuré sous forme de cuvettes localisées dans la partie nord orientale du lac, entre Tokpa Domè et Dékanmè.

3.2.3. Evolution bathymétrique du lac Ahémé

Des relevés bathymétriques ont été faits en 1983, 1991, 1999 et en 2013. La comparaison de relevés actuels avec les précédentes mesures montre qu'il se produit constamment un remaniement dans le fond du lac, d'une année à une autre.

En comparant les anciens relevés de 1999 et de 2013 aux données de cette dernière campagne, nous observons dans la partie sud du lac, un fond qui ne présente plus une large cuvette comme en 2013, mais plutôt une configuration globalement en forme de « U » comme en 1999 (Figure 5). Cette

disposition du fond du lac dans sa partie sud laisse comprendre pourquoi les vases et vases sableuses tendent à recouvrir le fond du lac qui devient alors beaucoup plus plat. Une telle évolution a été de même observée dans les chenaux de la lagune de Fresco en Côte d'Ivoire par N'guéssan, (2013). Cette configuration estime-t-il, traduirait un équilibre d'action entre les agents d'érosion et les agents d'accumulation. Cette évolution bathymétrique est le signe tangible d'un comblement et cet état de chose est préjudiciable aux organismes vivants inféodés dans le milieu.

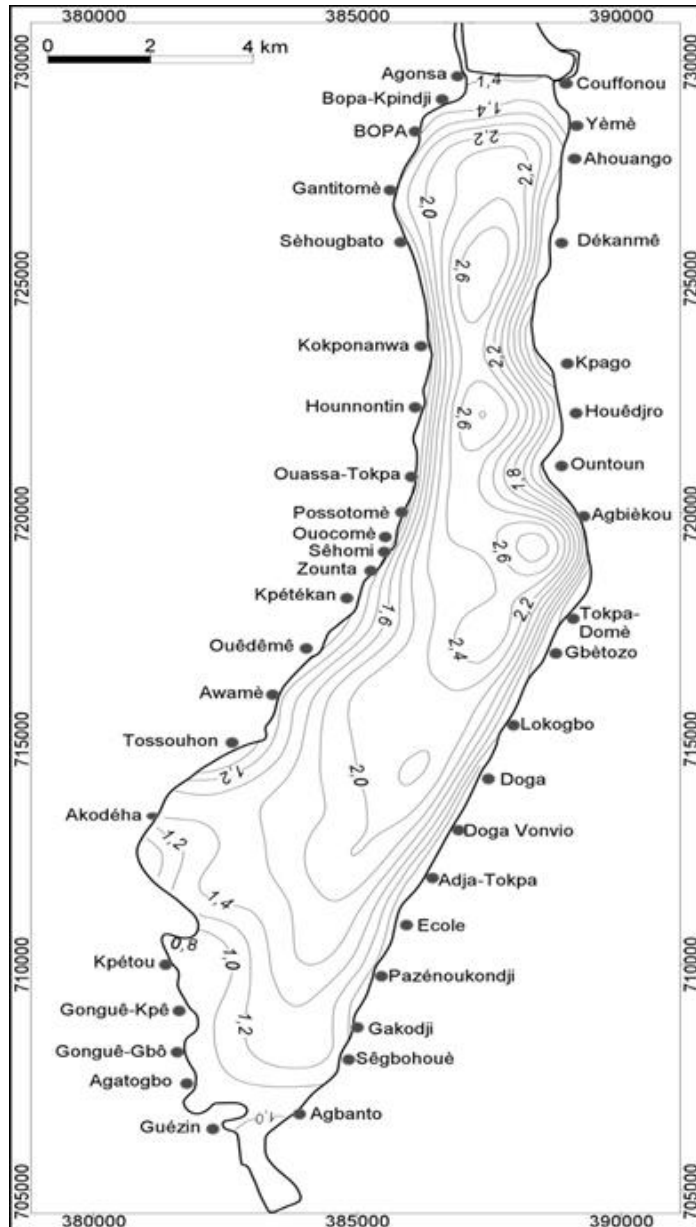


Figure 4: Carte bathymétrique du lac Ahémé (juillet-août 2018)

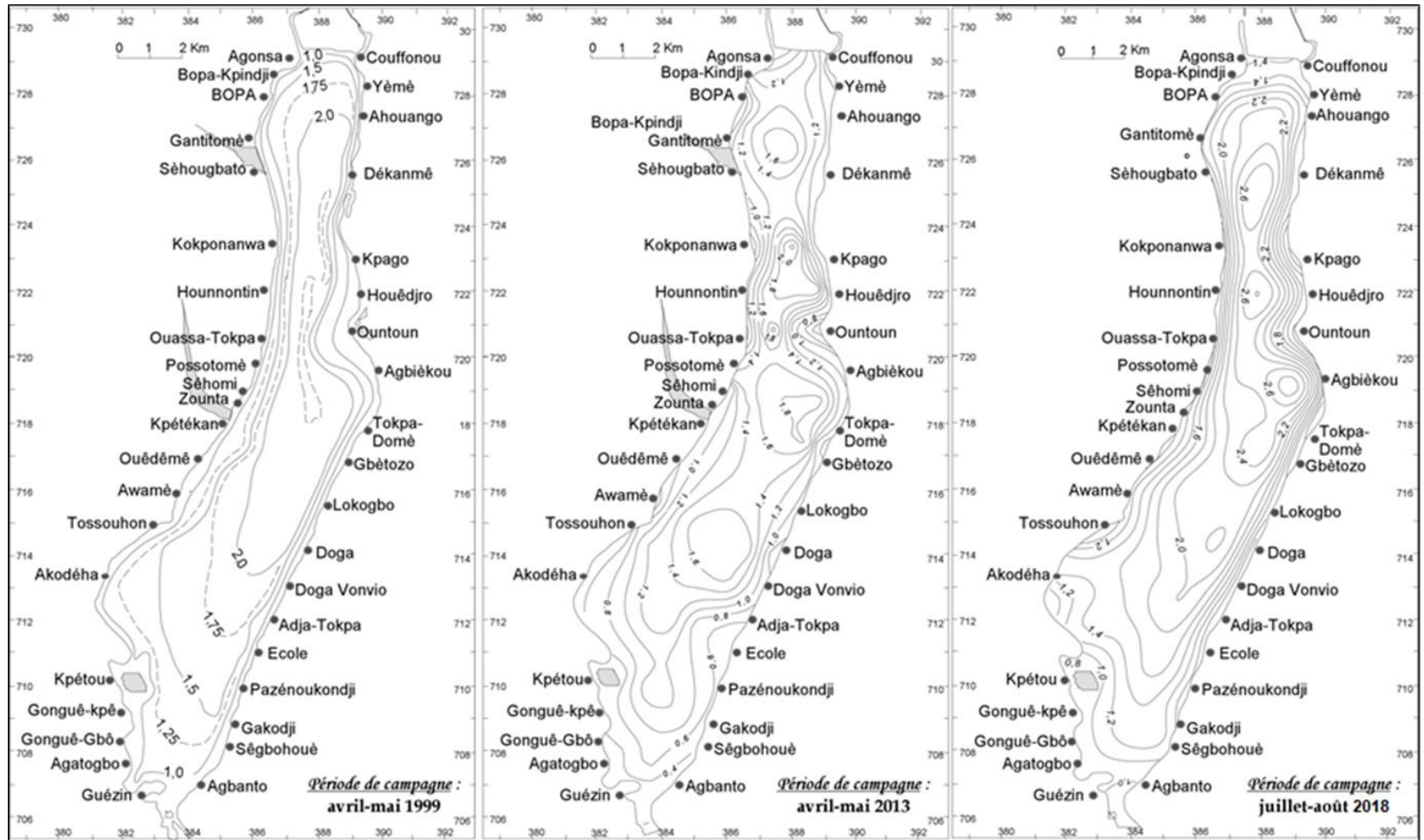


Figure 5: Cartes bathymétriques des années 1999, 2013 et 2018

3.3. Répartition des faciès sédimentologique du lac Ahémé

Analyse des lithofaciès du fond du lac Ahémé et ses chenaux

Les sédiments de fond du lac Ahémé décrits dans le cadre de cette étude sont repartis en quatre faciès types (Figure 6) :

- le faciès de sables : Il se rencontre en bordure du lac au pied des plateaux du Continental terminal et de la Terre de barre. Mais, il est particulièrement développé sur la rive est et surtout sur la moitié nord-est du lac où son étendue peut dépasser le kilomètre de large, entre Agbékou, Hountoun, Houédjro et Kpago. Il s'agit des sables fins à moyens et des sables moyens, très peu coquilliers et assez propres. Il s'accumule à la faveur des clapots (ou vagues) liés au vent du Sud-Ouest et qui battent, à l'image des vagues en mer, la rive Est du lac.
- le faciès de sables vaseux : Son extension est limitée au Sud du lac. Il s'agit essentiellement des sables fins à moyens, souvent coquilliers.
- le faciès de vases sableuses : Il est présent dans tout le lac où il se retrouve autour du faciès sableux en progressant des rives vers l'intérieur du lac.
- le faciès de vases : les vases occupent largement la partie centrale du lac où elles montrent une extension nord-sud, avec une abondance particulière dans la partie sud du lac. Au nord, dans le prolongement des débouchés du Couffo dans le lac, les sédiments vaseux ont également une large extension ; ce qui montre que le Couffo est pauvre en charges sédimentaires sableux.

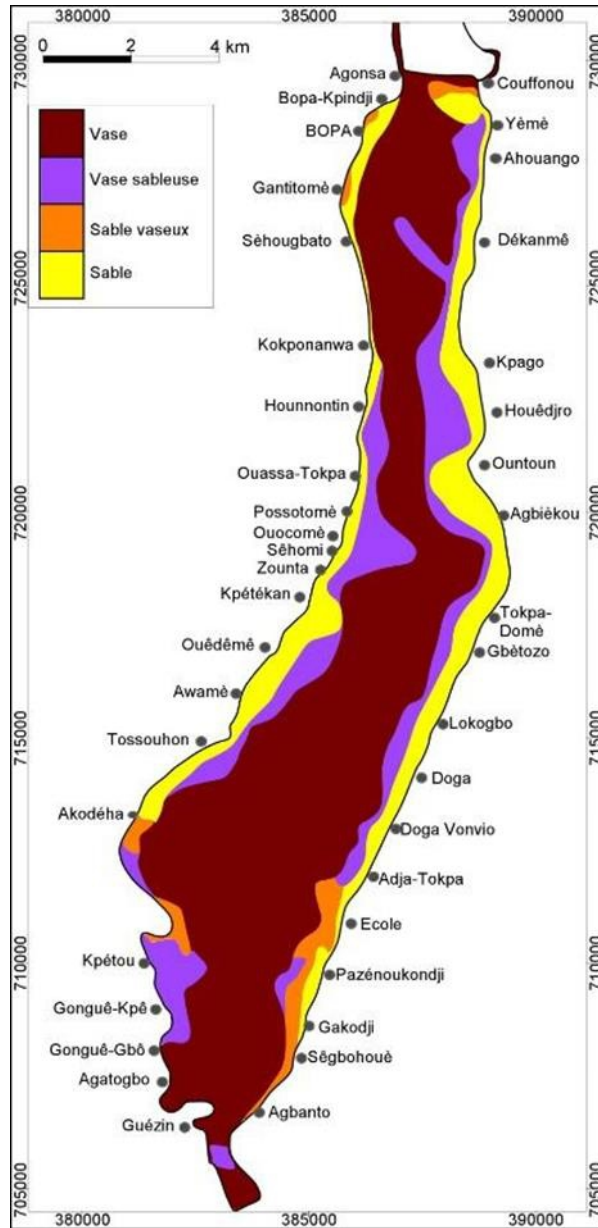


Figure 6 : Carte des lithofaciès du lac Ahémé

3.3.1. Evolution sédimentologique et morphologique du lac Ahémé

Essai de comparaison des lithofaciès actuels du lac avec ceux des années antérieures

Les faciès du lac Ahémé ayant été suivis depuis 1981, une évolution significative peut être notée dans la répartition des sédiments du fond du lac. En effet, d'après les travaux de Oyédé (1983), le lac se comportait en première approximation comme un bassin de sédimentation où les faciès de bordure sont

plus ou moins sableux, tandis que les particules fines sont transportées au centre du lac.

Nous avons limité la comparaison des résultats actuels aux deux dernières cartes de 1999 et de 2013 (Roche International, 1999 et Somusfor, 2014). En effet, par rapport aux cartes de faciès des années 1999 et 2013, nous notons avec la campagne de 2018, une plus large extension des vases et vases sableuses qui tendent à tapisser tout le fond du lac (figure 7). Les vases et vases sableuses gagnent de plus en plus la partie nord du lac, alors qu'elles ne se limitaient seulement que dans la moitié sud du lac en 1999. La répartition des vases n'est donc plus uniforme, comme c'était le cas il y a une quinzaine d'années. Dans la partie nord du lac, les vases et vases sableuses tendent à recouvrir les sables vaseux qui servaient de transition entre les sables francs et les vases sableuses, notamment entre Yèmè et Dékanmè d'une part, et entre Agonsa et Sèhoubato d'autre part.

Dans la moitié nord de la rive est, l'accumulation du sable est permanente entre Agblékou et Kpago, en liaison avec les vents locaux.

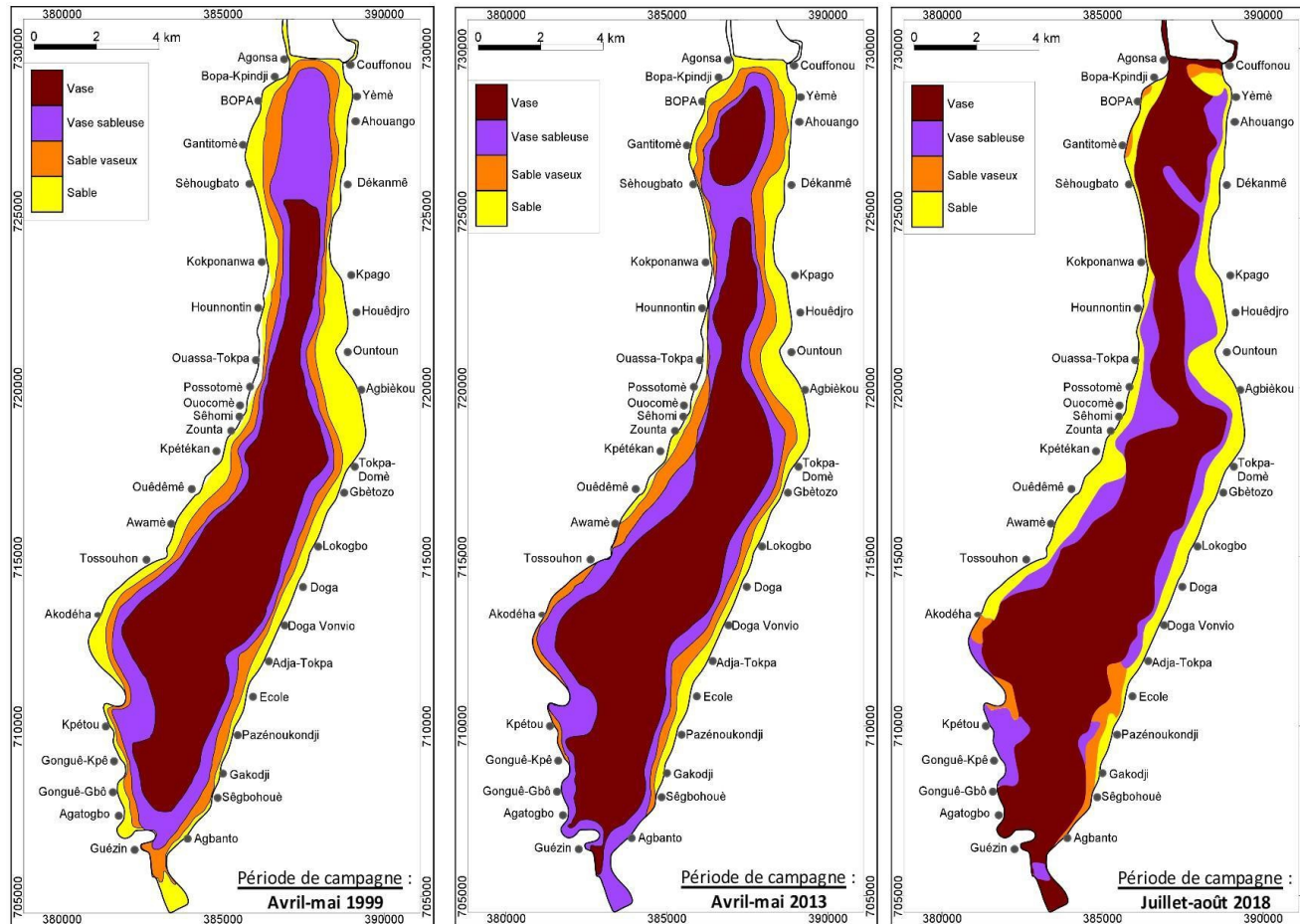


Figure 7: Cartes sédimentologiques du lac Ahémé des années 1999, 2013 et 2018

3.4. Distribution granulométrique des sédiments du lac Ahémé

L'étude granulométrique des échantillons sableux du lac Ahémé a permis de construire les courbes cumulatives afin de calculer les paramètres granulométriques. Ces paramètres permettent de caractériser les sédiments en remontant aux conditions de leur dépôt.

Les courbes cumulatives des faciès du lac Ahémé (Figure 8) présentent pour la plupart une allure logarithmique (avec une faible pente) et d'autres ont une tendance hyperbolique et quelques rares courbes ont une tendance parabolique.

Ces faciès sableux présentent un indice d'asymétrie compris entre $-0,05 \Phi$ et $0,17 \Phi$ qui est tantôt symétrique vers les fractions fines ou asymétrique vers les fractions grossières. L'écart-type oscille entre $0,84 \Phi$ et $1,08 \Phi$, ce qui indique des particules médiocres à moyennement triés. Ces différents paramètres calculés, montrent que le processus de sédimentation dans le lac résulterait de l'influence de plusieurs sources d'apports sédimentaires présentant des courants de différentes intensités. Or, le lac Ahémé de par sa position géomorphologique, a la particularité d'être alimenté à la fois par les eaux marines et continentales et de ce fait, reçoit en période de crue des matériaux fluvio-lagunaires. La prépondérance des courbes logarithmiques montre que le pourcentage des particules fines ($<0,063 \text{ mm}$) laisse penser à un ralentissement de l'énergie de transport de sédiments. Cette hypothèse semble conforme aux travaux de Guilcher (1959) et Pliya (1980) qui, abordant l'étude du phénomène de comblement du lac Ahémé, ont pu mettre en évidence la présence des flèches qui barrent transversalement les plans d'eau occasionnant ainsi le piégeage des éléments remaniés par la végétation environnante. Ces auteurs ont aussi fait remarquer que le comblement du lac s'expliquerait non seulement par un phénomène naturelle inéluctable lié à la sédimentation et à l'alluvionnement annuelle des crues du Couffo et du Mono mais également par l'érosion des bassins versants et à la destruction des palétuviers fixateurs de la vase. La nouvelle carte sédimentologique (2018) montre que la partie nord du lac proche du fleuve Couffo est plus enrichie davantage en vase qu'en 2013. Or, selon les travaux de Castings (2008), en période de crue alors que le courant est plus fort, ce sont des particules fines qui sont transportées en majorité. Mieux, l'inondation des terres et le ruissellement abondant, poursuit-il, chargent massivement le cours d'eau en particules terrigènes argileuses. Cette observation permet donc de comprendre que l'enrichissement en vase dans la partie nord (zone bordière du fleuve Couffo) et au sud du lac, est dû aux crues des fleuves Couffo et Mono. En d'autres termes, en période de crue, le lac voit les eaux du fleuve Couffo se mélanger avec les eaux de la lagune côtière (salée) par le truchement du chenal Aho. Ce mélange alors chargé de particules fines silto argileuses provoque une floculation importante de particules en suspension qui se

déposent par excès de charge et explique l'envasement généralisé observé au sud du lac au déboucher du chenal Aho notamment à Guézin, Agatogbo et Conguè-Gbo.

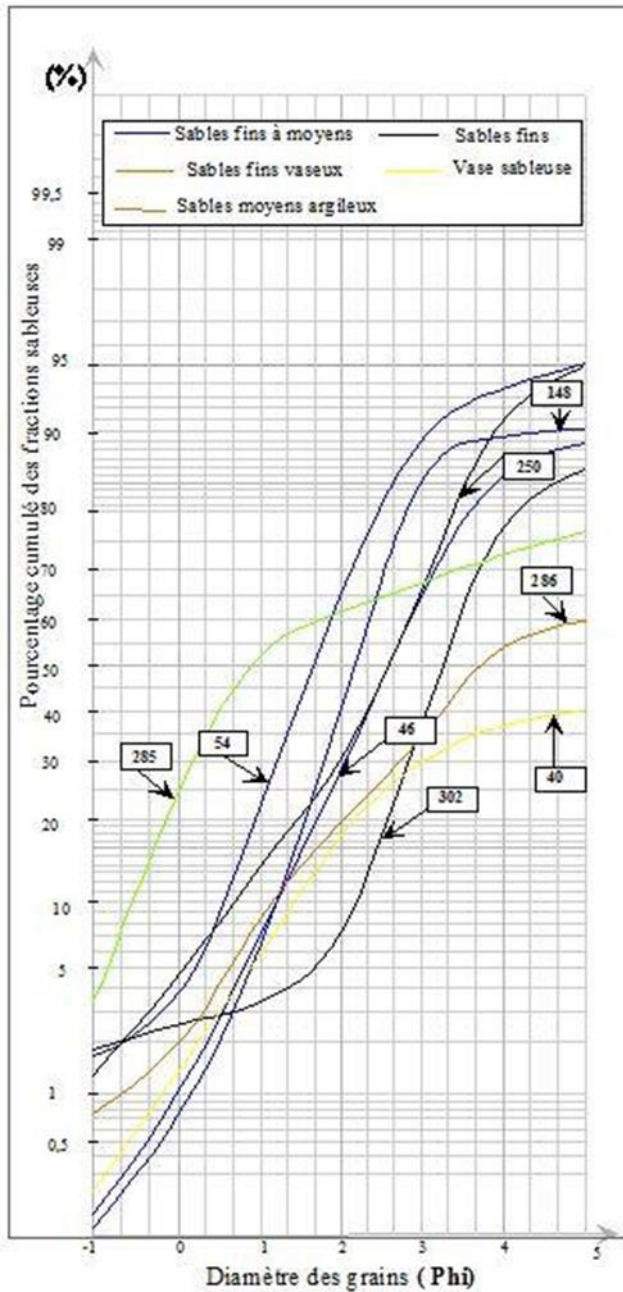


Figure 8: Courbes cumulatives des différents faciès sédimentaires dans le lac Ahémé

3.5. Analyse des faciès vaseux du lac Ahémé : évaluation des teneurs en matière organique (MO)

Les vases occupent l'axe central du lac Ahémé. Les pourcentages de sables sont inférieurs à 25 % ; ce qui ne permet pas d'évaluer les indices granulométriques.

Par contre, les teneurs en matière organique (MO) ont été déterminées par la méthode de la perte au feu. Les résultats montrent que les teneurs en MO des sédiments superficiels de l'axe central du lac Ahémé varient de 2,27 % à 12,5 % avec une moyenne de 5,87 % (Figure 7). Les sédiments analysés présentent majoritairement de fortes teneurs en MO, car les valeurs excèdent largement 4 % (entre 4% et 10%). Par ailleurs, les teneurs en MO comprises entre 2 et 3 % dénotent que le lac est moyennement pourvu en matière organique. De telles teneurs s'observent au Sud-Ouest du lac; alors que les secteurs à teneurs en MO comprises entre 3 et 4 % caractérisent les parties sud-ouest et sud-est du lac bien pourvus en MO (Figure 8). La teneur maximale en MO du sédiment (12,5 %) est observée au Nord du lac.

3.6. Facteurs de comblement du lac

Par son cadre géomorphologique, le lac Ahémé constitue un environnement sédimentaire original, qui illustre cependant, les phénomènes hydrologiques et sédimentologiques intervenant dans un milieu de mangrove en climat tropical humide. L'héritage à partir du continent est dominant. Les études antérieures ont montré que l'essentiel des matériaux détritiques (sables et argiles) du lac proviennent des plateaux de ses bordures. En effet, le lac Ahémé est très encaissé et les pentes souvent abruptes des plateaux favorisent l'érosion de ses derniers par les eaux de ruissellement à la faveur des zones dénudées (pratiques agricoles, agglomérations avec des toitures en tôle, nombreuses pistes menant dans ces agglomérations). Les nombreux ravins en bordure des pistes et le déchaussement des cocotiers et autres arbres observés dans les localités en sont très illustratifs (Oyédé et *al.*, 2007, Amoussou et *al.*, 2015, Amoussou et *al.*, 2016).

Bien que la problématique du comblement des milieux lagunaires s'inscrive dans l'évolution naturelle de tout plan d'eau plus ou moins fermé, il convient cependant de préciser que ce phénomène peut être aussi accéléré et/ou accentué par les activités anthropiques. Ainsi, les facteurs qui contribuent à la dégradation et au comblement des plans d'eau souvent liés à l'homme sont nombreux. Les techniques de pêche, notamment les Xha, les Acadja, les parcs à poisson freinent les courants d'eau en favorisant le dépôt des vases. Il y a également l'action des végétaux et des animaux qui enrichissent le milieu en matière organique.

Par ailleurs, les études sédimentologiques ont révélé que les apports du bassin versant du fleuve Mono et les apports d'origine marine prédominent

dans le lac (Oyédé 1983 ; Oyédé et *al.*, 2007 ; Roches International 2000 ; LCHF, 1987). Par contre, les apports sédimentaires du Couffo sont très insignifiants (Oyédé, 1983).

Au total, la construction des pistes et des agglomérations autour du lac ; certaines techniques de pêche ; les pratiques agricoles, le déversement des ordures dans le lac, l'érection du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono (Oyédé et *al.*, 2007 ; Badahoui 2010) sont les principaux facteurs anthropiques favorisant le comblement du lac Ahémé.

Conclusion

L'organisation sédimentaire dans le lac Ahémé montre des vases et vases sableuses dans l'axe central du plan d'eau, les sables étant localisés dans les bordures du lac. Les sables sont à dominance constitués de grains fins à moyens, tandis que les vases sont très riches en matière organique. Les fonds bathymétriques du lac Ahémé montrent un plan d'eau encaissé, à fond plat, avec des profondeurs moyennes comprises entre 1,6 et 2,4 mètres. L'analyse comparative des cartes sédimentologiques et bathymétriques des années successives, a montré que le lac se comble au fil des ans, particulièrement dans sa partie sud. Les très fortes teneurs en matière organique dénotent par ailleurs d'un état anoxique avancé du lac dû à une augmentation excessive de la demande en oxygène ; ce qui aggrave l'état d'envasement du lac. Il importe donc de veiller sur ce plan d'eau à travers un schéma directeur d'aménagement qui garantit une bonne maîtrise de l'hydrodynamisme des écoulements, gage du maintien de la santé hydrologique du lac.

Enfin, l'étude sédimentologique et bathymétrique montre que le régime hydrologique du lac Ahémé contrôle la dynamique sédimentaire du système. L'interaction entre régime hydrologique et dynamique sédimentaire définit une boucle de rétroaction morphodynamique qui se traduit par des phénomènes de comblement et de creusement, lesquels déterminent la variabilité de la bathymétrie des fonds.

Que le phénomène soit lié à une évolution naturelle ou aux activités humaines, les conséquences écologiques et économiques de ces modifications sont souvent considérables. De même, les processus entrant en jeu dans le comblement sédimentaire sont complexes et variés. C'est pourquoi, leur prise en compte à travers une vision pluridisciplinaire de gestion de ce plan d'eau, s'avère nécessaire afin de mieux cerner le phénomène et mettre en place des mesures durables qui limiteraient les impacts sur les sociétés.

References :

1. Abe, J., Bakayoro S., Bamba, S. et Cissoko, S. (1996). L'hydrologie de l'estuaire du Comoé à Grand Bassam (Côte d'Ivoire). Agronomie

- Africaine. Journal. Ivoirien d'Océanographie .et Limnologie. 8(3) 201-212.
2. Amoussou E., Totin H., Kaki, C., Houessou S., Houndénou C., Gil Mahe, Oyédé, L.M. et Blivi B. (2015). Evolution sédimentologique et dynamique des charges solides dans l'hydrosystème fluvio-lagunaire du sud-ouest du Bénin. Conférence Internationale sur l'Hydrologie des Grands Bassins Fluviaux de l'Afrique, Oct 2015, Hammamet, Tunisie. /hal-02146325.
 3. Amoussou, E., Kaki, C., Vissin W. E., Bamisso, R., Oyédé, L.M. (2016). Evolution sédimentaire et mutation des écosystèmes du lac Ahémé au sud-ouest. 7 (11) 192-203.
 4. Badahoui, A., Fiogbe, E. D., Boko, M. (2010). Les causes de la dégradation du lac Ahémé et ses chenaux. International. Journal. Biological. Chemical. Sciences, 4, 882-897.
 5. Castings, J. (2008). État de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires. Rapport de phase 1 Réseau de Suivi Lagunaire.pp100.
 6. Laibi R. Hounkpe, J. B., Kelome, N. C., et Oyédé, L. M. (2017). Evolution morpho-sédimentaire du lac Ahémé dans la zone margino littoral du Bénin, Annales des Sciences. Agronomiques du Bénin. 21(2), 247-261
 7. Guilcher, A. (1959). La region du Bas-Dahomey occidental. Etude de géographie physique et humaine appliquée. Institut Fondamental d'Afrique Noire T. XXI, Sér. B, n°3-4, pp 358-424Lackner & Partners (1983). Etude de l'ensablement de l'accès au port de Lomé. Rapport d'étude, Bremen, Ministère de l'Equipement, Lomé
 8. LCHF (1984). Projet Erosion Littorale du Togo. Rapport d'étude et propositions d'aménagement, Université de Lomé, 80 p.
 9. NEDECO. (1975). Erosion littorale sur la côte togolaise. Rapport d'étude. Ministère des travaux Publics, Lomé, 73 p.
 10. Oyédé, L. M. (1983). Un exemple de sédimentation bio détritique quaternaire dans le domaine margino-littoral en climat tropical humide : le lac Ahémé (Bénin-Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat de 3^e cycle en géologie sédimentaire de l'Université de Dijon, 171 p.
 11. Oyédé, L. M., Kaki, C., et Laibi, R. (2007). Environnement sédimentaire, morphologie et faciès du lac Ahémé dans le complexe lagunaire sud-ouest béninois. Annales des Sciences. Agronomiques du Bénin 9 (1), 75 - 98.
 12. Pliya, J. (1980). La pêche dans le sud-ouest du Bénin. Etude de géographie appliquée sur la pêche continentale et maritime. Paris : Acct, 296 p.

13. Roche International. (2000). Etude d'aménagement des plans d'eau du Sud Bénin : hydrologie et sédimentologie. Rapport préliminaire, 87 p.
14. Rossi, G. (1989). L'érosion du littoral dans le Golfe du Bénin : un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. Zeitschrift für Geomorphologie: Supplementbände, 73,139-165.
15. Rossi, R., & Antoine., P. (1990). Impacts hydrologiques et sédimentologiques d'un grand barrage : l'exemple de Nangbéto (Togo-Bénin). Revue de Géomorphologie, T XXXIX N°2-1990.
16. Sitarz, J.A. (1960). Côtes africaines : Etude des profils d'équilibre de plage. Trav. Centre d'Etude et de Recherche en Océanographie, T3, fasc. 4, pp.43-62.
17. SOMUSFOR. (2014). Étude de faisabilité du programme intercommunal de réhabilitation du complexe fluvio-lacustre du lac Ahémé et ses chenaux et de mise en place d'une zone de développement économique. Rapport Vol1 : Document principal, PIRA, Cotonou, 207 p.
18. N'guessan, A.Y., Adopo, K.L., Amani, M.E., Konan, K.B., Toure, M., Monde, S. et Aka, K. (2013). Etude bathymétrique, sédimentologique et environnement de dépôts des sables superficiels de la lagune de Fresco (zone ouest du littoral ivoirien). Journal of Asian Scientific Research, 2013, 3 (3)308-320.
19. N'guessan, A.Y., Wango, T.E., Konan, K.E., Adingra, A., Amani, M.E., Monde, S., Afian, K. et Aka, K. (2015). Hydrologie et morphologie de l'estuaire du fleuve Sassandra, Basse Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 11(2) 161-172

Lactate Clearance at 24 of Hours as Predictors of Outcome in Children with Shock

Dr. Bibhudatta Mishra, DNB, MNAMS, IDPCCM
Pediatric Intensivist At Jagannath Hospital, Odisha, India

Dr. Satyen Gyani, DCH, DNB, FNB
Pediatric Intensivist, Director At Pulse Hospital, India

Dr. Arjit Mohapatra, MD, DM (Neonatology)

Dr. Bishwajit Mishra, MD
Director At Jagannath Hospital, Odisha, India

Dr. Vidya Patawari, MD
Consultant At Jagannath Hospital, Odisha, India

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p99](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p99)

Submitted: 15 January 2021

Accepted: 04 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Mishra B., Gyani S., Mohapatra A., Mishra B. & Patawari V. (2021). *Lactate Clearance at 24 of Hours as Predictors of Outcome in Children with Shock*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 99. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p99>

Abstract

Background: Monitoring of tissue perfusion markers like lactate and its clearance is necessary for early recognition of shock in sick children which will enable the caregiver to initiate an appropriate and timely therapy.

Objective: To study the blood lactate clearance at 24 hours of admission and its prognostic importance in predicting the outcomes in children with shock.

Methods: This was a “prospective observational” study, conducted in NICU and PICU at Sparsh multispeciality hospital, Bhilai and Jagannath hospital, Bhubaneswar over 80 children presented with shock, from January 2018 to December 2020. Blood lactate level at admission and after 24 hours were evaluated and lactate clearance was compared with mortality. **Results:** In lactate clearance >20% group, mortality was only 3.8% wherein LC<20% group, mortality was 52.17%. In Lactate clearance < 10% group, inotropes (p-0.0002), ventilator support (p-0.0015) were needed more than Lactate clearance > 20% group. When initial lactate >6mmol/dl, 35% of neonates died in comparison to 11.76% in the group having initial lactate <6mmol/dl. The

average lactate clearance among the survivors was 28.35% and among the non-survivors was 5.73% ($P < 0.001$). AUC between lactate clearance and mortality was 0.73 suggestive of a good correlation. **Conclusion:** Lactate clearance of less than 10% at 24 hours of admission showed a good correlation in predicting the mortality in children with shock.

Keywords: Lactate, lactate clearance, morbidity, mortality, children with shock

Introduction

Lactate has been considered as a marker of tissue hypoxia and ischemia, hence reflects the microcirculatory status of the body. Normalization of blood lactate level is associated with improved survival in many studies conducted in adults (Aduen, J. 1994) as well as in children and newborns (Sauaia, A. 1994, Hebert, P. C et al 1993, Hatherill et al 1997). Lactic acid levels at the moment of the patient's admission to the ICU and its poor clearance have a positive correlation with the risk of death (Shimeet al 2001). Serial measurements of lactate concentrations are valuable in assessing the prognosis and response to treatment (VINCENT et al 1983).

Aims and objectives

To study the blood lactate clearance at 24 hours of admission as a predictor of mortality in sick children.

Material and Methods

Centre For Study- The study was conducted as a multicenter study at NICU and PICU of Sparsh multispecialty hospital, Bhilai and Jagannath Hospital, Bhubaneswar.

Period- January 2018 to December 2020

Type of Study- A “prospective observational” study conducted on data collected during the above-mentioned period from the intensive care units.

Inclusion Criteria- Sick children with shock, Age: day 1 to 1 year of life admitted to NICU and PICU, initial blood lactate > 2 mmol.

Exclusion Criteria- Neonates with congenital abnormalities, children with metabolic diseases, Children died within 24 hours of admission, went LAMA, Post-surgical cases.

Blood lactate levels were obtained as a baseline at admission to the intensive care unit and then at 24 h of intensive care unit stay. The lactate

clearance in the study is defined by the equation $([\text{lactate initial} - \text{lactate at 24 hrs}]/\text{lactate initial}) \times 100\%$. Lactate clearance was determined at 24 hrs of admission. The primary outcome measured was mortality. Secondary outcomes measured were the duration of mechanical ventilation, inotropic requirement, and duration of stay at ICU. The information collected was tabulated and the data was analyzed using the software SPSS 18 for windows. P-value <0.05 was taken as statistically significant.

Results

Among 80 sick patients, 64 survived and 16 deaths occurred. The weights of the enrolled patients were ranged from 0.90 to 11.98kgs with an average of 4.467 ± 0.70 kgs. Among the survivors, average day of stay was 8.35 ± 5.47 which was less than the non-survivors (11.36 ± 5.51 days).

Lactate at admission	Total No. of Patients	Mean lactate value	inotrope support	Death
2 –6mmol/dl	51(63.75%)	3.95 ± 1.14	25(49%)	6(11.76%)
6-10mmol/dl	18(22.5%)	7.74 ± 0.95	16(88.88%)	5(27.77)
>10mmol/dl	11(13.75%)	13.66 ± 2.95	10(90.90%)	5(45.45)
P value		0.0001	0.010	0.001

Table 1-lactate levels at admission and outcomes

Among the 51 patients having initial serum lactate value 2-6mmol/dl, 25 patients required inotrope and vasopressor support, death occurred in 11.76%. In 11 patients, where initial lactate was >10 mmol/dl, 90.90% of them required inotrope support and 5 of them did not survive.

Group	LAC-0	LAC-24	LC(%)
Survivor	5.41 ± 2.65	3.78 ± 1.73	28.35 ± 20.47
Non survivor	9.08 ± 5.57	9.57 ± 4.99	5.73 ± 11.71
P value	<0.001	<0.001	<0.001

Table 2- lactate clearance in survivors and non-survivors

Among the survivors, the average initial lactate was 5.41 ± 2.65 mmol/dl which was much less than the non-survivor group (9.08 ± 5.57). Mean lactate among the non-survivors was also high (9.57 ± 4.99). Mean lactate clearance at 24 hours among the survivors was 28.35% and among non survivors, it was only 5.73%.

LC	N	Death	RR	Mechanical ventilation	RR	I&V Support	RR	Duration of stay
<10%	29	14(48.27%)	12.31	26(89.65%)	1.43	25(86.20)	1.69	12.72±7.31
10-20%	9	1(11.11%)	0.52	4(44.44%)	0.58	3(33.33%)	0.49	7.77±3.52
>20%	42	1(2.38%)	0.06	28(66.66%)	0.88	23(54.76%)	0.74	9.97±4.04
P value	<0.001 HS		0.014		0.003		P=0.046	

Table 3-clinical outcomes of patients based on lactate clearance

In the group, lactate clearance less than 10% death occurred in 14 sick patients among 29. The relative risk was found to be 12.31. 26(89.65%) patients required mechanical ventilation with a relative risk of 1.43, 25(86.20%) patients required inotrope and vasopressor support. The duration of stay was 12.72 days. In the group where lactate clearance was 10% to 20%, only 1(11.11%) neonate died among 9 neonates. 4(44.44%) neonates required mechanical ventilation and 3(33.33%) of them required inotrope and vasopressor support. The mortality at lactate clearance more than 20% was only 2.38%, 28(66.66%) out of 42 patients required mechanical ventilation and 23(54.56%) required inotrope and vasopressor support. The duration of stay was 9.97 days.

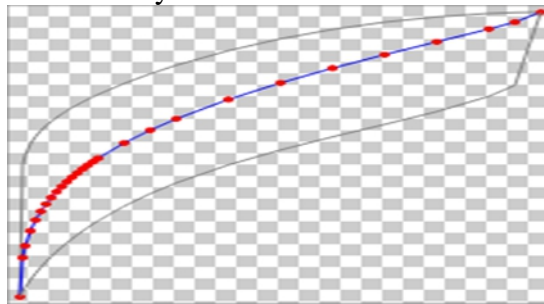


Figure 1-ROC curve between lactate clearance and outcome

ROC curve analysis for the 24-hour lactate clearance <10% showed an area under the curve (AUC) of 0.71 (P<0.05), suggesting that the 24-hour lactate clearance measurement had good strength as a predictor of outcomes.

LC in Metabolic Acidosis	Not survived	Survived	Total	Risk ratio	P-value
<20%	12(52.17%)	11(47.83%)	23(100%)	13.56	0.0092
>=20%	1(3.8%)	25(96.20%)	26(100%)		

Table 4- Lactate clearance in presence of metabolic acidosis

In presence of metabolic acidosis, lactate clearance $<20\%$ have 13.56 times more risk of not surviving than LC $\geq 20\%$. Only one patient did not survive with lactate clearance more than 20% with metabolic acidosis.

Discussion

Blood lactate levels up to 2mmol/L are considered normal for adult patients which are regarded as the reference value. Studies by Jat, K. Ret al (2011) have shown that Initial lactate values of more than 5 mmol /dl are significantly associated with negative outcomes in pediatric patients with septic shock. Deshpande et al (1997) found that serial measurements of blood lactate are more useful than a single value. Point measurement of serum lactate does not reflect the events that occur after 24 to 48 hours of hospitalization. Interpretation of single lactate measurements has limitations as an increased level might indicate other mechanisms of hyperlactatemia like increased lactate production via catecholamine-driven pathways or decreased lactate clearance due to hepatic dysfunction. This might not necessarily point towards the ongoing hypoperfusion or hypoxia. This study shows that patients presented in shock having initial serum lactate value 2-6mmol/dl, 49% of them required inotrope and vasopressor support, death occurred in 11.76%. On the other hand, among 11 patients whose initial lactate was >10 mmol/dl, 90.90% of them required inotrope support and death occurred in 45.45% of these patients. This suggests mortality and morbidity are significantly associated with higher initial lactate ranges. Among the survivor group, the average initial lactate was 5.41 ± 2.65 mmol/dl which was much less than the non-survivor group.

Clearance of the initial lactate level depends on both the disease process and ongoing intervention. This is a more promising than initial lactate level. Studies in adult patients with shock showed lactate clearance of $< 10\%$ was related to mortality. Marty et al (2013) suggested that during the first 24 hr in the ICU, lactate clearance was the best parameter associated with a 28-day mortality rate in septic patients. Out of 80 patients in our study, 64 survived and 16 died. Mean lactate clearance at 24 hours among the survivors was 28.35% and among non-survivors, it was only 5.73%. Those who died, could not clear their lactate well as compare to the survivors. Clearing lactate-directed therapy is being investigated among adults and the pediatric population. In septic patients, a lactate clearance directed therapy in the first 6 hours appeared as efficient as ScvO₂ by Jones et al (2010). Jansen et al (2010) suggested lactate clearance directed therapy at 8 hours reduced mortality rate in adult ICU population than who treated with standard therapy. The absence of lactate clearance to less than 20% after 8 hours of resuscitation leads to therapy intensification even in those who reach standard hemodynamically target in studies done by Well et al(1970). Less than 30 % clearance among

the pediatric population within the first 24 hours of admission correlated significantly with mortality as shown by Trzeciak et al(2007). In comparison to these studies, the present study demonstrates mortality was only 2.38% in the high lactate clearance group (>20%). Among the 29 sick patients having lactate clearance less than 10%, death occurred in 48.27% which was significantly higher than the lactate clearance>20%. ROC curve analysis for the 24-hour lactate clearance <10% showed an area under the curve (AUC) of 0.71 (P<0.05), suggesting that the 24-hour lactate clearance measurement has good strength as a predictor of outcomes. In presence of metabolic acidosis, the lactate clearance <20% has 13.56 times more risk of not surviving than LC >20%. Only one patient didn't survive with lactate clearance more than 20% with metabolic acidosis due to complications related to viral myocarditis.

Kapoor et al (2016) suggested that patients with lactate clearance of more than 10% from its baseline value in 6 hours, required less ventilator support, less inotrope, and vasopressor therapy, and had less duration of ICU stay. In the present study, 26 (89.65%) patients required mechanical ventilation, 25(86.20%) patients required inotropes and vasopressor support in the low lactate clearance group(<10%) which is significantly higher than sick children who cleared lactate >10% at 24 hours. High lactate clearance may indicate a resolution of hypoxia at the cellular level. As demonstrated here, lactate clearance at 24 hours seems to be a sensitive parameter to predict negative outcomes.

Conclusion

The prognostic value of serial serum lactate monitoring at 24 hours for predicting morbidity and mortality in children with shock is confirmed in this study. The initial hyperlactatemia (>6mmol/dl) is significantly associated with mortality and a higher need for mechanical ventilation, inotrope support, and prolonged stay. Lactate clearance was significantly higher in the survivor group. Lactate clearance of less than 10% or an increase in lactate value at 24 hours could predict mortality in children with shock. High Lactate clearance (>20 %) at 24 hours of admission can be used as a marker of a good outcome with a good correlation irrespective of diagnosis. In presence of metabolic acidosis, lactate clearance <20% has 13.56 times more risk of not surviving than LC >=20%. This study recommends lactate clearance can be used for stratifying mortality risk among children with shock.

References:

1. Aduen, J. (1994). The use and clinical importance of a substrate-specific electrode for rapid determination of blood lactate concentrations. JAMA: The Journal of the American Medical

- Association, 272(21), 1678–1685.
<https://doi.org/10.1001/jama.272.21.1678>
2. Sauaia, A. (1994). Early Predictors of Postinjury Multiple Organ Failure. *Archives of Surgery*, 129(1), 39.
<https://doi.org/10.1001/archsurg.1994.0142025005100>
 3. Hebert, P. C., Drummond, A. J., Singer, J., Bernard, G. R., & Russell, J. A. (1993). A Simple Multiple System Organ Failure Scoring System Predicts Mortality of Patients Who Have Sepsis Syndrome. *Chest*, 104(1), 230–235.
<https://doi.org/10.1378/chest.104.1.230>
 4. Hatherill, M., Sajjanhar, T., Tibby, S., Champion, M., Marsh, M. J., & Murdoch, L. A. (1997). Serum lactate: a poor predictor of postoperative mortality in paediatric cardiac surgery. *Critical Care*, 1(Suppl 1), P111. <https://doi.org/10.1186/cc89>
 5. Shime, N., Ashida, H., Hiramatsu, N., Kageyama, K., Katoh, Y., Hashimoto, S., & Tanaka, Y. (2001). Arterial ketone body ratio for the assessment of the severity of illness in pediatric patients following cardiac surgery. *Journal of Critical Care*, 16(3), 102–107.
<https://doi.org/10.1053/jcrc.2001.28786>
 6. VINCENT, J. E. A. N.-L. O. U. I. S., DUFAYE, P. H. I. L. I. P. P. E., BERRÉ, J. A. C. Q. U. E. S., LEEMAN, M. A. R. C., DEGAUTE, J. E. A. N.-P. A. U. L., & KAHN, R. O. B. E. R. T. J. (1983). Serial lactate determinations during circulatory shock. *Critical Care Medicine*, 11(6), 449–451. <https://doi.org/10.1097/00003246-198306000-00012>
 7. Jat, K. R., Jhamb, U., & Gupta, V. K. (2011). Serum lactate levels as the predictor of outcome in pediatric septic shock. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, 15(2), 102–107.
<https://doi.org/10.4103/0972-5229.83017>
 8. Deshpande, S. A., & Platt, M. P. W. (1997). Association between blood lactate and acid-base status and mortality in ventilated babies. *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition*, 76(1), F15–F20. <https://doi.org/10.1136/fn.76.1.f15>
 9. Marty, P., Roquilly, A., Vallée, F., Luzi, A., Ferré, F., Fourcade, O., Asehounne, K., & Minville, V. (2013). Lactate clearance for death prediction in severe sepsis or septic shock patients during the first 24 hours in Intensive Care Unit: an observational study. *Annals of intensive care*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-3-3>
 10. Jones, A. E. (2010). Lactate Clearance vs Central Venous Oxygen Saturation as Goals of Early Sepsis Therapy A Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 303(8), 739. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.158>

11. Jansen, T. C., van Bommel, J., Schoonderbeek, F. J., Sleswijk Visser, S. J., van der Klooster, J. M., Lima, A. P., Willemsen, S. P., & Bakker, J. (2010). Early Lactate-Guided Therapy in Intensive Care Unit Patients. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 182(6), 752–761. <https://doi.org/10.1164/rccm.200912-1918oc>
12. WEIL, M. A. X. H. A. R. R. Y., & AFIFI, A. B. D. E. L. M. O. N. E. N. A. (1970). Experimental and Clinical Studies on Lactate and Pyruvate as Indicators of the Severity of Acute Circulatory Failure (Shock). *Circulation*, 41(6), 989–1001. <https://doi.org/10.1161/01.cir.41.6.989>
13. Trzeciak, S., Dellinger, R. P., Chansky, M. E., Arnold, R. C., Schorr, C., Milcarek, B., Hollenberg, S. M., & Parrillo, J. E. (2007). Serum lactate as a predictor of mortality in patients with infection. *Intensive care medicine*, 33(6), 970–977. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0563-9>
14. Kapoor, P. M., Ladha, S., Singh, S. P., Kiran, U., & Chowdhury, U. K. (2016). The role of blood lactate clearance as a predictor of mortality in children undergoing surgery for tetralogy of Fallot. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 19(2), 217. <https://doi.org/10.4103/0971-9784.179589>



Portage Digestif des Bêta-Lactamases à Spectre Élargi Chez Quelques Patients de l'hôpital de la Caisse Nationale de Prévoyance Sociale de Maroua (Cameroun)

Justine Maïworé

Département des Sciences de la Vie et de la Terre,
Université de Maroua, Ecole Normale Supérieure, Maroua, Cameroun

Martin-Paul Baane

Laboratoire de l'hôpital de la caisse Nationale de Prévoyance Sociale,
Maroua, Cameroun

Daouda Youssouf

Jean Bole

Felicien Yvelin Nympeye Nango

Département des Sciences de la Vie et de la Terre,
Université de Maroua, Ecole Normale Supérieure, Maroua, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p107](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p107)

Submitted: 10 July 2020

Accepted: 09 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Maïworé J., Baane M-P., Youssouf D., Bole J. & Nango F.Y.N. (2021). *Portage Digestif des Bêta-Lactamases à Spectre Élargi Chez Quelques Patients de l'hôpital de la Caisse Nationale de Prévoyance Sociale de Maroua (Cameroun)*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 107. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p107>

Résumé

La prise d'antibiotiques mal conservés et le non-respect de leur posologie et diverses contaminations peuvent être à l'origine de la résistance bactérienne. L'objectif de cette étude est d'évaluer le portage digestif des bêta-lactamases à spectre élargi chez les patients de l'hôpital de la CNPS (Caisse Nationale de Prévoyance Sociale) de Maroua au Cameroun. Les bactéries du tube digestif ont été cultivées sur gélose Müller Hinton contenant des disques de céphalosporine de 3^{ème} génération (céftriaxone) et incubés à 37°C pendant 18 à 24 heures. Les bactéries résistantes ont ensuite été retenues, caractérisées et identifiées par utilisation des galeries API 20E. Les souches productrices de bêta-lactamases à spectre élargi ont ensuite été détectées par la technique de double synergie. Les résultats ont révélé que parmi les patients reçus, la

tranche d'âge de 20-30 ans était la plus représentée et 93% des patients avaient déjà pris des antibiotiques. Les bactéries telles que : *Erwingella americana*, *Pantoea ssp*, *Serratia fumitica*; *Providencia stuartii*, *Salmonella spp*, *Kluyvera spp*, *Cedecea spp*, *Klebsiella ozaenae*, *Vibrio cholerae* et *Pseudomonas spp* ont été identifiées. Une forte résistance des souches identifiées a été observée vis-à-vis des antibiotiques suivants : l'amoxicilline (88,22%), le céftriaxone (88,22%), l'amoxicilline/acide clavulanique (82,35%), le céftaxidime (76,47%) et le céfotaxime (70,59%). Dans l'ensemble, la prévalence des Bêta-lactamases à spectre élargi est très élevée parmi les malades fréquentant l'hôpital de la CNPS de Maroua (Cameroun).

Mots clés : Antibiotiques, β -lactamases à spectre élargi, Entérobactéries, Maroua (Cameroun), Portage digestif

Fecal Carriage of Extended Spectrum Beta-Lactamase Among Some Patients of the Hospital of the Caisse Nationale de Prévoyance Sociale in Maroua (Cameroon)

Justine Maiworé

Département des Sciences de la Vie et de la Terre,
Université de Maroua, Ecole Normale Supérieure, Maroua, Cameroun

Martin-Paul Baane

Laboratoire de l'hôpital de la caisse Nationale de Prévoyance Sociale,
Maroua, Cameroun

Daouda Youssouf

Jean Bole

Felicien Yvelin Nympeye Nango

Département des Sciences de la Vie et de la Terre,
Université de Maroua, Ecole Normale Supérieure, Maroua, Cameroun

Abstract

Taking poorly stored antibiotics and not respecting their dosage and various contaminants can cause bacterial resistance. The aim of this study was to evaluate the digestive carriage of beta-lactamases with an extended spectrum in patients attending the Hospital of the Medico-social Center of the CNPS (Casse Nationale de Prevoyance Sociale) in Maroua (Cameroon). Bacteria from the digestive tract were isolated on Müller Hinton agar containing 3rd generation cephalosporin (ceftriaxone) discs and incubated at 37°C for 18-24 hours The resistant bacteria were then retained, characterized and identified using API 20E galleries. Broad spectrum beta-lactamase

producing strains were then detected using the double synergy technique. The results revealed that among the patients received, the 20-30 year age group was the most represented and 93% of the patients had already taken antibiotics. Among the microorganisms isolated in the inhibition zone, 23 strains were Gram negative and 35 Gram positive. Bacteria such as: *Erwingella americana*, *Pantoea spp*, *Serratia fumitica*; *Providencia stuartii*, *Salmonella spp*, *Kluyvera spp*, *Cedecea spp*, *Klebsiella ozaenae*, *Vibrio cholerae* and *Pseudomonas spp*. have been identified. A Strong resistance of the identified strains was observed against the following antibiotics: amoxicillin (88.22%), ceftriaxone (88.22%), amoxicillin/clavulanic acid (82.35%), ceftaxidime (76.47%) and cefotaxime (70.59%). Overall, the prevalence of extended spectrum beta-lactamases is very high among patients attending the CNPS hospital in Maroua (Cameroon).

Keywords: Antibiotics, Digestive carriage, Enterobacteriaceae, Extended spectrum β -lactamases, Maroua (Cameroon)

Introduction

Les infections bactériennes représentent 70% des cas de mortalités causées par les microorganismes (Walsh, 2003 ; Kemeze *et al.*, 2016). Les maladies infectieuses représentent ainsi la seconde cause de décès et la première cause de perte de productivité au sein de la population active, à travers le monde (OMS 2006 ; Delmont *et al.*, 2016). Les antibiotiques font partie des molécules les plus prescrites dans la lutte contre les bactéries pathogènes notamment en Afrique (Ouedraogo et al., 2017). Parmi ces antibiotiques, les bêta-lactamines représentent la famille la plus développée et la plus utilisée (Aminov, 2010 ; Challan, 2016). Cette forte utilisation des bêta-lactamines est due à leur large spectre, leur faible toxicité et leur efficacité (Gangoué, 2007). Pour ainsi poursuivre leur développement, les entérobactéries produisent deux (02) types de résistances face aux différents antibiotiques : une résistance naturelle et une résistance acquise. Les différentes formes de résistances bactériennes sont à l'origine de l'apparition des formes émergentes à l'instar des bactéries productrices de BLSE (bêta-lactamase à spectre élargi) pour résister à la bêta-lactamine (Ouedraogo et al., 2017). Ceci représente le problème majeur rencontré dans la prise en charge thérapeutique (Ouedraogo et al., 2017).

Au cours des deux dernières décennies, les agents pathogènes résistants aux antibiotiques tels que certaines entérobactéries sont devenus un sérieux problème de santé publique. Une des raisons de l'augmentation de cette résistance pourrait résider dans l'utilisation préventive et thérapeutique d'antibiotiques chez les animaux dont les produits sont consommés par l'Homme (Corpet, 2000, Muller, 2017).

A Maroua, la population consomme de la viande d'animaux issus des élevages dans lesquels, pour maintenir les bêtes en santé, l'usage des antibiotiques est courant. Les bactéries résistantes aux antibiotiques (bêta-lactamases à spectre élargi) rencontrées dans les aliments et dans l'environnement peuvent entrer dans la chaîne alimentaire et contaminer le tube digestif du consommateur (Maiworé *et al.*, 2020 ; Lévi, 2006 ; Cantas *et al.*, 2013). Un autre facteur d'apparition de résistance chez l'homme est lié aux antibiotiques eux-mêmes et non aux bactéries. La prise des antibiotiques mal conservés et le non-respect de leur posologie (dose et durée du traitement) peuvent être à l'origine de la résistance bactérienne. Ces phénomènes étant très observés dans notre localité, quelle peut être la prévalence du portage digestif des bêta-lactamases à spectre élargi chez les individus ? Pour évaluer cette prévalence des bêta-lactamases à spectre élargi chez ces populations, nous nous sommes fixés pour objectif de déterminer le portage digestif des bêta-lactamases à spectre élargi chez les patients fréquentant l'hôpital du Centre Médico-social de la CNPS de Maroua.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Site d'étude

Cette étude a été réalisée dans la ville de Maroua, chef-lieu de la région de l'Extrême-Nord Cameroun. Maroua est située entre 10°35'- 10°85' latitude Nord et 14°14'-14°19' longitude Est avec une altitude moyenne de 423m. Cette ville abrite en son sein l'hôpital de la Caisse Nationale de Prévoyance Social (CNPS) qui représente notre site d'étude. La population de la ville de Maroua est estimée à 272.000 habitants qui représentent 10,6% de la population de l'Extrême-Nord et les 1,7 % de celle du Cameroun.

2.2. Matériel biologique

Avant chaque prélèvement les informations telles que l'âge, le sexe et la fréquence d'utilisation des antibiotiques ont été recueillies. Le matériel biologique est constitué de 30 échantillons de selles provenant des patients venus de l'extérieur ou ceux hospitalisés (dès leur internement dans le service de Médecine générale). Le point commun entre les patients est qu'ils avaient des problèmes de santé et les examens de selles leur ont été prescrits. A l'aide d'un flacon-cuillère, l'équivalent d'une noix de selles fraîches émises par le patient a été transféré, dans un pot stérile. Ces différents flacons ont ensuite été transportés au laboratoire, étiquetés et conservés au frais dans un réfrigérateur puis analysés dans les deux heures qui suivent le prélèvement.

2.3. Préparation de l'inoculum et isolement des bactéries résistantes aux antibiotiques

Avant l'isolement des bactéries, à l'aide d'une anse de platine, une pincée de selles fraîches a été prélevée puis écrasée contre la paroi du tube en verre contenant au préalable 3mL d'eau distillée. Après homogénéisation pendant quelques secondes un bouillon prêt à être ensemencé a été obtenu.

L'ensemencement s'est fait par écouvillonnage et a consisté à prélever une quantité de bouillon à l'aide d'un écouvillon et à l'étaler à la surface de la gélose Müller Hinton. Un disque de céphalosporine de 3^{ème} génération (céftriaxone) a été déposé sur la gélose et l'ensemble incubés à 37°C pendant 18 à 24 heures dans une étuve. Le disque de céftriaxone permet d'isoler les souches bactériennes résistantes ou intermédiaires à cet antibiotique. En effet l'antibiotique diffuse radialement dans le milieu et la croissance d'une bactérie s'arrête dans la zone où la concentration d'antibiotique est supérieure à son seuil de résistance. Il se forme autour du disque un halo de diamètre plus ou moins grand. Cette zone peut contenir des tapis bactériens (résistants à l'antibiotique) ou non. Pour la suite de cette étude, les bactéries résistantes ont été retenues pour l'identification. La figure 1 ci-dessous nous permet d'observer une zone de halo d'inhibition.

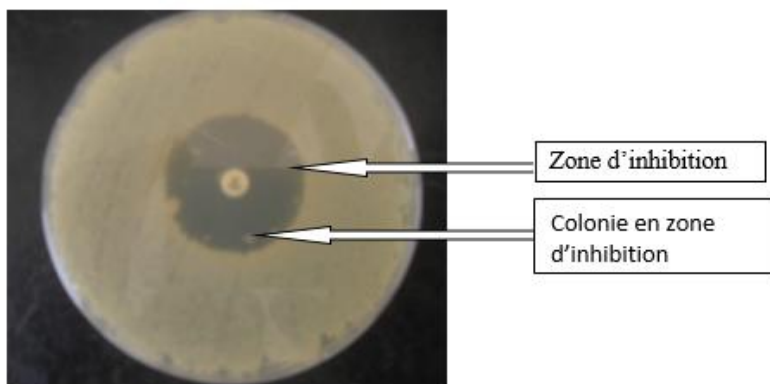


Figure 1 : Halo d'inhibition

2.4. Caractérisation et identification des souches isolées

Après incubation, des bactéries ont été observées. Autour des disques d'antibiotiques se sont formés des halos d'inhibition de diamètre plus ou moins grands. Cette zone peut contenir des tapis bactériens (résistants à l'antibiotique) ou non (Figure 1). Pour la suite du travail, seules les bactéries résistantes (celles présentes dans la zone d'inhibition) ont été retenues. La production des bêta-lactamases à spectre élargi est observée essentiellement chez les bactéries Gram négatif. Pour cette raison, seules ces dernières ont été retenues. Avant l'identification, les souches retenues ont tout d'abord été purifiées par des repiquages sur la gélose CLED (Cystine Lactose Électrolyte

Déficient), milieu non sélectif permettant d'isoler les colonies bactériennes. Les bactéries ont ensuite été caractérisées en effectuant la coloration de Gram (Cheesbrough, 2006).

En vue de leur identification, les souches bactériennes sélectionnées ont été cultivées sur des galeries API 20E. Pour cela, un inoculum a été préparé : à l'aide d'une pipette pasteur, une colonie pure a été introduite dans un tube en verre contenant 3 ml d'une solution physiologique (NaCl 8,5‰). Après homogénéisation la suspension bactérienne obtenue a été ensemencée sur les galeries API. Après incubation à 37°C pendant 24h, les résultats ont été observés. La lecture repose sur le changement de la coloration initiale des différents milieux : le test est positif lorsqu'il y a virage de la coloration initiale. On obtient alors un code qui nous permet d'identifier la souche bactérienne en question par le biais de la base de données Api 20E.

2.5. Détection des BLSE

2.5.1. Test de double synergie (Drieux *et al.*, 2008)

Le test de double synergie a été utilisé pour déterminer les souches bactériennes productrices des BLSE. Ainsi, à l'aide d'une colonie prélevée sur la gélose C.L.E.D, un milieu Mac Farland 0,5 a été préparé et a servi à ensemencer le milieu Muller-Hinton. C'est sur ce milieu que sont déposés, à 30 mm de distance centre à centre, les disques d'antibiotiques. Autour d'un disque amoxicilline + acide clavulanique les disques de céftriaxone, céftazidime, céfotaxime et aztréoname ont été disposés comme décrit par Gangoué, 2007. En plus de ces disques, les disques d'imipénème et d'amoxicilline ont été ajoutés. Après une nuit dans une étuve, le résultat est déclaré positif si on assiste à une augmentation de la zone d'inhibition autour du disque contenant la céftriaxone, en direction du disque porteur d'acide clavulanique. En d'autres termes, c'est l'augmentation de la zone d'inhibition obtenue pour une céphalosporine en présence d'acide clavulanique, par rapport à la zone d'inhibition d'une céphalosporine seule, qui indique la présence d'une BLSE. Un test de synergie positif donne donc une image caractéristique, en «bouchon de Champagne» (effet potentialisateur de l'acide clavulanique) (Davison *et al.*, 2000). La figure 2 présente la disposition des antibiotiques sur le milieu Muller Hinton.

Une fois les bêta-lactamases à spectre élargi détectées, l'interprétation de leur sensibilité vis-à-vis de l'antibiotique a été réalisée selon les critères du Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie. Les différents résultats ont été classés en sensible (S), intermédiaire (I) et en résistant (R). Pour faciliter l'analyse des données les souches intermédiaires ont été considérées comme résistantes.

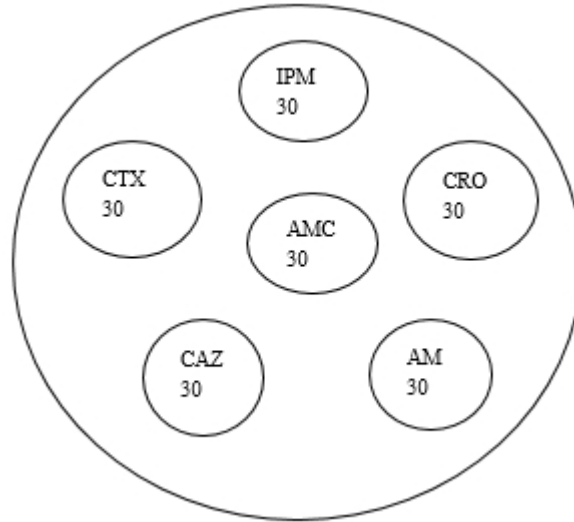


Figure 2 : Disposition des disques d’antibiotiques pour le test de double synergie.
 CTX : cefotaxime ; AMC : amoxicilline +acide clavulanique ; CAZ : céftazidime ;
 IPM : imipénème ; CRO : céftriaxone ; AM : amoxicilline ; 30 : charge de chaque
 antibiotique

3. Resultats

3.1 Caractérisation des sujets ayant été impliqués dans l’étude

3.1.1. Age, sexe et prise des antibiotiques chez les patients

➤ L’âge

La caractérisation des populations étudiées a été faite sur la base de l’âge, du sexe et des antécédents de prise d’antibiotiques. La répartition en fonction de l’âge des individus étudiés, a permis d’obtenir le tableau 1. La tranche d’âge la plus touchée est celle de 20-30 avec 09 patients soit 30% suivie de celle allant de 31-40 avec 08 patients soit 26,66%.

Tableau 1 : Représentation des patients en fonction de leurs âges

Intervalle d’âge	Effectifs	Pourcentages
0-10 ans	07	23,33
11-20 ans	01	03,33
21-30 ans	09	30
31-40 ans	08	26,66
41-50 ans	04	13,33
50 ans et plus	01	03,33
TOTAL	30	100

Le sexe

Une répartition des patients en fonction du sexe a aussi été réalisée. Les résultats de cette analyse sont consignés dans le tableau 2. L’analyse de ce tableau révèle une prédominance du sexe féminin avec 63% contre 27% pour le sexe masculin soit un *sex-ratio* 1 homme pour 2,33 femmes.

Tableau 2 : Représentation des patients en fonction du sexe

Sexe de patients	Effectifs	Pourcentages
Féminin	19	63
Masculin	11	37
TOTAL	30	100

➤ **Prise des antibiotiques**

Une répartition des patients en fonction de la prise antérieure d'antibiotiques a été réalisée et les résultats obtenus ont permis de répartir les malades en deux groupes. Un premier groupe constitué 93% d'individus et un second groupe constitué de 7% de patients dont l'âge est compris entre 0-10 ans.

3.2. Répartition des germes selon leurs caractères morphologiques

Chez les 30 patients étudiés, au total 58 souches bactériennes ont été isolées. Elles sont constituées de 23 souches à Gram- et de 35 souches à Gram+ (Figure 3).

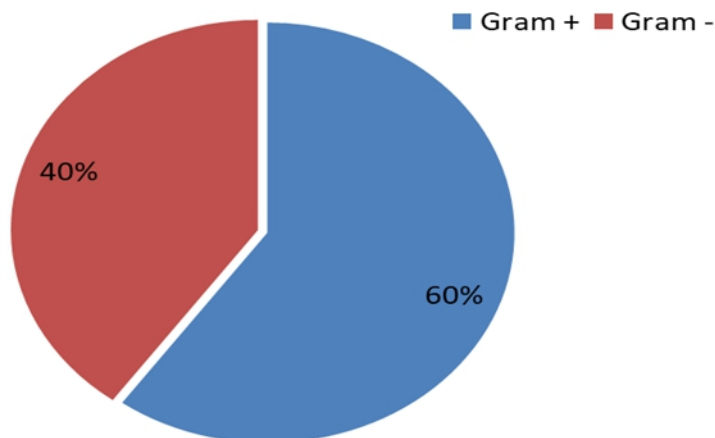


Figure 3 : Représentation des souches selon la coloration de Gram

Des 58 souches sensibles au céftriaxone isolées figurent 23 souches de bactéries à Gram- (soit 40%) contre 35 souches à Gram+ (soit 60%). Il y'a ainsi une forte représentation des souches à Gram+ qui n'ont présenté aucun intérêt pour cette étude. Les résultats obtenus ont également révélé que, parmi les 23 souches Gram négatif isolées, 17 entérobactéries ont été identifiées, avec un pourcentage de 73,91% (Tableau 3), ce sont : *Erwingella americana*, *Pantoea spp*, *Serratia funitica*, *Providencia stuartii*, *Salmonella spp*, *Kluyvera spp*, *Cedecea spp* et *Klebsiella ozaenae*. L'analyse du tableau 3 révèle également la présence de 2 souches non-enterobactéries parmi lesquelles figurent : *Vibrio cholerae* et *Pseudomonas spp*. *V. cholerae* est le plus souvent responsable de toxi-infections alimentaires chez l'Homme.

Tableau 3 : Répartition des entérobactéries et les non entérobactéries isolés

Germes isolés	Effectifs	Pourcentage	Total des pourcentages
Entérobactéries			73,96
<i>Erwingella americana</i>	2	8,69	
<i>Pantoea ssp</i>	3	13,04	
<i>Serratia fumitica</i>	2	8,69	
<i>Providencia stuartii</i>	3	13,04	
<i>Salmonella spp</i>	2	8,69	
<i>Kluyvera spp</i>	2	8,69	
<i>Cedecea spp</i>	2	8,69	
<i>Klebsiella ozaenae</i>	1	4,35	
Non Entérobactéries			26,04
<i>Vibrio cholerae</i>	3	13,04	
<i>Pseudomonas spp</i>	3	13,04	
Total	23	100	100

3.3 Sensibilité aux antibiotiques

La sensibilité des entérobactéries aux différents antibiotiques utilisés est représentée dans le Tableau 4. L'analyse de ce tableau révèle une forte résistance des souches à l'amoxicilline/acide clavulanique (82,35%), au céftriaxone (88,22%), au céftaxidime (76,47%), au céfotaxime (70,59%) et à l'amoxicilline (88,22%). Seul l'Imipenème montre une forte sensibilité (88,22%). Les résultats de la sensibilité ont montré que généralement les entérobactéries présentent un taux de résistance aux antibiotiques très élevé.

Tableau 4 : Sensibilité des entérobactéries aux différents antibiotiques utilisés

Nom de l'antibiotique	Valeurs critiques	Nombre de souches	Sensibilité (%)		
			R	I	S
Amoxicilline/Acide clavulanique	14-21	17	82,35	11,76	5,89
Imipenème	17-21	17	5,89	5,89	88,22
Céftazidime	15-21	17	76,47	17,64	5,89
Céfotaxime	15-21	17	70,59	11,76	17,64
Céftriaxone	15-21	17	88,22	11,78	00,00
Amoxicilline	14-21	17	88,22	00,00	11,78

R : résistant ; **I** : intermédiaire ; **S** : sensible

3.4. Profil de résistance de différentes entérobactéries et Détection des Bêta-lactamases à spectre élargi.

Pour établir le profil de résistance, les souches intermédiaires ont été considérées comme résistantes aux antibiotiques. Selon la sensibilité respective aux antibiotiques suivants Amoxicilline/Acide clavulanique, Imipenème, Céftazidime, Céftriaxone, et l'amoxicilline, différents profils de résistance ont été établis (Tableau 5).

Tableau 5 : Profils de résistance des entérobactéries isolés.

Profil de Résistance	Nombre de Colonies	Colonies présentant le profil	Pourcentage
RSRRRR	17	13	76,47
RRRRSR	17	2	11,76
RSSRRR	17	1	5,89
RRRRRR	17	1	5,89

R : résistant ; **S** : sensible ; **RSRRRR** : sensible au 2^e antibiotique et résistant aux autres ; **RRRRSR** : sensible au 5^e antibiotique et résistant aux autres ; **RSSRRR** : sensible aux 2^e et 3^e antibiotiques et résistant aux autres ; **RRRRRR** : résistant à tous les antibiotiques.

L'analyse du tableau 5 montre une prédominance du profil de résistance RSRRRR à 76,47% soit 13/17 colonies. Ce profil de résistance correspond au profil de résistance des bêta-lactamases à spectre élargi qui est confirmés par le test de double synergie. La prévalence du phénotype BLSE chez les entérobactéries isolées est présentée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Prévalence du phénotype BLSE chez les entérobactéries isolées

Entérobactéries isolées	Nombre analysé	Nombre présentant le phénotype BLSE	Pourcentage
<i>Erwingella americana</i>	2	1	50,00
<i>Pantoea spp</i>	3	2	66,66
<i>Serratia fumitica</i>	2	1	50,00
<i>Providencia stuartii</i>	3	2	66,66
<i>Salmonella spp</i>	2	2	100,00
<i>Kluyvera spp</i>	2	2	100,00
<i>Cedecea spp</i>	2	2	100,00
<i>Klebsiella ozaenae</i>	1	1	100,00
Total	17	13	76,47

En tenant compte de toutes les souches bactériennes isolées, la prévalence des Bêta-lactamases à spectre élargi est de 22,41% (13/58) ; et lorsqu'on tient compte uniquement des entérobactéries elle est de 76,47% (13/17).

Discussion

Au cours de cette étude, les tranches d'âge les plus concernées par la prise d'antibiotiques sont celles de 20 à 30 et 31 à 40. Cette forte représentation de ces 2 tranches d'âge peut s'expliquer par une activité sexuelle élevée autour de ces âges car ces personnes généralement plus exposées à certaines infections sexuellement transmissibles ont recours aux antibiotiques par automédication ou par prescription pour se soigner. Cette forte représentation peut aussi s'expliquer par le fait que ces personnes font partie de la tranche active de la société, soucieuse de sa santé et ayant déjà une source de revenus. Ces résultats approchent ceux de Zomahou (2004) et de Podie (1999) qui ont trouvé que la tranche d'âge la plus représentée dans leurs travaux était respectivement celle de 25-39 ans et 20 à 50 ans à Cotonou.

Parmi ces personnes les femmes sont plus représentées avec 63%. Cette forte représentation du sexe féminin peut s'expliquer par la brièveté de l'urètre, la proximité entre l'orifice urinaire et l'orifice vaginal. En effet l'urine qui est le produit pathogène qui détient le plus de germes (Gangoué, 2007), peut permettre la transmission des germes vers l'orifice anal. En plus de ceci nous pouvons ajouter les grossesses, l'utilisation des gels spermicides et même des rapports sexuels qui peuvent contribuer à la dissémination de ces germes chez les femmes. Ces résultats concordent avec ceux de Podie (1999) réalisés à Cotonou au Bénin.

Parmi les personnes impliquées dans cette étude, 93% avaient déjà pris des antibiotiques. Cette consommation excessive des antibiotiques par les patients peut s'expliquer par le large éventail de produits qu'offrent les antibiotiques, la facilité d'approvisionnement, la vente illicite au marché à moindre coût, l'utilisation des pénicillines en première intention dans les maladies infectieuses et surtout de l'émergence de la résistance bactérienne. Ces résultats confirment ceux de Sissoko (2000) à Bamako qui présente une utilisation des antibiotiques à 90% par les patients dans son étude.

Des 58 souches sensibles au céftriaxone isolées, les bactéries Gram + représentaient 60%. Cette forte représentation se traduit par le fait que les bactéries Gram positif présentent une forte résistance aux bêta-lactamines due à la structure de leur paroi. En effet en présence des bêta-lactamines, ces bactéries ferment leurs pores pour empêcher leur entrée dans la cellule. Parmi les souches Gram négatif isolées qui représentaient 30% des bactéries, 17 entérobactéries ont été identifiées. Leur présence s'explique par le fait que les entérobactéries sont des hôtes obligatoires du tube digestif de l'Homme et des animaux. Parmi les bactéries identifiées, figurent *Vibrio cholerae* et *Pseudomonas spp.*, 2 souches non-enterobactéries. Les sérotypes de *V. cholerae* épidémiques pour l'Homme sont les sérotypes O1 et O139 sont majoritairement retrouvés dans les eaux stagnantes dans les pays en voie de développement (Helsens, 2018). *Pseudomonas aeruginosa* par contre a des sources de contamination humaine multiples, et peut être responsable d'infections graves. Cette bactérie présente une résistance naturelle à de nombreux traitements antibiotiques (Tzika, 2015).

Le test de résistance aux antibiotiques a révélé que la plupart des entérobactéries isolées présentent une forte résistance à tous les antibiotiques utilisés sauf à l'Imipénème avec un taux de résistance de 5,89%. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Gangoué (2007) à l'hôpital central de Yaoundé. Ce taux de sensibilité aux antibiotiques des entérobactéries est plus élevé que ceux généralement obtenus dans les pays en développement ceci peut s'expliquer par l'utilisation accrue et incontrôlées des bêta-lactamines dans ces pays. La détermination du profil de résistance a révélé une prédominance du profil RSRRRR avec une prévalence des Bêta-lactamases à

spectre élargi élevée chez les entérobactéries isolées, soit 13 espèces sur les 17 identifiées. Ces résultats concordent avec ceux de Mirabaud (2003) à Genève sur les BLSE en pédiatrie qui a eu une prévalence des BLSE à 100% avec le test de double synergie et à ceux de Ndiaye (2005) au CHN (Centre hospitalier National de Fann) qui a rapporté une prévalence des BLSE de 96%. Cependant les résultats obtenus sont différents de ceux de Gangoué (2007) sur les BLSE à l'hôpital central de Yaoundé qui a rapporté une prévalence des BLSE de 12%. Ces résultats confirment les différents résultats des études faites sur les BLSE dans les pays en développement à l'instar des travaux de (Xiong *et al.*, 2002). La dissémination des BLSE observée s'explique par la forte utilisation des antibiotiques plus précisément de la classe des bêta-lactamines (Kolar *et al.*, 2001 ; Monnet *et al.*, 1998). Ce qui est le cas de notre étude qui a montré une consommation des antibiotiques représentée à 93% (28 patients sur 30). Plusieurs autres facteurs comme l'automédication, l'utilisation progressive du test à double synergie au laboratoire peuvent aussi expliquer cette dissémination des BLSE (Nicolas-Chanoine, 2012).

Conclusion

Le présent travail avait pour but d'évaluer le portage digestif des bêta-lactamases à spectre élargi chez les patients fréquentant l'hôpital du Centre Médico-social de la CNPS de Maroua. Chez les patients impliqués dans cette étude, la prise antérieure des antibiotiques était élevée, de 93%. Ces souches isolées ont montré une forte résistance face aux antibiotiques utilisés, mis à part l'Imipenème qui a présenté une résistance de 5,89%. Il en ressort au terme de cette étude une forte prévalence des Bêta-lactamases à spectre élargi observée chez les espèces suivantes : *Erwingella americana*, *Pantoea spp*, *Serratia fumitica*, *Providencia stuartii*, *Providencia stuartii*, *Salmonella spp*, *Kluyvera spp*, *Cedecea spp*, *Klebsiella ozaenae*. Pour compléter cette étude, il faudra élargir le champ d'étude en tenant compte des autres produits pathogènes (urine, pus, sang et si possible le liquide céphalo-rachidien).

References :

1. Aminov, R.I. (2010). A brief history of the antibiotic era: lessons learned and challenges for the future. *Front Microbiol.*, 1 : 134.
2. Cantas, L., Syed Q. A. Shah, L. M. Cavaco, C. M. Mania, F. Walsh, M. Popowska, H. Garelick, Bürgmann, H., & Sørum, H. (2016). A brief multi-disciplinary review on antimicrobial resistance in medicine and its linkage to the global environmental microbiota. *Frontiers in Microbiology* 4. doi: 10.3389/fmicb.2013.00096.
3. Challan, B. T. (2016). Les Bêta-lactamines. Service d'infectiologie Centre Hospitalier Alpes-Léman. 47 pages. www.infectiologie.com consulté le 3/07/2020.

4. Cheesbrough, M. (2006) District Laboratory Practice in Tropical Countries, Part2 Second Edition, Cambridge, University Press, New York.; 190-250.
5. Corpet, D.E. (2000). *Antibiotiques en agriculture et résistances bactériennes*. In: Freney J, Renaud, F., Hanser, W., Bollet, C., eds., Précis de bactériologie clinique. Paris, Editions Eska.
6. Davison, H. C., Low, & Woolhouse M. E. (2000). *What is antibiotic resistance and how can we measure it?* Trends Microbiol 8:554-9.
7. Delmont, J., Marchou B., Parola P., Pichard E. & Simon F. (2016) ePILLY trop: Maladies infectieuses tropicales.© CMIT et Alinéa 976 pages. www.infectiologie.com
8. Drioux, L., Brossier, F., Sougakoff, W., Jarlier, V. (2008). Phenotypic detection of extended-spectrum β -lactamase production in Enterobacteriaceae: review and bench guide. Clin Microbiol Infect 14:90–103.
9. Gangoué, J. P. (2007). Caractérisation des bêta-lactamases et leur inhibition par les extraits des plantes médicinales, thèse université de Liege.
10. Helsens, N. (2018). Étude de la résistance aux antibiotiques de souches de *Vibrio parahaemolyticus* isolées de produits de la pêche. Sciences du Vivant [q-bio]. dumas-02148585.
11. Kemeze, S., Moudze, B., Chiabi, A., Eposse, C., Kaya, A., Mbangue, M., Guifo, O. & Kago, I. (2016). Profil clinique et bactériologique des infections néonatales bactériennes à l'Hôpital Laquintinie de Douala, Cameroun. Pan African Medical Journal. 23:97 doi:10.11604/pamj.2016.23.97.8523
12. Kolar, M., Ubranek., & Lall, T. (2001). *Antibiotic selective pressure and development of bacterial resistance*. Inj antimicrob Agents.17:327-63.
13. Lévi, Y. (2006). *Inquiétudes sur la présence d'antibiotiques et de bactéries antibiorésistantes dans les eaux*. Environnement, Risques et Santé, 5: 261-265.
14. Maïworé, J. Youssouf., D., Toudjani, A. A., Baane, M-P., Tatsadjieu, Ngoune L. & Montet D. (2020). Staphylococcus in Raw Cow's Milk from Maroua (Cameroon), Determination of their resistance level to antibiotics. Acta Scientific Microbiology 3. (4): 44-52.
15. Mirabaud I. M. (2003). *Entérobactéries à bêta-lactamases à spectre élargi en pédiatrie en 1996*. Thèse université de Genève n° 10303.
16. Monnet, D.L., Archebal, L.K., Phillips, L., Tenover, F.C., McGowan, G.E. & Gaynes L.P. (1998). Antimicrobial use and resistance in eight US hospitals: complexities of analysis and modeling. Infect control host Epidemiol. 19:388-394.

17. Muller, A. (2017). Bon usage des antibiotiques: résultats d'actions dans différents types d'établissements de santé. Ecole doctorale environnement – sante, Université Bourgogne Franche-Comte, 194 p.
18. Ndiaye, A. O. (2006). Les Entérobactéries secrétrices de beta-lactamase à spectre élargie Thèse (Diplôme D'état), Université Cheikh Anta Diop De Dakar page:9.
19. Nicolas-Chanoine NH. (2012). Les entérobacteries productrices de bêta-lactamases à spectre élargi : où sont les dangers? Réanimation 2012 ; 21 : 260-7.
20. OMS (Organisation mondiale de la Santé) (2006). Bureau régional de l'Afrique. La santé des populations : le rapport sur la santé dans la Région africaine / Organisation mondiale de la Santé, Bureau régional de l'Afrique. ISBN 92 9 031103 192 pages
21. Ouedraogo A.S., Jean Pierre H., Banuls A.L., Ouedraogo R., Godreuil S. (2017).
22. Émergence et diffusion de la résistance aux antibiotiques en Afrique de l'Ouest : facteurs favorisant et évaluation de la menace. Médecine et Santé Tropicales 2017, 27: 147-154
23. Podie, M. N. K. (1999). Evaluation de la sensibilité aux antibiotiques des germes les plus fréquemment isolés au laboratoire de bactériologie du CNHU de Cotonou (à propos de 896 souches bactériennes isolées du 1^{er} Mars au 30 Juin 1999). Thèse de Med. N°853, 145 pages.45-57
24. Sissoko, R. (2000). Antibiothérapie dans le service de traumatologie de l'hôpital Gabriel touré, Thèse, Pharm, Bamako, 00 p40.
25. Tzika, E., Ferrara, D., Boehncke, W.-H., Toutous Trelou L. & Barouti, N. (2015) Surinfection de plaie chronique par *Pseudomonas aeruginosa*. Rev. Med. Suisse, 11 : 768-772.
26. Walsh, C. (2003). Antibiotics : actions, origins, resistances. Washington, D.C ASM press
27. Xiong, C., Zhu D., Wang., Zhang, Okamoto, Y.R & Indoue A. (2002). Investigation of extended spectrum of Bêta- lactamases in *klebsiella Pneumoniae* and *Escherichia Coli* from China. Diagn. Microbiol. infect. Dis 44:195-200.
28. Zomahoun, C. I. N. P. (2004). Evaluation de la sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées des infections urinaires au laboratoire de bactériologie du centre national hospitalier universitaire-Hubert Koutoukou Maga (C.N.H.U-H.K.M.) de Cotonou (A propos de 231 souches bactériennes isolées du 1^{er} Avril au 31 Juillet 2004). Thèse, faculté de médecine de pharmacie et d'odontostomatologie, Mali. 107 pages.



Assessment of Radical Scavenging and Sickling Inhibitory Activities of the Bark of *Disthemonanthus Benthamianus* (Caesalpiniaceae)

Akakpo-Akue Joël (Doctor)

Ahon Gnamien Marcel (Doctor)

Laboratory of Biology and Health, UFR Biosciences, University Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Kplé Tatiana Kangah Mireille (PhD Student)

Laboratory of Biology and Health, UFR Biosciences, University Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Immunity Biology Center, Institute Pasteur of Côte d'Ivoire, Côte d'Ivoire

Fofié Yvette (Professor)

Pharmacognosy Laboratory, UFR of Pharmaceutical and Biological Sciences, University Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Ibrahime Sanogo (Professor)

Clinical Haematology Department,

University Hospital of Yopougon, Abidjan, Côte d'Ivoire

Yapo-Crezoit Antoinette Claire Chiyae (Professor)

Immunity Biology Center, Institute Pasteur of Côte d'Ivoire, Côte d'Ivoire

Kra Adou Koffi Mathieu (Professor)

Laboratory of Biology and Health, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p121](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p121)

Submitted: 30 November 2020

Accepted: 18 January 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Akakpo-Akue J., Ahon Gnamien M., Kplé Tatiana K.M., Fofié Y., Ibrahime S., Yapo-Crezoit A.C.C. & Kra Adou K.M. (2021). *Cuarentena por COVID-19, factor asociado al consumo de drogas legales en estudiantes de enfermería*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 121.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p121>

Abstract

Among the medicinal plants used in the treatment of sickle cell disease in south-east of Côte d'Ivoire is *Disthemonanthus benthamianus*. This paper focuses on assessing its antioxidant properties and its antisickling activity. The

test of inhibition of sodium metabisulfite-induced sickling of the erythrocytes was carried out based on this evaluation. The total phenolic compounds contents were 45 ± 0.64 and 39.84 ± 0.69 mg/g of dry weight for ethanolic extract and the decocted respectively. The DPPH reduction test showed that the decocted ($9 \mu\text{g/mL}$) had a lower IC_{50} than the ethanolic extract ($16 \mu\text{g/mL}$). There was no significant difference between the sickling inhibitory activities of the ethanolic extract (87.00%) and the decocted (81.66%). This study showed that both extracts had sickling inhibitory and antioxidant activities.

Keywords: *Disthemonanthus benthamianus*, phenolic compounds, antioxidant activity, antisickling activity, Côte d'Ivoire

Introduction

The use of medicinal plants in therapeutics throughout the world is currently experiencing an interest among the population despite the progress of modern medicine. More than 80% of the world population use medicinal plants to cope with health problems (WHO, 2008). One of the reasons is that many diseases are treated successfully by plants (Kamanyi *et al.*, 1995). Indeed, plants are source of natural bioactive molecules with anti-inflammatory (Gonzalez *et al.*, 2011), antimicrobial (Daglia, 2012), antiviral (Chavez *et al.*, 2006), antisickling (Sawadogo *et al.*, 2017; Kitadi *et al.*, 2015; Akakpo *et al.*, 2018), and antioxidant (Pandey & Rizvi, 2009; Diomandé *et al.*, 2018) properties. The cost of patient care is not always affordable for low-income populations. Therefore, many Ivorian people use medicinal plants to treat several ailments even chronic diseases such as sickle cell anemia (Béné *et al.*, 2016). Sickle cell disease or sickle cell anemia is a genetic disorder with autosomal recessive transmission. It results from the substitution of glutamic acid in position 6 by valine, affecting the 6th codon of the β -globin chain. In deoxygenated red blood cells, hydrophobic valine, unlike glutamic acid, causes a change in hemoglobin conformation that leads to its polymerization and to the sickle-formation (Chiabi & Haenggeli, 2004). The polymerized hemoglobin could undergo self-oxidizing, thereby inducing the formation of methemoglobin by the oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} . The auto-oxidation of hemoglobin generates free radicals (Hebbel *et al.*, 1988). Sickle cells and oxidative stress are important characteristics of the disease and play a major role in the process of hemolytic anemia, vaso-occlusion, and organs damage which are the major clinical signs of sickle cell patients (Nur *et al.*, 2011). Given the diversity and severity of diseases induced by oxidative stress, various research teams have investigated new antioxidants compounds. In view of the oxidative stress presence in sickle cell disease, new plant sources of natural antioxidants are now being sought (Arruda *et al.*, 2013). In this work, we reported the results of the assessment of the *in vitro* antioxidant and

sickling inhibitory activities of the decocted and ethanolic extract of *Disthemonanthus benthamianus* bark.

Materials and Methods

Harvesting and Conditioning Plant Material

The plant material consisted of *Disthemonanthus benthamianus* stem bark. It was harvested from Indenié-Djouablin (6° 43' 47" North and 3° 29' 47" West), a region in eastern Côte d'Ivoire. The plant identification has been done at the National Floristic Center with the specimen number of 12473. The stem bark has been washed, cut, and then air dried at room temperature (25°C) in Biology and Health laboratory at the biosciences UFR of Félix Houphouët-Boigny University. After three weeks of drying, then the bark was grounded into powder using a Severin® brand grinder.

***Disthemonanthus Benthamianus* Stem Bark Extraction**

Ethanolic Extract (EDB) Preparation: Hydroethanolic extract has been produced according to the protocol of (Zirihi et al., 2003). One hundred grams (100g) of the ground plant were soaked in one liter of hydroethanolic 70% solution. The mixture was homogenized 10 times for 2 minutes each time using a Severin® brand blender. The obtained homogenate was wrung out using a square of white cotton fabric and then filtered successively three times on hydrophilic cotton and once on Whatman paper (3 mm). The filtrate was evaporated at 45°C using a Venticell® oven. The resulting extract was named EDB.

Plant Decoction (DDB): According to the method of Konkon *et al.* (2008), one hundred grams (100g) of ground plant were brought to a boil for 20 minutes in 2L of distilled water, the mixture was cooled at room temperature (25°C), filtered three times on cotton, and once on Whatman filter paper 3. The resulting filtrate was then dried at 50°C in the oven. The dried powder was named DDB.

Antioxidant Properties Evaluation

Total Polyphenols and flavonoids phytochemical screening were carried out in pharmacognosy laboratory at Pharmaceutical and Biological Sciences UFR of Félix Houphouët-Boigny University.

Determination of Total Phenol Content

The total phenolic compounds content has been determined using Folin–Ciocalteu assay method (Singleton *et al.*, 1999). One (1) mL of Folin–Ciocalteu reagent was added to the extract, 1 mg/mL in a test tube. After 3 minutes, 1 mL of 20% sodium carbonate solution (w/v) was added to the test tube and completed to 10 mL with distilled water. After 30 minutes, the

absorbance was read at 745 nm against a methanol blank on a spectrophotometer Jenway 7315. A standard range, based on 0.1 mg/mL of Gallic acid stock solution, allowed the determination of phenols concentration in the sample. The result was expressed in mg GAE/g.

Determination of Flavonoids Content

The total flavonoid content was determined from the calibration curve made of 0.1 mg/mL stock solution of Quercetin, using direct quantification by aluminum chloride method (Meda *et al.*, 2005). Zero point 5 (0.5) mL of distilled water, 0.5 mL of aluminum chloride, 0.5 mL of potassium acetate, and 2 mL of distilled water were added to 0.5 mL of EDB or DDB. After 30 minutes, the absorbance was read at 415 nm against methanol as blank. A standard range established from a 0.1 mg/mL Quercetin stock solution was used to determine the amount of flavonoids in the EDB or DDB. The result was expressed in mg QE/g:

Free Radical Scavenging Assay

DPPH (2, 2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) is generally the most widely used substrate for rapid and direct assessment of antioxidant activity due to its stability in free radical form and simplicity of analysis. It absorbs in the visible at the wavelength of 517 nm. The experimental protocol used to study DPPH free radical scavenging activity was that described by Parejo *et al.* (2000) with some slight modifications.

Reducing Power Assay

The reducing power of plant extracts was carried out as described by Yildirim *et al.* (2001). It was measured by the increase in the absorbance at 700 nm of the Perl's Prussian blue due to the Fe^{3+} Fe^{2+} transformation.

Qualitative Research of Aromatic Amino Acids

Aromatic amino acids were sought through the xanthoprotein reaction. To 3 mL of extract, 1 mL of concentrated nitric acid was added. The tube was then boiled for 2 minutes. The appearance of a yellow coloration indicates a positive reaction which highlights the presence of aromatic nuclei (benzene ring); amino acids of the aromatic series: tyrosine, tryptophan, and phenylalanine. The test was performed according to Fofana (2004).

Sickling Inhibitory Activity Assessment

Collection and Conditioning of Blood Samples

An agreement was obtained from the ethics committee and an informed consent was approved by each voluntary sickle cell patients selected at Yopougon University Hospital in the Clinical Hematology Department. To

be included in the study, the blood should come from homozygous sickle cell patients. The voluntary patients shouldn't have undergone blood transfusion for at least two months prior to the blood test, regardless of age and gender.

Venous blood was collected in tube (EDTA). These samples were placed in a cooler and conveyed at 4 °C to Biology of Immunity Pole of Pasteur Institute of Côte d'Ivoire (IPCI).

Patients who had been transfused before the two months prior to blood collection, homozygous patients with foetal hemoglobin levels greater than 5g/dL, and patients in crisis were not considered.

Sickle-Formation Inhibition Test

The test was performed according to Emmel's method (1933) which was slightly modified (Mpiana et al., 2014). The blood sample was centrifuged for 5 minutes at 3000 rounds/min and the supernatant was removed with a Pasteur pipette. One (1) mL of the washed red blood cells was suspended in 1mL of physiological buffer (NaCl 0.9%). EDB and DDB solutions of 5 and 10 mg/mL were prepared with NaCl 0.9%. A volume of 50 µL was homogenized with 50 µL of washed blood in a test tube. A volume of 50 µL of sodium meta-bisulfite (2%, w/v) was added to the mixture to create the sickle-formation conditions. The tube was sealed with paraffin. Negative and positive controls were prepared. The negative control was prepared by mixing 50 µL of washed blood with 50 µL of physiological buffer and 50 µL of sodium meta-bisulfite (2%, w/v). The positive control was prepared by mixing 50 µL of washed blood with 50 µL of a phenylalanine solution at 10mg/mL and 50 µL of sodium meta-bisulfite (2%, w/v). The tubes were put in dark room for 120 minutes. Erythrocytes morphological analysis and counting of sickle cells were made by an observation X 40 under a microscope. The sickling Inhibitory activity was expressed in percentage of sickle cells formed in the presence of the plant extracts compared to the number of sickle cells present in the negative control. This activity is determined by the formula noted below:

$$AA = \frac{Po - P1}{Po} \times 100$$

AA: antisickling activity; Po: sickle cells rate in the control; P1: sickle cells rate in plant extract's presence. The experimental results were expressed as means ± standard error of means (SEM) of three replicates. Where applicable, the data were subjected to one way analysis of variance (ANOVA) and differences between samples were determined by Tukey and Duncan's Multiple Comparison test using Graph Pad Prism 7.0 program.

Results

Total Phenolic and Flavonoids Compounds Contents Determination

The quantitative analysis of EDB and DDB phenolic compounds was determined from the Gallic acid calibration curve, equation $Y = 8.1544X$ and $R^2 = 0.9732$. The total flavonoids were determined from the Quercetin calibration curves, equation $Y = 1.36x - 0.0181$ and $R^2 = 0.9976$. The polyphenol concentration of EDB (45.11 ± 0.64 mg GAE/g of dry weight) was significantly ($p < 0.05$) higher than that of DDB (39.54 ± 0.69 mg GAE /g of dry weight). The total flavonoids content in EDB and DDB follow the same trend as the polyphenols concentration. The content in EDB (15.52 ± 0.25 mg QE/g of dry weight) is higher than that of DDB (15.64 ± 1.44 mg QE/g of dry weight). The results were reported in Table I.

DPPH Radical Scavenging Activity

The results obtained during the determination of the different extracts by the DPPH radical were shown in Table I. The IC_{50} values obtained were expressed in $\mu\text{g/mL}$: 16 ± 0.01 and 9 ± 0.04 for EDB and DDB respectively. Ascorbic acid (6.05 ± 0.39 $\mu\text{g/mL}$) was used as the reference molecule in Figure 1.

Table I. Phenolic contents and scavenging activity of the aqueous and ethanolic extracts of *D. benthamianus*

Parameters Plants Extract	Polyphenols total (mg GAE/g)	Flavonoids (mg QE/g)	IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$ of extract)	%Inhibition At 0.5 mg/mL
EDB	45.11 ± 0.64^a	15.52 ± 0.06^a	16 ± 0.01^b	80.85 ± 0.15
DDB	39.84 ± 0.18^a	15.64 ± 0.03^a	9 ± 0.04^a	85.29 ± 0.15
Ascorbic acid			6.05 ± 0.02	66.98 ± 0.06

EDB/DDB: Hydroethanolic extract / Decocted of *Disthemonanthus benthamianus* Baill

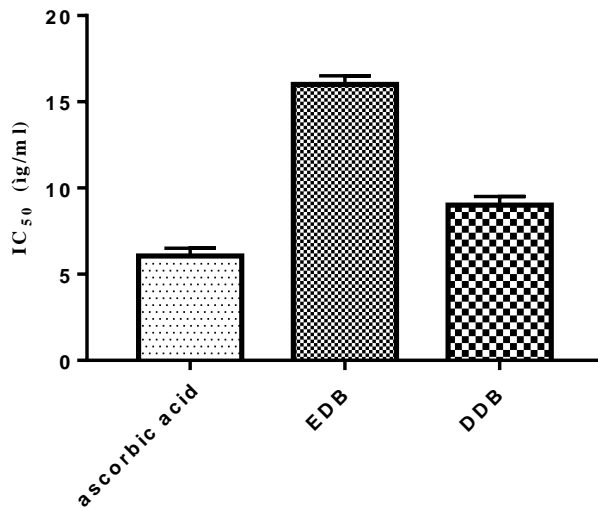


Figure 1: IC₅₀ of ascorbic acid, DDB and EDB on DPPH discoloration.

Reducing Power

The results in the form of activity curves show that all the curves have increasing slope. The reducing power of the plant extracts, as indicated by the absorbance at 700 nm, increased with increasing concentration of the samples (Figure 2). The reducing power of the plant extract versus plant extract concentration have a dose response relation. DDB shows higher reducing ability than EDB.

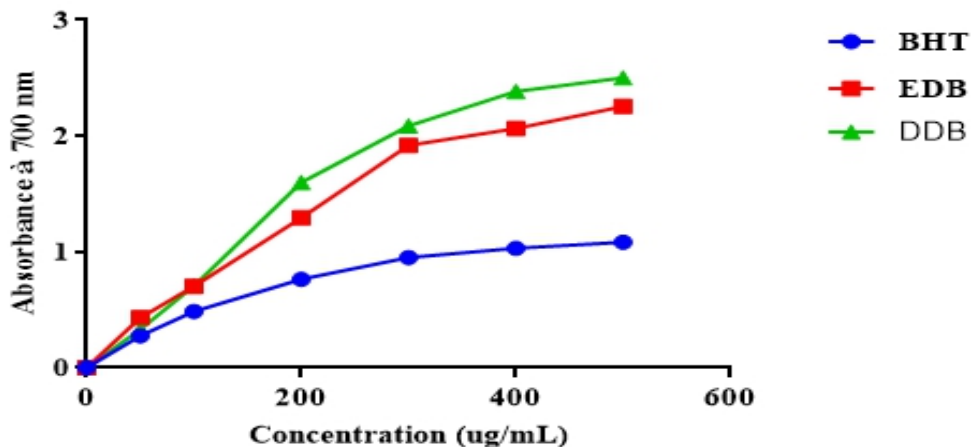


Figure 2. Reducing power of EDB, DDB and Butylated Hydroxytoluene

Aromatic Amino Acids Qualitative Research

The test carried out on EDB and DDB allowed detecting the presence of aromatic amino acids in both extracts. The amino acids present were characterized by the yellow coloration of the reaction (Table II).

Table II. Aromatic amino-acids presence

Extract	Aromatic amino acids
DDB	+
EDB	+

Sickling Inhibitory Activity

Figure 3 showed the microphotography of SS blood incubated in a tube containing 0.9% NaCl and sodium meta-bisulfite (2%, p/v) without plant extract. In this figure, all the erythrocytes had a sickle shape two hours later. Figures 4 to 7 showed SS blood incubated in 0.9% NaCl with sodium meta-bisulfite (2%, p/v) and plant extracts at 5 and 10 mg/mL. EDB and DDB have displayed an ameliorating sickling effect. The sickle cell inhibition activity was determined and recorded in Table III; EDB (87 % ± 1.33) had a higher inhibitory activity than DDB (81.66 % ± 1.12) at 5mg/mL.

Table III. DDB and EDB sickling inhibitory activity

Extracts	Concentration:	Concentration:
	5 mg/mL	10 mg/mL
EDB	87 %	73.39%
DDB	81.66%	72%
Phenylalanine	67.33 %	83.65 %

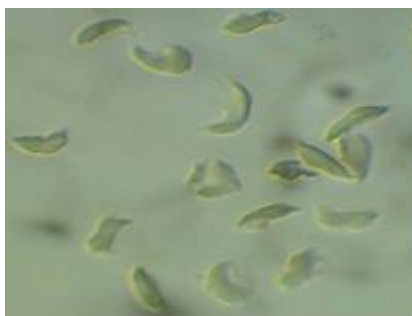


Figure 3. Morphology of sickle cell in the presence of Na₂S₂O₄ 2%

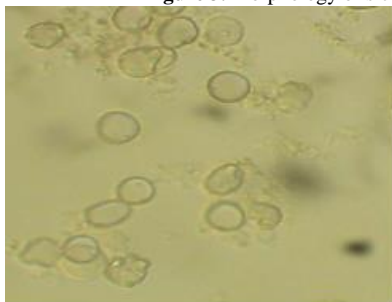


Figure 4 . Morphology of Sickle Cell Blood treated with 10 mg / mL of DDB

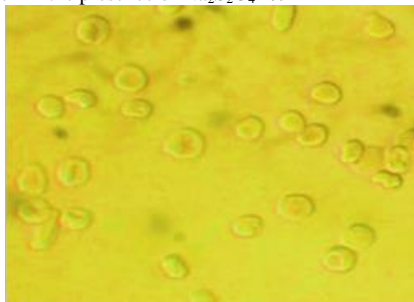


Figure 5 . Morphology of Sickle Cell Blood treated With 10 mg / mL of EDB

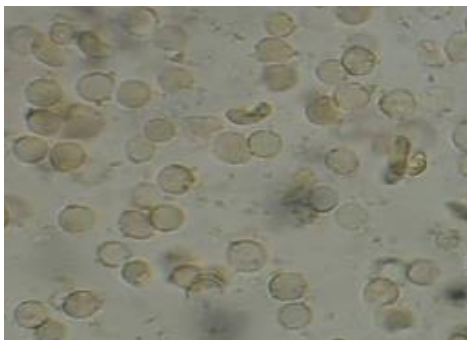


Figure 6 . Morphology of Sickle Cell Blood treated with 5 mg / mL of DDB

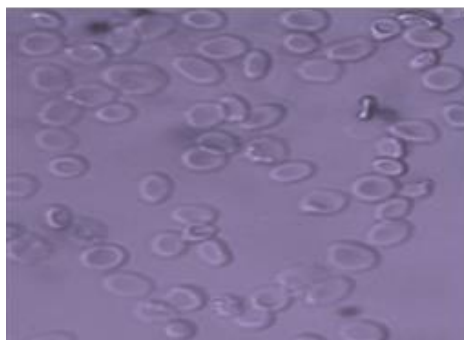


Figure 7 . Morphology of Sickle Cell Blood treated with 5 mg / mL of EDB

Discussion

The results of the total phenol assay were recorded in Table 1. The polyphenol compounds contents in EDB and DDB were 45 ± 0.01 and 39.85 ± 0.18 mg GAE /g of dry weight, respectively. Also, the total flavonoid contents were 15.88 ± 0.06 and 12.94 ± 0.03 mg GAE /g of dry weight, respectively. There was no significant difference between total EDB and DDB polyphenol levels. In addition, numerous other phytochemical examinations revealed the presence of tannins, flavonoids, alkaloids, steroids, and triterpenes in both extracts (Adebiyi *et al.*, 2009; Bidié *et al.*, 2011; Kehindé *et al.*, 2012). The above-mentioned molecules could have some therapeutic effects in the treatment of diseases such as sickle cell (Longanga *et al.*, 2000). The presence of secondary metabolites in EDB and DDB could explain their antioxidant activity. Indeed, the results of the antioxidant activity test showed that both extracts were active. The DPPH radical scavenging activity of EDB and DDB was indicated by their IC_{50} value in Table I and Figure 1. EDB and DDB IC_{50} were 16 ± 0.01 and 9 ± 0.04 $\mu\text{g/mL}$ respectively. These two extracts had an antioxidant activity compared to ascorbic acid (6.05 ± 0.02 $\mu\text{g/mL}$). Kouassi *et al.* (2013) study showed that the IC_{50} of the ethanolic and aqueous extracts were 10.87 ± 0.18 $\mu\text{g/mL}$ and 551.7 ± 1.76 $\mu\text{g/mL}$, respectively. These authors worked on the leaves of *D. benthamianus*, while the bark was used in this present study. The antioxidant activities of the plant would be related to their total phenolic compounds content. Indeed, functional groups in phenolic chemicals could produce an electron or proton to neutralize free radicals (Chen & Ho, 1995).

According to Diatta *et al.* (2014), during oxidative stress in patients with sickle cell disease, lipid peroxidation products could produce oxidizing agents. These oxidative mediators could be responsible for the erythrocyte membrane structure damage. In a state of hypoxia, the oxidative stress occurring during sickle cell disease could increase methemoglobin level in red blood cells and weakened free radicals defense system (Nur *et al.*, 2011). Also, this increased methemoglobin level would decrease hemoglobin oxygen

affinity. The oxidized state of iron (Fe^{3+}) cannot bind the oxygen molecule (Sawadogo *et al.*, 2017; Kitadi *et al.*, 2015). The reducing power could allow EDB and DDB to change the iron from Fe^{3+} to Fe^{2+} . This reduced state could increase haemoglobin oxygen affinity. Reducing power is an important antioxidant action of phenolic compounds (Nabavi *et al.*, 2009a). EDB and DDB reducing power increased with increasing concentration (Figure 2). The reducing power test results showed that there was no significant difference between EDB (2.25 ± 0.33) and DDB (2.50 ± 0.38). This activity could be due to the presence of polyphenols compounds found in *D. benthamianus* extracts. Moreover, the work of Evenamede *et al.* (2017) highlighted a correlation between total phenol content and antiradical activity.

This antioxidant activity of *D. benthamianus* could be beneficial for the erythrocyte membrane. Indeed, the antioxidant activity of polyphenols is often exploited to prevent and treat diseases related to oxidative stress such as sickle cell disease. In fact, flavonoids (myricetin, quercetin, and rutin) are involved in inhibiting the damaging effects of reactive oxygen species produced during sickle cell disease (Railson *et al.*, 2013). Some studies have shown that tannins, saponins, flavonoids, sterols, and ployterpenes have shown anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, and anti-pain activities (Zouhri *et al.*, 2016; Adeniyi *et al.*, 2011; Bajerova *et al.*, 2014; Gédéon *et al.*, 2017; Akakpo-Akue *et al.*, 2018). Indeed, these properties could neutralize free radicals by exchanging electrons or protons (Chen & Ho, 1995). Polyphenols could block the free radical reaction chain by hydrogen transferring (Meir *et al.*, 1995). They could also chelate metal ions (Ibrahim *et al.*, 2017).

These current results also show the presence of aromatic amino acids EDB and DDB through the displayed yellow color. Many studies have shown that certain amino acids would stimulate the production of glutathione, significantly reduce the formation of sickle cell, and have a reversal effect on sickle cell shape (Gibson *et al.*, 1998; N'Draman-Donou *et al.*, 2015; Nur *et al.*, 2012). The literature has shown that aromatic amino acids such as phenylalanine prevent polymerization of deoxygenated hemoglobin (Ogoda *et al.*, 2002). The presence of these amino acids in our plant extracts could participate in the fight against sickle cell disease by having a polymerization inhibition activity (Tharoux, 2008).

The chemicals exposed in EDB and DDB could also be responsible for their sickling inhibitory activity. Indeed, morphological analysis of red blood cells incubated in 0.9% NaCl and sodium meta-bisulfite (2%, w/v), without plant extracts showed two hours later in Figure 3, that all red blood cells had a sickle shape. The hypoxic environment created by the sodium meta-bisulfite (2%, w/v) led to the formation of the sickle cells. This proved that the blood cells had the HbSS genotype and came from a homozygous sickle cell patient.

In the presence of plant extracts, red blood cells treated with DDB showed in Figure 6 (5mg/mL) and 4 (10mg/mL) that all red blood cells have kept a rounded shape. Also, the erythrocytes treated with EDB had rounded and biconcave shape. Two hours after counting the sickle cells, the percentage of residual sickle cells compared to the negative control was determined. And the sickling inhibitory activity of EDB and DDB at 5 and 10 mg/mL was calculated in Table III. The result of the sickling inhibitory activity test showed that there was a dose-response relationship between plant extract concentration and inhibitory activity. Lower the concentration, better the activity. The sickling inhibitory activity of EDB at 5 and 10 mg/mL was 87% and 73.39% respectively. The same trend was observed for DDB. At 5 and 10 mg/mL, DDB extract had sickling inhibitory activity of 81.66% and 72% respectively. At 5 mg/mL, the activities were superior to those of phenylalanine which was 83%. At 10 mg/mL, EDB (73.39%) and DDB (72%) activities were lower than phenylalanine (83%). Higher concentrations of EDB and DDB may have reduced sickling inhibitory activity or a toxic effect on red blood cell HbSS. However, there was no significant difference between the sickling inhibitory activities of the ethanolic extract (87.00%) and the decocted (82.36%) at 5mg/mL.

The experimental results obtained during this *in vitro* study showed that both EDB and DDB extracts had an antifouling activity. This property could be due to the presence of polyphenols compounds in EDB and DDB.

Conclusion

The results of this study indicate that both the two *Disthemonanthus benthamianus* extracts are rich in phenolic compounds and flavonoids that have the ability to trap free radicals and reduce oxidants effect. The sickling inhibitory activity displayed by *Disthemonanthus benthamianus* extracts were correlated to phenolic compounds. These chemicals could be responsible for free radical scavenging and sickling inhibitory activity of *D. benthamianus*. Thus, these activities helps to explain the use of *Disthemonanthus benthamianus* to the traditional healers.

Acknowledgements

We would like to thank the officials and staff of the Hematology Unit of the Yopougon University Hospital, the Pasteur Institute of Cote d'Ivoire, not to mention those of the Pharmacognosy Laboratory of the UFR of Pharmaceutical and Biological Sciences of Felix Houphouet Boigny University in Cocody for their availability and assistance in carrying out the work. Also, we would also like to thank all the patients who have agreed to participate in this study.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

References:

1. Adebisi, A.O., Koekemoer, T., Adebisi, A.P., Smith, N., Baxter, E., Naude, R.J. & Van de Venter (2009). Antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts of two Nigerian chewing sticks, *Pharmaceutical Biology*, 47:4, 320-327.
2. Adeniyi, B.A., Obasi, O.J. & Lawal, T.O. (2011). In-vitro antifungal activity of *Distemonanthus benthamianus* stem. *Int J Pharm Pharm Sci* (3):52–56.
3. Akakpo-Akue, J., Kplé, T. K.M., Yapo –Crezoit, A., Fofié, Y., Kra, A. M., Tolo, D. A. & N'Guessan, J.D. (2018). *In vitro* antisickling activity of the aqueous extract of a combination of three plants: "*Jatropha grossypiifolia*, *Justicia secunda* and *Parquetina nigrescens* from East Côte d'Ivoire." *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences* 13(6); 41-48.
4. Arruda, M. M., Mecabo, G., Rodrigues, C. A., Matsuda, S. S., Rabelo, I. B., & Figueiredo, M. S. (2013). Antioxidant vitamins C and E supplementation increases markers of haemolysis in sickle cell anaemia patients: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *British Journal of Haematology*, 160 (5), 688–700.
5. Bajero, P., Adam, M., Bajer, T. & Ventura, K. (2014). Comparaison de différentes techniques d'extraction et de dosage des antioxydants dans les plantes . *J. Sep. Sci . 37* , 835–844.
6. Béné, K., Camara, D., Fofie, Y., Kanga, Y., Yapi, A.B., Yapo, Y.C., Ambe, S.A. & Zirihi, G.N. (2016). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le Département de Transua, District du Zanzan (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*. 27(2) :4230-4250.
7. Bidie, A.P., N'Guessan, B.B., Yapo, A.F., N'Guessan, J.D. & Djaman, A.J. (2011). Activités antioxydantes de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. *Sciences & Nature* 8 (1): 1 – 11.
8. Chavez, J.H., Leal, P.C., Yunes, R.A., Nunes, R.J., Barardi, C.R.M., Pinto, A.R., Simoes, C.M.O., Carlos, R. & Zanetti, C.R. (2006). Evaluation of antiviral activity of phenolic compounds and derivatives against rabies virus. *Veterinary Microbiology*, 116: 53-59.
9. Chen, C.W. & Ho, C.T. (1995). Antioxidant properties of polyphenols extracted from green tea and black tea. *J Lipids*, 2 : 35-46.
10. Chiabi, A. & Haenggeli, C. (2004). New concepts in sickle cell anemia *Clinics in Mother and Child Health* 1(1).

11. Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents *Current Opinion in Biotechnology*.
12. Diatta, A., Cissé, F., Guèye, T. F., Diallo, F., Touré, F.A.O., Sarr, G. N., Lopez, S.P., Sall, N. D. & Touré, M. (2014). Serum lipids and oxidized low density lipoprotein levels in sickle cell disease: Assessment and pathobiological significance *African Journal of Biochemistry Research*. Vol. 8(2), pp. 39-42.
13. Diomande, A., Yao, K., Sylla, Y., Tra, B.F.H., Bakayoko, A. & Kone, M.W. (2018). Pouvoir antioxydant et teneurs en composés phénoliques de deux espèces du genre *Albertisia*: *Albertisia cordifolia* (Mangenot & J. Miège) Forman et *Albertisia scandens* (Mangenot & J. Miège) Forman (Menispermaceae). *European Scientific Journal*.14(30), 128.
14. Emmel, V.E. (1933). A red cell study of the érythrocytes in case of severe anaemia with elongated, sickle, and shaped red blood corpuscle. *Archives of International Medicine*, 7: 769-789.
15. Evenamede, K.S., Kpegba, K., Simalou, O., Boyode, P., Agbonon, A. & Gbeassor, M. (2017). Etude comparative des activités antioxydantes d'extraits éthanoliques de feuilles, d'écorces et de racines de *Cassia sieberiana*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(6): 2924-2935.
16. Fofana, S. (2004). Exploration biochimique sur le pouvoir immunogène de trois plantes en Côte d'Ivoire: *Alstonia boonei* (Apocynaceae), *Mitragyna ciliata* (Rubiaceae), *Terminalia catappa* (Combretaceae). Thèse de pharmacie, UFR de médecine, de pharmacie et d'odontostomatologie, *Université de Bamako (Mali)*, 123 p.
17. Gedeon, B., Clement, I., Colette, M., Claudine, T., Emmanuel, L., Ruphin D., Mutwale, K., Kabamba, N., Theophile, M., Dorothee, T.P.M. & Ngbolua, K.N. (2017). Assessment of Antisickling, Antioxidant and Antibacterial Activities of Some Congolese Taxa: *Aframomum alboviolaceum* (Ridley) K. Schum, *Annona senegalensis* Pers. and *Mondia Whitei* (Hook. f.) Skeels. *American Journal of Laboratory Medicine*. 2(4), 52-59.
18. Gibson, X.A., Shartava, A., McIntyre, J., Monteiro, C. A., Zhang, Y., Shah, A. & Goodman, S. R. (1998). The efficacy of reducing agents or antioxidants in blocking the formation of dense cells and irreversibly sickled cells in vitro. *Blood*, 91(11), 4373-8.
19. Gonzalez, R., Ballester, I., Lopez-Posadas, R., Suarez, M.D., Zarzuelo, A., Martinez-Augustin, O. & Sanchez, D.M.F. (2011). Effects of flavonoids and other polyphenols on inflammation. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51 : 331-362.
20. Hebbel, R.P., Morgan, W.T., Eaton, J.W., & Hedlund, B.E. (1988). Accelerated autoxidation and heme loss due to instability of sickle

- hemoglobin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 85(1), 237–41.
21. Ibrahim, A., Onyike, E., Nok, A.J. & Umar, I.A. (2017). Combined Effect on Antioxidant Properties of *Gymnema Sylvestre* and *Combretum Micranthum* leaf extracts and the relationship to hypoglycemia. *European Scientific Journal*, 13(36) 266.
 22. Kamanyi, A., Dongmo, A.B. & Bopelet, M. (1995). Etude des proprietes hypotensives de l'extrait aqueux et une saponine total des feuilles de *Musanga cecropioides* (Cecropiaceae) chez le rat. *Revue Medical. Pharmaceutique. Africaine*, 9: 107-113.
 23. Kehinde, T.K., Alli, S.O., Atayese, A.O., Ezech, A.R. & Alaga, T.O. (2012). Antibacterial Effect of *Distemonanthus benthamianus* Extract Against Some Oral Pathogens. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(2), 114.
 24. Kitadi, J.M., Mazasa, P.P., Tshibangu, D.S.T., Memvanga, P.B., Ngbolua, K.N., Taba, N.K., Noki, P.V. & Mpiana, P.T (2015). Anti-sickling and antioxidant activities of anthocyanins extracts from *Dioscorea rotundata* Cogn (Dioscoreaceae), *Journal of Advancement in Medical and Life Sciences*.3(4):6.
 25. Konkon, N.G., Adjoungoua, A.L., Manda, P., Simaga, D., N'Guessan, K. E. & Koné, B.D. (2008). Toxicological and phytochemical screening study of *Mitragyna inermis*(willd.) O ktze (Rubiaceae), anti-diabetic plant. *J. Med. Plant Res.* 2(10):279-284.
 26. Kouassi, K., N'guessan, J.D., Méité, S., Yapi A., Yapi, H.F. & Djaman, A.J. (2013). Antioxidant Activity and Phenolic Contents of the Leaves of *Oxalys subscorpioidea* and *Distemonanthus benthamianus* ; *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 4(4),1419.
 27. Longanga, O.A., Verduyck, A. & Foriers, A. (2000). Contribution to the ethnobotanical, phytochemical and pharmacological studies of traditionally used medicinal plants in the treatment of dysentery and diarrhoea in Lomola area, Democratic Republic of Congo. *Journal of Ethnopharmacology*, 71: 411-423.
 28. Meda, A., Lamien, C.E., Romito, M., Millogo, J. & Nacoulma, O.G. (2005). Determination of total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honeys as well as their radical scavenging activity. *Food. Chem.*91:571-577.
 29. Meir, S., Kanner, J., Akiri, B. & Hadas, S.P. (1995). Determination and involvement of aqueous reducing compounds in oxidative defense systems of various senescing leaves. *J Agric Food Chem* 43: 1813–1819.

30. Mpiana, P.T., Misakabu, F.M., Yuma, P.M., Tshibangu, D.S.T., Ngbolua, K.N., Mwanyishay, C.L. Misengabu, N.M., Gbolo, Z.B. & Kayembe, J.S. (2014). Antisickling Activity and Physico-chemical Stability of Anthocyanin Extracts from Ipomoea Batatas Leaves. *JLM*. 2014;2(1):25-31.
31. Nabavi, S.M., Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Fazelian, M. & Eslami, B. (2009a). In vitro antioxidant and free radical scavenging activity of Diospyros lotus and Pyrus boissieriana growing in Iran. *Pharmacognosy Magazine*, 4(18): 123-127.
32. N'Draman-Donou, E., Fofié, Y., Adjambri, E., Méléde, M-F. & Sawadogo, D. (2015). Caractérisation et évaluation in vitro de l'effet antifalcémiant des graines de Cajanus cajan (Fabacées) sur les drépanocytes à Abidjan Côte d'Ivoire. *International Journal Biological and Chemical Sciences*. 9(5): 2300-2308.
33. Nur, E., Biemond, B.J., Otten, H.M., Brandjes, D.P. & Schnog, J.J. (2011). Oxidative stress in sickle cell disease; pathophysiology and potential implications for disease management. *American Journal Of Hematology*, 86 pp 484-489.
34. Nur, E., Brandjes, D. P., Teerlink, T., Otten, H.M., Oude Elferink, R.P.J., Muskiet, F. & Schnog, J.-J. B. (2012). N-acetylcysteine reduces oxidative stress in sickle cell patients. *Annals of Hematology*, 91(7), 1097–105.
35. Oгода, O.J., Akubue, P.I. & Okide, G.B. (2002). The kinetics of reversal of pre-sickled erythrocytes by the aqueous extract of Cajanus cajan seeds. *Phytother Res.*, 16(8): 748-50.
36. Pandey, K.B. & Rizvi, S.I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev*, 2: 270-278.
37. Parejo, I., Codina, C., Petraski, C. & Kefalas, P. (2000). Evaluation of scavenging activity assessed by co (II)/EDTA-induced luminal chemiluminescence and DDPH (2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl) free radical assay. *Journal of Pharmacology and Toxicology Method*, 44: 507-512.
38. Railson, H., Michel, F.O., Aline, E.F.F., Priscila, H., Aguinaldo, J.D.N. & Maria, S.S.L. (2013). Protective effect of flavonoids against reactive oxygen species production in sickle cell anaemia patients treated with hydroxyurea. *Revista Brasileira Hematologia Hemoterapia*, 35(1): 52- 55.
39. Sawadogo, S., Sanou, S.D., Dabire, P., Belemtougri, G.R., Sawadogo Laya, J.L., Tanguy, S. & Boucher, F. (2017). Activité antifalcémiant d'extraits de trois plantes médicinales du Burkina Faso : *Jatropha*

- curcas*, *Khaya senegalensis* et *Dichrostachys cinerea* *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(5).
40. Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxydant substrates and antioxydants by means of Folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
 41. Tharaux, PL. (2008). Une molécule utilisée dans l'hypertension artérielle pulmonaire pourrait aider à traiter la drépanocytose. Information presse < [http : www.inserm.fr/fr/presse/communiqués/tt0000373/cp_drepanocytose_030408. pd](http://www.inserm.fr/fr/presse/communiqués/tt0000373/cp_drepanocytose_030408.pd)> consulté le 17/03/09.
 42. World Health Organization (2008). Fact sheet on traditional medicine. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs134/en/>.
 43. Yildirim, A., Mavi, A. & Kara, A.A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus L.* extracts; *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **49**: 411-420.
 44. Zirihi, G., Kra, A.K.M. & Guede-Guina, F. (2003). Evaluation de l'activité antifongique de *Microglossa pyrifolia* (Lamarck) O. Kantze (Asteracee) PYMI sur la croissance in Vitro de *Candida albicans*. *Revue de Medecine et pharmacie Afrique.* 17, 11-18.
 45. Zouhri, A., Bousfiha, L. & Aarab (2016). Evaluation of Antioxidant Properties, Anti-inflammatory and Photoprotective Effects of *Lawsonia inermis* Lipids, *Phytothérapie*.

Connaissances du Personnel Médical sur la Période des 1000 Premiers jours de vie à Lomé, Togo

D.A.E. Akolly

Service de Pédiatrie du CHU Sylvanus Olympio, de Lomé,
Université de Lomé, Togo

A.A. Ketevi

Service de Gynécologie et Obstétrique du CHU Sylvanus Olympio de Lomé,
Université de Lomé, Togo

E. Tsolenyanu

K.M. Guedenon

F. Agbeko

K.E. Djadou

A.D. Gbadoe

Service de Pédiatrie du CHU Sylvanus Olympio, de Lomé,
Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p137](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p137)

Submitted: 16 November 2020

Accepted: 12 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Akolly D.A.E., Ketevi A.A., Tsolenyanu E., Guedenon K.M., Agbeko F., Djadou K.E. & Gbadoe A.D. (2021). *Connaissances du Personnel Médical sur la Période des 1000 Premiers jours de vie à Lomé, Togo*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 137.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p137>

Resume

Introduction: La période des 1000 premiers jours est celle qui va de la conception jusqu'au deuxième anniversaire de l'enfant. Cette période unique et critique pendant laquelle se met en place le potentiel physique, psychomoteur, intellectuel et cognitif conditionne la santé immédiate et future de l'enfant. Notre travail avait pour objectif d'évaluer les connaissances des médecins sur cette période clé. Méthode : Un questionnaire a été administré à un total de 71 médecins. Résultats : Près de la moitié (49,30%) avaient déjà entendu parler du concept des 1000 premiers jours au moment de l'enquête. Le groupe pédiatre et médecins en cours de spécialisation en pédiatrie (soit respectivement 10/71 et 32/71) avaient une meilleure connaissance du concept

($p=0,04$) par rapport au groupe gynécologues et médecins en cours de spécialisation en gynécologie (soit respectivement 5/71 et 28/71). Un médecin sur cinq ignorait les risques encourus à l'âge adulte lorsque la croissance fœtale n'était pas optimale. Trente médecins (42,25%) estimaient leurs connaissances sur le microbiote intestinal insuffisantes ou médiocres. La moitié des médecins (50,70%) affirmaient avoir abordé le thème des 1000 premiers jours avec leurs patients. Les connaissances des médecins spécialistes de la mère et de l'enfant au Togo sur le concept des 1000 premiers jours doivent être améliorées. Conclusion : Un renforcement général des compétences s'avère nécessaire pour espérer réduire le fardeau de toutes les maladies non transmissibles qui trouvent leur origine depuis la conception et pour lesquelles des actions efficaces peuvent encore être menées dans la petite enfance.

Mots-clés: 1000 premiers jours, médecins, Togo

Knowledge of Physicians on the Period of the first 1000 Days of Life in Lomé, Togo

D.A.E. Akolly

Service de Pédiatrie du CHU Sylvanus Olympio, de Lomé,
Université de Lomé, Togo

A.A. Ketevi

Service de Gynécologie et Obstétrique du CHU Sylvanus Olympio de Lomé,
Université de Lomé, Togo

E. Tsolenyanu

K.M. Guedenon

F. Agbeko

K.E. Djadou

A.D. Gbadoe

Service de Pédiatrie du CHU Sylvanus Olympio, de Lomé,
Université de Lomé, Togo

Abstract

Introduction: The first 1000 days is the period from conception to the child's second birthday. This unique and critical period during which the physical, psychomotor, intellectual, and cognitive potential is established conditions the immediate and future health of the child. This paper focuses on evaluating the knowledge of physicians during this key period. Method: A questionnaire was administered to a total of 71 physicians. Results: Nearly half (49.30%) had already heard of the concept of the first 1000 days at the

time of the survey. The pediatrician and pediatric subspecialty group (10/71 and 32/71 respectively) had a better knowledge of the concept ($p=0.04$) compared to the gynecologist and gynecology subspecialty group (5/71 and 28/71 respectively). One in five physicians were unaware of the risks involved in adulthood when fetal growth was not optimal. Thirty physicians (42.25%) considered their knowledge of the intestinal microbiota to be insufficient or poor. Half of the physicians (50.70%) stated that they had discussed the first 1000 days with their patients. The knowledge of mother and child specialists in Togo on the concept of the first 1000 days needs to be improved. Conclusion: A general strengthening of skills is necessary to reduce the burden of all those noncommunicable diseases that originate from conception and for which effective actions can still be carried out in early childhood.

Keywords: First 1000 days, physicians, Togo

Introduction

L'implosion des maladies chroniques non transmissibles dans le monde et la nécessité d'une approche différente en matière de santé a obligé l'OMS à lancer le concept des 1000 premiers jours (Junien, 2011). La période des 1000 premiers jours est celle qui va de la conception jusqu'au deuxième anniversaire de l'enfant. Cette période unique et critique pendant laquelle se met en place le potentiel physique, psychomoteur, intellectuel et cognitif conditionne la santé immédiate et future de l'enfant. L'origine fœtale des maladies métaboliques et cardiovasculaires de l'adulte est aujourd'hui clairement démontrée (Gluckman et al., 2008 ; Vickers et al., 2000 ; Gluckman et al., 2004 ; Darmaun, 2020 ; Roseboom et al., 2019 ; Godfrey et al., 2000). Ainsi, un faible poids de naissance suivi d'une prise de poids excessive dans la petite enfance entraîne une augmentation du risque de maladies cardio-vasculaires comme l'hypertension artérielle (HTA) et le diabète de type 2 à l'âge adulte (Barker et al., 2002 ; Barker, 2004). Il est donc important que les apports nutritionnels soient optimaux au cours de cette période.

Au Togo, à notre connaissance, aucune étude n'a encore été menée pour évaluer l'état des connaissances sur ce concept au sein du personnel médical en charge des femmes enceintes et des jeunes enfants. Les médecins spécialistes et en cours de spécialisation de la mère et de l'enfant sont les acteurs de santé en première ligne pouvant avoir un impact décisif car, de toutes les actions menées au cours de cette période, va dépendre la vie future de l'enfant (Cunha et al., 2015). De ce fait, notre travail avait pour objectif d'évaluer les connaissances de ces professionnels.

Méthodologie

Il s'agit d'une étude transversale descriptive menée du 1^{er} au 30 novembre 2019 au CHU Sylvanus Olympio de Lomé au Togo. Nous avons inclus dix pédiatres, cinq gynécologues, vingt-huit médecins en spécialisation en pédiatrie (douze en première année, cinq en deuxième année, quatre en troisième année et sept en quatrième année) et vingt-huit médecins en spécialisation en gynécologie (onze en première année, huit en deuxième année, deux en troisième année et sept en quatrième année), soit un total de 71 médecins. La collecte des données a été faite à partir d'un questionnaire préétabli. Les variables étudiées concernaient : la connaissance du concept des « 1000 premiers jours de vie », les connaissances sur les suppléments indispensables chez la femme enceinte et sur l'alimentation du nouveau-né et du nourrisson jusqu'à deux ans. Les médecins ont été répartis en deux groupes pour l'analyse statistique ; d'une part les pédiatres et les médecins en spécialisation en pédiatrie et d'autre part les gynécologues et les médecins en spécialisation en gynécologie. L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel épi data version 3.1. Le seuil de signification de p était de 5%.

Résultats

L'âge moyen des médecins ayant participé à l'enquête était de 34,08 +/-5,6 ans avec des extrêmes de 21 ans et 50 ans. Le sexe ratio H/F était de 1,05.

Près de la moitié des enquêtés (49,30%) avaient déjà entendu parler du concept des 1000 premiers jours, et ce par le biais d'internet, des enseignements post universitaires et des congrès médicaux. Quarante et un médecins (57,74%) affirmaient connaître et avaient pu donner la définition exacte de la période des 1000 premiers jours. Le concept des 1000 premiers jours était bien connu de 76,44% de médecins dans le groupe pédiatres et médecins en cours de spécialisation en pédiatrie par rapport au groupe gynécologues et médecins en cours de spécialisation en gynécologie (51,85%) et le lien était significatif ($p=0,044$). La majorité des médecins, respectivement 71,83% et 81,69%, estimait qu'il s'agissait d'une période très importante dans la vie d'un individu et que la nutrition était très importante au cours de cette période.

Connaissances sur la grossesse et le développement fœtal : Un médecin sur 5 (20%) n'avait aucune connaissance sur la grossesse et le développement fœtal. Concernant les suppléments indispensables en début de grossesse, 8,45% et 26,76% des enquêtés savait qu'il fallait compléter respectivement en iode et en calcium alors que, respectivement, 78,87% et 66,20% savaient qu'il fallait compléter en fer et en acide folique.

Concernant les risques à long terme du retard de croissance intra-utérin (RCIU), environ le tiers des enquêtés (30,99%) savaient qu'il y avait un risque ultérieur d'obésité et de diabète et la moitié (50,70%) un risque de maladies cardio-vasculaires ; neuf médecins (12,67%) pensaient qu'il n'y avait aucun risque.

Le faible poids de naissance (FPN) n'était pas lié à la mortalité infantile pour 14,28% des enquêtés et pour 29,58% il n'y avait aucun lien entre le FPN et la croissance future de l'enfant. Pour 36,62%, le FPN n'augmente pas le risque de survenue de maladies coronariennes et 52,11% pensaient que la petite taille de naissance (PTN) n'augmentait pas le risque de survenue de maladies cardiovasculaires à l'âge adulte.

Pour 32,39% des enquêtés, une croissance de rattrapage excessive n'augmentait pas le risque d'obésité ultérieure et 21,13% pensaient qu'une prise de poids excessive pendant l'enfance n'augmentait pas la mortalité d'origine cardio-vasculaire à l'âge adulte.

Connaissances sur l'alimentation : Trente médecins (42,25%) estimaient leurs connaissances sur le microbiote intestinal insuffisantes ou médiocres. La majorité (70,42%) savait que l'allaitement exclusif (AE) favorisait le développement optimal du microbiote alors que 23,94% pensait plutôt qu'une alimentation artificielle enrichie en pré et probiotique était préférable. Quarante-quatre médecins (61,97%) savaient que l'allaitement maternel permettait de diminuer le risque de maladies allergiques.

La majorité des médecins (85,92%) savaient que l'âge idéal pour démarrer la diversification alimentaire était de six mois mais le tiers (32,39%) estimait qu'il fallait attendre 12 mois pour introduire les œufs. Un tiers soit 32,39% savait que l'introduction précoce des aliments solides augmentait le risque d'obésité alors que 7% pensait que cette pratique permettrait au contraire d'éviter la survenue de l'obésité. Un peu plus des deux tiers (70,42%) savaient que l'exposition répétée à un nouvel aliment au cours de la diversification pouvait conduire à son acceptation alors que 19,72% pensaient que cette pratique pouvait conduire au contraire à son refus. Quarante-cinq médecins soit 63,38% savaient que l'exposition visuelle antérieure favorisait l'acceptation des aliments par l'enfant alors que 11,27% pensaient que cette pratique conduirait plutôt au refus par l'enfant. Pour 15,49% des praticiens, la texture de l'aliment n'avait aucune incidence au cours de la diversification. Les connaissances du groupe pédiatres et médecins en spécialisation de pédiatrie sur la diversification étaient meilleures par rapport au groupe gynécologues et médecins en spécialisation en gynécologie ($p=0,03$). Seulement 19,72% des médecins savaient que le rebond d'adiposité normal se produisait autour de 6 ans et parmi les facteurs favorisant la survenue d'un rebond d'adiposité précoce (RAP) seulement un médecin sur 4

(25,35%) savait qu'un apport protéique excessif pouvait être en cause. Plus de 2 médecins sur 3 interrogés (73,24%) savaient que des interventions diététiques pouvaient permettre de corriger un rebond d'adiposité précoce (RAP).

Près de la moitié des médecins (45%) savaient que la carence en fer pouvait être responsable de troubles cognitifs chez l'enfant alors que pour 11,27% des médecins, la carence en fer n'avait aucune conséquence sur l'enfant.

La moitié des médecins (50,70%) affirmaient avoir abordé le thème des 1000 premiers jours avec leurs patients ; et ceci à leur propre initiative dans 35,21% et en réponse à des questions dans 39,43%.

Commentaires

Au début des années 1980, BARKER avait démontré que le risque de décès par maladie coronarienne à l'âge adulte était corrélé au poids du sujet à la naissance, avec un risque de transmission aux générations suivantes (Barker et al., 2005 ; Roseboom et al., 2001).

Un médecin sur cinq ignorait les risques encourus à l'âge adulte lorsque la croissance fœtale n'était pas optimale alors qu'il est aujourd'hui clairement démontré qu'une restriction nutritionnelle au cours de la vie intra-utérine entraîne des modifications permanentes au niveau métabolique qui vont persister jusqu'à l'âge adulte et seront à l'origine des maladies comme l'HTA, les maladies coronariennes, le diabète de type 2 et l'obésité (Kajantie et al., 2008 ; Osmond et al., 2000 ; Whincup et al., 2008 ; Osmond et al., 1993 ; Erickson et al., 2001).

Dans 30 à 50% des cas, les risques liés au RCIU, au FPN, à la PTN de même qu'au rattrapage excessif dans la petite enfance étaient mal connus. Une malnutrition maternelle pendant la grossesse, un placenta de faible poids et une vie dans des conditions socio-économiques défavorables après la naissance augmentent le risque d'HTA à l'âge adulte (Barker, 2007). Un bébé conçu en période de famine et né en période normale aura un poids normal à l'âge adulte mais aura à son tour des bébés de FPN : c'est l'effet intergénérationnel. La croissance des filles influence donc la survenue de maladies chroniques dans la prochaine génération (Roseboom et al., 2019 ; Godfrey et al., 2000 ; Barker, 1997). La PTN est la conséquence de carences en fin de grossesse ; en effet la déviation du flux sanguin vers le cerveau qui en résulte pénalise le foie expliquant la baisse du périmètre ombilical constatée à la naissance qui traduit une diminution de la taille du foie. Le foie intervient dans le métabolisme du cholestérol et ces perturbations métaboliques expliquent la survenue des maladies coronariennes à l'âge adulte. La croissance intra-utérine et pendant la petite enfance est un facteur de risque de développement d'un groupe de maladies chroniques comme les maladies

coronariennes, les AVC, le diabète de type 2 et l'HTA. La malnutrition intra-utérine change la plasticité des organes : c'est le phénomène de programmation. Si un enfant présente un RCIU et un retard de croissance dans l'enfance suivi d'un rattrapage excessif, cela entraîne des maladies coronariennes et le diabète de type 2 alors que l'absence de rattrapage favorise plutôt la survenue des AVC (Erickson et al., 2001 ; Barker et al., 2009 ; Embleton et al., 2016). Les hommes ayant eu un faible poids à la naissance ont une augmentation de la mortalité d'origine cardiovasculaire à l'âge adulte (Kajantie et al., 2005). La croissance post natale de ces FPN devrait être surveillée car une croissance de rattrapage excessive entraîne un risque ultérieur d'obésité. Le RCIU, le FPN et la PTN entraînent des maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et une hypercholestérolémie dont la prévention passe par l'assurance d'un équilibre nutritionnel au cours de la grossesse (Barker, 2000).

En début de grossesse, il est indispensable de supplémenter en acide folique, en iode et en calcium. La carence en fer au cours de la grossesse augmente le risque de syndrome métabolique à long terme chez le fœtus. Si la supplémentation en fer et acide folique est bien connue, la supplémentation en iode et en calcium qui sont des oligo-éléments également indispensables sont peu connus des médecins. L'iode a un rôle déterminant dans le développement cérébral. La poursuite de la supplémentation en acide folique tout le long de la grossesse permet d'améliorer le développement cognitif des enfants. La carence en fer précoce entraîne des troubles cognitifs qui peuvent persister à l'âge adulte (Devakumar et al., 2016 ; McNulty et al., 2019).

Près de la moitié des médecins estimaient leurs connaissances sur le microbiote insuffisantes même si la majorité savait que l'allaitement exclusif pendant les 6 premiers mois de vie favorisait son développement optimal. Le microbiote se développe pendant les deux premières années de vie et a des fonctions nutritionnelle, physiologique, immunitaire et métabolique. Dans un tiers des cas, les connaissances sur la conduite de l'alimentation du nourrisson étaient insuffisantes. L'allaitement exclusif pendant les 6 premiers mois et l'exposition visuelle antérieure et répétée à une variété de saveurs dès le début de la diversification favorise l'acceptation des aliments par les enfants et conduit à une croissance optimale (Maier et al., 2007).

Conclusion

Ce travail a permis d'évaluer les connaissances des médecins au Togo sur le concept des 1000 premiers jours de vie. Même si les deux tiers des médecins enquêtés connaissaient le concept, un médecin sur cinq n'avaient aucune connaissance sur le déroulement optimal de la grossesse. Les connaissances sur l'alimentation étaient bonnes dans les deux tiers des cas. Un renforcement général des compétences s'avère nécessaire pour espérer réduire

le fardeau de toutes ces maladies non transmissibles qui trouvent leur origine depuis la conception et pour lesquelles des actions efficaces peuvent encore être menées dans la petite enfance. En matière de santé publique, il serait plus rentable d'investir sur la période des 1000 premiers jours. Il s'agit à la fois d'une période de vulnérabilité mais aussi d'opportunité à saisir pour améliorer la santé des générations actuelles et futures.

References:

1. Barker, DJP. (1997). Maternal nutrition, fetal nutrition, and disease in later life. *Nutrition*;13(9).
2. Barker, DJP. (2000). In utero programming of cardiovascular disease. *Theriogenology.*; 53:555-74.
3. Barker, DJP., Eriksson, JG., Forsén, T., & Osmond, C. (2002). Fetal origins of adult disease: strength of effects and biological basis. *Int. J. Epidemiol*; 31 (6):1235-1239.
4. Barker, JP. (2004). The developmental origins of adult disease. *J Am Coll Nutr* ; 23 (6) : 588S-595S.
5. Barker, DJ., Osmond, C., Forsén, TJ., Kajantie, E., & Eriksson, JG. (2005). Trajectories of Growth among Children Who Have Coronary Events as Adults. *N Engl J Med*;353(17):1802–9.
6. Barker, DJP., Osmond, C., Forsen, TJ., Kajantie, E., & Eriksson, JG. (2007). Maternal and social origins of hypertension. *Hypertension*;50:565-571.
7. Barker, DJP., Osmond, C., Kajantie, E., & Eriksson, JG. (2009). Growth and chronic disease: findings in the Helsinki Birth Cohort. *Ann. Hum. Biol*; 36(5): 445-58.
8. Cunha, AJLA., Leite, AJM., & de Almeida, IS. (2015). The pediatrician's role in the first thousand days of the child: The pursuit of healthy nutrition and development. *Jornal de Pediatria*;S44–51.
9. Darmaun, D. (2020). La nutrition des mille premiers jours : quels enjeux ? *Nutr clin métab*; <https://doi.org/10.1016/j.nupar.2020.04.004>
10. Devakumar, D., Fall, CHD., Sachdev, HS., Margetts, BM., Osmond, C., Wells, JCK. et al. (2016). Maternal antenatal multiple micronutrient supplementation for long-term health benefits in children: a systematic review and meta-analysis. *BMC*;14(1):90.
11. Embleton, ND., Korada, M., Wood, CL., Pearce, MS., Swamy, R., & Cheetham, TD. (2016). Catchup growth and metabolic outcomes in adolescents born preterm. *Arch Dis Child*;101:1026–31.
12. Eriksson, JG., Forsen, T., Tuomilehto, J., Osmond, C., & Barker, DJP. (2001). Early growth and coronary heart disease in later life: longitudinal study. *BMJ*; 322 (7292), 949-953.

13. Gluckman, PD., & Hanson, MA. (2004). Developmental origins of disease paradigm: a mechanistic and evolutionary perspective. *Pediatr Res*;56:311-7
14. Gluckman, PD., Hanson, MA., Cooper, C., & Thornburg, KL. (2008). Effect of in utero and early life conditions on adult health and disease. *N Engl J Med* ;359(1):61–73. doi: 10.1056/NEJMra0708473.
15. Godfrey, KM., & Barker, DJ. (2000). Fetal nutrition and adult disease. *Am J Clin Nutr*;71(Suppl.):1344S–52S.
16. Junien, C., & Siméoni, U. (2011). L’initiative des 1000 jours de l’OMS et l’origine développementale de la santé et des maladies (DOHaD). Document en ligne www.sf-dohad.fr consulté le 18 mai 2020 à 14h.
17. Kajantie, E., Barker, DJP., Osmond, C., Forsen, T., & Eriksson, JG. (2008). Growth before 2 years of age and serum lipids 60 years later: the Helsinki birth cohort study. *Int. J. Epidemiol*;37:280 –289.
18. Kajantie, E., Osmond, C., Barker, DJP., Forsen, T., Phillips, DIW., & Eriksson, JG. (2005). Size at birth as a predictor of mortality in adulthood: a follow-up of 350 000 person-years *Int. J. Epidemiol*;34:655–63.
19. Maier, A., Chabanet, C., Schaal, B., & Issanchou, S. (2007). Effects of repeated exposure on acceptance of initially disliked vegetables in 7-month old infants. *Food Qual Prefer*;18(8):1023–32.
20. McNulty, H., Rollins, M., Cassidy, T., Caffrey, A., Marshall, B., Dornan, J. et al. (2019). Effect of continued folic acid supplementation beyond the first trimester of pregnancy on cognitive performance in the child: a follow-up study from a randomized controlled trial (FASSTT Offspring Trial). *BMC Medicine*; 17: 196.
21. Osmond, C., & Barker, DJP. (2000). Fetal, infant, and childhood growth are predictors of coronary heart disease, diabetes, and hypertension in adult men and women. *Environ Health Perspect* ;108(3):545-553.
22. Osmond, C., Barker, DJ., Winter, PD., Fall, CH., & Simmonds, SJ. (1993). Early growth and death from cardiovascular disease in women. *BMJ.*; 307 (6918): 1519-1524.
23. Roseboom, TJ. (2019). Epidemiological evidence for the developmental origins of health and disease: effects of prenatal undernutrition in humans. *J Endocrinol*;242:T135–44.
24. Roseboom, TJ., Van der Meulen, JHP., Ravelli, ACJ., Osmond, C., Barker, DJP., Bleker, OP. (2001). Effects of prenatal exposure to the dutch famine on adult disease in later life: an overview. *Twin Research.* ; 4 (5) : 293- 298.
25. Vickers, MH., Breier, BH., Cutfield, WS., Hofman, PL., & Gluckman, PD. (2000). Fetal origins of hyperphagia, obesity, and hypertension

and postnatal amplification by hypercaloric nutrition. *Am J Physiol Endocrinol Metab*;279:E83-E87.

26. Whincup, PH., Kaye, SJ., Owen, CG., Huxley, R., Cook, DG., & Anazawa, S. (2008). Birth weight and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *JAMA*;300(24):2886-2897.

**Chorologie, Ecologie et Usages des espèces sauvages
apparentées aux légumes feuilles cultivées du genre *Solanum*
L. au Sénégal : Cas de la zone des Niayes**

Cossi Sosthène Assogbadjo, Master

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.

Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin

Doudou Diop, Docteur

Université Cheikh Anta Diop. Institut Fondamental d'Afrique Noire/CAD.

Laboratoire de Botanique, Dakar-Fann, Sénégal

Ahuéfa Mauricel Kégbé, Doctorante

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.

Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin

Yves Djihounouck, Doctorant

Ndongo Diouf, Docteur

Jules Diouf, Docteur

Ablaye Ngom, Docteur

Mame Samba Mbaye, Professeur

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.

Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

Achille Ephrem Assogbadjo, Professeur

Université d'Abomey-Calavi,

Faculté des Sciences Agronomiques, Cotonou, Bénin

Kandioura Noba, Professeur

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.

Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p147](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p147)

Submitted: 28 October 2020

Accepted: 12 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Assogbadjo C.S., Diop D., Kégbé A.M., Djihounouck Y., Diouf N., Diouf J., Ngom A., Mbaye M.S., Assogbadjo A.E. & Noba K. (2021). *Chorologie, Ecologie et Usages des espèces sauvages apparentées aux légumes feuilles cultivées du genre Solanum L. au Sénégal : Cas de la zone des Niayes*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 147.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p147>

Résumé

Le genre *Solanum* est l'un des plus importants de la flore du Sénégal tant par sa richesse spécifique que par sa valeur socio-économique. Cependant, si les espèces cultivées font l'objet d'étude sous diverses formes, les sauvages sont fréquemment éliminés. L'étude vise à renseigner sur la chorologie, l'écologie et les usages des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivées. Des enquêtes ont été menées auprès des populations et les résultats obtenus ont été complétés par la recherche bibliographique et les informations mentionnées dans les parts d'herbier. L'étude révèle que ces espèces occupent des milieux divers. Au Sénégal, elles sont présentes dans toutes les zones agro-écologiques avec une grande diversité dans la zone des *Niayes*. Elles se rencontrent aussi bien en milieux arides où la végétation est de type steppe qu'en milieux humides composées principalement de savanes et affectionnent mieux les sols ferrugineux tropicaux. L'étude ethnobotanique réalisée a révélé cinq types d'utilisation : médicinale (47,87%), alimentaire (27,66 %), culturelle (14,89%), fourragère 8,51% et artisanale 1,06%. Les organes affectés à ces utilisations sont la feuille (43,36%) suivie de la racine (30,97%), du fruit (24,78%) et de la tige (0,88%). La connaissance des espèces favorise une meilleure valorisation de celles qui vivent dans des écosystèmes en proie à une forte urbanisation.

Mots-clés : *Solanum*, chorologie, écologie, Sénégal

Chorology, Ecology and Uses of wild species related to cultivated leaf vegetables of the genus *Solanum* L. in Senegal: Case of the *Niayes* zone

Cossi Sosthène Assogbadjo, Master

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.
Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal
Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin

Doudou Diop, Docteur

Université Cheikh Anta Diop. Institut Fondamental d'Afrique Noire/CAD.
Laboratoire de Botanique, Dakar-Fann, Sénégal

Ahuéfa Mauricel Kégbé, Doctorante

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.
Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal
Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin

Yves Djihounouck, Doctorant

Ndongo Diouf, Docteur

Jules Diouf, Docteur

Ablaye Ngom, Docteur

Mame Samba Mbaye, Professeur

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.
Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

Achille Ephrem Assogbadjo, Professeur

Université d'Abomey-Calavi,
Faculté des Sciences Agronomiques, Cotonou, Bénin

Kandioura Noba, Professeur

Université Cheikh Anta Diop. Département de Biologie végétale.
Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Dakar-Fann, Sénégal

Abstract

The genus *Solanum* is one of the most important of the flora of Senegal both for its specific richness and its socio-economic value. However, while cultivated species are studied in various forms, wild species are frequently eliminated. The study aims to provide information on the chorology, ecology and uses of wild relatives of cultivated leafy vegetables. Population surveys were conducted and the results obtained were supplemented by literature search and information mentioned in the herbarium parts. The study revealed that these species occupy diverse environments. In Senegal, they are present in all agro-ecological zones with a great diversity in the *Niayes* zone. They are found in arid environments where the vegetation is

steppe type as well as in humid environments composed mainly of savannah and are more fond of tropical ferruginous soils. The ethnobotanical study carried out revealed five types of use: medicinal (47.87%), food (27.66%), cultural (14.89%), fodder (8.51%) and artisanal (1.06%). The organs assigned to these uses are the leaf (43.36%) followed by the root (30.97%), the fruit (24.78%) and the stem (0.88%). The knowledge of the species favors a better valorization of those living in ecosystems in prey to a strong urbanization.

Keywords: Solanum, chorology, ecology, Senegal

Introduction

Les espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées constituent un énorme réservoir de variabilité génétique qui est utilisable dans les programmes de sélection végétale et indispensable pour améliorer la sécurité alimentaire, stimuler la production agricole et maintenir la productivité (Hunter & Heywood, 2011). Parmi les nombreuses espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées utiliser par l'homme se trouvent les espèces du genre *Solanum*. Ce genre est le plus diversifié de la famille des *Solanaceae* et l'un des dix plus grands genres des espèces végétales (Frodin, 2004). Il est en réalité difficile d'établir sa taille exacte, mais le nombre d'espèces qu'il renferme est estimé à plus de 1350 (Samuels, 2015). Les espèces sauvages apparentées sont présentes dans les écosystèmes naturels et semi-naturels Vollbrecht & Sigmon (2005) et interviennent pour répondre aux besoins d'une population mondiale de plus en plus croissante représentant un des défis majeurs de notre époque. Elles jouent un rôle important dans les régimes alimentaires des populations (Akpavi *et al.*, 2011) et occupent une place importante dans le maintien de l'équilibre alimentaire pour celles défavorisées (Clay, 2002). En plus, les espèces du genre *Solanum* sont utilisées à des fins médicinales (Alsherbiny *et al.*, 2015). En effet, leur consommation comme alicament pourrait aider à prévenir et à traiter beaucoup de maladies (Jain *et al.*, 2011). Cependant, en dépit de leur importance, plusieurs menaces telles que les changements climatiques, la désertification, les pressions démographiques pèsent sur ces ressources (Ozer *et al.*, 2010 ; Maxted et Kell, 2009). En effet, la zone des *Niayes*, milieu atypique bordant la frange littorale du Sénégal caractérisée par une végétation jadis luxuriante est aujourd'hui sujette à une dégradation sans précédent et fortement menacée de disparition sous l'effet d'une urbanisation accélérée (Diallo *et al.*, 2009). La connaissance de ces espèces reste un impératif pour des stratégies de conservation et de valorisation. A part les études botaniques de Berhaut (1967 ; 1988) et Kerharo *et al.* (1974) sur la caractérisation de la flore globale et sur la pharmacopée Sénégalaise traditionnelle, les espèces sauvages apparentées du genre *Solanum* ont fait l'objet de très peu d'études scientifiques. C'est dans ce cadre

que nous envisageons de mener cette étude pour apporter des données récentes sur la diversité des espèces mais aussi leur importance pour la population locale. En d'autres termes, elle se concentre sur la répartition géographique, l'écologie et les usages faits des espèces sauvages apparentées aux légumes feuilles cultivés du genre *Solanum* par les populations. Plus spécifiquement, il s'agira :

- d'établir la distribution des espèces sauvages apparentées aux légumes feuilles cultivés du genre *Solanum*,
- d'établir les corrélations entre la distribution géographique et les facteurs écologiques ;
- d'identifier les usages de ces espèces par les populations locales.

Méthodologie

Répartition géographique et écologie des espèces au Sénégal.

Le Sénégal est situé à l'extrême Ouest du continent Africain, entre 12°5 et 16°5 de latitude Nord puis 11°5 et 17°5 de longitude Ouest. Il couvre une superficie de 196.712 km² et est limité au Nord par la Mauritanie, à l'Est par le Mali, au Sud par la Guinée Conakrie et la Guinée Bissau et à l'Ouest par l'Océan Atlantique sur une façade de 700 km. La République de Gambie constitue une enclave de plus de 300 km à l'intérieur du territoire sénégalais (ANACIM, 2018). En fonction de sa latitude tropicale, le Sénégal appartient à la zone de transition entre la ceinture périphérique des déserts tropicaux (climat sahélien) et la zone équatoriale centre africaine (climat guinéen) (Ndao, 2012). Ce positionnement permet au pays de disposer d'une diversité d'écosystèmes riches en espèces (MEPN, 1997).

Selon Maxted *et al.* (2006), on entend par « parent sauvage », toute espèce appartenant au même genre que l'espèce cultivée mais qui pousse de manière naturelle. Se basant sur cette définition, 15 espèces sauvages apparentées aux légumes feuilles cultivés du genre *Solanum* ont été recensées au Sénégal. La recherche documentaire réalisée porte sur la répartition géographique et les conditions écologiques des espèces (Hutchinson *et al.*, 1958 ; Berhaut, 1979 ; Adam, 1981 ; Berhaut, 1988 ; Kerharo *et al.*, 1974 ; Bukenya & Carasco, 1995 ; Gbile & Adesina, 1988 ; Lebrun *et al.*, 1992 ; Alsherbiny *et al.*, 2015 ; Samuels *et al.*, 2015). Des sites internet ont été consultés (base de données des plantes d'Afrique: <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>, <https://www.prota4u.org>, la base de données Global Biodiversity Information Facility: <https://www.gbif.org/fr/>) et les données obtenues ont été complétées par les indications fournies sur les échantillons des herbiers de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) et du Département de Biologie Végétale de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) à Dakar. Les aires de répartition des espèces végétales en Afrique tropicale, représentées par les subdivisions phytogéographiques proposées par

Lebrun (1947) et cité dans Diop *et al.* (2012) ont été utilisées pour caractériser la répartition des espèces du genre *Solanum* au niveau continental. La superposition de la carte de l'Afrique avec ces subdivisions phytogéographiques, sur celle contenant les limites des États d'Afrique, a permis d'apprécier l'aire de distribution géographique de chacune des espèces étudiées. Dans cette étude, trois facteurs écologiques ont été retenus. Il s'agit du climat, de la végétation, et du sol qui représentent des facteurs importants influençant la répartition des espèces végétales. La carte des zones climatiques utilisée est celle défini par Mbow (2009) alors que les caractéristiques des types de végétation et de sol ont été fournies par l'observatoire du Centre de Suivi Ecologique (2007).

Une approche de géoréférencement basée sur la sélection de cartes avec le logiciel ARCGIS a été utilisée. Celle-ci consiste à une projection des coordonnées géographiques sur une carte géoréférencée permettant de délimiter les aires de répartition des espèces.

Ethnobotanique

Une visite de prospection a été menée en collaboration avec la population locale afin de choisir les régions à visiter tout en restant dans une logique de présence des espèces du genre *Solanum* dans les lieux. Ainsi, trois régions (Dakar, Thiès et Saint Louis au Sénégal) des quatre constituants les *Niayes* ont été retenues pour les enquêtes ethnobotaniques. (Tableau 1)

Tableau 1 : Communes et villages retenues dans chaque région pour l'étude

Régions	Communes	Villages
Dakar	Sangalkam et Mbao	Sangalkam, Noflaye, Mbao et Keur Massa
Thiès	Méouane et Pambal	Daho Diop, Dougname, Darou khoudoss et Baïty-bacar
Saint-Louis	Gandon et Béthio	Rao, Kallassane, Ndiawdoune et Darou-salam

Pour mener à bien nos activités, un questionnaire teste a été administré sur des personnes choisies de manière aléatoire (Alves & Alves, 2011) afin de s'assurer de la bonne compréhension des questions par chacun des acteurs (interprète, répondant et enquêteur). Ce processus nous a permis de limiter la déformation des informations lors de la traduction orale et de la transcription. Dans chaque région, il était question de visiter quatre villages autrement dit, deux villages par commune en fonction de leurs fort potentiel en production agricole notamment maraîchères.

La méthode non probabiliste par convenance a été utilisée comme méthode d'échantillonnage. À cet effet, le choix des personnes a été basé sur des critères précis. Il s'agissait de rencontrer le chef du village qui est la personne morale de sa communauté. Après explication de l'objectif de notre

visite, il nous établissait une liste de personnes à interroger. Suivant l'âge, le sexe et l'activité socio- professionnelle, 10 personnes par village ont été retenues pour l'enquête étant donné que la différence du nombre de personnes engagées dans ces domaines d'activités entre les différents villages n'est pas très importante (variant entre 8 et 12). Ces entrevues ont été appliquées majoritairement auprès de personnes majeures autochtones et de préférence des hommes pour leurs connaissances avec les espèces sauvages. Pour éviter toute confusion sur la reconnaissance des espèces par les populations, des photos de chaque espèce ont été montrées à ces derniers.

Les données ont été collectées à travers des entretiens semi-structurés à l'aide d'une fiche d'enquête comprenant deux parties : une partie relative aux informations socio-démographiques de l'informateur (nom et prénoms, âge, situation matrimoniale, ethnie, catégorie socioprofessionnelle...), une autre partie relative aux informations sur les espèces sauvages du genre *Solanum*. Toutes les personnes ont été interrogées individuellement. L'identification des espèces récoltées a été faite soit sur place, soit au laboratoire de botanique de l'IFAN / UCAD et au Laboratoire de Botanique et Biodiversité du département de Biologie Végétale à l'aide des flores illustrées de Berhaut (1967 ; 1979 ; 1988) et des collections d'herbiers Dakar et de IFAN. La nomenclature adoptée est celle de la base de données du Conservatoire et Jardin Botanique (C.J.B) de la ville de Genève (Lebrun et Stork, 1997 ; 1995 ; 1992 ; 1991). Le nom scientifique de chaque espèce a été transcrit en langue locale à l'aide des documents spécialisés (Adam, 1970 ; Berhaut, 1967).

Le dépouillement des données a été effectué avec le logiciel d'analyse statistique Epi Info. Les données collectées ont été traitées et représentées graphiquement grâce au tableur Excel. La fréquence de citation (F_c) de chaque plante a été déterminée suivant la formule indiquée par (Fah *et al* 2013).

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

Avec : n = Nombre de citations de l'espèce et N = Nombre total de citations de toutes les espèces (N).

Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée avec le logiciel R (R Core Team, 2017) avec le package factoMiner (Version : 1.0.5) pour établir la relation entre les espèces et les régions prospectées.

Résultats

Répartition géographique et écologie

Répartition géographique

Le Tableau 2 récapitule la répartition géographique des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivés du genre *Solanum* dans le monde, en Afrique et au Sénégal.

A l'échelle mondiale, les résultats montrent que :

- une seule espèce est cosmopolite. Il s'agit de *S. nigrum* présente sur tous les continents ;
- douze espèces, *S. forskalii*, *S. terminale*, *S. incanum*, *S. aculeatissimum*, *S. americanum*, *S. torvum*, *S. anguivi*, *S. erianthum*, *S. dasyphyllum*, *S. scabrum* *S. sisymbriifolium* et *S. seafortianum* sont signalées dans trois continents (Afrique, Amérique et Asie) ;
- sept espèces : *S. erianthum*, *S. anguivi*, *S. torvum*, *S. aculeatissimum*, *S. incanum*, *S. americanum* et *S. scabrum* ont été signalée en Europe.
- deux espèces : *S. anomalum* et *S. cerasiferum* sont signalées dans deux continents (Afrique, Amérique).

En Afrique, les espèces étudiées sont Plurirégionales Africaine.

Tableau 2 : Répartition géographique des espèces du genre *Solanum* rencontrées au Sénégal

Espèces	Monde	Afrique	Sénégal
<i>S. aculeatissimum</i>	Afrique ^{2,3,4,5} Asie ^{4,5} Amérique ^{4,5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{3,4,5} (Afrique de l'Est et de l'Ouest)	Niayes ^{2,3} , Fleuve Sénégal ^{2,3} , Bassin arachidier ³ , Sénégal oriental ³
<i>S. americanum</i>	Afrique ^{2,3,4,5} Amérique ^{4,5} Asie ^{4,5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{1,4}	Niayes ^{1,3}
<i>S. nigrum</i>	Cosmopolite ^{1,2,3,4,5}	Plurirégionales Africaines ^{1,4,5} (Afrique de l'Est, de l'Ouest du nord ...)	Niayes ^{1,2,3} , Fleuve Sénégal ^{2,3} , Sénégal oriental ³ , Ferlo ^{2,3}
<i>S. torvum</i>	Afrique ^{2,5} Amérique ^{4,5} Asie ^{4,5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{3,4} (Afrique de l'Ouest ; Afrique centrale)	Niayes ³
<i>S. incanum</i>	Afrique ^{1,2,3,5} Amérique ^{4,5} Asie ^{4,5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{3,4} (Afrique de l'Est et de l'Ouest)	Niayes ^{2,3} , Fleuve Sénégal ^{2,3} , Bassin arachidier ³ , Sénégal oriental ^{3,4} Casamance ³
<i>S. anguivi</i>	Afrique ^{2,4,5} Amérique ^{4,5} Asie Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{4,5}	Bassin arachidier ³
<i>S. terminale</i>	Afrique ^{2,3,4} Amérique ^{4,5} Asie ^{4,5}	Plurirégionales Africaines ^{4,5} (Se rencontre depuis la Guinée jusqu'en Ethiopie et vers le sud jusqu'en Angola et en Afrique du Sud)	Niayes ³
<i>S. anomalum</i>	Afrique ^{2,3,5} Amérique ^{4,5}	Plurirégionales Africaines ^{4,5} (Sénégal, Bénin Sierra Leone jusqu'au sud du Nigeria, au Cameroun et en R.D. du Congo)	Niayes ³

<i>S. erianthum</i>	Afrique ^{2,5} Amérique ^{2, 3, 5} Asie ^{4,5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{4,5} (Sénégal, Bénin, Cote d'ivoire, Uganda, Nigeria)	Niayes ³
<i>S. cerasiferum</i>	Afrique ^{2,3,5} Amérique ^{4,5}	Plurirégionales Africaines ^{4,5} (Sénégal, Cote d'ivoire, Uganda, Kenya)	Niayes ^{2,3} , Bassin arachidier ³ , Sénégal oriental ^{1,3} , Ferlo ³
<i>S. dasyphyllum</i>	Afrique ^{2,3,5} Amérique ^{4,5} Asie ⁴	Plurirégionales Africaines ^{4,5} (Sénégal, Bénin, Cote d'ivoire, Uganda)	Bassin arachidier ³ Ferlo ³ , Casamance ³
<i>S. scabrum</i>	Afrique ^{2, 4, 5} Asie ^{4,5} Amérique ^{4, 5} Europe ⁴	Plurirégionales Africaines ^{3,4} (Afrique de l'Est et de l'Ouest)	Niayes ³
<i>S. sisymbriifolium</i>	Afrique ^{2, 4, 5} Amérique ^{4, 5} Asie ⁵	Plurirégionales Africaines ^{3,4,5} (Sénégal, Bénin, Cote d'ivoire, Uganda, Mali)	Sénégal oriental ^{1,3}
<i>S. seafortianum</i>	Afrique ^{2, 4} Asie ⁴ Amérique ^{4, 5}	Plurirégionales Africaines ^{3,4} (Afrique de l'Est et de l'Ouest)	Fleuve Sénégal ³
<i>S. forskalii</i>	Afrique ^{2, 3, 4} Amérique ^{4,5} Asie ⁴	Plurirégionales Africaines ⁴ (Sénégal, Cote d'ivoire, Uganda, Malawi)	Niayes ³ , Fleuve Sénégal ³

1 : observations personnelles, 2 : Berhaut, 1979 ; Berhaut, 1988 ; - 3 : fiches d'Herbier ; 4 : <http://www.gbif.org>, (02.01.2020), 5 : <https://www.prota4u.org> (02.01.2020)

Les Figures 1 et 2 présentent respectivement, la répartition géographique et les zones agro-écologiques couvertes par chacune des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivés du genre *Solanum* au Sénégal.

En ce qui concerne la diversité spécifique, elle est plus marquée dans la zone des *Niayes* où 11 espèces sont signalées, suivie du Sénégal oriental avec 6 espèces, du Fleuve Sénégal et du Bassin arachidier avec 5 espèces chacune, du Ferlo avec 3 espèces et enfin de la Casamance avec 2 espèces.

Pour ce qui est de la répartition agro-écologique :

- *S. incanum* est l'espèce la plus répandue car présente dans toutes les zones agro-écologiques du Sénégal.
- *S. nigrum*, *S. dasyphyllum*, *S. aculeatissimum* et *S. cerasiferum* sont les espèces moyennement répandues car retrouvées dans plus de deux zones agro-écologiques.
- *S. americanum*, *S. torvum*, *S. anguivi*, *S. terminale*, *S. anomalum*, *S. erianthum*, *S. scabrum*, *S. sisymbriifolium*, *S. seafortianum* et *S. forskalii* constituent les espèces à répartition faible car confinées dans une ou deux zones agro-écologiques.

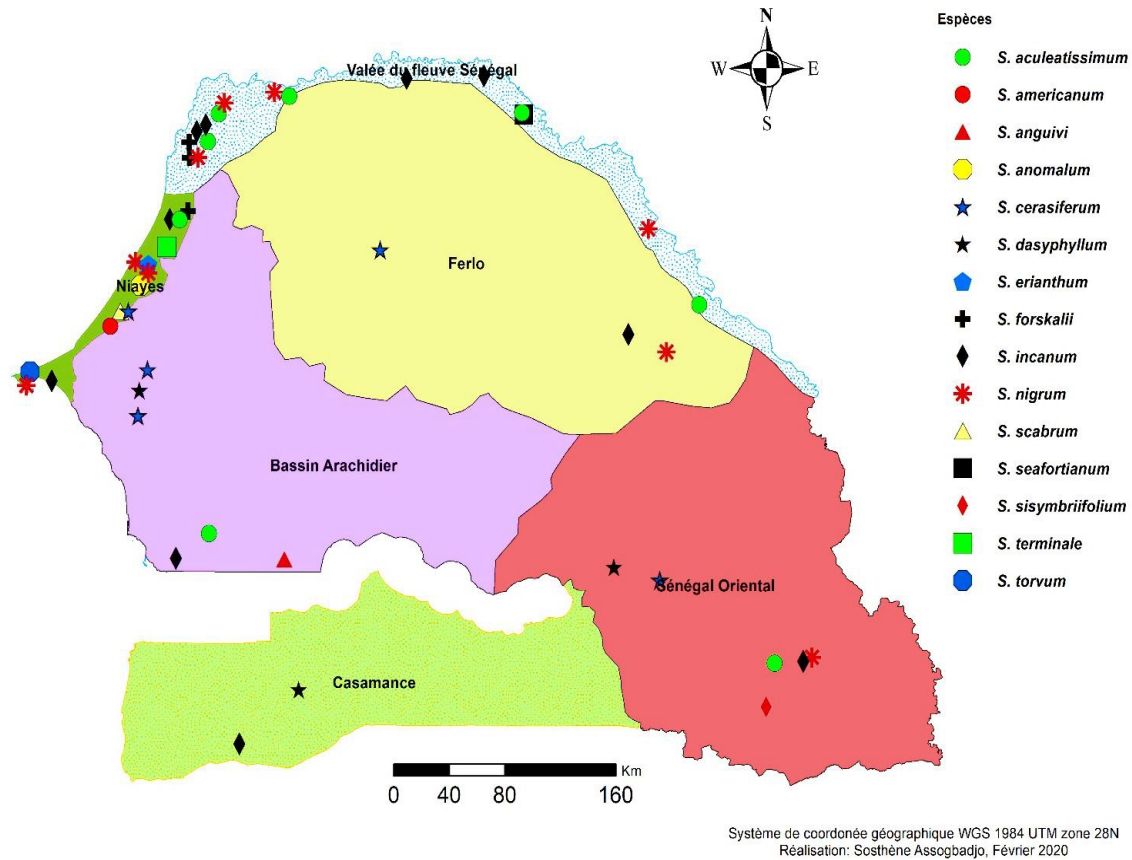


Figure 1 : Répartition géographique des espèces en fonctions des zones agro-écologiques

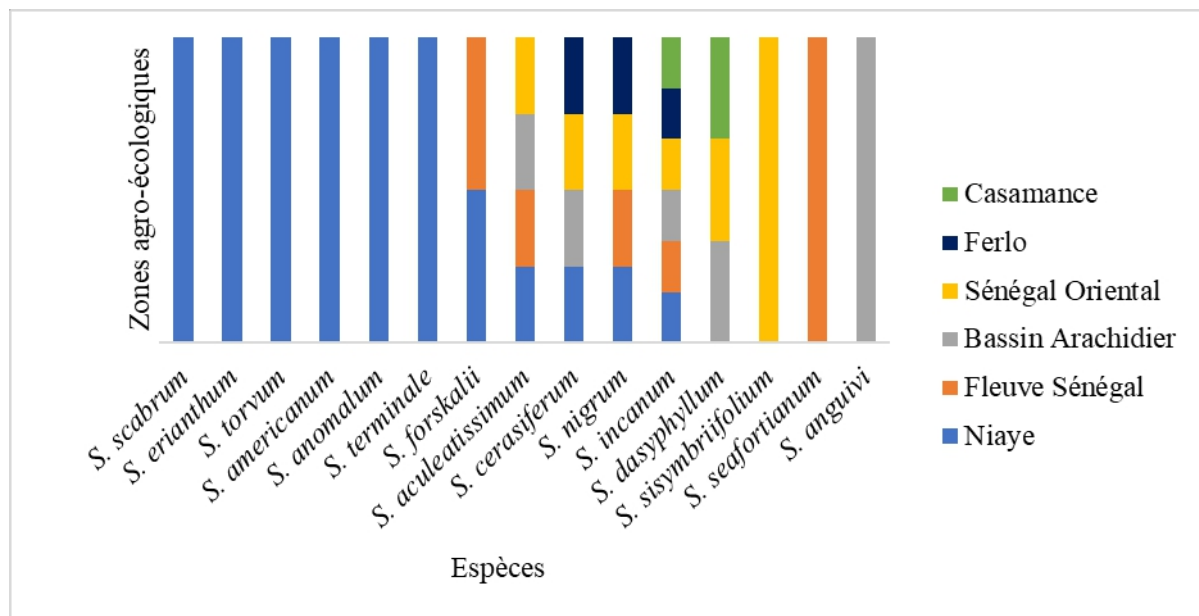


Figure 2 : Zones agro-écologiques couvertes par chacune des espèces au Sénégal

Ecologie des espèces

Au niveau des zones phytogéographiques, si dans leur intégralité les espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* supportent un large éventail de conditions environnementales. Il convient néanmoins de mentionner que certaines d’entre-elles ont des caractéristiques spécifiques qui les lient à une zone phytogéographique. Ainsi, deux groupes peuvent être définis en fonction de leurs aires de répartition (Figure 3) :

- des espèces à large spectre de distribution ; il s’agit de *S. nigrum*, *S. incanum*, *S. cerasiferum*, *S. dasyphyllum* et *S. aculeatissimum* qui sont rencontrées au nord et au sud du pays dans différentes zones phytogéographiques telles que les zones sahélienne, sahélo-soudanienne et guinéenne ;

- des espèces à spectre de distribution moyen à faible ; il s'agit de *S. scabrum*, *S. erianthum*, *S. torvum*, *S. terminale*, *S. americanum* et *S. anomalum* qui sont d'affinité sahélo-soudanienne, de *S. seafortianum* rencontrée dans la zone sahéenne, de *S. anguivi* et *S. sisymbriifolium* circonscrite dans la zone soudanienne et de *S. forskalii* retrouvée dans les zones sahéenne et sahélo-soudanienne.

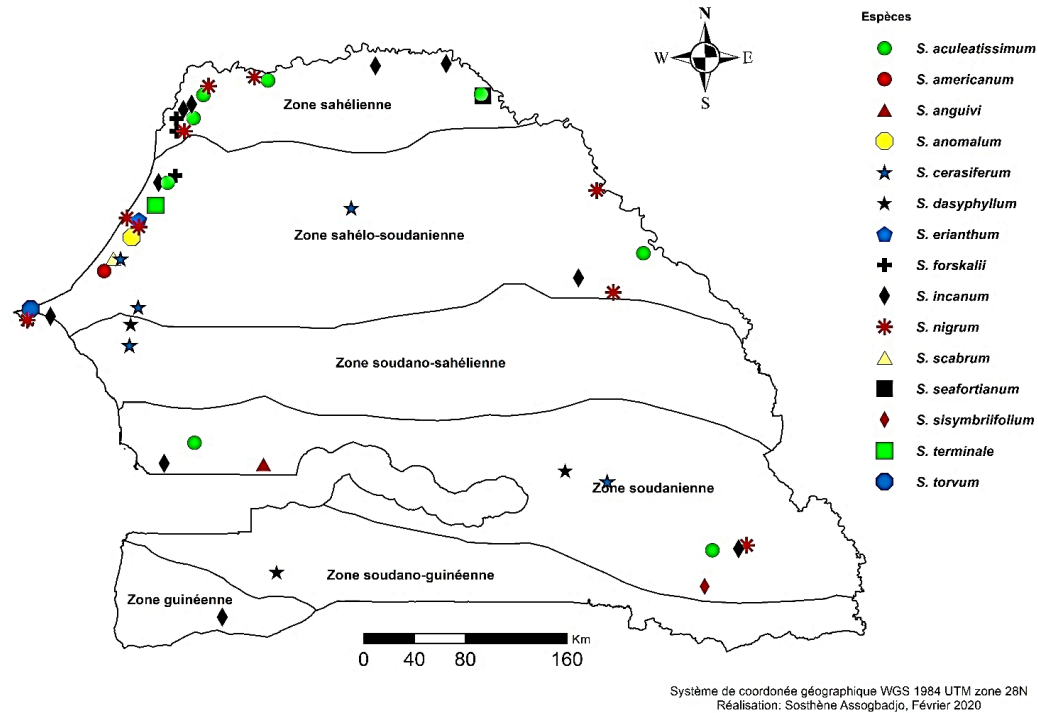


Figure 3 : Répartition des espèces en fonction des zones phytogéographiques du Sénégal

A l'image des zones phytogéographiques, les espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* sont présentes dans presque tous les types de végétation du Sénégal constitués majoritairement de savanes et de steppes (Ngom *et al.*, 2016). En effet, certaines espèces se rencontrent à la fois en milieux arides où la végétation est de type steppe (au nord) et humides (au sud) composées principalement de forêts et de savanes boisées (Tableau 3). C'est le cas de : *S. nigrum*, *S. incanum*, *S. cerasiferum*, *S. dasyphyllum* et *S. aculeatissimum*. Pour d'autres espèces, la particularité réside dans leur confinement au Nord ou au Sud du pays. Au nord, il s'agit de *S. scabrum*, *S. erianthum*, *S. torvum*, *S. terminale*, *S. americanum* et *S. seafortianum* retrouvées dans des savanes arbustives et au niveau des jachères. Au Sud, c'est le cas de *S. anguivi* rencontrée dans les savanes boisées et de *S. sisymbriifolium* retrouvée dans les forêts humides. (Tableau 3)

Du point de vue pédologie, les résultats de la présente étude montrent que les espèces étudiées, prises dans leur intégralité, poussent sur la plupart des sols du pays (Tableau 3). En effet, on les trouve sur des :

- (i) sols ferrugineux tropicaux : *S. aculeatissimum*, *S. americanum*, *S. nigrum*, *S. torvum*, *S. anguivi*, *S. anomalum*, *S. erianthum*, *S. cerasiferum*, *S. dasyphyllum*, *S. scabrum* et *S. forskalii* ;
- (ii) sols brun subarides: *S. nigrum*, *S. incanum*, *S. anomalum*; *S. cerasiferum*, *S. dasyphyllum*, et *S. seafortianum* ;
- (iii) sols halomorphes : *S. aculeatissimum*, *S. nigrum*, *S. incanum* et *S. sisymbriifolium* ;
- (iv) sols hydromorphes: *S. americanum*, *S. anomalum* et *S. dasyphyllum*;
- (v) sols rouge brun : *S. terminale* et *S. forsskalii* ;
- (vi) sols ferralitiques : *S. incanum*.

La Figure 4 présente le nombre d'espèces signalées par type de sol au Sénégal. On observe que les espèces étudiées affectionnent mieux les sols ferrugineux tropicaux (11 espèces) qui sont prédominantes au Sénégal et conviennent à une gamme plus large de cultures du fait de leur plus grande richesse minérale.

Moins fréquent, elles poussent sur les sols rouges bruns et les sols ferralitiques qui sont à fertilité relativement faible.

Tableau 3 : Caractéristiques écologiques des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivés du genre *Solanum* au Sénégal.

Espèces	Caractères écologiques		
	Biotope	Climat	Pédologie
<i>S. aculeatissimum</i>	Galerie forestière, Savanes arbustives	Climat soudanien	Sols : Halomorphes et Ferrugineux tropicaux
<i>S. americanum</i>	Savanes arbustives, Jachères	Climat sahélo- soudanien	Sols : Hydromorphes Ferrugineux tropicaux
<i>S. nigrum</i>	Galleries forestières, Savanes arbustives, Steppes	Climat soudanien	Sols : Brun subaride, Ferrugineux tropicaux Halomorphe
<i>S. torvum</i>	Savanes arbustives, Jachères	Climat sahélo- soudanien	Sols ferrugineux tropicaux
<i>S. incanum</i>	Forêt humide, Savane boisées, Steppes	Climat soudanien	Sols : Bruns subarides, Ferrugineux tropicaux, Halomorphe, Ferralitiques
<i>S. anguivi</i>	Savanes boisées	Climat soudanien	Sols ferrugineux tropicaux
<i>S. terminale</i>	Savanes arbustives	Climat soudanien	Sols rouge brun
<i>S. anomalum</i>	Savanes arbustives Jachères	Climat sahélo- soudanien	Sols : Bruns subarides, Ferrugineux tropicaux Hydromorphe
<i>S. erianthum</i>	Savanes arbustives, Jachères	Climat soudanien	Sols ferrugineux tropicaux
<i>S. cerasiferum</i>	Savanes boisées, Savanes arbustives, Jachères	Climat sahélo- soudanien et soudanien	Sols : Bruns subarides, Ferrugineux tropicaux
<i>S. dasyphyllum</i>	Forêts humides	Climat soudano- guinéen	Sols : Bruns subarides, Ferrugineux tropicaux, Hydromorphes
<i>S. scabrum</i>	Savanes arbustives	Climat sahélo- soudanien	Sols ferrugineux tropicaux
<i>S. sisymbriifolium</i>	Forêts humides	Climat soudano- guinéen	Sols halomorphes
<i>S. seafortianum</i>	Savanes arbustives	Climat soudanien	Sols brun subarides,
<i>S. forskalii</i>	Savanes arbustives et steppes	Climat soudanien	Sols : Rouge brun, Ferrugineux tropicaux

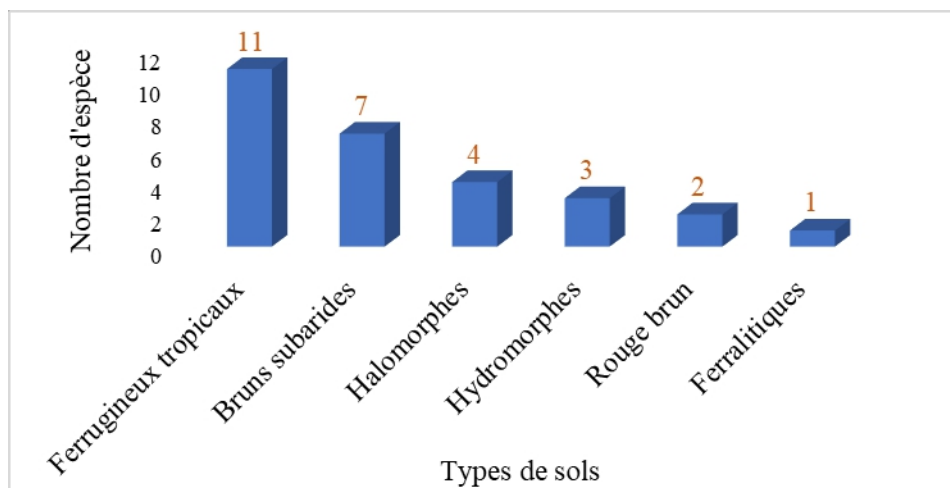


Figure 4 : Répartitions des espèces en fonction des sols

Etude ethnobotanique

Sur les 120 personnes enquêtées, 74,17% sont de sexe masculin contre 25,83% de sexe féminin (Figure 5). La classe d'âge la plus représentative est celle des adultes (82,5%) dont l'âge est compris entre 30 et 60 ans. Elle est suivie de celle des vieillards (13,33%) de plus de 60 ans et enfin des jeunes (4,17%) de moins de 30 ans (Figure 6). Ces informateurs sont d'ethnies diverses avec une forte dominance des Wolofs (55%). Les sérères et les peulhs sont également bien représentés avec respectivement 20,66% et 18,18% tandis que les diolas sont faiblement représentés 6,67% (Figure 7). La plupart des enquêtés sont des agriculteurs avec 46,67% suivis des commerçants 24,16%, des artisans 11,67%, des éleveurs 10% et d'autres catégories socio-professionnelles 7,5% (Figure 8).

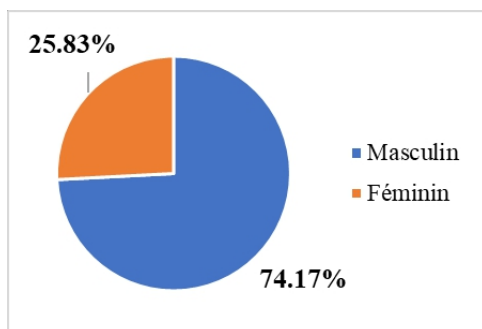


Figure 5 : Répartition des enquêtés selon le sexe

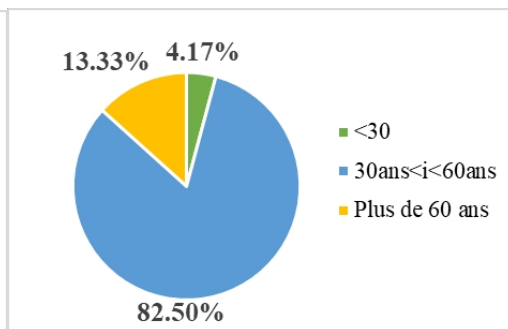


Figure 6 : Répartition des enquêtés selon l'âge

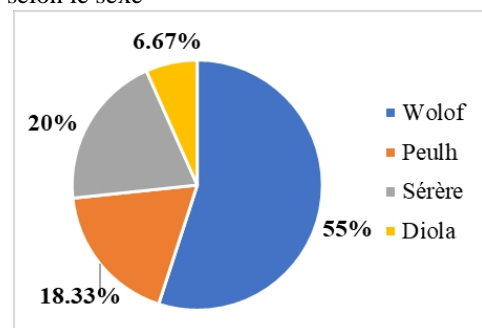


Figure 7 : Répartition des enquêtés selon les ethnies

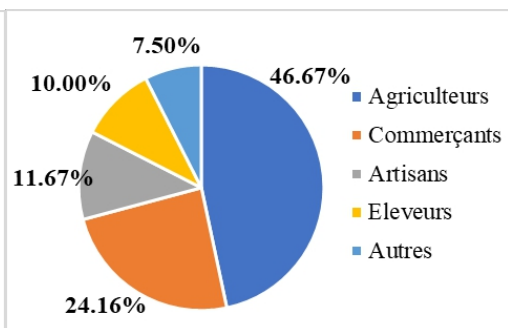


Figure 8 : Répartition des enquêtés selon les catégories socio-professionnelles

Usages des espèces

Le Tableau 4 résume les différents niveaux de connaissances et d'usages des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* rencontrées au Sénégal principalement dans les sites d'études.

Parmi les 15 espèces répertoriées, 14 sont exploitées par les populations. En effet, *S. sisymbriifolium* et *S. nigrum* sont les espèces les plus citées avec respectivement 23,13% et 20,65%. Elles sont suivies de *S. aculeatissimum* 15,71%, *S. incanum* 6,61%, *S. dasyphyllum* 5,79% et *S. torvum* 5,79% qui sont les espèces moyennement citées par les enquêtés. Par ailleurs des espèces rarement citées sont notées avec moins de 5%. Il s'agit de : *S. anomalum* 4,13%, *S. americanum* 3,31%, *S. anguivi* 3,31%, *S. seafortianum* 3,31%, *S. scabrum* 2,48%, *S. erianthum* 2,48%, *S. cerasiferum* 1,65% et *S. terminale* 1,65%.

En ce qui concerne la nomenclature traditionnelle, 14 espèces ont des noms locaux. L'ethnie Wolof semble être plus engagée dans la dénomination des espèces car intervenant pour 12 espèces. Il est suivi des ethnies peulh et sérère avec 4 espèces chacune puis de l'ethnie Diola qui semble ne pas être engagé dans la dénomination de ces espèces. Les appellations locales peuvent être identiques d'une ethnie à l'autre. C'est l'exemple de : *S. erianthum* appelé « Kanni salade » chez les wolofs et les Sérères. De plus, au sein d'une même

ethnie, on peut noter une diversité d'appellation de l'espèce. C'est le cas de *S. americanum* appelé « Ndary » ou encore « Badé kélé » chez les peulhs.

L'exploitation des espèces concerne plusieurs domaines d'usages que sont : médicinal ; alimentation humaine ; culturel ; fourragère et artisanal.

- Dans le domaine de la médecine traditionnelle, 12 espèces sont utilisées. Il s'agit de : *S. nigrum*, *S. aculeatissimum*, *S. incanum*, *S. dasyphyllum*, *S. torvum*, *S. anomalum*, *S. anguivi*, *S. seafortianum*, *S. scabrum*, *S. erianthum*, *S. cerasiferum*, *S. terminale*. Six de ces espèces (*S. nigrum*, *S. aculeatissimum*, *S. torvum*, *S. incanum*, *S. dasyphyllum* et *S. scabrum*) sont utilisées pour soigner les douleurs de ventre et deux espèces (*S. anomalum* et *S. erianthum*) interviennent dans le traitement des douleurs externes. Notons que *S. cerasiferum* est signalée dans la médecine animale.
- En ce qui concerne le domaine alimentaire, neuf espèces sont utilisées. Il s'agit de *S. americanum*, *S. torvum*, *S. anomalum*, *S. scabrum*, *S. nigrum*, *S. incanum*, *S. terminale*, *S. erianthum* et *S. dasyphyllum*.
- Pour le domaine de l'élevage (fourrage), six espèces (*S. aculeatissimum*, *S. anguivi*, *S. anomalum*, *S. incanum*, *S. terminale* et *S. nigrum*) sont utilisées.
- Dans le domaine culturel, trois espèces (*S. aculeatissimum*, *S. cerasiferum* et *S. sisymbriifolium*) sont utilisées. Ces espèces sont utilisées pour se protéger contre les forces du mal (sorcellerie) et pour se purifier.
- Du point de vu artisanal, une espèce, *S. seafortianum* intervient pour la fabrication d'objet décoratif

Tableau 4 : Usages et noms vernaculaires des espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivés du genre *Solanum*

Espèces	Nom vernaculaire (Langue)	Usages (organes utilisés)	FC (%)
<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Heum heum (Wolof)	Culturel : utiliser pour la protection contre le mal et les envoutements (feuilles, fruits et racines)	23,13
<i>S. nigrum</i>	dagato foro (Foula), basia bene (Malink, Suludato Mandingue), Gnoule (Wolof)	Médicinal : utiliser pour traiter les ulcères, les plaies chroniques, les brûlures, (Feuilles et fruits) Fourrage Alimentaire : légume feuille	20,65
<i>S. aculeatissimum</i>	Botojan, hale mbeute (Wolof), getingari (Peulh)	Médicinal : utiliser dans le traitement de la constipation puis du rhumatisme (feuilles) Culturel : Purification, intervient dans la lutte contre la sorcellerie (feuilles, racines et fruits), Fourrage	15,71

<i>S. incanum</i>	Itéréhari (Toucouleur), Ahatu (Wolof), Gitigari (Peulh)	Médicinal : utiliser pour soulager les : maux d'estomac, maux de tête, règles douloureuses, mal de dents (Fruits) Fourrage Alimentaire : les fruits	6,61
<i>S. dasyphyllum</i>	Kheubtal (Wolof et Sèrère)	Médicinal : Utiliser dans le traitement des maux de ventre (racines, fruit) Fourrage Alimentaire : feuilles et fruits.	5,79
<i>S. torvum</i>	Pome, Batensé-all (Wolof)	Médicinal : utiliser pour soulager les : douleurs de la gorge, maux d'estomac, blessures (Feuilles et racines) Alimentaire : Fruit utilisés dans les soupes	5,79
<i>S. anomalum</i>	nian-nian, tamate pithie (Wolof et Peulh)	Médicinal : utiliser pour soulager les douleurs externes (feuilles) Fourrage Alimentaire : (feuilles et fruits)	4,13
<i>S. americanum</i>	Ndary, Badé kelle (Peulh)	Alimentaire : consommer comme légume (fruits et feuilles)	3,31
<i>S. anguivi</i>	Koukoudjè, teumb (Wolof)	Médicinal : utiliser dans la lutte contre l'hypertension artérielle (feuilles et fruits) Fourrage	3,31
<i>S. seafortianum</i>	Mbale (Wolof)	Médicinal : utiliser pour soigner la morsure du serpent (feuilles et fruit) Artisanat : utiliser dans la fabrication d'objet décoratif (feuilles)	3,31
<i>S. scabrum</i>	Gnoule, Leung (Wolof)	Médicinal : utiliser pour traiter la diarrhée chez les enfants (Racines et fruits) Alimentaire : Les pousses fraîches sont utilisées comme légume feuilles	2,48
<i>S. erianthum</i>	Kanni salade (Wolof et Sèrère)	Médicinal : utiliser contre les maux de tête, et les violentes douleurs corporelles (Feuilles et fruits) Alimentaire : Feuilles	2,48
<i>S. cerasiferum</i>	Batensé-bouki (Wolof et Sèrère)	Médicinal : utiliser pour soigner les maladies parasitaires telles que la coccidiose (Feuilles et racines) Culturelle : Purgatif (Feuilles)	1,65
<i>S. terminale</i>	Hal-sagne (Wolof et Sèrère)	Médicinal : utiliser pour l'avortement (racines) Fourrage Alimentaire : Feuilles et fruits	1,65
<i>S. forskalii</i>	-	Non renseigné	-

Les catégories d'usages

L'exploitation des espèces sauvages apparentées des légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* au Sénégal est assez variée au point de vue utilitaire (Figure 9). Les catégories d'usage les plus citées sont par ordre d'importance : médicinale (47,87%), alimentaire (27,66 %), culturelle (14,89%), fourragère (8,51%) et artisanale (1,06%).

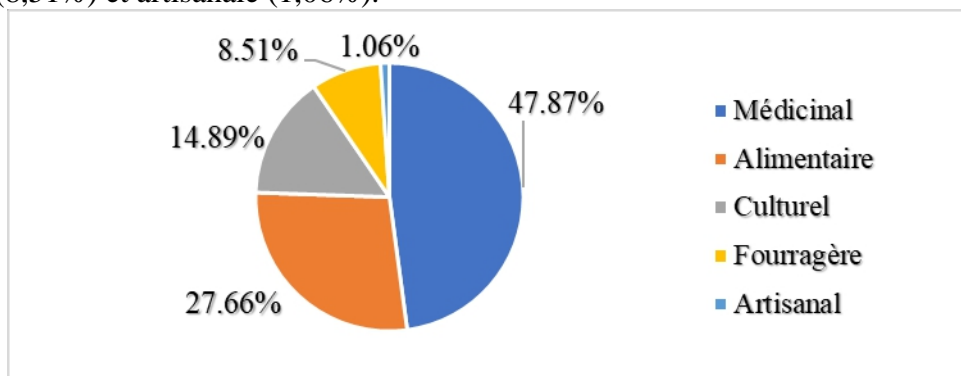


Figure 9 : Spectre des différents usages des espèces

Pour ce qui est de la diversité d'usage, la Figure 10 montre trois groupes d'espèces en fonction de leur intervention dans les différents besoins :

- Les espèces ayant une diversité d'usages élevée (intervenant dans trois catégories d'usage). Il s'agit de *S. aculeatissimum*, *S. incanum*, *S. terminale*, *S. anomalum* et *S. nigrum*
- Les espèces ayant une diversité d'usages moyenne (intervenant dans deux catégories d'usage). Il s'agit de *S. dasyphyllum*, *S. anguivi*, *S. erianthum*, *S. cerasiferum*, *S. scabrum*, *S. sisymbriifolium*, *S. seafortianum*, et *S. torvum*.
- Les espèces à diversité d'usages faible (intervenant dans une catégorie d'usage). Il s'agit de *S. americanum*

Pour ce qui est des catégories d'usage, la Figure 10 montre que, la médecine est l'usage le plus fréquent car concernant 12 espèces. Elle est suivie des catégories alimentaire (9 espèces), fourragère (6 espèces), culturelle (4 espèces) et artisanale (1 espèces)

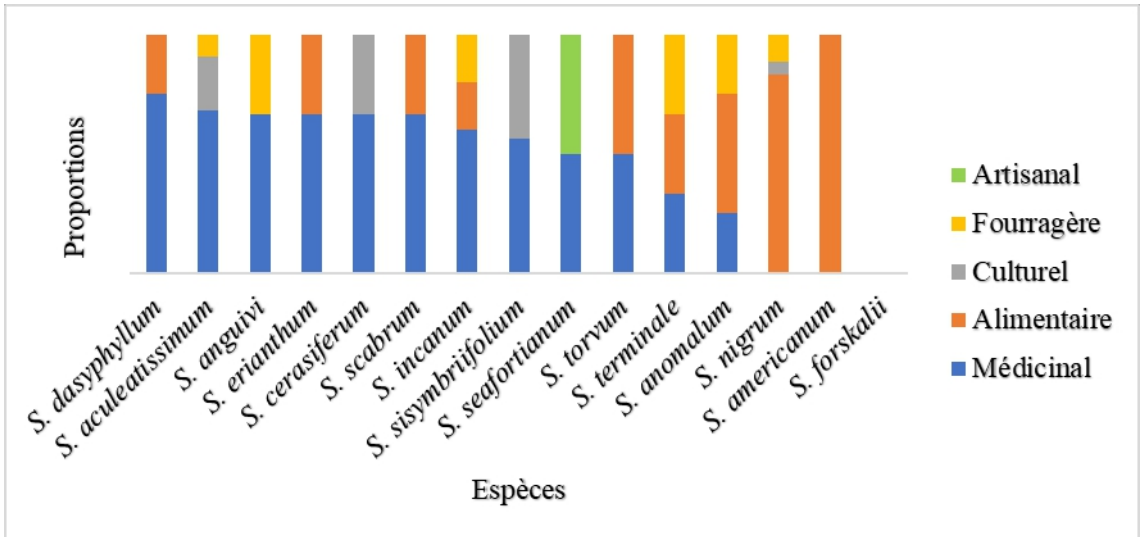


Figure 10 : Importance relative des catégories d’usage des quinze (15) espèces sauvages apparentées des légumes feuilles du genre *Solanum* retrouvées au Sénégal

Usages des organes

Les fréquences d’utilisation des organes des espèces du genre *Solanum* sont mentionnées sur la Figure 11. La feuille (43,36%) est l’organe le plus exploité, suivie de la racine (30,97%), du fruit (24,78%) et la tige (0,88%).

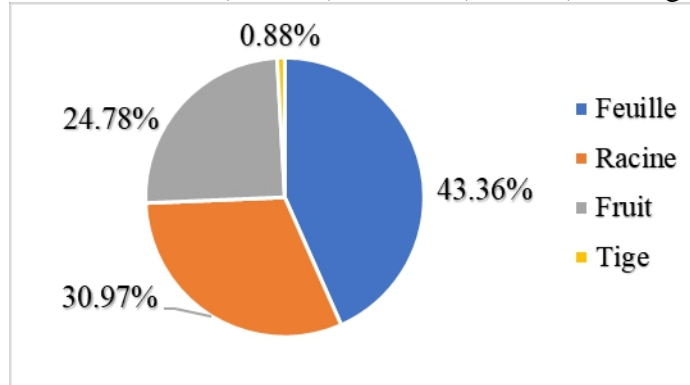


Figure 11 : Spectre des différents organes des espèces

L’analyse de la Figure 12 révèle l’utilisation de quatre organes des espèces étudiées. Celle-ci varie en fonction des espèces.

- Les fruits de toutes les espèces étudiées sont exploités ;
- Les feuilles de treize espèces (13), excepté celles de *Solanum cerasiferum*, sont utilisées ;
- La racine de sept (7) espèces suivantes : *S. terminale*, *S. dasyphyllum*, *S. aculeatissimum*, *S. scabrum*, *S. torvum*, *S. sisymbriifolium* et *S. cerasiferum* est utilisée ;

- La tige d'une seule espèce, *S. sisymbriifolium* est utilisée.

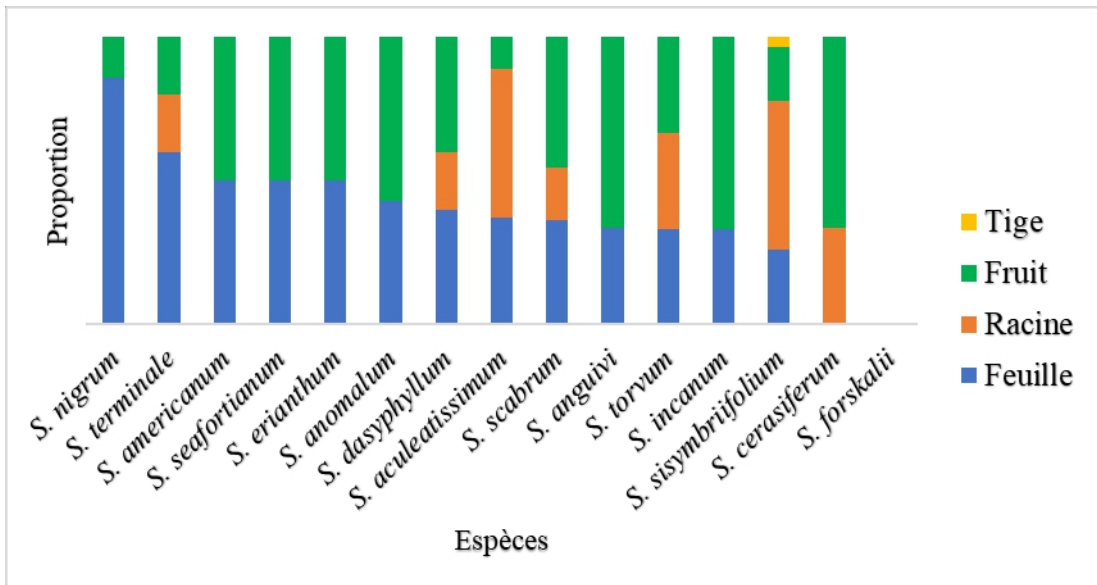


Figure 12 : Importance relative des organes utilisés des espèces sauvages apparentées des légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* au Sénégal

Connaissance des espèces dans les sites d'étude

L'Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée pour identifier les espèces sauvages apparentées de légumes feuilles cultivés les plus cités par région (Dakar, Saint Louis et Thiès) (Figure 13). L'axe 1 horizontal porte 76.04 % de l'inertie totale et l'axe 2 vertical porte 23.96 % de l'inertie totale, ces deux axes cumulent la totalité de l'inertie du tableau des données initiales. Le graphe de l'AFC permet de distinguer trois (03) groupes. Le groupe A est isolé suivant l'axe 1 dans les abscisses positives et les groupes B et C par l'axe 2 respectivement dans les ordonnées positive et négative (Figure 13).

Le groupe A caractérise les espèces dont l'occurrence est significativement plus importante dans la région de Dakar notamment « SOLNI » avec une contribution de 65,19 (Tableau 5). Le groupe B qui est caractérisé par les espèces : *S. americanum* (0,81), *S. sisymbriifolium* (16,62) et *S. aculeatissimum* (0,05) (Tableau 5) dont l'occurrence est plus importante dans la région de Saint-Louis « SOLSI » s'oppose au groupe C caractérisé par des espèces : *S. dasyphyllum* (3,18) et *S. erianthum* (1,49) (Tableau 5) dont l'occurrence est plus importante dans la région de Thiès « SOLDA ».

Les huit (8) autres espèces représentent des intermédiaires entre les trois groupes. Ces espèces n'ont pas montré une affection particulière pour une région. Il faut néanmoins distinguer deux (2) catégories d'espèces.

- Les espèces dont la connaissance est réduite à deux régions. Il s'agit de *S. scabrum*, *S. terminale*, *S. anguivi* (Saint Louis et Thiès) et *S. cerasiferum* (Thiès et Dakar).
- Les espèces connues dans les trois régions avec des contributions rapprochées. Il s'agit de *S. anomalum*, *S. incanum*, *S. seafortianum* et *S. torvum*.

De manière générale, cette analyse ne révèle pas de corrélation véritable entre les localités et les espèces étudiées. Ainsi, l'influence du micro climat de la forêt classée de Mbao puis la forte présence d'activité agricole (maraichage) dans cette zone permettrait d'expliquer l'abondance de *S. nigrum* dans la région de Dakar.

Tableau 5 : Contribution de chaque espèce

	Iner*1000	Dim.1	Ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2
SOLAC	6.471	-0.029	0.056	0.020	0.202	8.680	0.980
SOLAN	7.164	-0.502	2.943	0.953	-0.112	0.465	0.047
SOLANO	1.270	-0.161	0.529	0.965	-0.031	0.061	0.035
SOLDA	30.838	-0.370	3.188	0.240	-0.659	32.096	0.760
SOLIN	2.471	0.153	1.018	0.956	-0.033	0.150	0.044
SOLAM	27.840	-0.237	0.816	0.068	0.876	35.519	0.932
SOLSI	39.948	-0.404	16.629	0.965	0.077	1.901	0.035
SOLTE	3.582	-0.502	1.471	0.953	-0.112	0.233	0.047
SOLSE	2.297	0.161	0.304	0.307	-0.243	2.180	0.693
SOLTO	3.557	-0.237	1.472	0.959	-0.049	0.198	0.041
SOLNI	151,169	0.92760895	65.19094803	0.99994571	0.006834858	0.01123403	5.428822e-05
SOLER	8,075	-0.41401225	1.49841363	0.43023360	-0.476441343	6.29858834	5.697664e-01
SOLCE	10,308	0.47123284	1.94122753	0.34409641	-0.650602142	11.74506223	6.559036e-01
SOLSC	7,163	-0.50247435	2.94287539	0.95257793	-0.112112464	0.46501919	4.742207e-02

SOLAC = *S. aculeatissimum*, SOLAN= *S. anomalum*, SOLANO= *S. anomalum*, SOLDA= *S. dasyphyllum*, SOLIN = *S. incanum*, SOLAM = *S. Americanum*, SOLSI = *S. sisymbriifolium*, SOLTE = *S. terminale*, SOLSE = *S. seafortianum* SOLTO = *S. torvum*, SOLNI = *S. nigrum*, SOLER = *S. erianthum*, SOLCE = *S. cerasiferum*, SOLSC = *S. scabrum*.

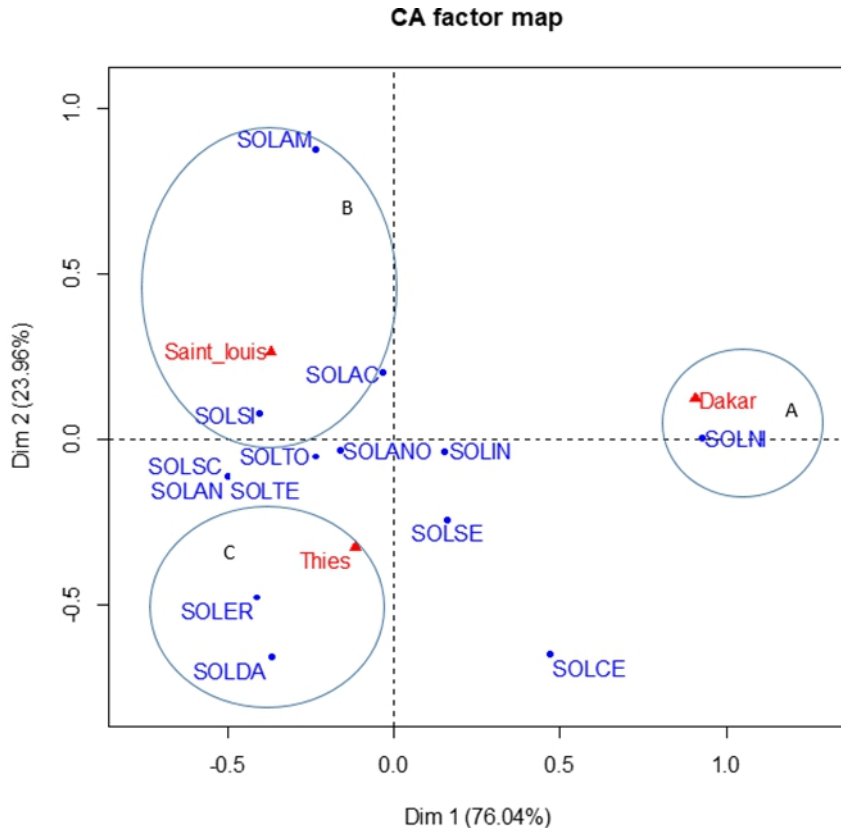


Figure 13 : Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) croisant la variable Espèce (15 Espèces) et la variable région (3 régions) dans le plan factoriel dim1xdim2.

Discussion

Chorologie et écologie

De nombreuses études ont montré que les espèces du genre *Solanum* se rencontrent en Amérique du Sud ; ce qui suppose que leur plus grande diversité se trouve dans cette partie du monde (Hunziker, 1979; Samuels, 2015). Cependant, elles présentent une large distribution en Afrique et en Asie (Bukonya & Carasco, 1995). Sur le continent Africain, elles sont retrouvées à l'état sauvage ou domestiqué dans plusieurs pays (Manoko *et al.*, 2008 ; Edmonds & Chweya, 1997 ; Fontem & Schippers, 2004). C'est le cas de l'Ouganda où Bukonya & Carasco (1995) ont inventorié 41 espèces appartenant au genre *Solanum* et du Nigéria où Gbile & Adesina (1988) ont dénombré environ 25 espèces. Au Sénégal, plusieurs documents scientifiques tels que les flores illustrées du Sénégal (Berhaut, 1967; 1988) confirment la présence des espèces étudiées dans la zone agroécologique des *Niayes*.

Les résultats de la répartition géographique ont révélé la présence de onze (11) espèces sauvages apparentées aux légumes-feuilles cultivés du genre *Solanum* dans la zone agro-écologique des *Niayes* qui est une zone côtière

humide constituée d'écosystèmes fragiles, riches en biodiversité (Ndao, 2012).

En effet, ces espèces affectionnent mieux les milieux humides et elles sont retrouvées sur divers types de sol dans les milieux ouverts (Bukenya & Ziraba, 1996). Cela expliquerait donc leur forte présence dans la zone des *Niayes* car cette dernière se singularise du reste du pays par l'influence des vents marins forts et relativement constants toute l'année (Fall, 1986 ; Faye *et al.*, 2014). L'humidité élevée du sol de la zone et les températures adoucies par les vents marins ont favorisé l'installation d'espèces sub-guinéennes dont l'aire de répartition naturelle est couverte par les isohyètes 1200 mm. De plus, les *Niayes* sont des espaces inondables à caractère semi naturel avec un degré de diversité biologique exceptionnel (Ndao, 2012). Cependant, le faible nombre d'espèces sauvages apparentées de légumes-feuilles cultivées du genre *Solanum* signalés dans la zone de la Casamance qui bénéficie d'un climat sub-guinéen ne doit pas être considéré comme définitive. Il est certain que cette zone a été peu explorée. Ces mêmes observations sur le faible nombre d'espèces identifiées dans cette zone ont été faites sur la chorologie du genre *Ficus* dans les travaux de Diop *et al.* (2012). En effet, l'utilisation par l'homme de la plupart de ces espèces pour des raisons diverses (alimentaire, nutritionnelle, médicinale, ornementale ...) couplée à la présence de la forêt classée de Mbao constitue un atout majeur pour la dissémination des graines de ces espèces par les populations animales et humaines dans cette zone. Par ailleurs, la forte présence des espèces sur des sols ferrugineux tropicaux s'explique par la prédominance de ces derniers au Sénégal et notamment dans la zone des *Niayes* (Touré & Seck, 2005).

Etude ethnobotanique

La connaissance et l'exploitation des espèces sauvages apparentées sont les preuves avérées de leurs utilités dans les relations entre l'homme et son environnement (Kimpouni *et al.*, 2005). Les espèces sauvages apparentées du genre *Solanum* étudiées sont connues par les quatre ethnies majoritaires de la zone d'étude. Toutefois, on reconnaît une différence d'appellation entre les ethnies et même au sein d'un même groupe. Cette variabilité nominale et même polyonymie relève d'une aberration de la transmission orale d'une génération à une autre comme le soulignent Ta Bi *et al.* (2016) ; Djihounouk *et al.* (2019). Les résultats montrent que les espèces du genre *Solanum* sont majoritairement à usage médicinale et alimentaire. Sur le plan médicinal, les populations locales enquêtées reconnaissent que des organes (feuilles, fruits et racines) de plusieurs espèces spontanées du genre *Solanum* donnent une lotion très efficace pour le traitement de diverses infections internes et externes. Ce traitement traditionnel corrobore les résultats obtenus par Ogunwande *et al.* (2013) qui ont montré que les principes actifs tels que la solanidine et d'autres

stéroïdes extraites des racines et des feuilles de certaines de ces espèces (*Solanum torvum* et *Solanum nigrum*) entrent dans la fabrication de nombreux produits pharmaceutiques. De même, Gbile & Adesina (1988) ont signalé l'usage des espèces du genre *Solanum* dans la thérapie cardiovasculaire comme agents anti-inflammatoires et anticancéreux. Ces propriétés intrinsèques des espèces justifient le fait que beaucoup d'entre elles sont utilisées comme remèdes contre le rhume, la fièvre, les douleurs abdominales, les céphalées-migraines, les règles douloureuses, les maux de dents...etc. En Afrique, le rôle important des espèces spontanées apparentées de légumes feuilles cultivées du genre *Solanum* dans l'alimentation humaine est démontré dans de nombreux travaux de recherche tels que ceux de Ogunjajo *et al.* (2013) ; Adjatin *et al.* (2019). Ils seraient donc très utiles pour les programmes d'amélioration génétique des espèces cultivées et pourraient aussi fortement servir de compléments nutritionnels aux espèces exotiques (Musinguzi *et al.*, 2007; Ouattara *et al.*, 2016). Cependant, *S. nigrum*, jadis bien consommé selon les populations locales, est aujourd'hui de plus en plus considéré comme un aliment des personnes démunies puisqu'elle est spontanée et abonde dans la nature. Cette vision péjorative et complexée des populations sur les végétaux spontanés a été déjà signalée par Okouango *et al.* (2015) qui ont montré qu'en Afrique, les légumes feuilles sauvages sont généralement négligés par les consommateurs en raison des idées péjoratives qui leur sont attribuées comme indicatrices de pauvreté ou de rang social arriéré.

L'étude a aussi montré que les parties les plus utilisées de ces espèces sont les feuilles à l'état naturel ou cuites, suivi des racines et des fruits qui sont consommés directement et /ou utilisés dans divers traitements médicaux ou des rituels de purification et de protection. Certaines espèces telles que *S. sisymbriifolium* et *S. aculeatissimum* interviennent dans ces rituels et permettraient de résister aux attaques mystiques. Ces résultats, corroborent ceux de Gbile & Adesina (1988) qui ont montré que les fruits et les feuilles de certaines espèces (*S. dasyphyllum*, *S. scabrum*, *S. nigrum* ...) sont mangés comme légumes et utilisés dans la médecine traditionnelle. De plus, les feuilles spontanées constituent un complément alimentaire important pour les populations des zones sahélo-soudaniennes qui n'ont pas la possibilité de se procurer fréquemment de protéines animales (Guèye & Diouf, 2007).

L'Analyse Factorielle des Correspondances réalisée révèle que la connaissance des espèces sauvages apparentées aux légumes feuilles du genre *Solanum* répertoriées varie d'une localité à une autre. Ainsi, la différenciation des trois groupes A, B et C peut être expliquée par la variation des préférences alimentaires, médicinales et culturelles des ethnies présentes dans la zone des Niayes ainsi que leur niveau de vie. Afin d'éviter la perte de ces espèces d'importance, les structures en charge de la protection des végétaux devraient procéder à des sensibilisations de la population locale sur leurs utilités,

notamment dans les milieux où leurs diversités sont relativement faibles mais aussi identifier des milieux pouvant servir de zone de conservation *in situ* des espèces. L'introduction des espèces dans les jardins botaniques pourrait également constituer un atout majeur pour leurs protections.

Conclusion

Le présent travail contribue à une meilleure connaissance de la répartition géographique, de l'écologie et des usages des espèces sauvages apparentées de légumes-feuilles cultivés au Sénégal. Toutes les espèces étudiées sont présentes en Afrique tropicale bien qu'elles semblent avoir leur plus grande diversité en Amérique. Au Sénégal, l'étude montre que les espèces sont présentes dans toutes les zones agro-écologiques et donc occupent des habitats très variés. Toutefois la plupart d'entre elles se trouvent au nord du pays plus précisément dans la zone des *Niayes* où elles bénéficient des conditions environnementales relativement favorables. Les différents types de sols et de formations végétales occupés par ces espèces attestent leur forte capacité d'adaptation. Les investigations ethnobotaniques ont permis de noter que les espèces sont bien connues de la population avec des noms locaux attribués à chacune. Cette connaissance liée aux espèces explique leur exploitation dans plusieurs besoins avec une préférence dans le domaine médicinale et alimentaire. Ainsi, l'organe le plus recherché dans ces usages reste la feuille pour ces vertus thérapeutiques. Donc ce qui nous revient à envisager que la population avait une connaissance traditionnelle sur l'importance de cet organe dans la production des molécules bioactives. Étant donné l'intérêt suscité aux espèces sauvages apparentées du genre *Solanum* par les populations, nous envisageons de réaliser un inventaire au niveau national afin de proposer des stratégies de gestion de celles les plus vulnérables.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt dans ce manuscrit.

Contribution des auteurs.

C. S. A. a effectué les enquêtes de terrain, dépouillé et traité les données puis initié la rédaction de cet article.

N. D. et J. D. sont des Botanistes, ils ont participé à la collecte des données et à l'identification des espèces.

G. M. K., Y. D et A. N. ont lu le protocole et amélioré le manuscrit rédigé.

D. D., M. S. M., A. E. A., et K. N. ont supervisé le travail et amélioré le manuscrit.

Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit définitif.

References:

1. Adam, J.G. (1961) – *Contribution à l'étude de la flore et de la végétation de l'Afrique occidentale. La basse Casamance (Sénégal). Première partie. Bull. IFAN, t. XXIII, Sér. A, n°4, pp. 911–993.*
2. Adam, J.G. (1962) – *Contribution à l'étude de la flore et de la végétation de l'Afrique occidentale. La basse Casamance (Sénégal). Deuxième partie. Bull. IFAN, t. XXIV, Sér. A, n°1, pp. 116–153.*
3. Adam, J.G. (1970) – *Noms vernaculaires des plantes du Sénégal. Journal d'Agriculture tropicale et de botanique appliquée, T. 17 (7-8-9), 112 p.*
4. Adam, J.G. (1981) – *Flore descriptive des Monts Nimba. (Cote d'Ivoire, Guinée, Liberia). Vol. 5. Paris : CNRS, pp. 1587–2051.*
5. Adjatin, A., Adjahossou, N., Vodouhè, S., Dandjinou, P., Aboudou, R., Yedomohan, H., & Dansi, A. (2019) – Caractéristiques ethnobotaniques et pratiques culturelles de *Solanum. scabrum* Mill., légume-feuilles en domestication dans le département du Plateau au Sud Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27, pp. 910–923.
6. Akpavi, S., Woegan A.Y., Dourma, M., Tozo K., Batawila K., Wala K., Gbogbo, K.A., Kanda, M., Kossi-Titrikou, K. & de Foucault, B. (2011) – Que sont devenues les plantes autrefois consommées par les divers groupes ethnoculturels du Togo ? *Agronomie Africaine*, 23, pp. 147–160.
7. Alsherbiny, M.A., Ezzat, S.M., Elsakhawy F.S., Kamel, G.M. & Abdel-Kawy, M.A. (2015) – Impact of certain *Solanum* species natural products as potent cytotoxic and anti-inflammatory agents. *J. Med. Plants Res*, 9, pp. 779–786.
8. Alves, R.R. & Alves, H.N. (2011) – The faunal drugstore: Animal-based remedies used in traditional medicines in Latin America. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 7, 9p.
9. Berhaut, J. (1967) – *Flore du Sénégal plus complète avec les forêts humides de la Casamance. Ed. Clairafrique, Dakar 485p.*
10. Berhaut, J. (1979) – *Flore illustrée du Sénégal. Gouvernement du Sénégal, Ministère du développement rural, Direction des Direction des Eaux et Forêt. Dakar – Sénégal. T. 1 : pp. 406–408.*
11. Berhaut, J. (1988) – *Flore illustrée du Sénégal. Gouvernement du Sénégal, Ministère du développement rural, Direction des Direction des Eaux et Forêt. Dakar – Sénégal. T. 1 : pp. 406–408.*
12. Bukenya, Z. R., & Carasco, J. F. (1995) – *Solanum* (Solanaceae) in Uganda *Bothalia*, 25(1), 43-59.
13. Bukenya-Ziraba, R. (1996) – Uses, chromosome number and distribution of *Solanum* species in Uganda. *In the Biodiversity of*

- African Plants* (pp. 33-37). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0285-5_5.
14. Clay, E. (2002) – Food security: concepts and measurement. *Trade reforms and food security: Conceptualising the linkages*, pp. 25–34.
 15. Diallo, A., Guisse, A., Ngom, Faye, M., Sapadoum, G. (2009) – Variabilité floristique de la végétation herbacée de la Niaye de Pikine au Sénégal. *Rev. Ecol. Terre Vie*, 64 : 123- 133.
 16. Diop, D., Mbaye, M.S., Kane, A., Sambou, B. & Noba K. (2012) – Chorologie, écologie et ethnobotanique de certains Ficus sp. L. (Moraceae) au Sénégal. *BASE*. 16(1), 13-24
 17. Djihounouck, Y., Diop, D., Bassène, C., Mbaye, M., Diop, R., Faye, B., & Noba, K. (2019) – Étude ethno-taxonomique des espèces fruitières spontanées comestibles chez l’ethnie Diola d’Oussouye (Sénégal). *Vertigo : la revue électronique en sciences de l’environnement*, 19(1). URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1065434ar>.
 18. Dossou, M.E., Houessou, G.L., Loughégnon, O.T., Tenté, A.H.B. & Codjia, J.T.C. (2012) –Ethnobotanical study of ligneous species in Agonvè swampy forest and surrounding area in Benin. *Tropicultura*, 30, pp. 41–48.
 19. Edmonds, JM & Chweya, JA. (1997) Black nightshades. *Solanum nigrum* L. and related species. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, pp 113
 20. Fah, L., Klotoé, J.R., Dougnon, V., Koudokpon, H., Fanou, V.B.A., Dandjesso, C. & Loko F. (2013) – Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète chez la femme enceinte à Cotonou et Abomey-Calali (Benin). *Journal of Animals et plant Sciences* 18(1) : 2647-2658.
 21. Fall, M. (1986) – Environnement sédimentaire quaternaires et actuels des tourbières des Niayes de la grande côte du Sénégal. Thèse de doctorat Université de Dakar, 130 p.
 22. Faye, E., Dieng, H., Bogaert, J. & Lejoly, J. (2014) – Dynamique de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 108, 191–206. DOI: 10.12895/jaeid.20142.240
 23. Fontem, DA. & Schippers, RR (2004) – *Solanum scabrum* Mill. In: Grubben GJH, Denton OA (eds) *Plant Resources of Tropical Africa 2. Vegetables*, PROTA Foundation Wageningen/CTAWageningen/Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, pp 493–498
 24. Frodin, D.G. (2004) – History and concepts of big plant genera. *Taxon*, 53, pp. 753–776.

25. Gbile, Z.O. & Adesina S.K. (1988) – Nigerian *Solanum* species of economic importance. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 862–865.
26. Guèye, M. & Diouf M. (2007) – Traditional leafy vegetables in senegal: Diversity and medicinal uses. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 4, pp. 469–475.
27. Hunter, D & Heywood, V. (eds.). (2011) – Crop Wild Relatives: A *Manual of In Situ Conservation*. Earthscan, London and Washington, DC. 414 pp.
28. Hunziker, A.T. (1979) – South American Solanaceae: a synoptic survey. In: *Linnean Society symposium series*
29. Hutchinson J, Dalziel JM (1958). Flora of Tropical West Africa vol. 1(2) Crown agents. London. Invest. New Drugs; 29(4): 583-592
30. Jain, R., Sharma, A., Gupta, S., Sarethy, I.P. & Gabrani, R. (2011) – *Solanum nigrum*: current perspectives on therapeutic properties. *Altern Med Rev*, 16, pp. 78–85.
31. Kerharo, J. & Adam, J.G. (1974) – *La pharmacopée sénégalaise traditionnelle* – Plantes médicinales et toxiques, Vigot Frères, Paris, France.
32. Kimpouni V, Mamboueni JC, Lenga-Sacadura M-Y, Nsika Mikoko E. 2017 – Recipes and Treatments in Traditional Herbal Medicine to the Kaamba Community of Madingou, Congo. *European Journal of Medicinal Plants* 20:1-13, doi10.9734/EJMP/2017/35096.
33. Lebrun, J.P., A.L. Stork, 1991, 1992, 1995, 1997 – *Énumération des plantes à fleurs d’Afrique tropicale* Genève : Conservatoire et jardin botanique de Genève, pp. 1–4.
34. Manoko, M. L., van den Berg, R. G., Feron, R. M., van der Weerden, G. M., & Mariani, C. (2008) – Genetic diversity of the African hexaploid species *Solanum scabrum* Mill. and *Solanum nigrum* L. (Solanaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(3), 409-418. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9248-z>
35. Maxted, N., Ford-Lloyd B.V., Jury S., Kell S. & Scholten M. (2006) – Towards a definition of a crop wild relative. *Biodiversity & Conservation*, 15, pp. 2673–2685. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5409-6>
36. Maxted, N. & Kell N. S. (2009) – Establishment of a global network for the in-situ conservation of crop wild relatives: status and needs. *FAO consultancy report*, FAO, Rome, pp 1–265.
37. Mbow, C. (2009) – Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d’Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 319 p.

38. MEPN (1997) – Rapport National Biodiversité. Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN), Dakar, Sénégal. Available at: <https://www.cbd.int/doc/world/sn/sn-nr-01-fr.pdf>
39. Musinguzi, E., Kikafunda, J.K. & Kiremire, B.T. (2007) – Promoting indigenous wild edible fruits to complement roots and tuber crops in alleviating vitamin A deficiencies in Uganda. Proceedings of the 13th ISTRC Symposium, pp. 763–769.
40. Ndao, M. (2012) – Dynamiques et gestions environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès) et Saint-Louis, Thèse de doctorat, université de Toulouse (France), université Gaston Berger de St-Louis, 370 p.
41. Ngom, A., Mbaye, M. S., Barnaud, A., Kane, A., Ba, N., Gueye, M., Diop, B. M. & Noba, K. (2016) – Révision du genre *Digitaria* Haller (Poaceae) au Sénégal : proposition d'une clé de détermination pour une meilleure identification des espèces. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 58-86.
42. Obute, G.C., Ndukwu B.C. & Okoli B.E. (2006) – Cytogenetic studies on some Nigerian species of *Solanum* L. (Solanaceae). *African journal of biotechnology*, 5(9):689–692.
43. Ogundajo, A. L., Oladosu, I.A., Ogunwande, I.A., Flamini G. & Owolabi, M.S. (2013)– "Study on volatile constituents of *Solanum nigrum* var. *viriginicum* from Nigeria." pp. 94–98. <http://hdl.handle.net/11568/159290>
44. Ogunwande I.A., Avoseh N.O., Flamini G., Hassan A.S., Ogunmoye A.O., Ogunsanwo A.O., Yusuf K.O., Kelechi A.O., Tihamiyu Z.A., and Taboweï G.O. Essential oils from the leaves of six medicinal plants of Nigeria. *Natural Product Communications* 2013; 8: 243-248.
45. Okouango, I., Michel, E., Moutsamboté J.M., Vital M. & François M. (2015) – Évaluation de la consommation et de la composition nutritionnelle des légumes-feuilles de *Phytolacca dodecandra* L'Herit consommés par les populations originaires des districts d'Owando et de Makoua. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 27, pp. 4207–4218.
46. Ouattara, N.D., Gaille, E., Stauffer F.W. & Bakayoko A. (2016) – Diversité floristique et ethnobotanique des plantes sauvages comestibles dans le Département de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 98, pp. 9284–9300. <https://doi : 10.4314/jab.v98i1.5>
47. Ozer, P., Hountondji, Y., Niang, A.J., Karimoune, S., Manzo, O.L. & Salmon, M. (2010) – *Désertification au Sahel* : historique et perspectives. *BSGLg*, 54, pp. 69–84 <http://hdl.handle.net/2268/10347>

48. Samuels, J. (2015) – Biodiversity of food species of the Solanaceae family: a preliminary taxonomic inventory of subfamily Solanoideae. *Resources*, 4, 277–322. <https://doi.org/10.3390/resources4020277>
49. Sinha, N.K. (2011) – Handbook of Vegetables and Vegetable Processing. Blackwell publishing Ltd: England; 788 p.
50. Ta Bi, I.H., N’Guessan, K., Bomisso, E.L., Assa, R.R. & Aké, S. (2016) – Etude ethnobotanique de quelques espèces du genre *Corchorus* Rencontrées En Côte d’Ivoire. *European Scientific Journal*. 12, pp. 415–431.
51. Touré, O. & Seck, S.M. (2005) – *Exploitations familiales et entreprises agricoles dans la zone des Niayes au Sénégal*. International Institute for Environment and Development. Programme Zonzq Arides. Dossier N° 133. 66 p
52. Vollbrecht, E. & Sigmon, B. (2005) – Amazing grass: developmental genetics of maize domestication. *Bioch. Soc. Trans.* 33: 1502–1506.



Integrated Water Resources Vulnerability Assessment: A Multidimensional Approach and Geographic Information System Based in Fès, Meknès, and Ifrane Perimeters, Morocco

*Kanga Idé Soumaila
Naimi Mustapha
Chikhaoui Mohamed*

Soil and Water Management Laboratory, Department of Natural Resources and Environment, Hassan II Institute of Agronomy & Veterinary Medicine, Madinat Al Irfane, Rabat, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p179](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p179)

Submitted: 18 September 2020

Accepted: 08 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kanga Idé S., Naimi M. & Chikhaoui M. (2021). *Integrated Water Resources Vulnerability Assessment: A Multidimensional Approach and Geographic Information System Based in Fès, Meknès, and Ifrane Perimeters, Morocco*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 179. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p179>

Abstract

Water resources are disproportionately distributed, and more and more problems related to this precious resource are being reported around the world due to anthropogenic pressures and global environmental changes. This paper focuses on assessing the vulnerability of water resources in an integrated way, by taking into account hydrological, environmental, socio-economic and pollution factors, in order to delineate sensitive areas of water resources under a geographic information system. The framework for assessing the water resources vulnerability in the Fès, Meknès, and Ifrane perimeters was based on a participatory approach through a survey. The data collected on the identified factors are then processed under ArcGIS tool to aggregate the normalized value into a water resources vulnerability index. The result shows that the degree of vulnerability of water resources in most of the study area is considered to be at the "threshold" to "non-vulnerable". However, three (3) main areas were considered to be "moderately vulnerable" to "highly vulnerable" precisely in the South of the city of Meknes (Zone 1), from the

West of the city of Fès (Zone 2), and finally the Dayet Ifrah area (Zone 3). The sensitivity analysis showed that five factors have more impact on the overall water resources vulnerability map: topography, poverty, water withdrawal, population density, and access to drinking water. The result of this study could help integrated water resources management planners take action to improve the overall water quantity and quality in the area, and it can be extended to a larger scale like regional, national or cross-country.

Keywords: Integrated water resource management, Morocco water resources, Water resource vulnerability factors, Tools of water vulnerability assessment, Water vulnerability

Introduction

Water resources are extremely distributed throughout the world. The natural supply of water remains the precipitation that is unevenly distributed in different parts of the world. In agreement with the study of Bhuvaneshwaran and Ganesh (2019), 79% falls on the oceans and 21% on land out of the total annual precipitation that falls on Earth. In many areas, the variability of precipitation is increasingly intense resulting in physical water shortages in some areas and flooding in others. Sullivan (2011) reports that precipitation will increase in one part of the world, and it will decrease in other parts. In addition to this, significant changes are being observed in demographics, the environment, and the economic development around the world (Sullivan, 2011). The intensification of agriculture, urbanization, and industry are considered among the problems affecting the availability and quality of water resources worldwide (Alessa et al., 2018; Chande et al., 2019). The population is growing and the demand for water resources is increasing. According to the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2019), water scarcity is increasing and will increase as population and climate change increase. Moreover, water demand will increase significantly in the next two decades (UNESCO, 2019). Several researchers (Shretha et al., 2017; Mirauda et al., 2011; Sullivan, 2011) believe that the problems faced by water resources, whether at the local level or on a large scale, are caused by human activities and extreme weather events induced by climate change. In Morocco, water stress is already being felt, and the latest report on the water resources valorization of the united nations (UNESCO, 2019) sounds the alarm and stipulates that water stress is between 25% and 75%, while it is 11% worldwide. The average temperature increase per decade is 0.16°C and precipitation modelling by 2100 shows a decrease in precipitation by up to 30% (Sbaa & Vanclooster, 2017). Therefore, these changes in climate factors will necessarily impact water availability. It should also be noted that the quality of water resources is seriously affected in some areas (Kanga et al.,

2019a) due to human activities such as agriculture, industry, and domestic activities. The Moroccan government already has important laws on water resources management and action plans such as Law 10-95 adopted on August 16, 1995, repealed by Law 36-15 of October 16, 2016, and action plans such as the master plan for integrated water resources development, which has an action program to be implemented by 2050. Despite these efforts, Morocco is one of the countries that is most affected by pollution (El Ouali et al., 2011). Also, the quantity of water per capita per year, which was 3600 m³ in 1960, was only 645 m³ in 2015, which is below the water poverty level (Dahan et al., 2017). Due to the multiple disruptions of water resources, a multidimensional approach to assessing the vulnerability of the water system, such as the identification of vulnerable areas using socio-economic, hydrological, physical environmental factors and pollution, is essential to facilitate decision-makers' action plans. The main idea of this study is that the vulnerability of water resources system in the study area can be assessed based on components such as socio-economic, hydrological, potential sources of water pollution, biophysical characteristics, and eco-environment.

Vulnerability assessment approaches based on GIS-coupled indices such as DRASTIC (depth to groundwater, recharge, aquifer media, soil media, topography, impact to vadose zone, hydraulic conductivity), EPIK (epikarst, protective cover, infiltration, karst network), SI (susceptibility index), GOD (groundwater occurrence, overall class of aquifer, depth to groundwater table), PRK (topographic slope, fluctuations amplitude, permeability), and SINTACS (water table depth, net recharge, unsaturated condition, soil media, aquifer media, hydraulic conductivity, topographic slope) (Sadkhaoui et al., 2013; ElFarrak et al., 2014; Knouz et al., 2011; Sinan & Moumtaz, 2009; Amharref et al., 2007; Hamza et al., 2007) have been applied throughout the country, including the interest area. However, these researches only concern groundwater pollution and solely take into account physical factors (hydrological and environmental). The assessment of water resource vulnerability has been taken on a new dimension over the past decades (Kanga et al., 2019b), and it consists of analyzing water resources vulnerability in a holistic way by considering physical (hydrology, environment), socio-economic, governance, and institutional dimensions. Therefore, this paper focuses on assessing the vulnerability of water resources in an integrated way by taking into account hydrological, environmental and, above all, socio-economic factors, in order to identify sensitive areas of water resources under the environment of a geographic information system tool. The study was carried out in the Southern part of the Sebou river basin in Morocco between November 2019 and January 2020.

Methodology

Study Area

The study area is located in the large Sebou catchment area and extends over two aquifers: the Fés-Meknès aquifer and the aquifer of the Barren limestone plateau. It spans over 7 provinces, including 64 municipalities, and covers an area of 5,849 Km². The economy is mainly based on agriculture and industry. Water resources are used for crop irrigation but also for drinking water supplied to nearby cities. The use of agri-inputs is very high in the study area and averaged 66.5% of farms. 51 potential sources of pollution are identified in the study area. Much of the study area has clayey textured soil, especially in the northwest, north, and northeast parts. The eastern and central parts are mainly made up of sandy-clayey textures. The western part of the study area consists of sandy-clay textured soils. The western part of the study area consists of sandy-silty textured soils and raw minerals. The deep aquifer of the Fés-Meknès aquifer includes the dolomitic limestone formations of the Lias and is highly fractured. The thickness of this aquifer varies from a few meters towards the center to 760 m north of the study area. However, the water level is on average 50 m deep in the captive part of the water table and 250 m deep in the non-captive part. The aquifer of the barren limestone plateau is juxtaposed with the Fés-Meknès water table and the basaltic aquifer of the Quaternary. The groundwater recharge is mainly provided by infiltration of rainfalls. Wells and boreholes are the means of exploiting groundwater in this area. Annual precipitation is highly variable. Average rainfall between 1988 and 2017 is 479 mm in the North and Northeast and 800 mm in the South. The inventory of waterbodies in the study area shows some natural rivers and lakes: Fés river, Guigou river (flow rate: 0 to 54 m³/s), Boufekrane river, Tizguit river, Agay river, and lake of Dayet Ifrah. Figure 1 shows the location of the study area in Morocco and its land use.

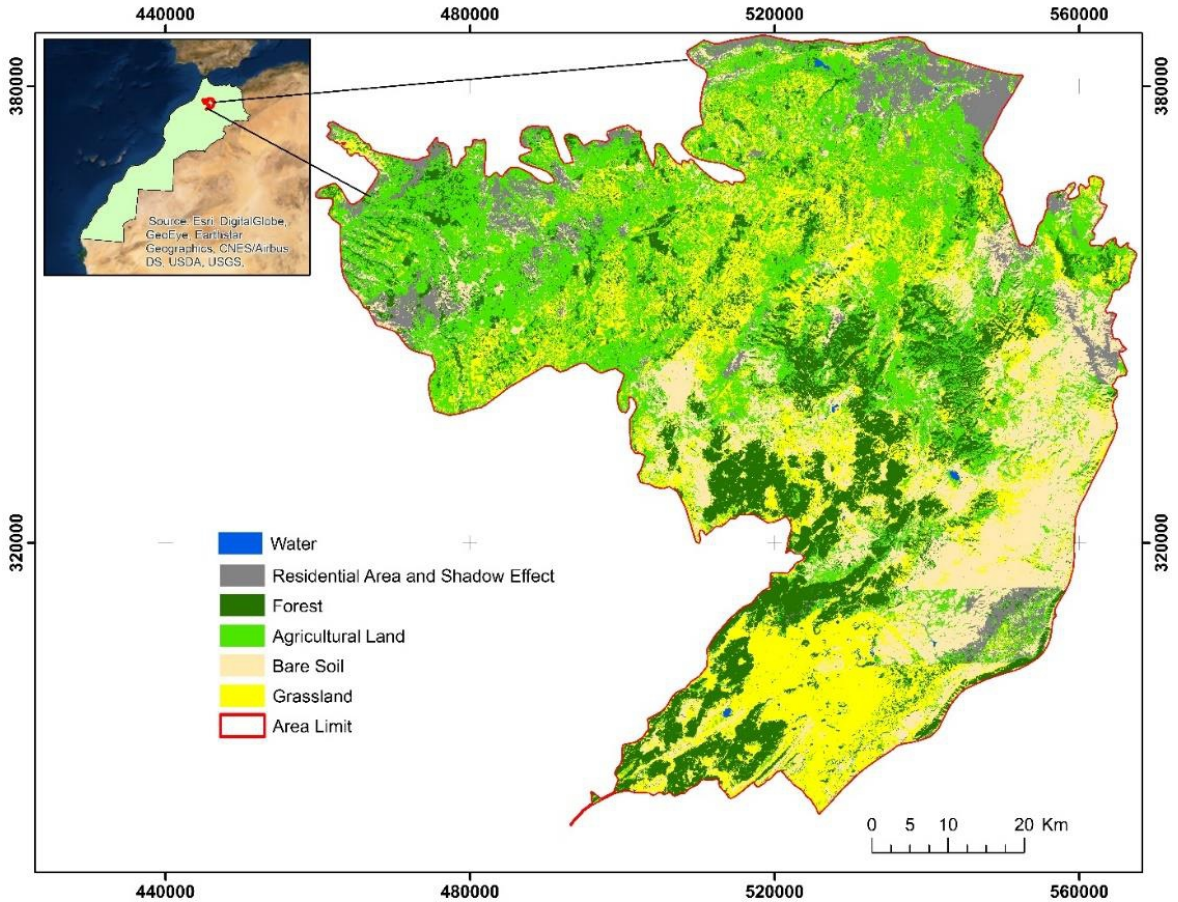


Figure 1. Land use in the study area (Kanga et al., 2019a)

Conceptualization of the Framework

The assessment of water resources vulnerability in this area was based on a participatory approach. The conceptual framework of the assessment involved water sector stakeholders through surveys on the water resources vulnerability factors. This survey was based on the following definition of water resources vulnerability: "the vulnerability of the water resources system represents the degree of fragility or susceptibility with which human activities and natural factors affect water quality and quantity while taking into account society's ability to address these threats to the system in a sustainable way". Figure 2 shows the process for assessing the vulnerability of water resources in the area of interest. The assessment was based on two important steps: the collection and selection of water resources vulnerability factors and the calculation of the final water resources vulnerability index.

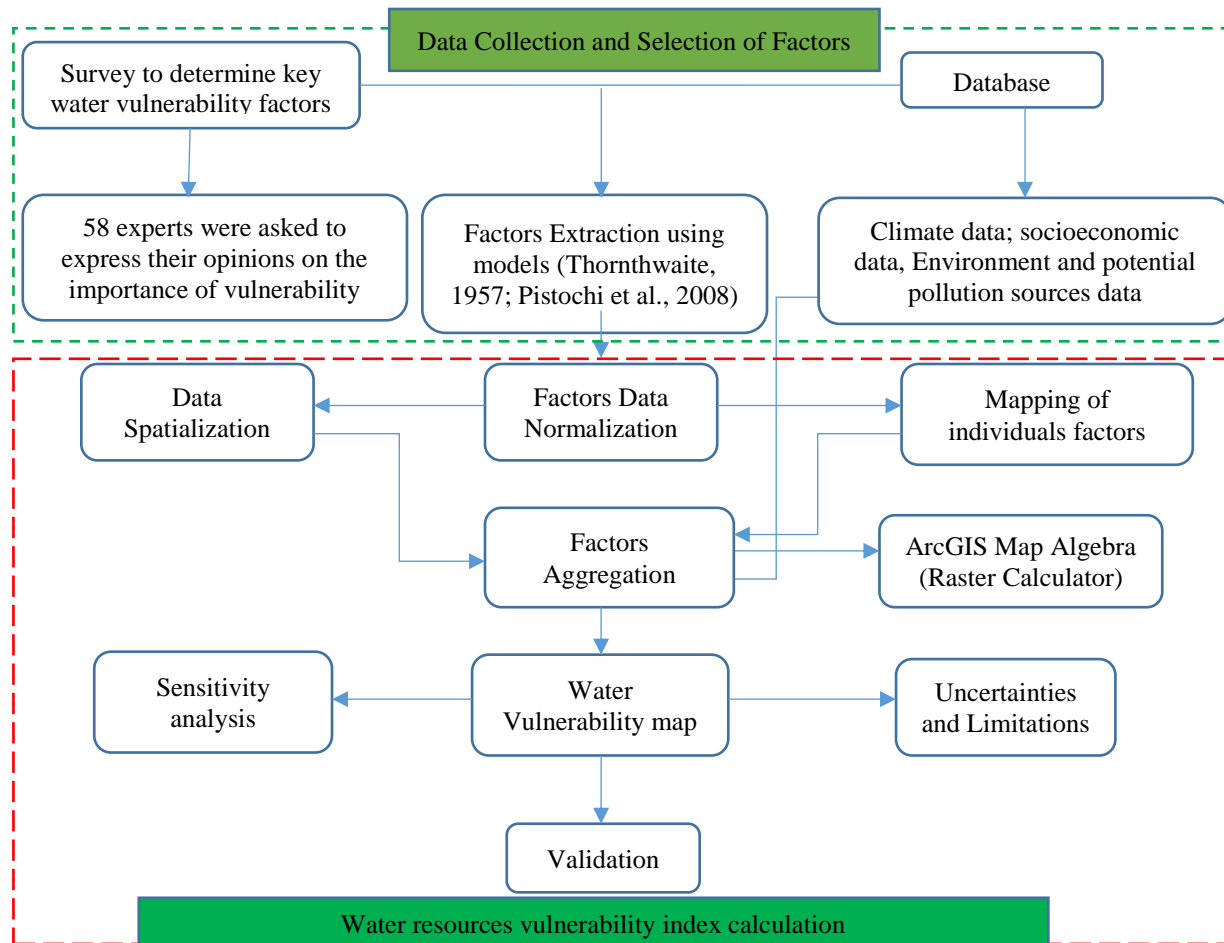


Figure 2. Conceptual framework of the water resources vulnerability assessment

Selection of Factors and Data Collection

A total of 58 water resources management experts were asked to express their views on 25 factors categorized into five (5) components: Hydrological, Environmental physics, Socio-economic, Potential sources of pollution, and Eco-environment. Only 32 experts answered the questionnaire by distributing 200 points over 25 factors according to the relative importance of each water vulnerability factor. The survey sheets do not include the expert's surname, first name or function or the expert's affiliation, but consequently they are anonymous. After distributing the sheet to the expert, he has the right to fill it in or return it. Roughly 55 % completed the survey voluntarily. The collected data is then processed by applying multiple factor analysis to reduce dimensions under the FactoMine R software. Out of the 25 factors, 15 factors of vulnerability of water resources were well represented on the selected dimensions. However, due to the unavailability of data, only 13 factors were considered in this study. This survey and all the 25 factors are well-explained in Kanga et al. (2019c). Table 1 shows the different factors used to assess the vulnerability of water resources in the area of interest. Indeed, some factors can be collected directly from water bodies, while hydrological factors can be extracted by the Thornthwaite and Mather (1957) water balance model. The groundwater recharge factor was estimated by the model of Pistoschi et al. (2008) which poses:

$$R = P - Ro - AET \tag{1}$$

Where R, groundwater recharge; P, Precipitation; Ro, is the quantity of rainfall that runoff, and AET, is the actual evapotranspiration.

Socio-economic, eco-environmental, potential sources of pollution, and environmental data were collected from several sources, including the Moroccan high commission for the plan (HCP), the Secretariat of State for water, the Sebou Hydraulic Basin Agency (ABHS), National Institute of Agricultural Research (INRA), and the Division of Statistics of the Ministry of Agriculture, Fisheries, Rural Development, etc. (MAPM). Table 1 presents the data and models used to extract some factors.

Table 1. Data and models used to extract some factors

Component	Data set	Model	Source	Date	Scale
Hydrology	Precipitation (mm)	-	MAPMDREF ^a -Division of Statistics	1989-2018	Provincial
	Relative Annual Variability of Precipitation (mean/standard deviation)	-	MAPMDREF-Division of Statistics	1989-2018	Provincial

	Temperature (Degree Celsius)	-	MAPMDREF-Division of Statistics	1989-2018	Provincial
	Evapotranspiration (mm)	Thornthwaite and Mather (1957)	Precipitation and temperature	1989-2018	Depending on land use/cover and soil type
	Actual Evapotranspiration (mm)	Thornthwaite and Mather (1957)	Precipitation and temperature	1989-2018	Depending on land use/cover and soil type
	Runoff (mm)	Thornthwaite and Mather (1957)	Precipitation and temperature and occupation map	1989-2018	Depending on land use/cover and soil type
	Groundwater recharge	Pistocchi et al. (2008)	Precipitation and temperature and occupation map	1989-2018	Depending on land use/cover and soil type
Biophysical Environment	Digital elevation model	-	https://geograchid.blogspot.com/	-	National (30 m x 30 m)
	Land use/cover map	Supervised classification	Area satellite image (Sentinel A2)	2018	Satellite (10 m x10 m)
	Soil texture map	Digitized from soil map (1/50 000)	National Institute of Agricultural Research (INRA)	1988	1/50 000
	Soil Water Retention Capacity (mm)	Thornthwaite and Mather (1957)	MAPMDREF-Division of Statistics	1989-2018	Depending on land use/cover and soil type
Socio-economic	Population Density (number per Km ²)	-	High commission for the plan (HCP)	2014	Communal
	Water Withdrawal for Industrial, Agricultural and Domestic Activities (ratio)	-	Sebou Hydraulic Basin Agency (ABHS)	2013-2018	Provincial
	Multidimensional Poverty Rate (%)	-	High Commission for the plan (HCP)	2014	Communal
	Percentage of Access to Tap Water (%)	-	High Commission for the plan (HCP)	2014	Communal
Potential pollution sources	Wastewater Evacuation by Septic Tank (%)	-	High Commission for the Plan (HCP)	2014	Communal

	Percentage of the Population with Access to the Toilet (%)	-	High Commission for the plan (HCP)	2014	Communal
Eco-environment	Irrigated Area (%)	-	Sebou Hydraulic Basin Agency	2018	Communal

^aMAPMDREF : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural, des Eaux et Forêts.

Water Resources Vulnerability Index Calculation

The most common steps in water resources vulnerability assessment, specifically in a holistic way, are the selection of factors, weighting of factors, data normalization, and aggregation of factors into a composite vulnerability index. The assessment of the vulnerability of water resources is known as relative and subjective due, precisely, to certain steps in the assessment such as the choice of factors and their weightings. The identification of factors in this study was based on the weight assigned by experts to the different factors. To reduce the subjective of the vulnerability assessment, the relative weights of the factors resulting from the experts' judgement during the survey were not taken into account; these weights were used only to choose the most important factors regarding the water resources issue in the study area. For this reason, only three steps were considered in this evaluation: factor selection, data normalization, and aggregation of normalized values into a composite index. The data collected on the selected vulnerability factors were normalized, i.e., transformed between 0 and 1 to make them dimensionless, with the exception of factors with percentage values. In the literature, there are several methods for standardizing data. OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development) (2008) reported some methods of normalizing values, which normalize between (-1) and (1), or between (0) and (1): Standardization at a point z, distance from a reference, logarithmic transformation, percentage of the mean, max-min operation, etc. In this case study, the method proposed by Aksoy and Haralich (2000) was used to normalize the values of all vulnerability factors.

$$X_{0-1} = \frac{\frac{x - \mu}{3\sigma} + 1}{2} \quad (2)$$

Here X_{0-1} is the normalized value of the factor between 0 and 1; x , the dimensional value of the factor; μ , the mean of the series of values related to this factor; σ , the standard deviation of the series of values. Once the factor

data transformed into values between (0) and (1), the normalization also takes into account the meaning of the factor with respect to the final classification of water resource vulnerability. This entails defining in advance a meaning for the composite index of final vulnerability, which, in this case of study, ranges from 0 (highly vulnerable) to 1 (Non vulnerable). To allow for the final classification of the composite vulnerability index, factors and their trends have been defined in terms of water vulnerability. Table 2 summarizes the factors, their definitions, and trends with regard to the water resource vulnerability.

Table 2. Definition of factors and their trends with regard to the vulnerability of water resources

Nb. ^a	Factors	Definition	Trend
1	Relative Annual Variability of Precipitation (mean/standard deviation) (RAVP)	Measures the stability of the system in terms of water supply by precipitation (RAVP= mean/standard deviation)	Higher value reflects a higher vulnerability due to instability of water system.
2	Groundwater recharge (mm)	Represents the amount of water reaching the groundwater table.	Higher value represents a lower vulnerability due to the important availability of water.
3	Soil Water Retention Capacity (mm)	Measures the potential ability of the soil thickness to retain water.	Higher value reflects a lower vulnerability due to the potential water retention capacity.
4	Runoff (mm)	Represents the amount of water flowing to surface water reservoirs (rivers, lakes, rivers, etc.)	Higher value reflects a lower vulnerability due to the availability of the surface water quantity.
5	Percentage of Access to Tap Water (%)	Represents the proportion of the population with access to drinking water, measures the sensitivity of the water supply system to the population.	A greater value represents a lower vulnerability.
6	Percentage of the Population with Access to the Toilet (%)	Measures potential pollution by faeces.	A higher value reflects a lower vulnerability due to the reduction of potential pollution of fecal coliform.
7	Population Density (number per Km ²)	Represents the number of inhabitants per unit area, measures the sensitivity of the water system to the water demand.	A higher value reflects a higher vulnerability due to the important water demand.
8	Water Withdrawal for Industrial, Agricultural and Domestic Activities (ratio)	Represents the amount of water removed from sources for agricultural, industrial and domestic activities. It measures the sensitivity of the system.	A higher value reflects a higher vulnerability due to the excessive water demand.
9	Wastewater Evacuation by Septic Tank (%)	Represents the proportion of wastewater discharged by septic tank, measures the control of potential water pollution.	A higher value represents a lower vulnerability due to the reduction of potentials pollution.
10	Illiteracy Rate (%)	Represents the proportion of the population unable to read and write, measures adaptive capacity, and the ability to cope with a water issue.	A higher value reflects a higher vulnerability.

11	Irrigated Area (%)	Measures the share of land dependent on irrigation.	A higher value reflects a higher vulnerability due to the higher water demand.
12	Multidimensional Poverty Rate (%)	Measures the financial capacity, economic health of the population, and measures the adaptive capacity of the water system.	A higher value represents a higher vulnerability.
13	Topography	Controls runoff and water infiltration underground. In the high level of slope, water will runoff on low slopes and be stagnating or recharging.	A higher value reflects a higher vulnerability.

^aNumber

The values of each vulnerability factor have been classified into 5 degrees of vulnerabilities: 1. highly vulnerable, 2. moderately vulnerable, 3. threshold, 4. less vulnerable, and 5. non vulnerable. This classification of water resource vulnerability factors was based on literature for some factors following similar studies and on statistical distribution of values for other factors with the "histogram" option, which distributes the values in number of classes of choice (XLStat 2016). Table 3 presents the classification for each water resource vulnerability factor.

Table 3. Classification of vulnerability factors for water resources

Nb. ^a	Factors	Highly vulnerable	Moderately vulnerable	Threshold	Less vulnerable	Non vulnerable	Reference
1	Relative Annual Variability of Precipitation (standard deviation/ mean)	< 0.5	0.49–0.3	0.29–0.20	0.19–0.1	0.09–0	Alessa et al. (2008)
2	Groundwater recharge (mm)	0–5	0–25	25–100	100–250	>250	GIZ (2014)
	Normalized	0–0.15	0.15–0.27	0.27–0.38	0.38–0.56	>0.56	
3	Soil Water Retention Capacity (mm)	<102	102–204	204–306	306–408	>408	Statistical distribution
	Normalized	<0.27	0.27–0.30	0.30–0.38	0.38–0.59	>0.59	
4	Runoff (mm)	<33	33–83	83–166	166–250	>250	GIZ (2014)
	Normalized	0–0.13	0.13–0.26	0.26–0.48	0.48–0.70	>0.70	
5	Percentage of Access to Tap Water (%)	0–20	20–40	40–60	60–80	>80	Statistical distribution
6	Percentage of the Population with Access to the Toilet (%)	0–36	36–52	52–68	68–85	>85	Statistical distribution
7	Population Density (number per Km ²)	>1000	1000–500	500–100	100–10	10–0	GIZ (2014)
	Normalized	>0.76	0.76–0.64	0.64–0.52	0.52–0.4	0.4–0	
8	Water Withdrawal for Industrial, Agricultural and Domestic Activities (ratio)	<0.5	0.5–0.2	0.2–0.15	0.15–0.1	0.1–0	Rakin et al. (1997)

9	Wastewater Evacuation by Septic Tank (%)	0–20	20–39	39–59	59–79	>79	Statistical distribution
10	Illiteracy Rate (%)	0–11	11–22	22–33	33–44	>44	Statistical distribution
11	Irrigated Area (%)	>75	75–61	61–48	48–34	34–0	Statistical distribution
12	Multidimensional Poverty Rate (%)	>43	43–32	32–21	21–11	11–0	Statistical distribution
13	Topography (%)	<50	50–30	30–20	20–10	10–0	Statistical distribution

^aNumber

The final water resources vulnerability index was calculated by aggregating all the relative vulnerabilities of each factor under "ArcGIS 10.2.1, Map Algebra, Raster Calculator" tool. Geographic information systems (GIS) allow for assembling the criteria considered and aggregates a number of geoprocessing and spatial analysis (Rahman et al., 2008). The formula for aggregating the relative vulnerabilities of the factors is as follows:

$$WREVI = \prod_{i=1}^n (V_i)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

With V_i , the vulnerability of water resources relative to the i^{th} factor and n the number of factors considered in the water resources vulnerability assessment; $WREVI$, the final water resources vulnerability index with values between 0 and 1, respectively "High vulnerable" and "Non vulnerable".

A sensitivity analysis was carried out to determine the contribution and the variation in the vulnerability of water resources at the spatial scale through the map removal sensitivity analysis. Many scientists (Pacheco et al., 2018; Neh et al., 2015; Hasan et al., 2019; Knouz et al., 2016) believe that models such as DRASTIC do not require the use of all parameters and sure enough, there are parameters that do not have significant contribution to the overall vulnerability. The sensitivity analysis index is formulated as follows:

$$S = \left[\frac{\left(\left| \frac{V}{n} - \frac{V'}{n'} \right| \right)}{V} \right] \times 100 \quad (4)$$

Here, S is the sensitivity measure expressed in terms of variation; V and V' are respectively the "undisrupted" and "disrupted" vulnerability index; n and n' are the number of factor layers used to calculate V and V' respectively. The undisrupted water vulnerability index is obtained by using all factors; the

disrupted water vulnerability index was computed using a limited number of water vulnerability factors.

To validate the final map of water resource vulnerability in the area, Kappa index (Cohen, 1960) was estimated among water quality classes. The analysis of piezometric levels in vulnerable spots was used to validate the final water resource vulnerability map.

Result and Discussion

According to Adger (2006), the concept of vulnerability is complex and difficult to quantify; and he added that for decades, researchers have struggled to define metric factors to estimate vulnerability. It is now clear that there is not a set of water resources vulnerability factors that can be considered for all cases because the perception and the conceptualization of vulnerability depend on the problem encountered in the study area as well as the methodological approach in line with the objective pursued. In this case, as a reminder, 13 factors (Table 4) of 3 to 4 components were aggregated to assess the vulnerability of water resources and produce an overall water resources vulnerability map of the area of interest.

Water Resources Vulnerability Map by Factor

Once water factors vulnerability data are been normalized using equation 2, they are then integrated into ArcGIS to be spatialized. The vulnerability of water resources of each factor was mapped and categorized into 5 classes using ArcGIS quantile classification. After then, it is aggregated into a single vulnerability map by the raster calculator (ArcGIS) using equation 4. Figure 3a to 3m shows the water resource vulnerability map for each factor.

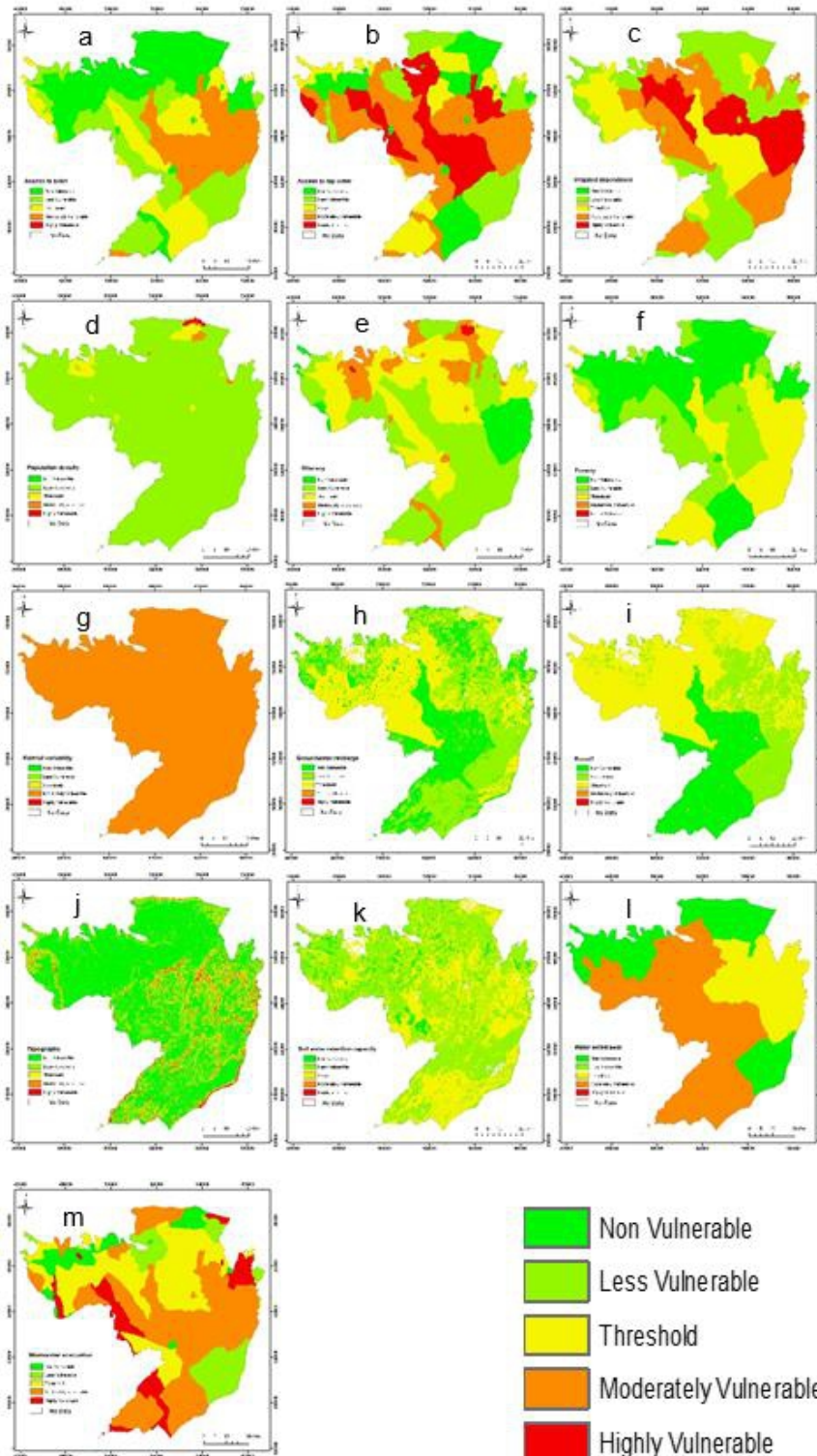


Figure 3. Water resources vulnerability map by factor

Percentage of Population with Access to Toilets (Figure 3a)

This factor indicates the number of people with access to toilets. In another way, it indicates the proportion of population without access to basic sanitation facilities that prevent human excrement from coming into contact with water resources (Cai et al., 2016). The trend of this factor is that the higher the population's access rate, the less vulnerable the water resources are. This factor makes it possible to measure the potential pollution of water resources by fecal coliforms and waterborne diseases such as cholera, dysentery, diarrhea, etc. According to WHO and UNICEF (World Health Organization and United Nations Children's Fund) (2017), the proportion of the world's population with access to sanitation facilities is 68% in 2015. The result shows that most of the Fés, Meknès, and Ifrane perimeters are considered as the "threshold" to "non-vulnerable". A small part south of the study area, in the commune of Oued Ifrane, from the East to the center of the communes of Tizguit, Dayet Ifrah, Laanoussar are considered moderately vulnerable.

Percentage of Access to Drinking Water (Figure 3b)

This factor represents the proportion of population with access to drinking water. It measures the sensitivity of the water supply system to the population. This factor is a demand indicator that measures water use efficiency (Winograd et al., 1989). Cai et al. (2016) stipulated that this indicator was developed to determine the adaptive capacity of water managers and how available technologies influence the withdrawal of water resources. According to WHO and UNICEF (2017), 71% of the world's population has access to safe drinking water. In Morocco, the percentage of access to drinking water is much higher, ranging from 76% to 90% at the national level (WHO and UNICEF, 2017). For this factor, a high value means a low vulnerability of water resources. Almost half of the study area is considered moderately to highly vulnerable. The remaining parts in the southeast, the north, and the northeast vary from the "threshold" to "non-vulnerable".

Irrigation Dependency (Figure 3c)

This factor indicates the share of land that depends on irrigation. Although irrigation is a water-saving activity, it remains a water resource extraction. In areas with intensive agriculture, irrigation can be one of the main sectors of water consumption. According to FAO data and the World Bank development indicators, the percentage of irrigated land in Morocco in 2011 is reported at 4.06 %. However, the perimeters of Fés, Ifrane, and Meknès represent an agricultural zone where cereals, legumes, and fodder are grown. Irrigation is therefore present in some parts of the perimeter throughout the year, except during winter. A high value of this factor indicates high

vulnerability. Therefore, much of the study area is moderately to highly vulnerable towards the North and the East.

Population Density (Figure 3d)

Represents the number of inhabitants per unit area, measures the sensitivity of the water system to the water demand. Several researchers (Gain et al., 2012; Sullivan, 2011; Pandey et al., 2010; Wu et al., 2013) reported that population growth is one of the main causes of water resource disruptions. Indeed, when population increases, the demand for water for vital needs increases. With regard to the classification adopted, the study area is considered as "less vulnerable" with the exception of few small areas in the North, namely Fez medina considered as "highly vulnerable". Other municipalities such as Saiss and Sefrou present as "moderately vulnerable".

Illiteracy Rate (Figure 3e)

Represents the proportion of population unable to read and write. It measures adaptive capacity to cope with water issue. Illiteracy is the opposite of education, which gives the ability to analyze data (Alessa et al., 2008) and thus open up other knowledge to deal with water problems. When the illiteracy rate is high, the vulnerability of water resources increases. For this factor, most of the study area is depicted as being at the "threshold" to "non-vulnerable". However, in the northern part there are areas such as the municipalities of Al Machaour-Stinia, Sabaa Aiyoun, and Majjate which are considered as "Moderately vulnerable". Other areas in the North near the city of Fés such as the municipalities of Sais, Ain Cheggag, and Oulad Tayeb present themselves as "moderately vulnerable". In the south of the area of interest, the commune of Sidi El Makhfi is considered as "moderately vulnerable".

Multidimensional Poverty Rate (Figure 3f)

It measures the financial capacity, economic health of the population, and the adaptive capacity of the water system. For Gain et al. (2012), it measures the economic health of the population and its ability to cope with water problems. The link between environmental degradation and poverty rates has been highlighted by Satterthwaite (2003), who stated that urban poverty has an impact on environmental degradation in Africa, Asia, and Latin America. When the poverty rate is high, the vulnerability of water resources increases. Within this perimeter, the entire population lives above the poverty line. Therefore, water resources are considered from "threshold" to "non-vulnerable". Sullivan (2011) reported that the vulnerability of water resources in some South African municipalities is due to poverty.

Rainfall Variability (Figure 3g)

All over the world, the main natural supply of water resources remains precipitation. When rainfall varies considerably in an area, the water system is affected because of this variability. The relative annual variability of precipitation measures the stability of the system in terms of water supply by precipitation. When the coefficient of variation is high, the water resources system can be very vulnerable. Within this perimeter, this coefficient was estimated with monthly rainfall from 1988 to 2018. According to Rakin's classification (1997), the water resource system is presented as "moderately vulnerable" due to the large variation in rainfall.

Groundwater Recharge (Figure 3h)

This factor represents the amount of water reaching groundwater or that infiltrates the subsoil. Groundwater recharge is one of the most important factors since the supply of drinking water and industries in urban and rural areas is provided by aquifers. When the recharge is important, water resources are less vulnerable. This perimeter has good potential for groundwater recharge due to precipitation and soil types (mostly clayey), and to its land use, which is mainly forested in the extreme South of the study area. The vulnerability of water resources related to recharge varies from "Threshold" to "non-vulnerable".

Annual Runoff (Figure 3i)

It represents the amount of water flowing to surface water reservoirs (rivers, lakes, etc.). Just as groundwater recharge, after precipitation, the amount of water that does not infiltrate the subsoil will run off depending on the biophysical characteristics such as soil type, land use and topography. When the amount of water flowing to water bodies is large, the vulnerability of water resources in relation to runoff is low. The result shows that water resource vulnerability varies from "non-vulnerable" in the extreme South of the study area and the center, to "less vulnerable" in the extreme East and "Threshold" in the extreme North.

Topography (Figure 3j)

Topography refers to the slope. Control the runoff and water infiltration underground. During precipitation, when water does not immediately infiltrate the ground, it flows to slight slopes to stagnate or infiltrate. Rahman (2008) states that areas with low slope tend to retain water for a longer period time, while water flows from steep slopes to low slopes. Within this study area, there is a significant variation in topography. From South to Southeast, the slopes are steep and do not favor local infiltration.

Soil Water Retention Capacity (Figure 3k)

This factor measures the potential ability of the soil thickness to retain water. The potential capacity to retain soil water depends on the type of soil and land occupation. An area with clayey or silty soils and forest vegetation would retain much more water than other types and land uses. In the study area, the vulnerability of water resources related to the potential capacity to retain soil water varies from "threshold" to "non-vulnerable".

Water Withdrawal for Industrial, Agricultural and Domestic Activities (Figure 3l)

Represents the amount of water removed from sources for agricultural, industrial, and domestic activities. It measures the amount of water demand (Wu et al., 2013; Sullivan, 2011). In this area, the overexploitation of water resources is increasingly being felt. Agricultural intensification and industrial development are becoming increasingly important. The provinces of El Hajeb and Ifrane are considered as "moderately vulnerable". The rest of the study area ranges from "threshold" to "non-vulnerable".

Wastewater Evacuation by Septic Tank (Figure 3m)

Represents the proportion of wastewater discharged by septic tank, measures the control of potential water pollution. The evacuation of wastewater by septic tank allows to control the wastewater and to avoid a potential mixing with the drinking water. For this factor, nearly 50% of the study area has a low evacuation rate, which means that water resources are highly vulnerable. The vulnerability of water resources related to this factor varies from "highly vulnerable" in the south of the study area to "moderately vulnerable" towards the center of the study area. The rest of the perimeter varies from "threshold" to "non-vulnerable".

Overall Water Resources Vulnerability Map

The complexity of the water resources system makes vulnerability assessment a difficult task to undertake because of the complex interactions between the factors that influence vulnerability. To have an overview of water resources vulnerability, aggregate several factors of different dimensions, such as socio-economic, hydrological, pollution, eco-environmental, must be the simple way to undertake the assessment. This aggregation makes it possible to analyze the interaction of all factors in the study area using ArcGIS precisely and Raster Calculator, which studies the interactions between factors pixel-by-pixel. Figure 4 shows the result of aggregating the 13 factors into a final water resource vulnerability map. The overall vulnerability map shows that the degree of vulnerability of water resources in most of the study area is considered to be at the "threshold" to "non-vulnerable". However, 3 mains

areas stand out and range from "moderately vulnerable" to "highly vulnerable". Zone 1 includes Lawija, Boufekrane, Ait Bourzouine in the northern part of the study area, from the South of the city of Meknes to the city of El Hajeb, where the degree of vulnerability of water resources from the "threshold" to "moderately vulnerable" is located forming an extension cluster with some points of "highly vulnerable". These small areas considered as "highly vulnerable" are present throughout the entire study area. Zone 2 in the northern part of the study area, spans from the West of the city of Fez to the areas of Sebaa Rouadi, Laqsir, and Ras El Ma, Bitit and Ain Chegag, as well as Oulad Tayed, where the degree of vulnerability of water resources varies from "moderately vulnerable" to "highly vulnerable". Zone 3 is within the commune of Dayet Ifrah towards the center-South. Although the area is forested with good hydrological potential, the degree of vulnerability of water resources varies from "moderately vulnerable" to "very vulnerable". In addition to these three zones, a perimeter located in the commune of Oued Ifrane (O.Ifrane munic in Figure 4) to the South of the study area and the degree of vulnerability of water resources has been shown to be "highly vulnerable" although forested with significant hydrological potential. In the northeast of the city of Guigou, there are a few small areas where the degree of vulnerability of water resources is considered as "highly vulnerable".

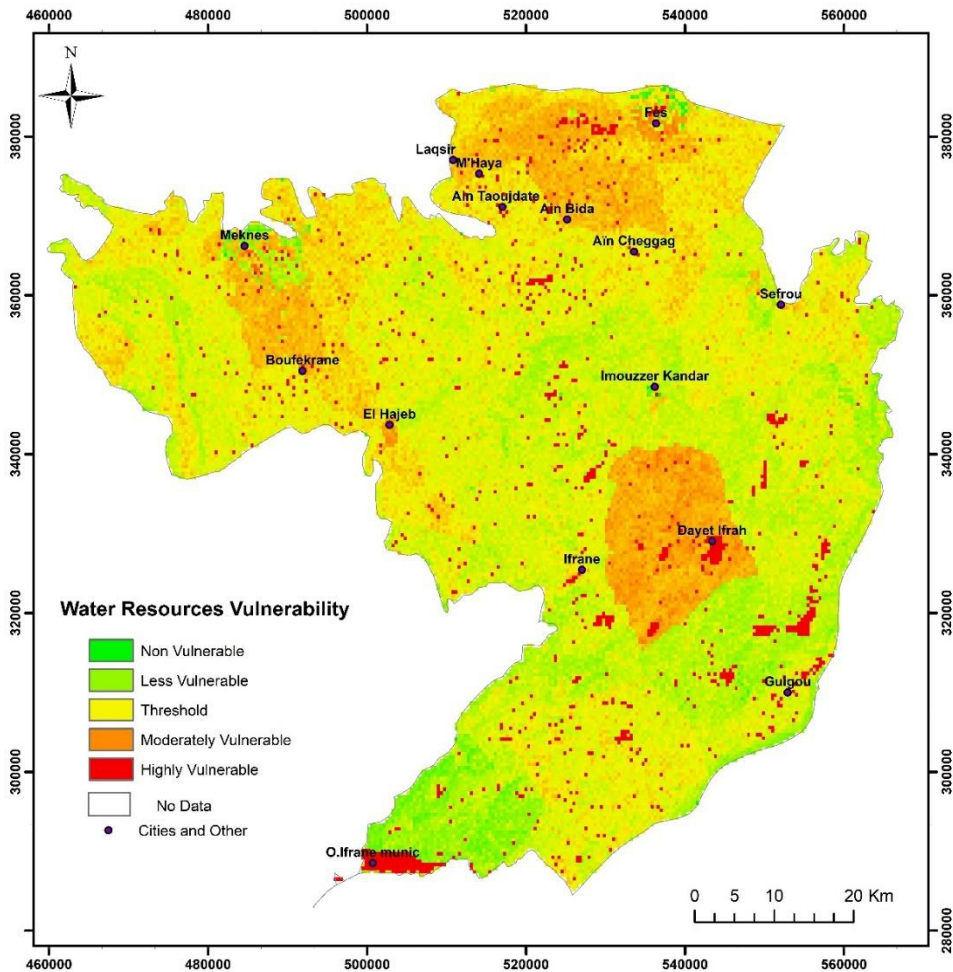


Figure 4. Overall water resources vulnerability map.

Sensitivity Analysis

A removal map sensitivity analysis was carried out to identify the factors that have the greatest contribution on the overall water resource vulnerability map. Each of the 13 factors was removed to assess its impact on the overall water resources vulnerability map by applying Equation 4. Table 4 presents the test result with the average sensitivity index for each vulnerability factor.

Table 4. Descriptive statistics of the removal map sensitivity test

Vulnerability Factors	Mean	Max.	Min.	SD	CV (%)
Access to tap water	0.75	4.50	0.00	0.95	100
Access to the toilet	0.19	0.60	0.00	0.12	63
Rainfall variation	0.61	1.03	0.19	0.10	16
Illiteracy	0.61	1.20	0.11	0.20	33
Water withdrawal	1.08	2.51	0.13	0.53	49
Wastewater evacuation	0.54	3.86	0.00	0.32	59
Irrigated land	0.32	1.68	0.00	0.23	72
Population density	0.64	7.7	0.00	0.92	100
Poverty	1.32	8.73	0.00	0.93	70
Topography	1.73	4.05	0.00	0.70	40
Runoff	0.33	0.81	0.00	0.18	54
Groundwater recharge	0.36	1.45	0.00	0.21	58
Soil water retention capacity	0.30	3.09	0.00	0.23	76

The analysis of Table 4 shows that the "topography" factor showed the greatest impact on the final water resources vulnerability map since its influence on the removal of this factor was the highest and is 1.73. This is followed by the poverty factor with a sensitivity index of 1.32, the water withdrawal factor with a sensitivity index of 1.08, and finally the "access to tap water" and "population density" factors with sensitivity indices of 0.75 and 0.64 respectively. The topography controls two of the hydrological factors, namely "runoff" and "groundwater recharge". The multidimensional poverty rate is a factor that influences many of the socio-economic factors directly or indirectly, namely the illiteracy rate, access to toilets, access to tap water, and even irrigation rate. Population density is also one of the most important factors, since it is what partly determines the demand for and use of water through abstraction for agricultural, domestic, and industrial activities. The observation of the coefficients of variation of the "access to tap water" and "population density" factors shows that they contribute significantly to the variation of the overall water resources vulnerability map with 100% each. The factors "irrigated land", "soil water retention capacity", and "access to the toilet" also contribute significantly to the variation in the overall map of water resource vulnerabilities with 76% and 63% respectively. Modest contributions to the variation of the final map are found in the factors of "groundwater recharge", "waste water evacuation", and "runoff" with 58%, 59%, and 54% respectively. The aggregation of the 5 factors (topography, poverty, water withdrawal, access to tap water and population density) that have the most significant impacts on the overall water resources vulnerability map shows that there is no much difference with the final map made with the 13 factors. Figure 5 shows the map produced with the 5 factors with the greatest impacts on the final map.

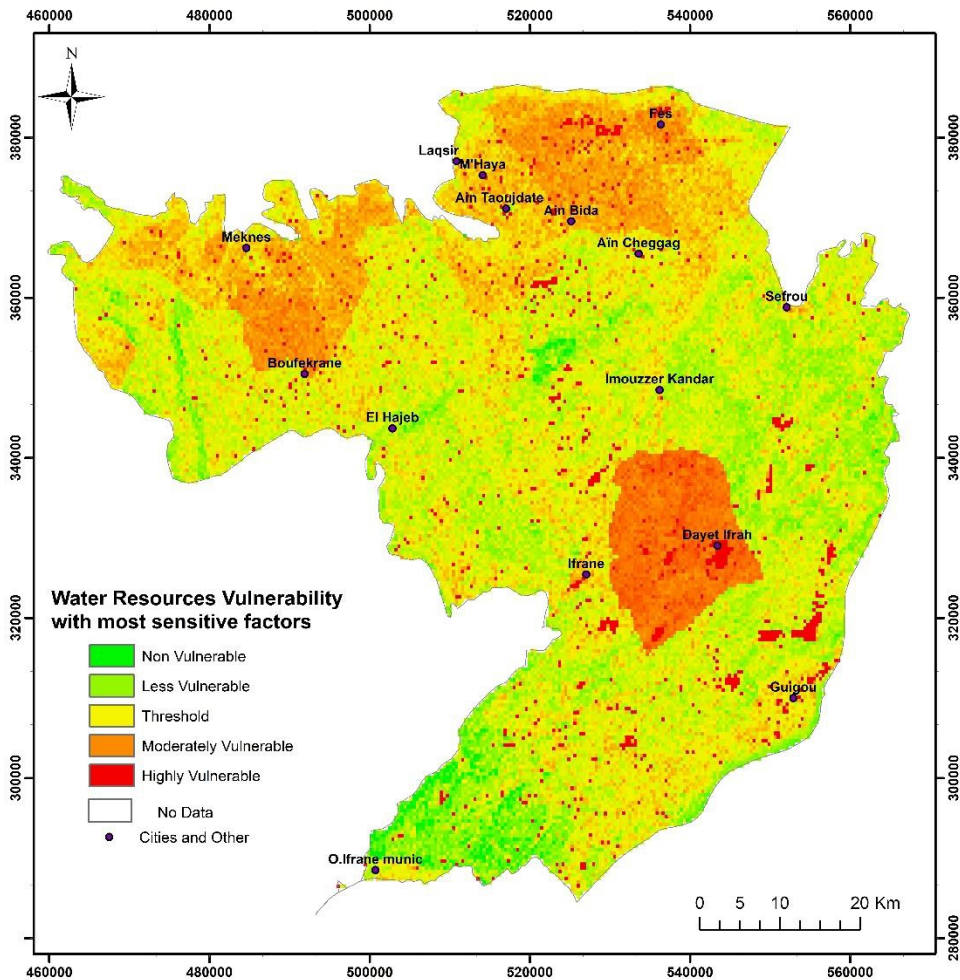


Figure 5. Water resources vulnerability with most sensitive factors

The vulnerability of zones 1 and 2 is mainly due to the interaction between the five factors below. The vulnerability of zone 3 is mainly due to the "access to tap water" and "water withdrawal" because the removal of these two maps has made these "moderately vulnerable" zones disappear. The removal of the "waste water evacuation" factor has also caused the "highly vulnerable" area in the southern part of the study area in the commune of Oued Ifrane to disappear. The removal of the "topography" factor removed the clusters of "highly vulnerable" present throughout the study area.

Validation

It is very difficult to validate a model based on an aggregation of several factors of different dimensions such as socio-economic, hydrological, potential sources of pollution, eco-environmental, etc. in this case. Several

researchers who have assessed the vulnerability of water resources in an integrated way have not been able to present validation modules for their models, such as Plummer et al. (2013), Sullivan (2011), Gain et al. (2012), Alessa et al. (2008), Xia et al. (2012), and Pandey et al. (2010). On the other hand, Wu et al. (2013), whose integrated water resources vulnerability assessment model was based on a simulation, validated their result with observation data from 4 of the factors they considered important for their model. Moreover, some researchers (Hasan et al., 2019; Pacheco et al., 2018) who used the DRASTIC method to assess the vulnerability of water resources to pollution assumed that the observation of one or more physical and chemical water parameters would validate the final vulnerability map. The hypothesis of this research is that the vulnerability of water resources, i.e., the vulnerability related to the quantity and quality of groundwater and surface water in this area, could be assessed based on data from environmental components. Thus, to validate the final water resources vulnerability map in the study area, water resources quality data from 1988 to 2018 from 29 stations (Kanga et al., 2019a) were used. The analysis of piezometric data in vulnerable areas was used to validate the final water resource vulnerability map. The piezometric stations in zones 1 and 2 showed a significant decrease in the piezometric level from 1m in the 1970s to 60m in 2015. In zone 3 (the Dayet Ifrah zone), the course of the piezometric level of 3 boreholes from 1992 to 2008 showed a clear decrease in the water level, the most notable decrease being from 2.5 m to 14.4 m deep. In addition to the decrease in the piezometric level of the area, Dayets Aoua (localized in Zone 3) have experienced several dry spells in recent years, the most recent being on August 2019. The 30-year data from 29 water quality monitoring stations, including 3 surface water stations and 26 groundwater stations, were analyzed and classified into 5 classes: very poor, poor, medium, good, and excellent. A matrix of confusion was carried out between the 5 water quality classes and the 5 classes of the overall water resources vulnerability map. The resulting Kappa index (Cohen, 1960) is 0.26, which, according to Cohen's classification, is considered a poor agreement. However, it is difficult to draw a conclusion with only 29 stations. It is clear that increasing the number of stations will improve this agreement.

Uncertainties

The integrated water resources vulnerability assessment process inevitably contains some uncertainty. For example, the selection of vulnerability factors for water resources are based on a participatory approach involving water resource managers through a survey. Survey methods for data collection are subjective because of the subjective judgments of experts. In addition, the normalization method used is strongly related to the standard deviation of the data distribution. A large or small value could influence the

normalized values of the different factors. The classification of hydrological factors comes from the bibliography and from the statistical distribution of data. The classification of socio-economic factors is mainly based on the statistical distribution of factor data. The existence of reliable data sources, and a classification of factors based on Moroccan legislation, can improve the reliability of the final water resources vulnerability map. It should also be noted that the lack of data on certain vulnerability factors has limited their use, and the secondary sources of data has been used for certain socioeconomic factors.

Conclusion

Integrated water resources assessment at the local level is increasingly being used. Indeed, water quality problems often associated with water stress should not be analyzed separately since these problems are induced by human activities generally, and rarely by natural factors. The result of this research makes it possible to refine water resources management policies in this area by influencing, not only the biophysical factors but also by investing in education, poverty reduction, and improving access to water for the population and sanitation in towns and villages. The method used to assess the vulnerability of water resources in this area is probably relative since the addition of other water resources vulnerability factors could give a different result with different areas of vulnerability. However, for the time being and with these 13 factors in mind (which may be reduced in 5), this result could be the closest state to the reality of the pressures on the water resources system in this area. This study could help integrated water resources management planners to take action to improve the overall state of water quantity and quality in the area. This research is not only assessed for the current water vulnerability using historical data, but would also provide information on the future state of water resources by creating scenarios that vary factors over time. Although this multi-dimensional assessment of the vulnerability of water resources is applied here at the local scale, its application can be extended to a larger scale like regional, national or cross-country.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Acknowledgement

We would like to thank the staff of the Water Quality Service of the Sebou Hydraulic Basin Agency. We would also like to thank the staff of the Soil and Water Conservation Laboratory-IAV Hassan II and GISEC project (Grant number: Not Applicable) as well as the Hassan II Academy of Science and Technology for their multifaceted financial support.

References:

1. Adger, WN. (2006). Vulnerability. *Glob. Environ. Change*, 16, 268–281.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.
2. Aksoy, S. & Haralick, RM. (2001). Feature normalization and likelihood-based similarity measures for image retrieval. *Pattern Recognit. Lett.*, 22, 563–582. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(00\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(00)00112-4).
3. Alessa, L., Kliskey, A., Lammers, R., Arp, C., White, D., Hinzman, L., & Busey, R. (2008). The Arctic Water Resource Vulnerability Index: An Integrated Assessment Tool for Community Resilience and Vulnerability with Respect to Freshwater. *Environ manage.*, 42, 523–541. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9152-0>.
4. Amharref, M., Aassine, S., Bernoussi, AS., & Haddouchi, BY. (2007). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc). *Rev. Sci. Eau*, 20, 185-199. <https://doi.org/10.7202/015812ar>.
5. Bhuvaneswaran, C. & Ganesh, A. (2019). Spatial assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC model with GIS in Uppar odai sub-watershed, Nandiyar, Cauvery Basin, Tamil Nadu. *Groundw. Sustain. Dev.*, 9, Art.100270.
<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100270>.
6. Cai, J., Varis, O., & Yin, H. (2017). “China’s Water Resources Vulnerability: A Spatio-temporal Analysis during 2003-2013.” *J. of Clean. Prod.*, 142, 290–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.180>.
7. Chande, MM. & Mayo, AW. (2019). Assessment of groundwater vulnerability and water quality of Ngwerere sub-catchment urban aquifers in Lusaka, Zambia. *Phys chem earth.*, 112, 113–124.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.03.004>.
8. Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educ Psychol Meas.*, 20, 37–46.
<https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
9. Dahan, S., Johan, G., Anouar, K., Bekhechi, M., Jalil, M., Abdunour, R., Talbi, A., Kumapley, T., Yee-Batista, C., & Taifour, H. (2017). Gestion de la Rareté de l’Eau en Milieu Urbain au Maroc. Banque mondiale, rapport de recherche, rapport de recherche P157650, Washington, DC, USA, 38p.
10. Elfarrak, H., Hakdaoui, M., & Fikri, A. (2014). Development of Vulnerability through the DRASTIC Method and Geographic Information System (GIS) (Case Groundwater of Berrchid), Morocco. *J. Geogr. Inf. Syst.*, 6, 45-58.

- <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2014.61006>.
11. El Ouali, LA., Merzouki, M., El Hillali, O., Maniar, S., & Ibsouda, KS. (2011). Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences. *Larhyss Journal*, 09, 55-72.
 12. German Corporation for International Cooperation (2014). *The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments*. GIZ, Bonn, Germany, 180p.
 13. Gain, AK., Giupponi, C., & Renaud, FG. (2012). Climate Change Adaptation and Vulnerability Assessment of Water Resources Systems in Developing Countries: A Generalized Framework and a Feasibility Study in Bangladesh. *Water*, 4, 345-366.
<https://doi.org/10.3390/w4020345>.
 14. Hamza, M., Added, A., Frances, A., & Rodriguez, R. (2007). Validité de l'application des méthodes de vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI à l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de Metline–Ras Jebel–Raf Raf (Nord-Est tunisien). *C. R. Geoscience.*, 339, 493–505. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2007.05.003>.
 15. Hasan, MA. & Alam, J.MH. (2019). Groundwater vulnerability assessment in Savar upazila of Dhaka district, Bangladesh—A GIS-based DRASTIC modeling. *Groundw. Sustain. Dev.*, 9, Art.100220, DOI: 10.1016/j.gsd.2019.100220.
<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100220>.
 16. Kanga, IS., Niandou, AS., Naimi, M., Chikhaoui, M., & Schimmel, K. (2019a). Analysis of Water Resources Vulnerability Assessment Tools. *JAST-B.*, 9, 69-86. DOI:10.17265/2161-6264/2019.02.001.
 17. Kanga, IS., Chikhaoui, M., & Naimi, M. (2019b). Water Quality Assessment Using a New Proposed Water Quality Index: A Case Study from Morocco. *J. Environ. Agric. Biotech.* 4, 957-792.
<http://dx.doi.org/10.22161/ijeab.4411>.
 18. Kanga, IS., Chikhaoui, M., Naimi, M., & Hassane, SA. (2019c). Weighting of water resources vulnerability factors in the context of global environmental change in the Sebou basin: case of Fez, Ifrane and Meknes perimeters (Morocco). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*. 4, 1874-1887.
<https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.46.38>.
 19. Knouz, N., Boudhar, A., Bachaoui, E-M., & Aghzaf, B. (2016). Étude de la vulnérabilité des nappes à la pollution en zones semi-arides : cas de la nappe phréatique des Béni Amir au Maroc. Méditerranée [Online], varia, <http://mediterranee.revues.org/7853>.
 20. Mirauda, D. & Ostoich, M. (2011). Surface water vulnerability assessment applying the integrity model as a decision support system

- for quality improvement. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 31,161–171. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.07.003>.
21. Neh, AV., Ako, AA., Ayuk, AR., & Hosono, T. (2015). DRASTIC-GIS model for assessing vulnerability to pollution of the phreatic aquiferous formations in Douala–Cameroon. *J. Afr. Earth Sci.*, 102, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.11.001>.
 22. Organization for Economic Co-Operation and Development (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. OECD, Paris, France, 162p.
 23. Pacheco, FAL., Martins, LMO., Quininha, M., Oliveira, AS., & Fernandes, SLF. (2018). Modification to the DRASTIC framework to assess groundwater contaminant risk in rural mountainous catchments. *J. Hydrol.*, 566, 175–191. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.013>.
 24. Pandey, VP., Babel, MS., Shrestha, S., & Kazama, F. (2010). Vulnerability of freshwater resources in large and medium Nepalese river basins to environmental change. *Water science & technology. Water Sci Technol.*, 6, 1525-34. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.751>.
 25. Pistocchi, A., Bouraoui, F., & Bittelli, M. (2008). A simplified parameterization of the monthly topsoil water budget. *Water Resour. Res.*, 44, Art.W12440. <https://doi.org/10.1029/2007WR006603>.
 26. Plummer, R., De Grosbois, D., Armitage, D., & De Loe, R. (2013). An integrative assessment of water vulnerability in First Nation communities in Southern Ontario, Canada. *Glob. Environ. Change*, 23:749–763. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.03.005>.
 27. Rahman, A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Appl Geogr.*, 28, 32–53. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.008>.
 28. Raskin, P., Gleick, PH., Kirshen, P., Pontius, G., & Strzepek, K. (1997). *Water futures: assessment of long-range patterns and problems in comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden, 92p.
 29. Sadkaoui, N., Boukrim, S., Bourak, A., Lakhili, F., Mesrar, L., Chaoui, A-A., Lahrach, A., Jabrane, R., & Akdim, B. (2013). Groundwater pollution of Saïs basin (morocco), Vulnerability mapping by DRASTIC, GOD and PRK Methods, involving geographic information System (GIS). *Present environment and sustainable development*. 7; 295-307.
 30. Satterthwaite, D. (2003). *The Links between Poverty and the Environment in Urban Areas of Africa, Asia, and Latin America*. The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science., Art.590. <https://doi.org/10.1177/0002716203257095>.

31. Sbaa, M. & Vanclooster, M. (2017). La gestion des ressources en eau au Maroc face aux changements climatiques, état des lieux et alternatives technologiques d'adaptation. *Annales des Sciences de la Santé.*, 1, 24–53.
32. Shrestha, S., Kafle, R., & Pandey, VP. (2017). Evaluation of index-overlay methods for groundwater vulnerability and risk assessment in Kathmandu Valley, Nepal. *Sci total environ.*, 555, 779-780. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.141.
33. Sinan, M. & Moumtaz, R. (2009). An extension to the DRASTIC model to assess groundwater vulnerability to pollution: application to the Haouz aquifer of Marrakech (Morocco). *Environ Geol.*, 57, 349–363. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1304-2>.
34. Sullivan, C. (2011). Quantifying water vulnerability: a multi-dimensional approach. *Stoch Environ Res Risk Assess.* 25, 627–640. DOI: 10.1007/s00477-010-0426-8.
35. Thornthwaite, CW. & Mather, JA. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology*, 10 (3).
36. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2019). Leaving no one behind. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, CC-BY-SA 3.0 IGO, Paris, France, 201 p.
37. Winograd, M., Aguilar, M., Farrow, A., Segnestam, L., Linddal, M., & Dixon, J. (1999). Conceptual Framework to Develop and Use Water Indicators. Rural Sustainability Indicators: Outlook for Central America. CIAT/World Bank/UNEP Project, Bali, Columbia.
38. World Health Organization and United Nations Children's Fund (2017). Progress on drinking water, sanitation and hygiene. World Health Organization, CC BY-NC-SA 3.0 IGO, Geneva, Swiss, 116 p.
39. Wu, G., Li, L., Ahmad, S., Chen, X., & Pan, X. (2013). A Dynamic Model for Vulnerability Assessment of Regional Water Resources in Arid Areas: A Case Study of Bayingolin, China. *Water Resour Manage*, 27, 3085–3101. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0334-z>.
40. Xia, J., Chen, J., Weng, J., Yu, L., Qi, J., & Liao, Q. (2014). Vulnerability of water resources and its spatial heterogeneity in Haihe River Basin, China. *Chin. Geogr. Sci.*, 24, 525–539. <https://doi.org/10.1007/s11769-014-0720-3>.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Effacité du rechargement de la plage de Pilote Bar (Saint-Louis) après une décennie d'érosion

Omar Balde

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Dr. Issa Sakho

UMR Sciences Technologies Avancées et Développement Durable (UMR STADD), Université Amadou Moctar Mbow de Dakar, Sénégal, Dakar, Sénégal. UMR-CNRS, Morpho dynamique continentale et côtière, Université de Rouen Normandie, Cedex France

Pr. Mouhamadou Bachir Diouf

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Dr. Mamadou Bop

Laboratoire Eau, Energie, Environnement et procédés industriels (LE3PI), Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Djibril Tine

Laboratoire de Télédétection Appliquée de Dakar (LTA), Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Wardou Ibouroi

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p207](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p207)

Submitted: 30 November 2020

Accepted: 23 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Balde O., Sakho I., Diouf B. M., Bop M., Tine D. & Ibouroi W. (2021). *Effacité du rechargement de la plage de Pilote Bar (Saint-Louis) après une décennie d'érosion*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 207. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p207>

Résumé

L'ouverture d'une brèche dans la bande de sable de la Langue de Barbarie à Saint Louis (Sénégal) en 2004 a eu des conséquences sur l'étendue du bief fleuve-mer du Gandiolais. En effet, les zones en face de la brèche

deviennent très vulnérables à l'action des vagues dévastatrices de la Grande Côte. La décision d'une protection douce par ensablement a été prise pour protéger le village de Pilote Bar des risques d'érosion et de submersion marine. Cette première expérience au Sénégal a donné des résultats positifs. Le rechargement de la plage de Pilote Bar a favorisé la formation d'une lagune. Une sédimentation et une augmentation de la hauteur des pentes des plages voisines ont également été observées. Les vitesses de courant mesurées par l'ADCP RIVER 1200 kW, présentent un fonctionnement normal caractéristique d'une zone fluvio-maritime.

Mots-clés: Erosion cotière, Rechargement de plage, Flèche sableuse, Hydrodynamique, Morphodynamique, Saint-Louis

Effectiveness of Recharging of the Pilot Bar Beach (Saint-Louis) After a Decade of Erosion

Omar Balde

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Dr. Issa Sakho

UMR Sciences Technologies Avancées et Développement Durable (UMR
STADD), Université Amadou Moctar Mbow de Dakar, Sénégal,
Dakar, Sénégal. UMR-CNRS, Morpho dynamique continentale et côtière,
Université de Rouen Normandie, Cedex France

Pr. Mouhamadou Bachir Diouf

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Dr. Mamadou Bop

Laboratoire Eau, Energie, Environnement et procédés industriels (LE3PI),
Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Université Cheikh Anta Diop de
Dakar, Sénégal

Djibril Tine

Laboratoire de Télédétection Appliquée de Dakar (LTA), Institut des
Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Wardou Ibouroi

Laboratoire de Sédimentologie et de Biostratigraphie,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Abstract

This work presents the results of a morpho-dynamic and sedimentological monitoring after beach nourishment and the consecutive formation of a lagoon. Topographic measurements have allowed determining the origin of the sediments present in the lagoon. The movement of the sediments is from the high beach to the lagoon. The analysis of current velocities shows a normal functioning of a fluvio-maritime system with high velocities during the flood period and low velocities during the ebb. Particle size analysis shows that fine-grained sediments are deposited in the underwater part of the beach profile. This first experiment in Senegal had positive results. The recharging of the Pilote Bar beach has favoured the formation of a lagoon. Sedimentation and increase in the height of the slopes of the neighboring beaches were also observed. The currents measured by the ADCP RIVER 1200 kW, indicate a normal operation characteristic of a fluvio-

maritime zone.

Keywords: Coastal erosion, Beach nourishment, Sandy spit, Hydrodynamic, Moprhodynamic, Saint-Louis

1. Introduction

L'importance des études des côtes réside dans les conséquences géographiques et économiques des modifications du littoral (Mason, 1949). Les littoraux à travers le monde font actuellement l'objet d'aménagements continus aux conséquences parfois inattendues (Paskoff, 2007). Une action anthropique modifie presque toujours le fonctionnement naturel du littoral.

Les littoraux font l'objet de convoitises à cause des nombreux avantages qu'ils offrent : économie, pêche, tourisme, habitation etc. La population mondiale augmente et s'y concentre (Nicholls, 1998). Cependant, on assiste à une réduction de cet espace matérialisé par un recul du trait de côte induit par l'action des houles et/ou de la marée (Chaumillon et al., 2011; Faye, 2010).

L'évolution des côtes sableuses est dominée généralement par une tendance régressive (Paskoff, 2007). Ce phénomène est exacerbé par les effets du réchauffement climatique : hausse du niveau marin, augmentation de la fréquence des tempêtes (Bindoff et al., 2007; Solomon & IPCC, 2007). En France, 24 % du littoral est en érosion soit 1 723 km de côtes sur un total de 7 124 km (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 2015). Dans les régions tempérées comme au Québec, l'estuaire du Golf de Saint Laurent constitue un laboratoire pour comprendre les processus et les causes de l'érosion propre aux régions tempérées (Bernatchez & Dubois, 2006). En Afrique de l'Ouest, l'évolution du trait de côte n'est pas régulière. Les zones d'érosion et d'accumulation se succèdent entre la Mauritanie et la Guinée (Faye, 2010). L'anthropisation accentue l'érosion par l'interruption des échanges dune-estran et aussi par l'artificialisation du trait de côte. Parallèlement, les ouvrages de protection, l'extraction de sédiment, l'occupation du sol des bassins versants accentuent le phénomène. Dans la région de Hi Phong au Vietnam, les aménagements autour du Port principal ont modifié l'équilibre littoral (Trinh et al., 2007).

Ainsi, face à cette situation, de nouvelles politiques de gestion moderne sont mises en place (Jeanson et al., 2011). Des techniques de protection comme l'enrochement sont remplacées par le rechargement artificiel de plage, une alternative pour les littoraux dont le rivage recule (Hamm et al., 2002; Harley et al., 2014; Newman, 1976). Au cours des 35 dernières années le rechargement artificiel a servi à la protection des côtes en Caroline du nord (Rogers, 2000). En Languedoc- Roussillon, ces pratiques de rechargement sont réalisées de façon ponctuelle à des échelles locales en se

servant des sédiments recueillis par dragage ou des zones d'accrétion (Bâ et al., 2007).

Toutefois, la conception de cette méthode dépend des objectifs fixés. A cet effet, les sédiments ajoutés au système peuvent aider à dissiper l'énergie des vagues pendant les tempêtes (Harley et al., 2014). Techniquement un bon rechargement utilise des sédiments de même granulométrie, voire légèrement plus grossier (Newman, 1976).

A Saint Louis, une brèche ouverte sur la flèche sableuse de la Langue de Barbarie, au Nord du Sénégal, a eu des conséquences désastreuses sur le bief fluvial en aval. Le creusement du canal devrait permettre l'écoulement rapide des eaux d'inondation qui ont fortement menacé la ville de Saint-Louis pendant les crues de 2003. Cette brèche sur la Langue de sable séparant le fleuve Sénégal de l'Océan Atlantique n'est pas une première puisque la flèche de Saint Louis a connu de nombreuses ruptures naturelles au cours de son évolution (Gac et al., 1982). A partir de son extrémité, l'accroissement de la langue de Barbarie s'allongeait régulièrement vers le Sud sous l'effet de la dérive littorale et la rendait instable provoquant une rupture de la flèche et l'installation d'une nouvelle embouchure (Gac et al., 1982).

L'environnement morphodynamique du delta évoluait considérablement mais le système se reconstituait progressivement, la partie distale de l'ancienne flèche évoluait en lagune et la nouvelle flèche, écourtée, reprenait son allongement vers le Sud. Le creusement du canal d'évacuation des eaux pluviales en 2003 pour éviter l'inondation de la ville de St Louis a logiquement généré une modification du système mais celui-ci ne s'est pas régénéré de lui-même. La brèche s'est élargie considérablement et la rive gauche du fleuve s'est retrouvée soudainement exposée à l'action de la houle dont elle était protégée par la flèche. Une des conséquences de cette évolution est le recul de la ligne de rivage dans le secteur (Bâ et al., 2007; Faye, 2010). Plus au Sud, d'autres formes d'évolutions régressives font l'objet de menaces sérieuses contre des territoires plus étendus et des écosystèmes très variés.

Les risques d'inondation évités à Saint Louis, il fallut désormais s'attaquer aux nouveaux risques engendrés par cette ouverture. En effet, les villages exposés à la dynamique marine sont confrontés à des risques d'érosion et de submersion marine. Doun Baba Dieye, Pilote Bar et Tassinère, villages situés au Sud de la brèche, subissent successivement l'action dévastatrice des vagues. Cette situation a provoqué le déplacement des populations et la salinisation des terres. L'Etat du Sénégal et la commune de Ndieben Gandiole décident, après des études, de protéger le village de Pilote Bar par un rechargement artificiel de sa plage.

Cette première à Pilote Bar est donc expérimentale d'où la nécessité d'étudier l'efficacité et l'impact du rechargement sur l'environnement fluvio-marin de Pilote Bar. Cet article cherchera à mesurer l'impact de ce

rechargement. Pour y parvenir trois principaux facteurs vont être analysés : l'évolution de la géomorphologie, les processus sédimentaires et enfin l'hydrodynamisme du milieu.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Présentation de la Zone d'étude

La zone d'étude se situe au Nord du Sénégal à l'embouchure du fleuve Sénégal. Elle est comprise entre les latitudes $16^{\circ}23'$ et $16^{\circ}35'N$ et les longitudes $15^{\circ}45'$ et $16^{\circ}15'O$. Nous retrouvons dans cette partie la flèche sableuse de la Langue de Barbarie et le chenal fluvial. Cette flèche sableuse, allongée vers le Nord sépare l'Océan atlantique à l'Ouest et le fleuve Sénégal à l'Est (Fig.1).

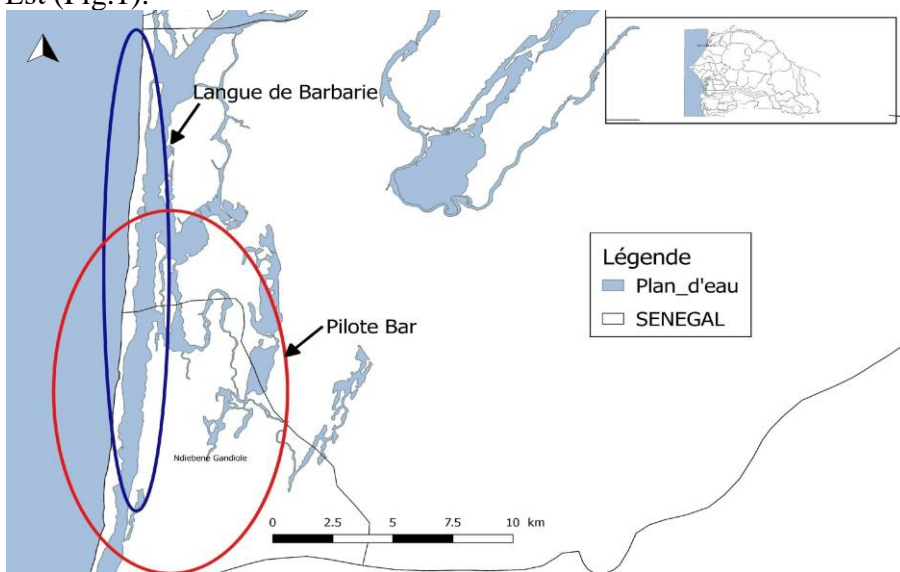


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

2.2. Stratégie de l'étude

La stratégie repose sur un suivi morphodynamique, sédimentologique et courantologique du segment littoral de Pilot Bar. Plusieurs missions de terrain ont été organisées annuellement de décembre 2016 à nos jours. Un DGPS (Differential Global Positioning System) a permis de suivre l'évolution morphologique des différentes unités de la plage.

L'étude hydrodynamique est réalisée par analyse des données marégraphiques. Un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) parcourt un profil long shore et un profil cross shore toutes les 30 minutes au cours d'un cycle de marée. Les données sur la hauteur de la marée sont directement enregistrées et le post-traitement est fait par le logiciel Win river 2.

2.3. Caractéristiques de l'Ouvrage

L'option protection par engraissement de la plage est la solution choisie par les autorités pour compenser l'érosion de la plage consécutive à l'ouverture et à l'évolution régressive de la brèche (Fig. 2). Pour être efficace, l'ouvrage a été dimensionné pour respecter les caractéristiques géométriques et granulométriques suivantes :

- Largeur à la crête de l'engraisement: 20 mètres
- Longueur de la côte à protéger : sept cent mètres linéaires (700 ml)
- Hauteur moyenne du sable à mettre en place : 2 m
- Pente de talus : 1v :5 h ($11^{\circ}5$)
- Matériaux à utiliser : sable de dune

Les matériaux apportés doivent être identiques à ceux sur place.

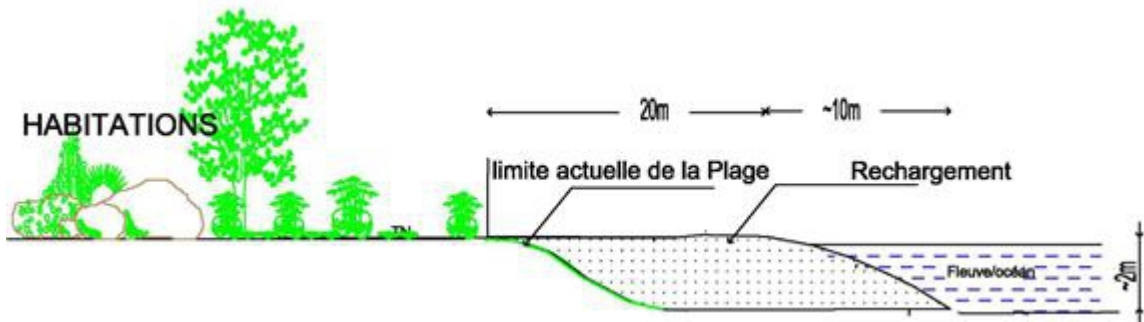


Figure 2. Schéma de l'engraisement de la plage de Pilote Bar (source : DEEC, 2015)

Pour la réalisation de l'ouvrage, le sable doit correspondre aux caractéristiques granulométriques de la plage de Pilote bar c'est-à-dire 75 % de sable fins (DEEC, 2015). La quantité de matériaux nécessaire est estimée à 46 600 m³ environ, il s'agit de volume mesuré après compactage (Photo 1).



Photo 1. Travaux de rechargement de la plage de Gandiol en 2015 (source : DEEC, 2015)

2.4. Méthode d'acquisition des données topographiques

La méthodologie s'appuie sur une comparaison de données de topographie acquises sur le terrain avec un DGPS (Photo 2). Ces données vont permettre d'étudier la géomorphologie mais aussi de calculer le bilan sédimentaire.



Photo 2. Mesure topographique au DGPS

Le principe de fonctionnement du *DGPS* repose sur l'emploi d'une "base" (ou Pivot) *GPS* positionné sur un point (borne géodésique à RAO dans le cadre de cette étude) connu très précisément, on calcule en temps réel les écarts entre le point connu et la position calculée par les observations satellites puis on transmet ces valeurs de correction vers un "mobile *GPS*" (ou Rover"). En moyenne plus de 700 points sont levés par mission. Ils couvrent la plage de pilote Bar et la flèche en formation. Les données sont ensuite calculées et corrigées pour avoir des résultats avec des précisions millimétriques. Les modèles numériques obtenus ont été réalisés avec le logiciel *Global Mapper*. Les mesures de profil de plage effectuées à l'aide d'une station totale, ont permis de suivre l'évolution de la plage, d'identifier les zones en érosion et celles en accrétion (Photo 3).



Photo 3. Mesure topographique avec la station totale

La comparaison de deux profils (Fig. 3) sur un même transect permet d'estimer le bilan sédimentaire. Un bilan négatif est donc un signe d'érosion.



Figure 3. Localisation des profils topographiques

L'appareil est placé sur une borne repère fixe et orienté perpendiculairement à la ligne de rivage à partir d'un repère arrière fixe. Les points sont pris à chaque changement de pente par le porteur de la canne tout au long du profil jusqu'à la plage sous-marine.

2.5. Mesures des hauteurs d'eau et des vitesses de courants de marée

L'étude hydrodynamique est faite à l'aide des données d'un « Acoustic Doppler current profiler » (*ADCP*). Cet outil permet de mesurer la vitesse du courant le long d'un profil donné. Pour cette étude deux profils ont été effectués : un profil parallèle au rivage passant devant la passe et un profil perpendiculaire au rivage qui a permis d'étudier les courants à l'intérieur de la lagune (Fig.4).



Figure 4. Localisation des transects de mesure des vitesses de courant

Un Profileur acoustique mobile *ADCP* doppler a servi à la réalisation de l'étude hydrographique (Photo 4). Ce dispositif multi faisceaux donne la vitesse et la direction des courants qui traversent le profil. Les profils de vitesses de courant sont acquis toutes les 30 mn, de 9h00 à 19h00. Le trajet défini pour les mesures de courant est situé devant la passe de la lagune (Fig.4). La courantométrie a été réalisée en juillet 2017 et en décembre 2019. La première opération a été réalisée en période de Morte-eau avec un coefficient de marée de 59. En décembre, par contre, le coefficient de marée a été de 104 (très haut). Les données sont ensuite post traitées par le logiciel Win river 2.



Photo 4. Dispositif de Mesure de vitesse Courant avec ADCP

Le dispositif comprend un ordinateur portable relié à l'ADCP, une batterie de recharge et un flotteur qui maintient l'ADCP en surface. Tout ce dispositif est embarqué dans une pirogue qui effectue les rotations entre les point A et B du profil. Deux trajets ont été définis : cross-shore (environ 400 m) et long -shore (environ 600 m) au niveau de la lagune.

2.6. Prélèvements sédimentaires

Pour l'étude sédimentologique, les prélèvements sont faits sur les unités morphologiques traversées par les profils topographiques (Fig.5). Les échantillons sont ensuite traités au laboratoire de sédimentologie. La granulométrie des échantillons est déterminée par tamisage.

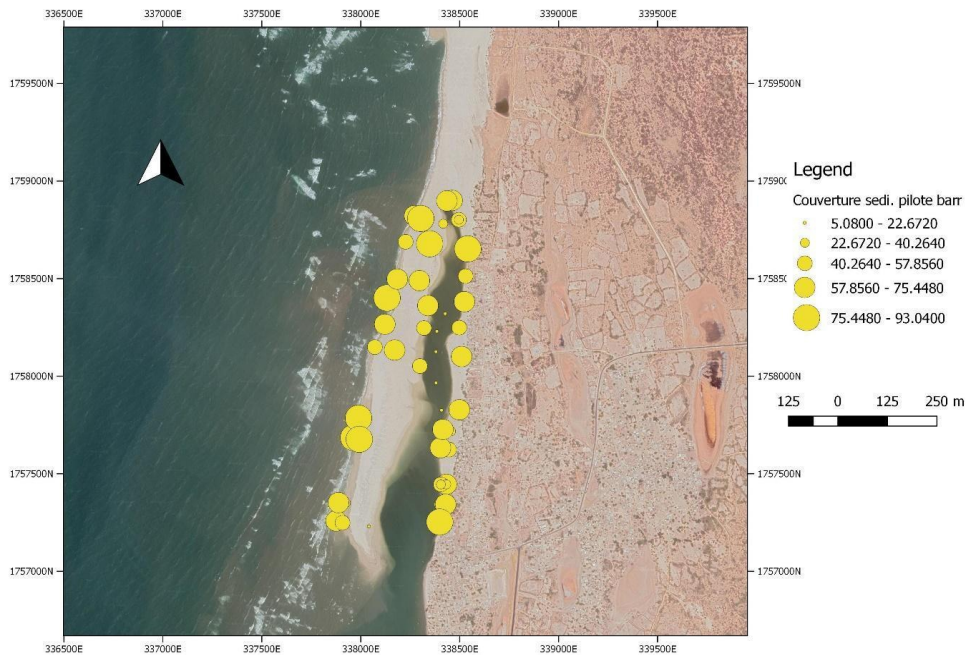


Figure 5. Cartographie des points d'échantillonnage de sédiment

L'analyse des données s'est faite à partir des « indices granulométriques » calculés selon la méthode de Folk et Ward (1957). Ces indices indiquent le mode de dépôt qui, à son tour, permet de caractériser l'environnement de dépôt des sédiments. Le plus utilisé parmi eux est l'indice d'asymétrie (Sk-Skewness) (Equation 1).

Equation 1:

$$SK = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{16} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_{95} + \varphi_{5} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} + \varphi_{50})}$$

La Moyenne et la Médiane reflètent la distribution granulométrique des sédiments. Elles sont de bons indicateurs de l'énergie du milieu pendant le dépôt des sédiments. La Médiane correspond à 50 % des grains sur la courbe cumulative. La Moyenne (Grain moyen) est calculée à partir de l'équation 2.

Equation 2:

$$M = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$$

Les paramètres de position sont convertis en unité phi avant le calcul des indices selon l'équation 3.

Equation 3:

$$phi\phi = \ln d / \ln 2$$

d = diamètre grain en mm

3. Résultats

Dans le cadre du suivi de l'ouvrage, l'étude a démarré en décembre 2016. Les données topographiques recueillies confirment les signes d'érosion déjà notés dans le cadre du suivi régulier initié par l'équipe de Géologie marine de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar depuis plus d'une décennie à partir de l'Observatoire Dynamique des Côtes de Gandiole. Le secteur Nord de la plage de Pilote Bar montrait des signes d'érosion et un début de formation de banc de sable .

3.1. Evolution du profil de plage entre 2015 et 2017

Le suivi morphologique avec une station totale Leica avait mis en exergue un début de sédimentation au Nord du phare correspondant à la partie proximale (Fig. 6) de la flèche en formation.

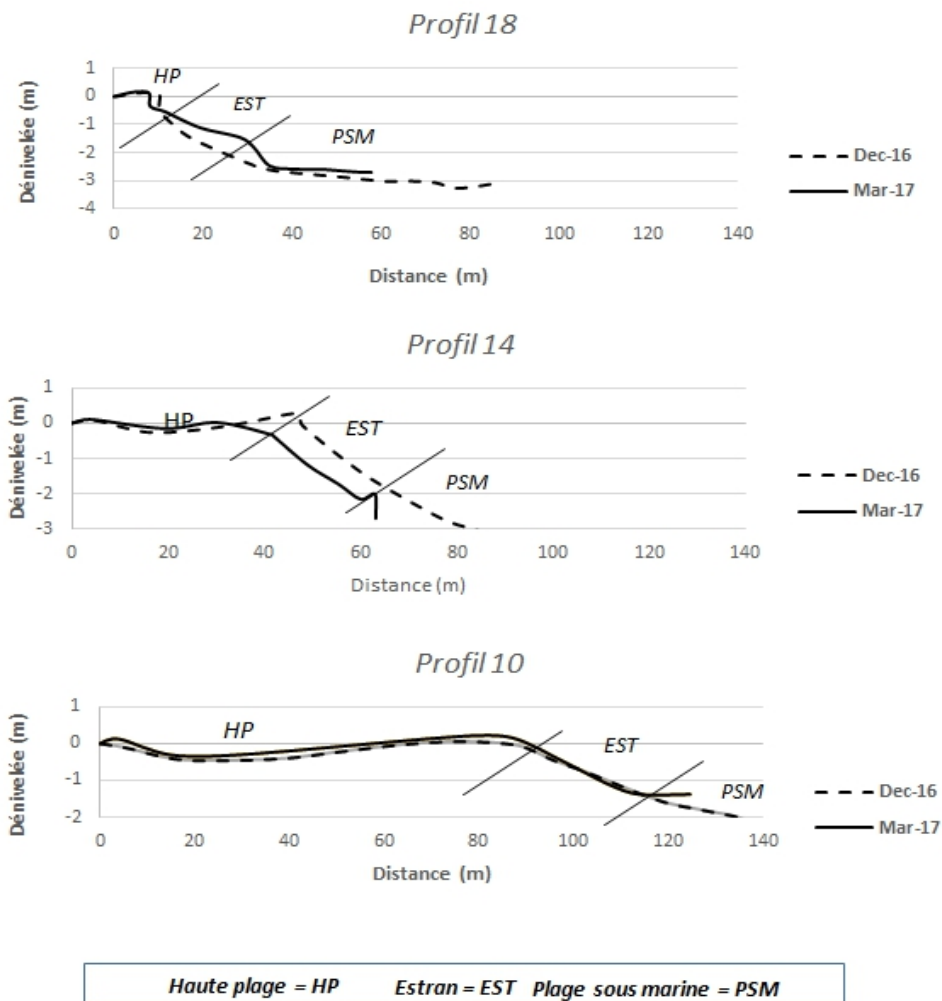


Figure 6. Evolution des profils de plage Gandiol entre 2016 et 2017

Le profil 14 situé au centre de la plage montre une plage concavo-convexe, haute plage et estran bien distincts. Les pentes sont faibles vers la haute plage (0,77 et 1,68 %) et fortes sur l'estran (11,64 et 10,34 %). On peut noter une accrétion sur la haute plage et une forte érosion sur l'estran et la plage sous-marine. L'érosion reste dominante le long du profil.

Le profil 10 mesuré entre décembre 2016 et mars 2017 présente une forme concavo-convexe, haute plage et estran bien distincts. Les pentes sont faibles sur la haute plage environ (0,25 à 3 %) ; modérées et fortes sur l'estran (4,60 et 6,47 %). La plage présente une accrétion au niveau de la haute plage et l'estran, suivi d'un léger équilibre et puis une faible érosion vers la plage sous-marine.

3.2. Evolution morphosédimentaire saisonnière

Le modèle numérique de terrain indique un allongement de la petite flèche entre février et décembre 2019 (Fig. 7). La fusion des bancs de sable semble donner naissance à une flèche, isolant une lagune sur la rive gauche du chenal. Les sédiments du rechargement après quelques mois se retirent vers le large pour former des bancs de sable.

Le modèle met en exergue plusieurs bancs de sable séparés par de petites passes (Fig. 7). Ces bancs estuariens se forment au niveau des zones où le transport sédimentaire résiduel est convergent entre les chenaux respectivement dominés par le flot et le jusant (Bertin & Chaumillon, 2005). Situés à des altitudes faibles (- 2 m), ils sont caractérisés par des dépôts récents de sédiments fins ce qui donne un caractère fragile et temporaire à ces dépôts.

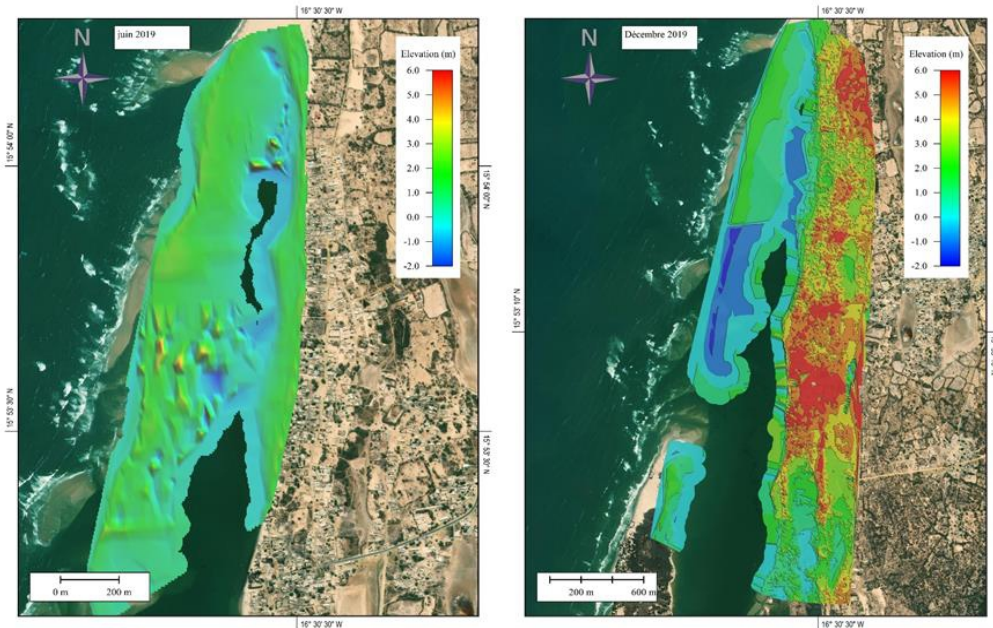


Figure 7. Modèle numérique de terrain de la plage de Pilote Bar. (A) Aout 2019, (B) Décembre 2019

3.3. Evolution des courbes granulométriques

Les échantillons de sable prélevés à Pilote Bar sont essentiellement composés de sables moyens à grossiers à l'exception des échantillons de la Lagune qui sont fins (Fig. 8).

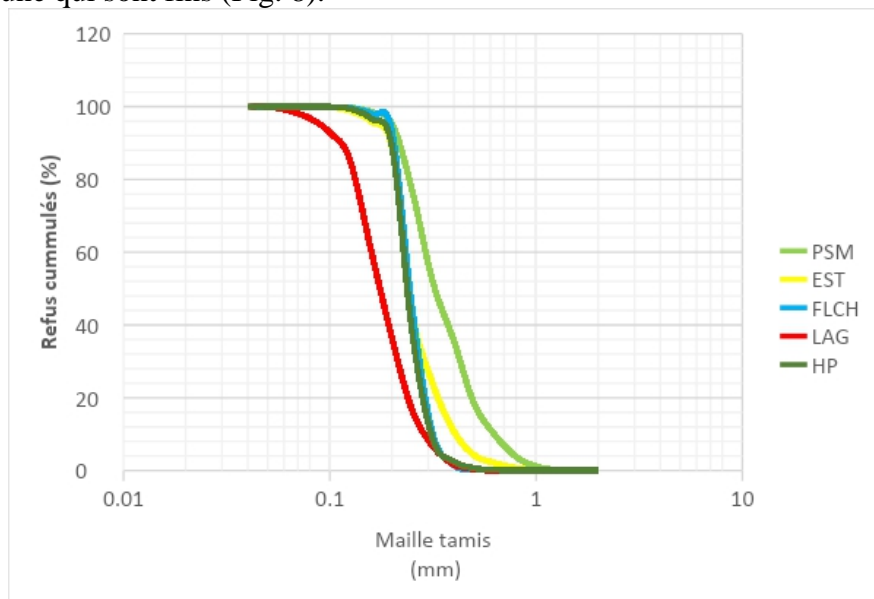


Figure 8. Courbes granulométriques des sédiments de la Lagune de Gandiole (PSM : Plage sous-marine, EST : Estran, FLCH : Flèche, LAG : Lagune, HP : Haute plage)

L'étude granulométrique réalisée au préalable à Gandiole, montrait la présence d'éléments grossiers dans la partie sous-marine du profil de plage (0,219 à 0,378 mm) et d'éléments fins dans la partie haute de la plage. Ce changement est dû au rallongement de la flèche qui réduit l'action de la dynamique marine dans la lagune favorisant le dépôt d'éléments fins.

Les données sédimentologiques récentes montrent un sable fin environ 2 phi dans la lagune et du sable moyen à grossier 1,5 phi de part et d'autre de celle-ci. Les sédiments sont bien classés et présentent une asymétrie négative synonyme d'un dépôt fait par un courant fort (tableau 1).

Le tableau 1 renferment les valeurs en unité phi des indices granulométriques.

Tableau 1. Indices granulométriques

Les unités morphologiques	Grain Moyen (Mz)	La Médiane	Indice de Classement ou de triage	Indice d'asymétrie ou Skewness	Indice d'Acuité ou Kurtosis	Interprétation
Plage sous-marine	1,54	1,59	0,621	-0,189	1,000	Sable moyen, Moyennement à bien classé, courant de dépôt fort
Lagune	2,47	2,50	0,472	-0,197	0,814	Sable fin, bien classé, courant de dépôt fort
Estran	1,93	2,07	0,459	-0,409	1,152	Sable moyen, bien classé
Haute plage	2,04	2,10	0,311	-0,244	1,219	Sable fin, Très bien classé, courant de dépôt fort
Flèche	2,01	2,05	0,262	-0,237	1,013	Sable fin, Très bien classé, courant de dépôt fort

3.5. Caractéristiques des conditions hydrodynamiques à l'embouchure de la Lagune de Pilote Bar

L'étude a été menée sur le bief maritime de Pilote Bar après le rechargement de sa plage.

3.5.1. Le profil long-shore de Pilote Bar

La courantométrie a été réalisée le 24 Décembre 2019. Cette date correspond à une période de vives eaux avec un coefficient de marée de 86. Les profils de marée semi-diurne de la journée du 24 décembre sont présentés sur les figures 9 et 10. La figure 9 indique des vitesses de courant faibles pendant la période de jusant avec une vitesse moyenne de 0,183 m/s.

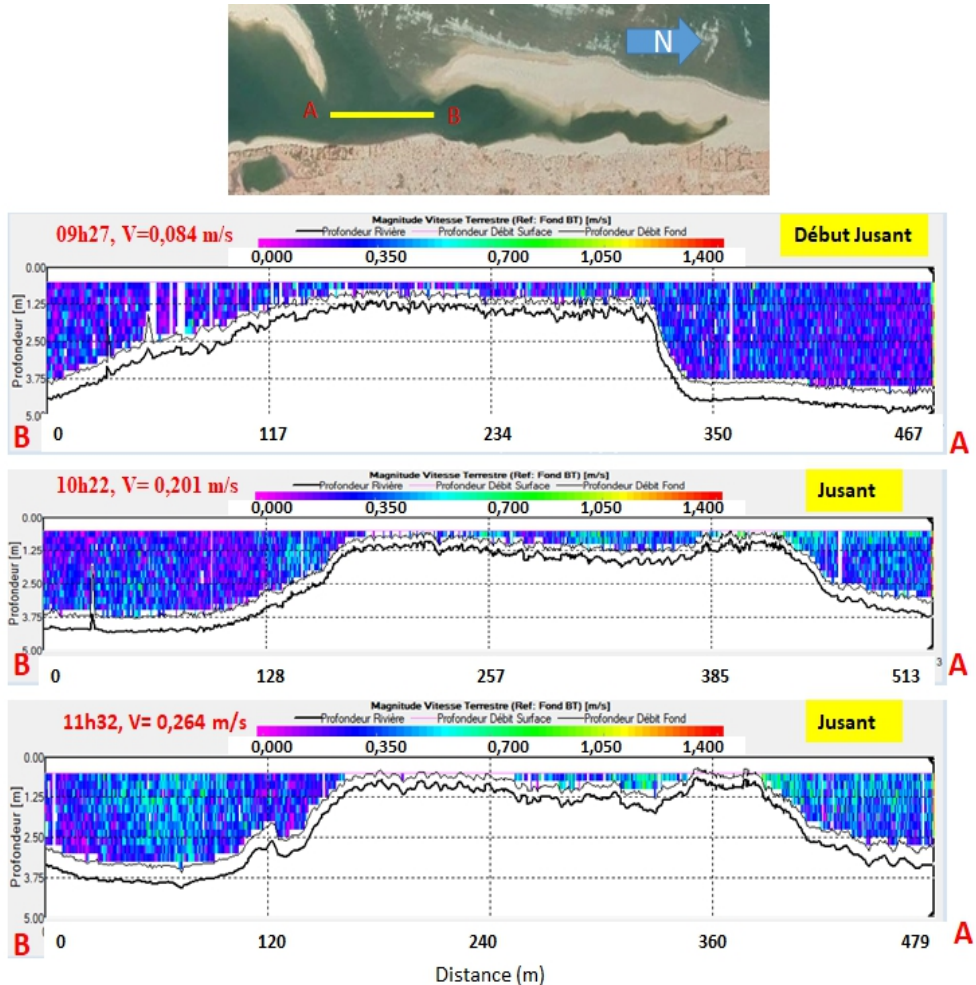


Figure 9. Profils de vitesse de courant (profil long-shore) durant une période de Jusant

La figure 10 indique des vitesses moyennes de courant plus élevées (0,462 m/s en moyenne). Ces courants de flot sont plus forts au sud du haut fond.

Les profils montrent la présence d'un banc de sable aux environs de 200 m en face de la passe. Les courants sont plus forts au sud de ce haut fond en couleur verte et jaune (Fig. 10). Les ensembles vides obtenus après post traitement indiquent la forte agitation du milieu pendant les mesures de vitesses.

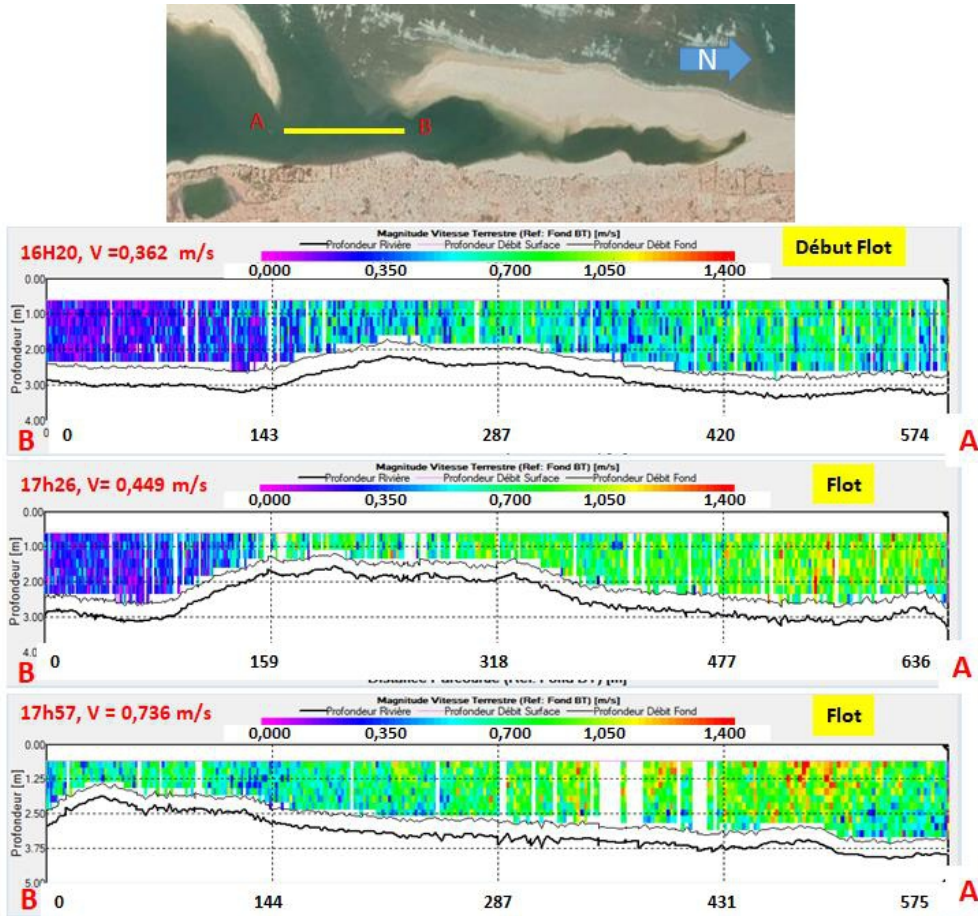


Figure 10. Profils de vitesse de courant (profil long-shore) durant une période de courant de flot

Les résultats montrent globalement une marée diurne avec deux types de courant :

- des courants de jusant faibles de 0,183 m/s, déplaçant un débit total d'eau de 71,64 m³/s.
- des courants de flot forts de 0,462 m/s déplaçant un débit total d'eau de 86,50 m³/s.

3.5.2. Le profil cross-shore de la lagune

La courantométrie a été réalisée le 11 Février 2020. Cette date correspond à une période de vives eaux avec un coefficient de marée de 101. Le profil se trouve à environ 1 km au sud de la brèche et relie les deux rives du chenal fluvial.

Les vitesses moyennes de courant sur le profil cross-shore sont faibles (0,311 m/s en moyenne). La marée diurne du 11 février est représentée sur les

figures 11 et 12 avec, notamment des vitesses moyennes de courant de flot fort (Fig. 11) et celles de jusant faible (Fig. 12).

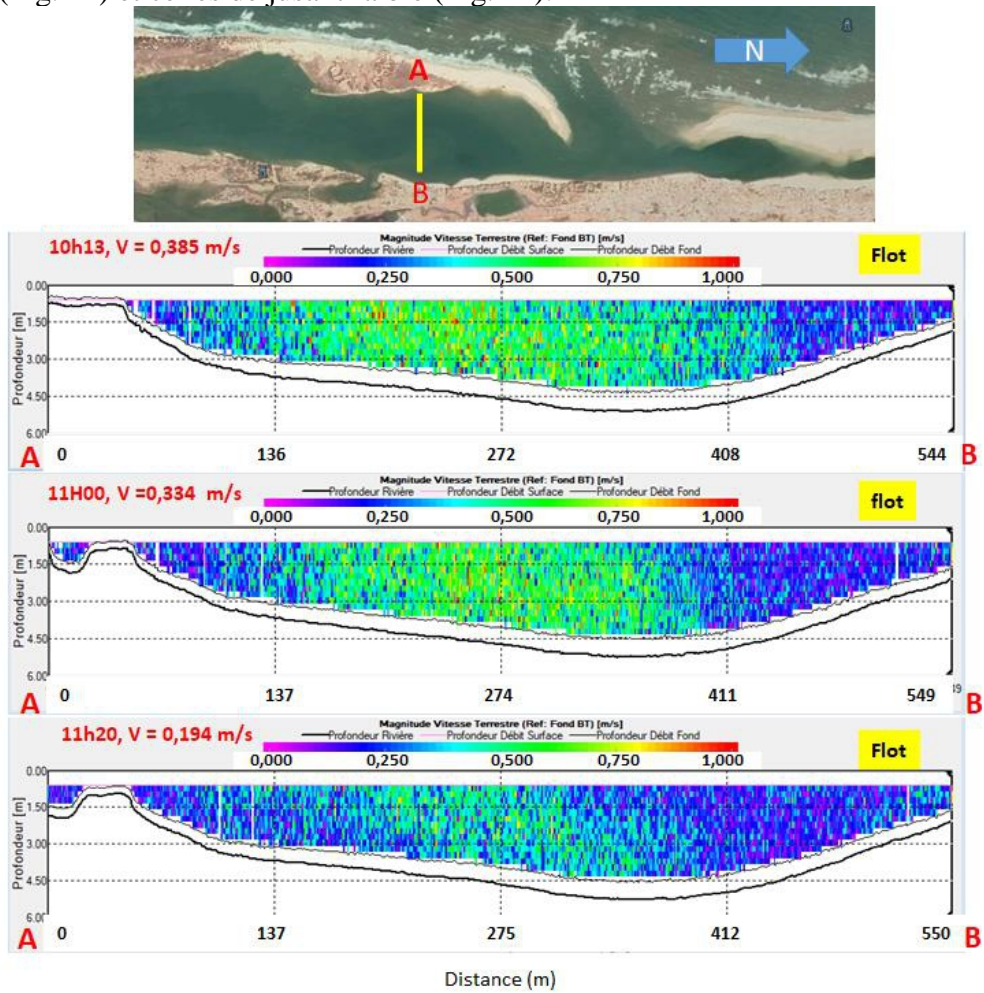


Figure 11. Profils de vitesse de courant (profil cross-shore) durant une période de courant de flot

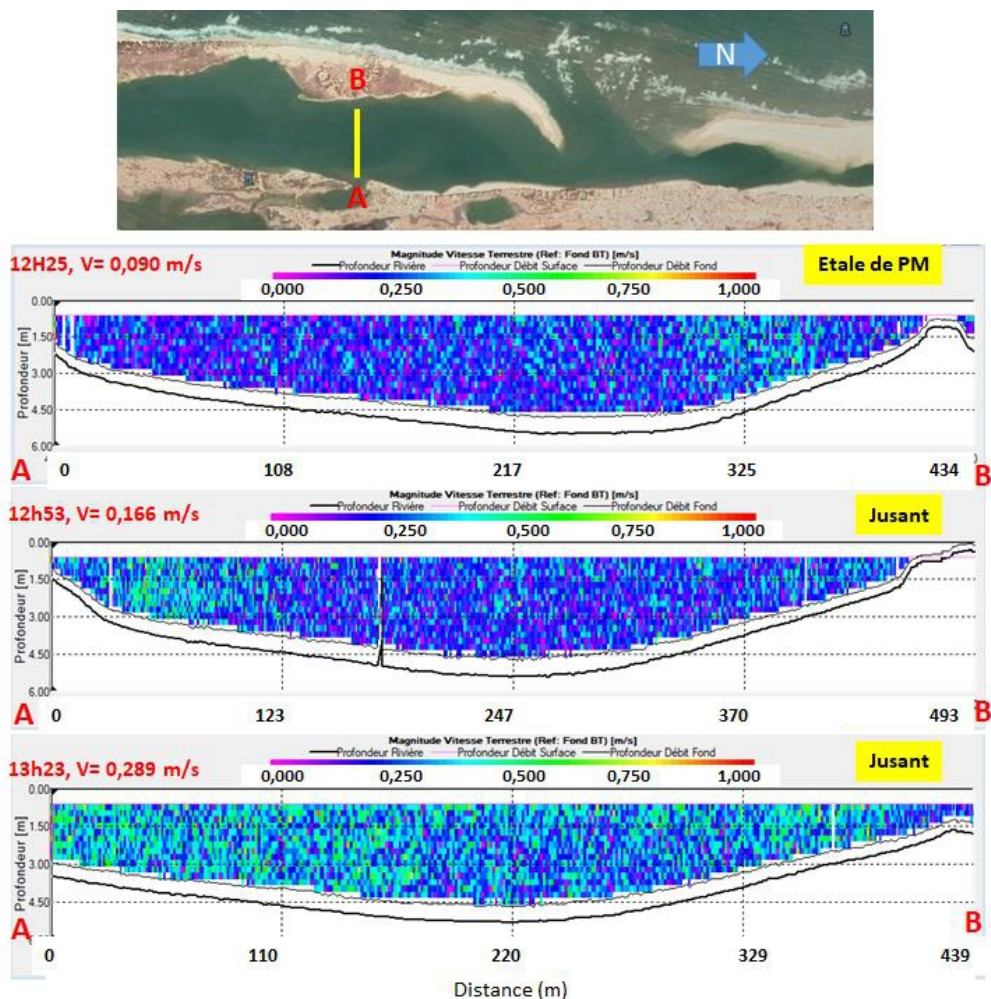


Figure 12. Profils de vitesse de courant (profil cross-shore) durant une période de courant de jusant

En résumé, le profil cross-shore indique deux principaux courants dans la journée du 11 février :

- des courants de flot forts de 0,311 m/s, déplaçant un débit total de 497,50 m³/s d'eau.
- des courants de jusant faibles de 0,167 m/s, déplaçant un débit total de 233,58 m³/s d'eau.

4. Discussion

Du risque d'inondation fluviale au risque de submersion marine : la brèche de Saint Louis

En Octobre 2003, la crue exceptionnelle sur le fleuve et l'ouverture complète des vannes du barrage de Diama, ont entraîné une inondation sur la

zone basse de Saint Louis. Cette montée rapide et soudaine du plan d'eau du fleuve (1,94 m dans la nuit du 3 au 4 octobre dépassant son seuil d'alerte de 1,74 m) constituait une menace pour la ville de Saint Louis.

En définitive, l'ouverture de la brèche à 7 km au sud de Saint-Louis, a permis de maintenir le niveau en dessous de 100 cm et enrayer les risques d'inondation liés au débordement du chenal fluvial (Durand et al., 2010; B. A Sy, s. d.).

Les risques liés à l'inondation ont été favorisés par un retour de la pluviométrie entre 2002 – 2011. A cela s'ajoutent les problèmes d'occupation du sol à Saint Louis, particulièrement au niveau de la Langue de Barbarie. En conclusion, cet aménagement a permis de maintenir le niveau du fleuve en dessous de la côte d'alerte.

L'élargissement du canal constitue un risque de submersion marine. Sa longueur évolue à une vitesse d'environ 500 m/an (Bâ et al., 2007). La brèche qui devait permettre de réduire les surfaces inondées aux alentours de Saint Louis, a engendré de nouveaux risques côtiers dans la région. L'action des vagues a fini par submerger et entraîner le village de Doun Baba Dieye sous les eaux.

Efficacité du chargement de la plage

La technique de rechargement des plages a pour objectif de corriger le déficit sédimentaire d'une plage (Dean, 2002; Finkl, 2016). Le rechargement de la plage de Pilote Bar a présenté des résultats satisfaisants dans l'ensemble. Il a permis d'alimenter les plages voisines et de rehausser leur pente.

Au début on a noté une légère érosion de la plage et progressivement l'équilibre s'est rétabli. Les sédiments fins sont déplacés pas les courants vers le fond de la lagune. La sédimentologie est dominée par des grains grossiers (0,78 mm à 0,219 mm). Les échantillons sont généralement homogènes et bien classés et la distribution est presque symétrique. Les sédiments ajoutés sur la haute plage sont redistribués en raison des conditions hydrodynamiques (Dean, 2002; Finkl, 2016). Tous les travaux similaires réalisés au XX^e siècle ont montré un transfert de sédiments du haut de plage vers le bas de plage (Fichaut & Suanez, 2008). A Sainte Flavie, le rechargement a entraîné l'augmentation initiale de la largeur de plage et du volume sédimentaire en 2012 (Bachand & Comtois, 2016).

A Pilote Bar, le rechargement initié sur 700 m est resté stable et a, en même temps, permis à la plage au Nord du phare de s'engraisser à nouveau. La petite flèche joue le rôle de brise lame et maintient l'équilibre de la plage. Le suivi morpho dynamique depuis 2016, montre au début une légère érosion au Nord de la zone rechargée mais qui est vite stabilisée par l'évolution de la flèche.

Du point de vue hydrodynamique, durant les périodes de vives eaux (coefficient 86 et 100) les vitesses de courants de marée dans la section du chenal sont inférieures à 2 m/s. Les vitesses des courants de flot semblent plus fortes que celles de jusant.

Les profils longshore présentent le même schéma d'évolution des vitesses de marée avec des valeurs moyennes plus faibles (0,462 m/s en période de flot ; 0,183 en période de jusant). Les profils mettent en évidence la présence d'un banc de sable de 200 m et qui semble favoriser la propagation des courants dans la partie sud du chenal. Les courants de faibles vitesses sont localisés au Nord du profil dans la partie lagunaire. Les profils cross-shore indiquent globalement des valeurs moins élevées que celles du profil longshore. Sur ce transect, les courants de flot restent plus élevés (0,311 m/s) que ceux de jusant (0,167 m/s). Les vitesses de courant mesurées en 2017 en période de mortes eaux (coefficient 50) présentaient déjà le même schéma d'évolution.

Globalement, on retrouve le schéma d'évolution de vitesse de courant d'un système côtier: des courants de flot forts et des courants de jusant faibles. Cependant, la présence de haut fond dans le chenal semble modifier la répartition des vitesses des courants favorisant le développement du système lagunaire avec des accrétions de sédiments fins dans les zones de faibles vitesses de courant. La technique de rechargement en sable tient compte de la réponse des plages aux conditions hydrodynamiques (Bernatchez et al., s. d.). La flèche bordant la lagune évolue vers le sud accompagnée d'une réduction de la profondeur de lagune. Ce contexte semble favoriser la stabilisation de la plage reconstituée de Pilote bar.

Conclusion

L'analyse des données recueillies entre 2016 et 2020 a permis de comprendre l'évolution morphologique de la plage rechargée de Gandiole. L'équilibre du profil de plage est contrôlé par les agents dynamiques qui déplacent les sédiments du haut de la plage vers le large. Cette tendance qui devrait déplacer le littoral vers le continent est ralentie par la mise en place de banc de sable. Leur accumulation a donné naissance à une flèche qui, progressivement a fini par isoler une lagune. Cette évolution qui se poursuit toujours continue de nous intéresser et sera l'objet de nos prochains travaux de recherche en utilisant les techniques modernes d'acquisition de données comme l'Aquadap et le drone.

References:

1. Bâ, K., Wade, S., Niang, I., & Trébossen, H. (2007). *Cartographie radar en zone côtière à l'aide d'images multidates rso d'ers-2 : application au suivi environnemental de la langue de barbarie et de l'estuaire du fleuve sénégal*. 13.
2. Bachand, É., & Comtois, S. (2016). *Recharge en sable et revégétalisation de 2 plages de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec*. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 105-112. <https://doi.org/10.7202/1036508ar>
3. Bernatchez, P., & Dubois, J.-M. M. (2006). *Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien*. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1), 45-71. <https://doi.org/10.7202/013110ar>
4. Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D., & Dugas, S. (s. d.). *Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards*. *Ocean & Coastal Management*, 54(8), 621-632. Consulté 14 janvier 2021, à l'adresse https://www.academia.edu/25816536/Integrating_anthropogenic_factors_geomorphological_indicators_and_local_knowledge_in_the_analysis_of_coastal_flooding_and_erosion_hazards
5. Bertin, X., & Chaumillon, É. (2005). *Apports de la modélisation sur bathymétries historiques dans la compréhension des évolutions des bancs de sable estuariens*. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(15), 1375-1383. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.06.007>
6. Bindoff, N. L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J. M., Gulev, S., Quéré, C. L., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C. K., Talley, L. D., Unnikrishnan, A. S., Antonov, J., Curry, R., Emerson, S., Feely, R., Garcia, H., González-Davila, M., Gruber, N., ... Wratt, D. (2007). *Observations : Oceanic Climate Change and Sea Level*. 49.
7. Chaumillon, E., Wöppelmann, G., Karpytchev, M., & Bertin, X. (2011). *Mesures et modélisations des évolutions du niveau marin, des vagues, des tempêtes et des évolutions des littoraux pour une gestion durable des littoraux*. *VertigO*, Hors-série 9. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10947>
8. Dean, R. G. (2002). *Beach Nourishment : Theory and Practice*. World Scientific.
9. DEEC. (2015). *Specifications techniques et conditions de bonne exécution -Termes de Reference (T.D.R), Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, 2015, 18p*.
10. Durand, P., Anselme, B., & Thomas, Y.-F. (2010). *L'impact de l'ouverture de la brèche dans la langue de Barbarie à Saint-Louis du*

- Sénégal en 2003 : Un changement de nature de l'aléa inondation ?*
Cybergeo : European Journal of Geography.
<https://doi.org/10.4000/cybergeo.23017>
11. Faye, I. (2010). *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes.* 322.
 12. Fichaut, B., & Suanez, S. (2008). *Le rechargement de la plage de Sainte-Anne-du-Portzic (Brest-Finistère) : Quand la recherche fondamentale se met au service d'une gestion cohérente du littoral.* *Norois*, 208, 29-44. <https://doi.org/10.4000/norois.2175>
 13. Finkl, C. W. (2016). *Beach Renourishment by Eric Bird and Nick Lewis.* *Journal of Coastal Research*, 32(4), 998-998. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16A-00004.1>
 14. Gac, J.-Y., Kane, A., & Monteillet, J. (1982). *Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal depuis 1850.* 4.
 15. Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H. H., Lechuga, A., Spanhoff, R., & Stive, M. J. F. (2002). A summary of European experience with shore nourishment. *Coastal Engineering*, 47(2), 237-264. [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(02\)00127-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(02)00127-8)
 16. Harley, M. D., Andriolo, U., Armaroli, C., & Ciavola, P. (2014). *Shoreline rotation and response to nourishment of a gravel embayed beach using a low-cost video monitoring technique : San Michele-Sassi Neri, Central Italy.* *Journal of Coastal Conservation*, 18(5), 551-565. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0292-x>
 17. Jeanson, M., Dolique, F., & Anthony, E. J. (2011). *Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical : L'exemple de Mayotte.* *VertigoO, Volume 10 Numéro 3.* <https://doi.org/10.4000/vertigo.10512>
 18. Mason, M. A. (1949). *Erosion et protection des cotes.* *La Houille Blanche*, 1, 14-37. <https://doi.org/10.1051/lhb/1949015>
 19. Newman, D. E. (1976). *Beach replenishment : Sea defenses and a review of the artificial beach replenishment (Vol. 6).*
 20. Nicholls, R. J. (1998). *Assessing erosion of sandy beaches due to sea-level rise.* *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 15(1), 71-76. <https://doi.org/10.1144/GSL.ENG.1998.015.01.08>
 21. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (Éd.). (2015). *Le littoral dans le contexte du changement climatique : Rapport au Premier ministre et au Parlement.* La Documentation française.
 22. Paskoff, R. (2007). *La crise des plages : pénurie de sédiments.* 5.

23. Rogers, S. M. (2000). *Beach nourishment for hurricane protection: NORTH CAROLINA PROJECT PERFORMANCE IN HURRICANES DENNIS AND FLOYD*. 6.
24. Solomon, S., & IPCC (Éds.). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis ; contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st published). UNEP.
25. Sy, B. A. (s. d.). *L'ouverture de la brèche de la Langue de Barbarie et ses conséquences, Approche géomorphologique | Recherches Africaines*. Consulté 24 août 2020, à l'adresse <https://revues.ml/index.php/recherches/article/view/802>
26. Sy, Boubou Aldiouma, Bilbao, I. A., Sy, A. A., Perez, I. S., & Valido, S. R. (2013). *Résultats du suivi 2010-2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie au Sénégal et de ses conséquences. Physio-Géo, Volume 7, 223-242*. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3569>
27. Trinh, P. T., Tan, M. T., & Ozer, A. (2007). *Évolution de la zone côtière de Hai Phong au Nord du Vietnam*. 8.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Déterminisme génétique de la tolérance de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (*Cucurbitaceae*) aux insectes ravageurs et recherche de marqueurs microsatellites SSR associés aux gènes

Anzara Guy Roland

UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guède, Daloa, Côte d'Ivoire

Angui Chia Michelle Valérie

Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la nature,
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Doubi Bi Tra Serges

Centre National de Recherche Agronomique,
Station de recherche Marc Delorme, Côte d'Ivoire

Akaffou Doffou Selastique

UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guède, Daloa, Côte d'Ivoire

Zoro Bi Irié Arsène

Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la nature,
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p233](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p233)

Submitted: 30 January 2021

Accepted: 08 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Roland A.G., Michelle Valérie A.C., Serge D.B.T., Selastique A.D. & Arsène Z.B.I. (2021). *Déterminisme génétique de la tolérance de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (*Cucurbitaceae*) aux insectes ravageurs et recherche de marqueurs microsatellites SSR associés aux gènes*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 233.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p233>

Résumé

La gourde oléagineuse, *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley, se caractérise par un haut potentiel nutritionnel et une forte valeur marchande dont l'intensification de la production pourrait profiter aux agriculteurs, en particulier, les femmes rurales qui en sont les principales productrices. Malgré l'importance socio-économique de la gourde oléagineuse, la production est caractérisée par de faibles rendements, dus essentiellement aux dégâts occasionnés par les insectes ravageurs. La présente étude vise à connaître le

déterminisme génétique de la tolérance de *Lagenaria siceraria* aux insectes ravageurs et à identifier les marqueurs moléculaires proches des QTLs contrôlant cette tolérance. Cette identification serait une étape importante pour accélérer le processus de la tolérance de *L. siceraria* aux insectes ravageurs. Des marqueurs moléculaires de type SSR ont été évalués sur 100 individus de la population F2 (issue de l'autofécondation de la F1 provenant du croisement entre les accessions parentales NI431 et NI227). Un seul QTL dénommé qTDco a été identifié et le marqueur C1.2.23 a été associé à ce QTL. Ce marqueur, utilisé, dans un programme de sélection assistée par marqueur, serait un atout considérable dans le processus de la recherche de la tolérance de *L. siceraria* aux insectes ravageurs.

Mots-clés: *Lagenaria siceraria*, insectes ravageurs, population en ségrégation F2, marqueurs SSR, QTL de la tolérance

Identification for SSR microsatellite markers associated with genes conferring tolerance of *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (*Cucurbitaceae*) to insect pests

Anzara Guy Roland

UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guède, Daloa, Côte d'Ivoire

Angui Chia Michelle Valérie

Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la nature,

Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Doubi Bi Tra Serges

Centre National de Recherche Agronomique,
Station de recherche Marc Delorme, Côte d'Ivoire

Akaffou Doffou Selastique

UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guède, Daloa, Côte d'Ivoire

Zoro Bi Irié Arsène

Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la nature,

Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Abstract

Lagenaria siceraria (Molina) Standley is characterized by high nutritional potential and high market value. The intensification of *L. siceraria* could benefit farmers, especially rural women who are the main farmers. Despite the socio-economic importance of this oil gourd, its production is characterized by low yields, mainly due to damage caused by insect pests. The present study aims to identify molecular markers SSR associated to QTLs

controlling the tolerance of insect damage. Thoses molecular markers would be an important step in accelerating the process of tolerance of *L. siceraria* to insect pests. Molecular markers microsatellites SSR were evaluated on 100 individuals of the F2 population (resulting from the self-fertilization of F1 from the crossing between parental accessions NI431 and NI227). A single QTL called qTDco was identified and the marker C1.2.23 was associated with this QTL. This marker used in a marker-assisted selection program would be a considerable asset in the process of researching the tolerance of *L. siceraria* to insect pests.

Keywords: *Lagenaria siceraria*; insect pests, F2 segregated population; SSR markers, tolerance QTL

Introduction

L'économie de nombreux pays, en Afrique, repose, essentiellement, sur l'agriculture. La forte démographie, observée, au cours des dernières années et la forte pression parasitaire sur les cultures, ont contribué à une baisse de la production agricole. De nombreuses initiatives ont, donc, été entreprises pour améliorer le rendement. Une politique d'introduction de nouvelles variétés, à haut rendement, a, ainsi, été développée (Akpavi *et al.*, 2013). Celles-ci, bien adoptées par les paysans ont permis de faire reculer la faim et surtout d'améliorer leurs revenus. Cette initiative a toutefois entraîné le délaissement des variétés traditionnelles, source de diversité génétique (Baudoin, 2001 ; Rasul *et al.*, 2007). Cet abandon est plus accentué pour certaines plantes d'utilisation locale et négligées par les programmes de recherches et de développement. C'est le cas des cucurbitacées oléagineuses communément appelées "pistache" en Côte d'Ivoire (Ndabalishye, 1995) et "Egussi" au Nigeria et Bénin (Achigan *et al.*, 2006). Parmi elles, figure *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (Cucurbitaceae) qui est largement utilisée au cours des prestigieuses fêtes populaires et cérémonies traditionnelles (Zoro Bi *et al.*, 2006). Aussi, elle représente un atout considérable pour l'accroissement du revenu des paysans d'autant plus que la valeur marchande des graines avec un prix moyen de 2 à 3 €/kg (environ 1500 à 2000 F CFA) est parfois bien plus élevée que celle des cultures dites d'exportation (Zoro Bi *et al.*, 2003). De plus, elles sont très riches en lipides et en protéines (Loukou *et al.*, 2007).

Malgré son importance économique et nutritionnelle, le rendement de *L. siceraria* demeure très faible dans les zones de production (Zoro Bi *et al.*, 2003). Cette faible production de *L. siceraria* serait due à plusieurs bio-agresseurs, particulièrement les insectes (Vayssieres *et al.*, 2000 ; Pitan et Ekoja, 2011). Le prix très élevé des insecticides chimiques et l'impact négatif de leur utilisation sur l'environnement limite fortement leur utilisation par les producteurs ruraux. L'introduction des plantes résistantes dans le système de

production devient ainsi une solution appropriée (Najimi *et al.*, 2003). Toutefois, l'utilisation des variétés résistantes ou tolérantes aux insectes peut être de courtes durées car certains gènes de la résistance/tolérance pourraient être rapidement contournés par le développement de nouveaux biotypes. Il faut encore un temps relativement long pour rechercher de nouvelles sources de variétés résistantes (Rouxel *et al.*, 2003).

L'une des solutions pour résoudre le problème lié à l'adaptation de nouveaux agents pathogènes est l'identification des marqueurs moléculaires proches des QTLs impliqués dans la résistance/tolérance aux insectes ravageurs. Cette identification serait une étape importante pour accélérer le processus de la tolérance de *L. siceraria* aux insectes ravageurs. En effet, des plantes porteuses de gènes de la tolérance peuvent être sélectionnées même à un stade précoce en se basant uniquement sur la présence de certains marqueurs chez ces plantes.

C'est dans ce contexte que se situe la présente étude, qui vise à examiner le nombre de gènes et à identifier les marqueurs moléculaires, de type SSR (Single Sequence Repeat) proches des QTL (Quantitative Trait Loci) de tolérance de *L. siceraria* aux insectes ravageurs à partir de la population en ségrégation F2 issu du croisement entre une accession tolérante (NI431) et une accession sensible (NI227) aux dégâts foliaires des insectes.

Matériel et Méthode

Zone d'étude

Les expérimentations ont été conduites en 2010 dans le village de Manfla (6°49'34.38''N, 5°43'47.68''W), zone de forte production des cucurbités, situé à 400 Km, au nord d'Abidjan (Côte d'Ivoire). La zone est caractérisée par deux saisons pluvieuses séparées par une courte période sèche (Juillet-Août) et une longue saison sèche (Décembre-Février). La pluviométrie et la température moyenne annuelle sont, respectivement, de 1200 mm et de 27°C. La végétation est de type savane arborée. Les caractéristiques du sol, à 20 cm de profondeur, sont les suivantes: pH = 6,45, avec 57% de sable, 36 % de limon, 7% d'argile, 6% de matière organique, 3,5g/Kg de N total, 24,4g/Kg de P disponible et 0,45g/Kg de K (Kouassi et Zoro Bi, 2009).

Matériel végétal

Les différents génotypes utilisés dans cette étude ont été les populations parentales, NI431 et NI227 constituées de 25 individus chacune. Les accessions NI431 et NI227 ont été considérées, respectivement, comme, tolérantes et sensibles aux attaques des insectes ravageurs (Anzara *et al.*, 2015). Le croisement entre ces deux populations, à travers la pollinisation manuelle a été effectué dans les deux sens. Ceci a permis d'obtenir 50 individus F1 (Figure 1). Une autofécondation des individus de la F1 a donné

(dont deux fruits par individus) la population en ségrégation F2 composée de 100 individus.



Fruit NI431 (parent male)

Fruit F1

Fruit NI227 (parent femelle)



Graine NI431 (parent male)

Graine F1

Graine NI227 (parent femelle)

Figure 1. Populations parentales et en ségrégation utilisées

Dispositif expérimental

Cent cinquante (150) individus dont 100 pour la population F2 et 25 pour chaque population parentale ont été utilisés. Les graines des 150 individus ont été semées sur une parcelle de 1500 m² (75 m×20 m). La distance entre deux points de semis, sur la même ligne, était de 3 m et la distance entre les lignes a été également de 3 m. l'évaluation des dégâts foliaires a été effectuée selon Anzara *et al.* 2015 à partir de deux paramètres : le Pourcentage de Feuilles attaquées (PoFa) et la Sévérité des Dégâts (SeDe).

Le Pourcentage de feuilles attaquées a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$PoFa = \frac{nFa}{nFt} \times 100$$

nFa : nombre de feuilles détruites par les insectes ; nFt : nombre de feuilles totales d'une plante

La sévérité des dégâts a été évaluée sur la surface foliaire détruite de l'ensemble des feuilles attaquées par les insectes. Elle a été évaluée en attribuant une note à chaque plante. La note a varié de 0 à 5 en fonction de la proportion des dégâts (Bubici & Cirulli, 2008 ; Sobrinho *et al.*, 2010). Ainsi, 0 correspond-il à l'absence totale des dégâts observés sur les feuilles et la note 5 indiquant la mort de la plante. La note 1 a concerné les plantes dont les dégâts foliaires se situaient entre 1 à 25%. Les plantes dont 26 à 50% de la surface foliaire était détruite ont eu la note 2. Les notes 3 et 4 ont été attribuées, respectivement aux plantes dont 51 à 75% et 76 à 100% de surfaces foliaires étaient détruites.

Les feuilles de chaque individu ont été prélevées et séchées pour l'extraction de l'ADN.

Extraction d'ADN

Le matériel végétal qui a servi aux analyses moléculaires était composé d'une jeune feuille séchée prise sur chacun des 25 individus de chacune des deux populations parentales (NI431 et NI227) et sur chacun des 100 individus de la population en ségrégation F2.

L'ADN génomique des différents individus a été extrait à partir des fragments de 50 à 70 mg de jeunes feuilles sèches suivant la méthode modifiée de Murray et Thompson (1980). Le broyage des feuilles a été effectué dans l'azote liquide dans des tubes Eppendorfs. La poudre de feuille sèche obtenue a été reprise dans 700 µL de tampon d'extraction CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide). Cette solution contenait 2% de CTAB, 1,4 M de NaCl, 0,1 M de Tris-base, 20 mM d'acide éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA) et 2% de polyvinylpyrrolidone (PVP-40). L'ensemble broyat de feuille sèche plus tampon d'extraction contenu dans un tube Eppendorf, a été incubé au bain-marie à 65°C pendant 30 minutes. Toutes les 10 minutes le mélange contenu dans chacun des tubes Eppendorf a été homogénéisé par agitation. Au terme des 30 minutes d'incubation, les tubes Eppendorfs ont été retirés du bain-marie, refroidis à température ambiante pendant deux minutes puis centrifugés à 19000 g pendant 10 minutes. Une quantité de 500 µL du surnageant a été prélevée puis complétée avec 500 µL de Chloroforme. Ce mélange a été centrifugé pendant 5 min à 19000 g. La phase aqueuse (300 µL) a été transvasée dans un nouveau tube Eppendorf puis complétée avec 350 µL de chloroforme. Ce mélange a été encore centrifugé dans les mêmes conditions que précédemment. L'ADN a été ensuite précipité pendant une heure à -20°C avec 350 µL d'isopropanol. Après une centrifugation (16000 g pendant 10 minutes à température ambiante), le culot a été lavé avec 500 µL d'éthanol 70%. Cette opération a été répétée puis l'ADN a été séché à 37°C pendant 30

min. L'ADN a été conservé dans 100 ml de tampon d'éluion TE composé de 10 mmol/L de Tris-HCl et 1 mmol/L de EDTA à pH 8.0. Une migration de contrôle sur gel d'agarose 1% des extraits brutes d'ADN a été effectuée pour tester leurs qualités. L'électrophorèse sur gel d'agarose à 1% a été soumise à 60 mA pendant 20 min. Pour cette migration, le tampon d'électrophorèse Tris-Borate EDTA (TBE) 1 mM pH 8 a été utilisé. La concentration en ADN des différentes accessions a été déterminée en comparant l'intensité des bandes obtenues après migration sur gel d'agarose à celle de l'ADN standard Smart Ladder.

Amplification de l'ADN microsatellite par la méthode PCR

Six amorces SSR ont été utilisées dans cette étude. Ces amorces se sont révélées polymorphes parmi celles utilisées au cours du développement des marqueurs microsatellites portant sur l'étude de la diversité génétique de la gourde oléagineuse. La PCR a été réalisée en présence de deux amorces, l'amorce reverse (R) et l'amorce forward (F) contenant une queue M13 marquée à un fluorophore absorbant à des longueurs d'onde de 700 ou 800 nanomètres. Les noms de ces marqueurs, leurs séquences, les motifs de base et leur température d'hybridation sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Liste des amorces utilisées, leurs séquences et leur température d'hybridation.

Noms	Motif	Séquences	Tm (°C)
URF1	(CTAG)3	F: AGCAGCACCTTGTCTTGTAT R: CACAGATCCCACTCAATCTT	55
EST00691	(CTC)4	F: CCAAACCCTTCTCTTTCTTT R: AAGGAGGTGAGTGAAGGTG	55
EST00680	(TG)5(TTCC)5	F: CCTTATCTCAACTCTTTTCGGA R: AGGATTGGGCTTGATTGTTG	55
C.1. 1-20	(CT)18	F: CGCGCGTGAGGACCCTATA R: AGCAATTGATTGAGGCGGTTCT	55
C.1. 2-23	(CT)15	F: GAGGCGGAGGAGTTGAGAG R: ACAAACAACGAAACCCATAGC	55
WGA3H	(TC)4	F: CGATAATCGACTTTCTCGAC R: GCTTCTTAGCATCATCAACC	55

Les réactions d'amplification ont été effectuées dans un volume réactionnel de 15 µL contenant 10 à 15 ng de l'ADN génomique, de 2,25 mM de MgCl₂ (MP Biomedical, France), de 2 mM de dNTPs (MP Biomedical, France), de 0,25 µM de l'amorce R (Eurogentec, France), de 10 µM de l'amorce FM13 (Eurogentec, France), de 10 µM de M13/700 ou 800 (Dye) (Eurogentec, France), de 0,5U de la Taq polymérase (MP Biomedical, France) et de 1X de PCR Buffer (MP Biomedical, France). Les amplifications ont été réalisées dans un thermocycler (T-Gradient thermoblock) programmé pour un cycle de 94°C à cinq minutes suivi de 40 cycles à 94°C pour 30 secondes, une

minute de température d'hybridation qui a varié de 52 à 55°C, une minute également pour l'élongation à 72°C et huit minutes pour l'élongation finale. Un contrôle sur gel d'agarose à 2 % des produits de PCR a été réalisé afin de vérifier la qualité de l'amplification. La plaque a été mise à l'abri de la lumière à l'aide d'une feuille aluminium pour éviter la dégradation du fluorophore.

Migration à l'aide d'un séquenceur à gel d'acrylamide

Un gel polyacrylamide à 6,5 % avec un peigne de 96 dents a été préparé et incorporé au séquenceur Li-Cor (NEN® model 4300 DNA Analyzer) après deux heures de polymérisation. C'est un séquenceur automatique à gel d'acrylamide qui permet de détecter, avec une bonne résolution, des fragments d'ADN de 50 à 700 pb amplifiés soit avec le dye IR700 ou le dye IR800. Cinq microlitres de tampon renfermant 95 % de formamide, 20 mM EDTA et 0,05% de xylène cyanol ont été ensuite ajoutés aux produits de la PCR. Les échantillons ont d'abord été dénaturés sur une plaque chauffante 94°C pendant trois minutes, distribués sur un Rack aspirés par capillarité sur un peigne membrane de 100 dents et déposés sur le gel d'acrylamide préalablement monté sur le séquenceur. Les allèles ont été ensuite séparés par électrophorèse verticale haut voltage (1500 V, 35 mA, 31W à 50°C pendant une heure 30 minutes) en fonction de leur taille. La détection des allèles se fait grâce aux deux lasers du séquenceur Li-Cor et la visualisation de la migration a été possible grâce à un ordinateur connecté au séquenceur. Les images des gels stockées sur le séquenceur ont été exportées sur l'ordinateur pour la lecture des profils. L'analyse des profils de migration a été effectuée grâce au logiciel SAGA^{GT}. Il s'agit d'un programme Li-Cor qui est un outil développé pour la lecture des profils de microsatellites migrés sur le séquenceur Li-Cor chez les organismes diploïdes.

Analyse statistique des données

Les différentes analyses utilisées dans cette étude ont pour objectif de déterminer dans un premier temps le déterminisme génétique et ensuite le nombre de QTL impliqués dans la tolérance de *L. siceraria* aux insectes.

Le déterminisme génétique a été étudié en utilisant la méthode de Bezawada *et al.* (2003) en appliquant le test khi-carré (χ^2). Le test de khi-carré (χ^2) pour le ratio phénotypique a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\chi_{calculé}^2 = \frac{(O - E)^2}{E}$$

Où O est l'effectif observée et E l'effectif attendu.

Etant donné qu'il n'y a seulement que deux classes génotypiques pour les deux types de dégâts foliaires (dégâts foliaires élevés et dégâts foliaires insignifiants), le nombre de degré de liberté était égal à l'unité, de sorte que

pour chaque test khi-carré, la différence a été considérée comme significative ($P < 0,05$) si sa valeur calculée était supérieure à 3,84.

Le test était basé sur l'hypothèse nulle (H_0) d'égalité entre les proportions des deux catégories de feuilles (feuilles porteuses de dégâts et feuilles non porteuses de dégâts) et la distribution 3 : 1 ou encore 75 % : 25 %. Admettre cette distribution revient à supposer que le caractère est gouverné par un gène à deux allèles, avec dominance complète. La tolérance des génotypes aux attaques d'insectes a été considérée comme dominante avec 75 % et 25 % pour la récessivité.

Le rejet de l'hypothèse nulle intervenait quand le khi-carré calculé a été plus grand que le khi-carré théorique. Dans ce cas, l'hypothèse d'un couple d'allèles avec dominance complète a été être rejetée.

La seconde analyse pour identifier les marqueurs moléculaires a été effectuée sur les individus de la F2. La comparaison des moyennes du niveau des dommages foliaires des individus de la F2 a été effectuée entre les différentes classes génotypiques de chaque marqueur. Lorsque deux classes génotypiques pour chaque marqueur ont été observées, alors le test t de Student a été utilisé pour la comparaison des moyennes. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA1) a été effectuée pour trois classes génotypiques. S'il a existé une différence significative entre les différentes moyennes pour un marqueur donné, alors un QTL intervenant dans la tolérance des dommages des insectes a existé à proximité de ce marqueur. Dans le cas contraire, l'analyse effectuée n'a pas permis de mettre en évidence un QTL associé au marqueur. Tous les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel SPSS 16.0 (SPSS, 2007).

Résultats

Intensité des dégâts foliaires des individus parentaux et de la F2

L'évaluation des dégâts foliaires dus aux insectes ravageurs des deux populations parentales et de la population F2 a été menée (Tableau 2). Le degré de sévérité des 150 individus a varié de 1 à 5. Les individus parentaux des accessions NI431 et de NI227 ont été caractérisés respectivement par des dommages foliaires très faibles et des dommages foliaires élevés. Parmi les 100 individus de la F2, 72 ont été caractérisés par des dégâts très faibles tandis que l'intensité des dommages a été élevée et très élevée chez les 28 autres individus.

Tableau 2. Récapitulatif des classes de sévérité des symptômes des accessions de *Lagenaria siceraria* aux insectes ravageurs

Populations	Classes phénotypiques					Total
	1 (dégâts très faibles)	2 (dégâts faibles)	3 (Intermédiaire)	4 (dégâts élevés)	5 (dégâts très élevés)	
Effectif NI43	25	0	0	0	0	25
1						
NI22	0	0	0	13	12	25
7						
F2	72	0	0	25	3	100

1: dégâts très faibles; 2: dégâts faibles; 3: dégâts intermédiaires; 4: dégâts élevés; 5: dégâts très élevés

Déterminisme génétique de la tolérance des dégâts des insectes ravageurs

La ségrégation observée était de 72 : 28 et le khi-carré relatif à la ségrégation attendue (3 : 1 dégâts foliaires faible : dégâts foliaires élevés) était de 0,48. Comme la valeur du khi-carré observé ($\chi^2_{\text{calculé}} = 0,48$) a été inférieure à celle du khi-carré théorique ($\chi^2_{\text{théorique}} = 3,84$), l'hypothèse nulle H_0 a été acceptée. Autrement dit, il est probable que le caractère tolérance de *L. siceraria* aux attaques d'insectes ravageurs soit contrôlé par un couple d'allèles, avec dominance complète.

Polymorphisme des marqueurs microsatellites utilisés

Six marqueurs SSR ont été utilisés pour le génotypage de 150 individus. Quatre d'entre eux ont été polymorphes c'est-à-dire les marqueurs EST00680, C1.1.20, C1.2.23 et UFR. Les deux autres marqueurs EST00691 et WGA3A ont été monomorphes. Ils n'ont pas été considérés dans l'analyse statistique parce qu'ils n'ont pas été informatifs. Au total neuf allèles ont été identifiés dans les 3 populations : population parentale NI431, population parentale NI227 et population en ségrégation F2. Le nombre d'allèles par locus a varié de 2 à 3. Un effectif de 2 allèles a été observé au niveau des loci EST00680, C1.2.23 et UFR. Trois allèles ont été observés chez le locus C1.1.20 (Tableau 3).

Tableau 3. Polymorphisme des marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude des populations parentales et F2 de *Lagenaria siceraria*

Marqueurs moléculaires	Nombre d'allèles	Identité des allèles
EST00680	2	222
		224
CI.1.20	3	147
		165
		168
CI.2.23	2	194
		224
UFR	2	232
		248

Recherche de QTLs associés à la tolérance des dégâts des insectes

La comparaison des moyennes du niveau des dommages foliaires des individus de la F2 a été effectuée entre les différentes classes génotypiques de chaque marqueur moléculaire (Tableau 4 et 5).

Le test *t* de Student réalisé pour le marqueur EST00680 n'a pas montré de différence significative ($t = 1,833$; $P = 0,772$) entre les moyennes de la sévérité des dégâts des insectes des deux génotypes 222/222 et 224/224. Il n'a pas existé de QTL à proximité de ce marqueur.

L'analyse de variance réalisé pour le marqueur C1.1.20 a révélé qu'aucune différence significative ($F = 0,776$; $P = 0,512$) n'a été observée entre les moyennes de la sévérité des dégâts des insectes des quatre génotypes 147/147, 147/165, 165/165 et 168/168. Il n'a donc pas eu également de QTL à proximité de ce marqueur.

Le test *t* de Student réalisé pour le marqueur C1.2.23 a montré une différence significative ($t = 3.766$; $P = 0.001$) entre les moyennes de la sévérité des dégâts des insectes des deux génotypes 194/194 et 224/224. Il y'a donc un QTL identifié à proximité de ce marqueur.

Quant au marqueur UFR, le test *t* de Student n'a pas indiqué de différence significative entre les moyennes de la sévérité des dégâts causés par les insectes des deux génotypes 232/248 et 248/248. Aucun QTL n'a été identifié à proximité de ce marqueur.

Tableau 4. Recherche de QTL par comparaison à partir du test *t* des génotypes des différents marqueurs

Marqueurs moléculaires	Classes Génotypiques	Effectifs	Valeur moyenne du niveau de dommage	<i>t</i>	<i>P</i>
EST00680	222/222	59	2,100±1,620	1,833	0,772
	224/224	6	1,000±0,000		
C1.2.23	194/194	54	0,91±1,581	3,766	<0,001
	224/224	61	2,11±1,827		
UFR	248/248	101	2,440±1,670	1,860	0,650
	232/248	15	1,600±1,242		

Tableau 5. Recherche de QTL par comparaison à partir de l'ANOVA des génotypes du marqueur C1.1.20

Marqueur moléculaire	Classe Génotypique	Effectifs	Valeur moyenne du niveau de dommage	<i>F</i>	<i>P</i>
C1.1.20	147/147	3	1,000±0,000	0,776	0,512
	147/165	5	1,600±1,342		
	165/165	46	2,130±1,586		

Discussion

Le criblage des différents génotypes de *Lagenaria siceraria* aux insectes defoliateurs a montré que les individus parentaux de NI431 et NI227 ont présenté des caractères bien contrastés au niveau de l'intensité des dégâts observés sur les feuilles. Ceci est manifesté par la diversité génétique observée chez *L. siceraria* comme l'avaient observé Koffi *et al.* (2009). Cette diversité génétique a permis d'observer une plus grande variabilité phénotypique dans la génération F2.

La réaction des individus de la F2 (issus du croisement entre l'accession NI431 et l'accession NI227) aux insectes a montré une ségrégation de 3 : 1 indiquant que l'aptitude de la plante à se défendre contre les attaques des insectes ravageurs est contrôlée par un seul gène, l'allèle conférant cette tolérance étant dominant. Ainsi, dans l'expression de la tolérance ou de la sensibilité face aux attaques des insectes sur *L. siceraria*, le phénotype tolérant [S] a dominé le phénotype sensible [s]. Ce résultat a suggéré que dans la population F2, un seul gène avec deux allèles : S (provenant de l'accession NI431), et s (issu de NI227) a été identifié dans le contrôle de la tolérance des dégâts des insectes. La mise en évidence d'un seul gène dans la lutte contre les dégâts des bio-agresseurs a été observée chez le tabac (Zhang *et al.*, 2008). Dans leurs travaux sur la tolérance du niébé à la plante parasite *Striga*, des chercheurs ont émis l'hypothèse qu'un même gène pourrait contrôler la

résistance à différentes races de ce parasite (Touré *et al.*, 1997). Par conséquent, vu que plusieurs insectes ravageurs ont occasionné des dégâts sur *L. siceraria*, le couple de gènes S/s identifié dans la présente étude contrôlerait à lui seul la tolérance contre les attaques de ces ravageurs. Selon Kim (1998), la recherche d'une résistance horizontale (résistance polygénique) serait plus durable que la recherche d'une résistance verticale (monogénique), puisque cette dernière est facilement contournée et déjouée par le parasite. Dans le cas de la présente étude, le déterminisme génétique de type monogénique induisant une résistance verticale mis en évidence dans la tolérance des attaques des insectes ravageurs pourrait être un atout dans l'amélioration de *L. siceraria* puisque selon Parker (1991) il est facile et rapide de transférer ce type de résistance à des variétés aux propriétés agronomiques intéressantes. Le caractère tolérance de *L. siceraria* aux attaques d'insectes ravageurs a obéi aux règles mendéliennes classiques. Les allèles S et s seraient donc localisés sur les chromosomes (L'Héritier, 1975). L'hérédité chromosomique de ce caractère mise ici en évidence a démontré que les allèles S et s ne sont pas contrôlés par des organites cellulaires tels les mitochondries et les chloroplastes. Cela oriente davantage les sélectionneurs en privilégiant dorénavant la transmission chromosomique plutôt que maternelle dans le schéma d'amélioration de *L. siceraria* contre des attaques des insectes ravageurs.

La détection de QTL de tolérance des dégâts causés par les insectes ravageurs est un préambule pour déterminer les gènes impliqués et pour mieux comprendre les voies biochimiques dans les mécanismes de défense de *L. siceraria* aux insectes. Les marqueurs moléculaires les plus couramment utilisés sont les microsatellites. Ces marqueurs sont hautement polymorphes par la variation du nombre de répétition et de ce fait ont été utilisés dans de nombreuses études d'identification des QTL (Selvaraj *et al.*, 2011 ; Darvishzadeh, 2012). L'utilisation des marqueurs moléculaires SSR appliqués aux plantes de *L. siceraria* soumises aux insectes a permis de déterminer un seul QTL nommé qTDco. Le nombre de QTL identifié dans cette étude est très faible. Une détection robuste de QTL nécessite une saturation maximale et une distribution des marqueurs sur la carte génétique (Julio, 2005). Chez la cucurbité *Citrullus lanatus*, Hashizume *et al.* (2003) ont utilisé 554 marqueurs moléculaires pour identifier 5 QTLs liés aux paramètres agronomiques. Le faible nombre de QTL obtenu dans le cas de la présente étude pourrait être attribué au faible nombre de marqueurs SSR utilisés. Les marqueurs utilisés ne couvrent pas l'ensemble du génome de *L. siceraria*. L'utilisation d'un nombre accru de marqueurs moléculaires dans la détection de QTL de la tolérance des dégâts de *L. siceraria* face aux insectes ravageurs serait nécessaire dans le but d'accroître le taux de saturation du génome de *L. siceraria*. Néanmoins, le marqueur C1.2.23 associé à ce QTL serait un outil

indispensable pour de nombreuses perspectives en matière de sélection assistée par marqueur. Ce marqueur pourrait être exploité pour suivre des générations successives en vue de sélectionner les plantes porteuses des gènes de la tolérance.

Conclusion

L'objectif principal de cette étude a été la recherche des marqueurs moléculaires de type SSR associés au QTL de la tolérance contre les attaques d'insectes ravageurs. L'hérédité de l'expression de la tolérance ou la sensibilité vis-à-vis des attaques des insectes chez *L. siceraria* a été chromosomique et sous l'influence d'un couple d'allèle S/s ou le phénotype tolérant [S] a dominé le sensible [s]. Aussi, un seul QTL nommé qTDco a-t-il été révélé à partir du marqueur moléculaire C1.2.23. Ce marqueur a donc été associé aux gènes de la tolérance de *Lagenaria siceraria* aux dégâts des insectes ravageurs. Ce marqueur pourrait être utilisé pour procéder à une sélection précoce et rapide des plantes de *L. siceraria* ayant le gène de la tolérance aux insectes ravageurs. Il apparaît indispensable d'initier une autre étude visant à accroître le taux de saturation du génome de *L. siceraria* par l'utilisation de nombreux marqueurs moléculaires.

References:

1. Achigan Dako GE, Fanou N, Kouke A, Avohou H, Vodouhe RS & Ahanchede A (2006). Evaluation agronomique de trois espèces de Egusi (*Cucurbitaceae*) utilisées dans l'alimentation au Bénin et élaboration d'un modèle de prédiction du rendement. *Biotechnologie Agronomie Société Environnement* 10 (2): 121-129.
2. Akpavi S, Kanda M, Odah K, Akpakpah KE, Kossi-Titrikou, Boutare I & Akpagora k (2013). Valeur socio-culturelle des plantes alimentaires: un facteur de préservation. *European Scientific Journal* 9 (32): 383-395
3. Anzara GKGR, Koffi KK, Coulibaly SS, Fouah BI ND, Baudoin J-P, Campa C & Zoro BI IA (2015). Influence of herbivorous insects on the production of *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (Cucurbitaceae). *African Journal of Plant Science* 9 (11): 450-456
4. Baudoin JP (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 5 (4): 221-230.
5. Bezawada C, Saha S, Johnie N, Roy G and McCarty J (2003). SSR Marker(s) associated with root knot nematode resistance gene(s) in cotton. *The Journal of Cotton Science* 7:179-184
6. Darvishzadeh R (2012). Association of SSR markers with partial resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* isolates in sunflower

- (*Helianthus annuus* L.). *Australian Journal of Crop Science* 6 (2): 276-282.
7. Julio (2005). *Développement d'une carte génétique de Nicotiana tabacum et identification de QTLs liés à des caractères agronomiques et à la composition de la fumée*. Toulouse (France): Institut National Polytechnique; 114 pages.
 8. Kim SK (1998). Horizontal resistance: misunderstandings, approach and importance. In: Kim SK, Robinson RA, Atkinson K, Adetimirin VO, Thé C & Sallé G (Eds) *Combating parasitic weeds through horizontal resistance*. Seoul (République de Corée): International Agriculture Research Institute, pp 53-56.
 9. Koffi KK, Anzara GK, Malice M, Djè Y, Bertin P, Baudoin JP & Zoro Bi IA (2009). Morphological and allozyme variation in a collection of *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. from Côte d'Ivoire. *Biotechnology Agronomy Society and Environment* 13 (2): 257-270.
 10. Kouassi NJ & Zoro BIA (2009). Effect of sowing density and seedbed type on yield and yield components in bambara groundnut (*Vigna Subterranea*) in woodland savannas of Côte d'Ivoire. *Experimental Agriculture* 46 (1): 99-110.
 11. L'Héritier P (1975). *Génétique*. Paris (France): Masson et Cie; 314 pages.
 12. Loukou AL, Gnakri D, Djè Y, Kippré AV, Malice M, Baudoin JP & Zoro Bi IA (2007). Macronutrient composition of three cucurbit species cultivated for seed consumption in Côte d'Ivoire. *African Journal of Biotechnology* 6 (5): 529-533.
 13. Murray MG & Thompson WF (1980). Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research* 8 (19): 4321-4326.
 14. Najimi B, Boukhatem N, El Jaafari S, Jlibène M, Paul R & Jacquemin JM (2002). Amplified fragment length polymorphism (AFLP) analysis of markers associated with H5 and H22 Hessian fly resistance genes in bread. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 6 (2): 79-85.
 15. Ndabalishye I (1995). *Agriculture vivrière ouest africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire*. IDESSA: Bouaké (Côte d'Ivoire); 255 pages.
 16. Parker C (1991). Protection of crop against parasitic weeds. *Crop Protection* 10:6-10
 17. Pitan OOR & Ekoja EE (2011). Yield response of okra, *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench to leaf damage by the flea beetle, *Podagrica uniforma* Jacoby (Coleoptera: Chrysomelidae). *Crop Protection* 30: 1346-1350.

18. Rasul GM, Hiramatsu M & Okubo H (2007). Genetic relatedness (diversity) and cultivar identification by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in teasle gourd (*Momordica dioica* Roxb.). *Scientia Horticulturae*111: 271-279.
19. Rouxel T, Penaud A, Pinochet X, Brun H, Gout L, Delourme R, Schmit J & Balesdent MH (2003).A 10-year survey of populations of *Leptosphaeria maculans* in France indicates a rapid adaptation towards the Rlm1resistance gene of oilseed rape. *European Journal of Plant Pathology*109: 871-881.
20. Selvaraj IC, Nagarajan P, Thiagarajan K, Bharathi M & Rabindran R (2011). Identification of Microsatellite (SSR) and RAPD Markers Linked to Rice Blast Disease Resistance gene in Rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology*10 (17): 3301-3321.
21. SPSS (2007). *SPSS 16.0 for windows version 16.0*. Chicago, USA: SPSS Inc., 233 south wacker drive, 11th Floor. Chicago, USA.
22. Touré M, Olivier A, Ntare BR, Lane JA & St-Pierre CA (1997). Meritance of resistance to *Striga gesnerioides* biotypes from Mali and Niger in cowpea (*Vigna mguiculata* (L.) Walp.). *Euphytica*94: 273-278.
23. Vayssieres JF, Delvare G, Maldès JM & Aberlenc HP (2000). Inventaire preliminaire des arthropodes ravageurs et auxiliaires des cultures maraicheres sur l'ile de la reunion. *Insect Science and its Application* 21 (1): 1-22.
24. Zhang HY, Yang YM, LI FS, He CS & Liu XZ (2008). Screening and characterization a RAPD marker of tobacco brown-spot resistant gene. *African Journal of Biotechnology*7 (15): 2559-2561.
25. Zoro Bi IA, Djé Y, Koffi KK, Djé Y, Malice M & Baudoin JP (2006). Indigenous cucurbits of Côte d'Ivoire: a review of their genetic resources. *Sciences et Nature*3 (1): 1-9.
26. Zoro Bi IA, Koffi KK & Djé Y (2003). Caracterisation botanique et agronomique de trois espèces de curcubites consommées en sauce en Afrique de l'ouest:*Citrullus sp.*, *Cucumeropsis mannii* Naudin et *Lagenaria siceraria* (Molina.) Standl. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environnement*7: 189-199.



Assessment of Surface Water Quality using Indices and Geographic Information System in the Sebou River Basin, Morocco

*Kanga Idé Soumaila
Naimi Mustapha
Chikhaoui Mohamed*

Soil and Water Management Laboratory, Department of Natural Resources and Environment, Hassan II Institute of Agronomy & Veterinary Medicine, Madinat Al Irfane, Rabat, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p249](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p249)

Submitted: 18 September 2020

Accepted: 23 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kanga Idé S., Naimi M. & Chikhaoui M. (2021). *Assessment of Surface Water Quality using Indices and Geographic Information System in the Sebou River Basin, Morocco*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 249. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p249>

Abstract

The aim of this study is to assess the quality of monitored rivers and to map the polluted river sections in the Sebou basin using Geographic Information System (GIS). The potential causes of water quality variation will also be added for suitable measures to be taken. A Water Quality Index (WQI) which developed in Morocco was applied to 17 river water quality monitoring stations with data on 6 parameters (Dissolved oxygen (DO), ammonium ion (NH_4^+), 5-day biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), fecal coliforms (FC) and total phosphorus (TP)) collected twice during the wet and dry season over 1990-2017 period. The result shows that river water quality is classified as bad, very bad and medium at 59% of the monitoring stations, while 41% are considered as good to excellent. Interpolation of mean values of overall WQI of the 17 river water quality monitoring stations, revealed evidence of quality degradation along several kilometers of most river sections in the Sebou basin. The correlation matrix between the sub-indices of water quality parameters and the overall WQI showed high positive correlation coefficients and highlights the contribution to water quality degradation as follows: TP ($r = +0.96$) \geq NH_4^+ ($r = +0.96$)

) > BOD₅ ($r = +0.94$) > COD ($r = +0.86$) > FC ($r = +0.83$) > DO ($r = +0.79$). The sections of Fès, Innaounene Rivers, and an extended stretch of Tizguit River must no longer be used for irrigation. River water quality is overall of better quality in the wet season compared to the dry season. Simple linear regressions between the seasonal water quality variation and the overall WQI showed higher coefficients of determination R^2 (0.67 and 0.60) between dry season WQI and the overall WQI and between wet season WQI and the overall WQI respectively. It is clear that discharges of industrial and domestic wastewater during the dry season and agricultural activities are most likely to be the causes of the degradation of river water quality.

Keywords: River water, Water quality index, IDW interpolation, Pollution, Sebou river basin

Introduction

Surface water is in the forefront of global environmental change and the impacts of anthropogenic activities. It is used in several sectors, but led by agriculture (mainly irrigation and aquaculture) as well as industry, energy, domestic use, recreational water, and others (Liu & Mao, 2020; Tian et al., 2018; Staoğlu et al., 2019; Liu et al., 2016). Throughout the world, water quality problems have been reported (Tomas et al., 2017; Kanga et al., 2019a), but the situation is yet to improve. The global population keeps increasing and socio-economic activities continue to rise, particularly intensive agriculture with the excessive use of fertilizers. Industrial activities and wastewater discharges into rivers often cause disasters to aquatic life. A mismanaged wild landfill can stand as a serious potential candidate for contributing to the pollution of surface water. As river water quality worsens, agriculture and other economic activities will be further impacted by pollution. This is because in many locations, agricultural production is directly dependent on river water supply. This creates a vicious cycle of impacts, which must be cracked at least to minimize damages to human and animal health. In parallel to these anthropogenic activities, runoff, soil erosion, and flooding (Ustaoğlu et al., 2019; Sanchez et al., 2006) introduce all kinds of pollutants into rivers deteriorating water quality for any useful purpose. Therefore, it is of utmost importance to assess rivers' water quality for drinking and farming purposes. Contaminated water can affect agricultural products and cause serious health problems for humans and animals. Recent research has shown some general interest in exploring the importance of water quality to human health as reported by Tlili-Zrelli et al. (2018). Assessing water quality helps to know the quality status of surface water in rivers as well as the potential causes of its pollution, allowing appropriate decisions for mitigating the impacts of both human activities and natural causes. In several countries of the Mediterranean

basin, water quality is at present impaired, and Morocco is amongst the countries suffering from water scarcity and pollution. In this sense, several studies relating to water quality (Kanga et al., 2019b; Perin et al., 2014; Hayzoun et al., 2015; Essahle et al., 2010; Koukal et al., 2004) have been carried out with the aim of determining the status of surface water quality in various districts in the country, including the Sebou river basin, which is the area of interest in this study. Urban populations are growing in the Sebou river basin, while industrial activities consist of oil and paper mills, tanneries, and sugar factories. Consequently, there is an urgent need to investigate and invest in the assessment of surface water quality, as the impact of water pollution on the environment and human health is becoming more and more important. As climate conditions affect water quality in arid and semi-arid areas (Perrin et al., 2014; Hayzoun et al., 2015), spatiotemporal water quality assessment of rivers is relevant to understand the changes in quality at a given period of the year and helps decision-makers or water managers take adequate actions. The water quality is usually evaluated on its chemical, physical, and biological composition with respect to its intended use. The WQI is determined by combining one or more chemical, physical, and biological parameters into a composite numerical or categorical index. The types of parameters used are dependent on the intended use of water, national standards, and the environmental issues faced in the study area. Several WQIs have already been developed to assess the suitability of water resources depending on the intended use (Lermontov et al., 2009; Kanga et al., 2019a), as well as several surface water quality assessment studies carried out in the Sebou river basin (Perrin et al., 2014; El Ouali et al., 2011; Hamdaoui et al., 2018; Hayzoun et al., 2015). A WQI developed in Morocco was used on 17 river water quality monitoring stations with data on 6 parameters (DO, NH_4^+ , BOD_5 , COD, FC, TP) and collected twice during the wet and dry season over the 1990-2017 period. The aim of this study is to assess the water quality of rivers in the Sebou river basin using GIS in order to identify the polluted river sections and the potential causes of water quality variation.

Material and Methods

Description of the Study Area

The study was carried out in the Sebou river basin, which extends over a surface area of 40,000 Km^2 and comprises one of the largest basins in Morocco. With a population of 6.2 million inhabitants, the Sebou river basin is a farming area in which industrial activities provide a significant input into the national economy. According to the Sebou river basin authority, the mean annual rainfall is 640 mm in the basin, reaching a maximum of 1,000 mm in the North-East side, and minimum values ranging from 400 to 500 mm in the center (Fès-Meknès area). Towards the south, near the city of Ifrane, 700-900

mm per year is recorded. The rainfall distribution is characterized by two seasons: the wet season from October to May, receives almost 90% of the annual rainfall, and the dry season from June to September, accumulating 10% of the total annual rainfall. This watershed holds nearly one-third of the country's surface water resources. There are several rivers in the Sebou river basin, foremost of which is the Sebou, rising in the south part of the basin and flowing 500 km downstream before joining the Atlantic Ocean. The river has many tributaries of which the largest are: Beht, Fès, Rdom, Innaouene, Ouislane, Mikkes, Guigou, etc. Figure 1 illustrates the location of the basin and its geographical characteristics. Biophysically, the catchment is bounded upstream by the Rif Mountains in the North and by the Middle Atlas Mountains in the South. The plateau of Saïs is located between these two mountain ranges within the area of Fès-Meknès. In the downstream part of the catchment, towards the sea, the Sebou sub-basin consists of a large alluvial plain known as the Gharb plain. The Rif highlands are mainly characterized by impermeable Cretaceous clay-marl formations, while the Gharb plain and Saïs plateau are shaped by permeable Tertiary and Quaternary materials. The Atlas domain consists chiefly of permeable Jurassic limestones and calcareous materials from the Lias. The potential irrigated areas are estimated at 375,000 ha, of which 269,600 are currently irrigated according to the Sebou Hydraulic Basin Agency (ABHS). Industrial activities play a major economic role and the most important industrial units are: sugar factories, paper and oil mills, tanneries, cement works, and textile.

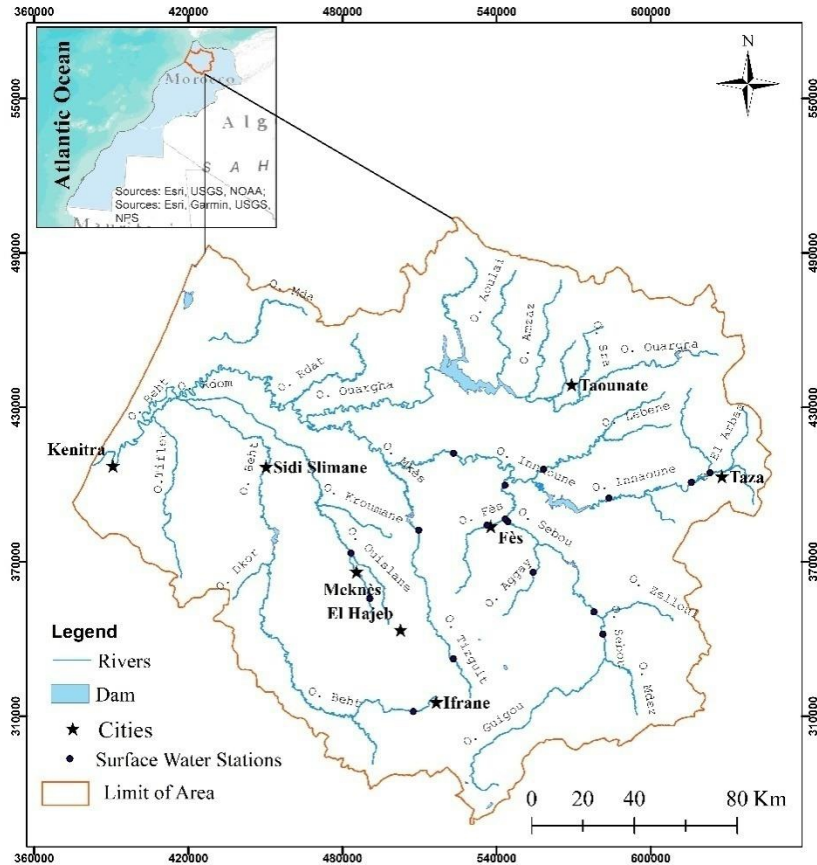


Figure 1. Geographic setting of the Sebou Basin along with the water monitoring stations

Data Collection

Twenty-seven years of water quality data from 17 river water quality monitoring stations were collected at the Sebou Hydraulic Basin Agency (ABHS), a regional water resources management body in Morocco. Table 1 shows the water quality parameters for all 17 water monitoring stations. Some of them are more ancient compared to others. Therefore, data may not consistently date back to 1990, and may show time gaps in the time series of the years. The monitoring stations are located on river banks and distributed from the center of the basin to the upstream of every few kilometers forming sections as shown in Figure 1.

Table 1. Water quality parameters, their associated units, and data chronology

Parameter	Unit	Data chronology
5-day biochemical oxygen demand (BOD ₅)	mg/l	1990—2017
Chemical oxygen demand (COD)	mg/l	1990—2017
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	1990—2017
Fecal coliforms (FC)	CPU/100 ml	1990—2017
Total phosphorus (TP)	mg/l	1990—2017
Dissolved oxygen (DO)	mg/l	1990—2017

WQI Calculation and Spatialization

Kanga et al. (2019b) developed a WQI in Morocco, which took into account of the Moroccan water quality standards, following 3 steps: the adoption of water quality parameters, the normalization of the parameter values to obtain sub-indices, and the aggregation of the sub-indices into an overall index. Figure 2 shows the steps involved in the development of the WQI.

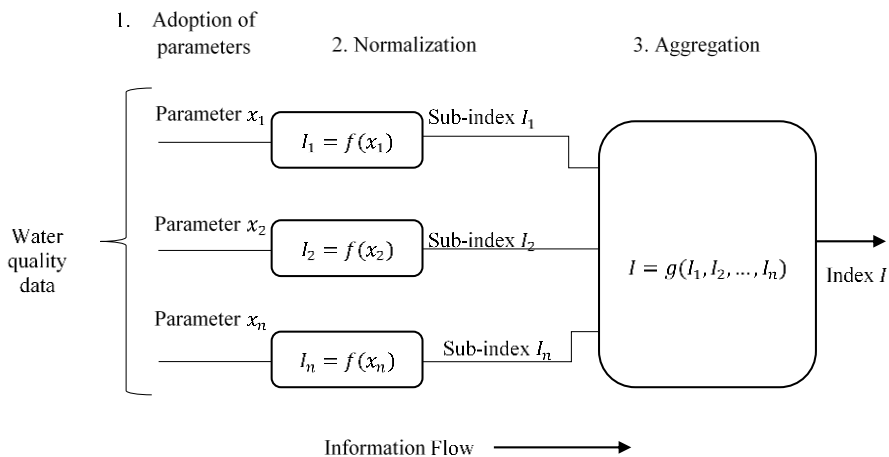


Figure 2. General steps for index development from Abbasi and Abbasi (2012)

The adoption of water quality parameters has been based upon the parameters currently used by the ABSH (Table 1). The standardization of water quality parameters was carried out using segmented linear equations for each water quality parameter based on the water quality standards prevailing in Morocco, which are comparable to the WHO standards. The general equation for normalizing a parameter is described as follows (Abbassi & Abbassi, 2012):

$$I_i = (x - a_i) \left(\frac{b_{i+1} - b_i}{a_{i+1} - a_i} \right) + b_i, \quad a_i \leq x \leq a_{i+1} \text{ and } b_i \leq \text{Classe } I \leq b_{i+1}. \quad (1)$$

I_i is the sub-index of the i th parameter, a_i is the measured value of the i th parameter, b_i is the i th corresponding a class according to the simplified grid of the decree 1275-02 in this context. Table 2 displays normalization functions of the parameters of water quality.

Table 2. Normalization equations of water quality parameters

NH ₄ ⁺ (mg/l)	TP (mg/l)	FC (number/100 ml)
$I_{NH_4^+} = -100x + 100$ $\forall 0 \leq x < 0.1$ (2)	$I_{TP} = 100 - 100x$ $\forall 0 \leq x < 0.1$ (7)	$I_{FC} = -0.5x + 100$ $0 \leq x < 20$ (12)
$I_{NH_4^+} = -67.5x + 96.75$ $\forall 0.1 \leq x \leq 0.5$ (3)	$I_{TP} = -135x + 103.5$ $\forall 0.1 \leq x \leq 0.3$ (8)	$I_{FC} = -0.005x + 90.1$ $20 \leq x \leq 2000$ (13)
$I_{NH_4^+} = -8.67x + 67.33$ $\forall 0.5 \leq x \leq 2$ (4)	$I_{TP} = -65x + 82.5$ $\forall 0.3 \leq x \leq 0.5$ (9)	$I_{FC} = -0.0007x + 64.44$ $2000 \leq x \leq 20000$ (14)
$I_{NH_4^+} = -2x + 54$ $\forall 2 \leq x \leq 8$ (5)	$I_{TP} = -4.8x + 52.4$ $\forall 0.5 \leq x \leq 3$ (10)	$I_{FC} = 0. \forall x > 20000$ (15)
$I_{NH_4^+} = 0. \forall x > 8$ (6)	$I_{TP} = 0. \forall x > 3$ (11)	
DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	DO (mg/l)
$I_{BOD_5} = -3.33x + 100$ $\forall x. 0 \leq x \leq 3$ (16)	$I_{COD} = -0.5x + 100.$ $0 < x \leq 20$ (21)	$I_{OD} = 11.366x$ $\forall. 0 < x \leq 8.8$ (26)
$I_{BOD_5} = -13.5x + 130.5$ $\forall x. 3 < x \leq 5$ (17)	$I_{COD} = -5.4x + 198$ $20 < x \leq 25$ (22)	$I_{OD} = 100. \forall x > 8.8$ (27)
$I_{BOD_5} = -1.85x + 72.28$ $\forall x. 5 < x \leq 10$ (18)	$I_{COD} = -0.86x + 84.66$ $25 < x \leq 40$ (23)	
$I_{BOD_5} = -0.8x + 58$ $\forall x. 10 < x \leq 25$ (19)	$I_{COD} = -0.3x + 62$ $40 < x \leq 80$ (24)	
$I_{BOD_5} = 0. \forall x > 25$ (20)	$I_{COD} = 0. \forall x \geq 80$ (25)	

These sub-indices were aggregated into an overall water quality index using a multiplicative and a power equation forms, as many researchers consider that geometric mean aggregation form can avert problems seen with conventional WQIs, such as eclipsing, ambiguity, compensation, etc.

$$WQI = \prod_{i=1}^n (I_i)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Where I_i represents the sub-index of the first parameter, n is the number of parameters, and WQI is the overall water quality index.

The sub-index and overall WQI values have been categorized into 5 quality classes. Table 3 shows the range of values and their interpretations.

Table 3. Class grouping of sub-indices and the overall water quality index

Description	Very Bad	Bad	Medium	Good	Excellent
Interval	0-38	38-50	50-63	63-90	90-100

Using an Excel sheet, the average of the sub-indexes and the overall WQI were calculated for each station depending on the number of years sampled. Also, the average WQI per season were computed in an attempt to understanding the seasonal changes in the water quality. For each station, correlation matrices were performed between the sub-indices of the water quality parameters and the overall WQI. Under ArcGIS, data were spatialized by interpolating the average value of the sub-indexes, the overall WQI, and the seasonal WQI for all stations along the rivers using the inverse distance weighting (IDW) technique. ESRI (1992) stated that IDW provides satisfactory results when the data is uniformly distributed in an area. IDW is based on the idea by which the value of an unsampled point is the weighted average of known values of the closest neighbors, whereby the weights are inversely proportional to the distances from the prediction point to the sampled points (Muzenda et al., 2019).

Results and Discussion

Table 4 summarizes the descriptive statistics (minimum, maximum, mean and standard deviation) of sub-indices (related to each river water parameter) and the overall WQI. The minimum, maximum, and mean values of the total phosphorus sub-index for all 17 monitoring stations are 0.0 (Very Bad), 88.3 (Excellent) and 55.6 (Medium), respectively. The minimum value "0.0" of this sub-index indicates that at least for one monitoring station, the concentration of phosphorus exceeded the permissible limit (>3 mg/l) during one or more years. The sub-index for ammonium showed a minimum, maximum, and mean with values of 0.0 (very bad), 96.2 (Excellent), and 62.0 (Medium) respectively. Alike total phosphorus, the concentration of ammonium has also exceeded the tolerable upper limit for acceptable water quality at one or more monitoring stations. The fecal coliform contents resulted in sub-index values such as 0.0 (very bad), 90.2 (Excellent) and 64.6 (Medium) for minimum, maximum and mean, respectively. The permissible limit for fecal coliform content is 20,000 CPU/100 ml in accordance with the Moroccan water quality standards for surface water. Exceeding this concentration means that the water quality is classified as very bad. The BOD₅ sub-index values showed a minimum, maximum and mean value of 23.2 (Very bad), 96.5 (Excellent), and 67.9 (Good) correspondingly. When the BOD₅ content exceeds 25 mg/l, river water quality is classified as severely polluted according to the national standards. The minimum, maximum and mean values of the COD sub-index are 21.1 (Very bad), 96.7 (Excellent), and 66.7 (Good)

respectively. The permissible limit of COD concentration is 80 mg/l. For dissolved oxygen (DO) concentrations, the minimum, maximum, and mean values of this sub-index are 28.7 (Very bad), 97.2 (Excellent), and 72.9 (Good). The permissible limit for DO concentrations is 1 mg/l.

Table 4. Descriptive statistics of sub-indices of water quality parameters

Sub-index of Parameter	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
TP	0.0	88.3	55.6	24.5
FC	0.0	90.2	64.6	26.3
NH ₄ ⁺	0.0	96.2	62.0	33.8
BOD ₅	23.2	96.5	67.9	26.7
COD	21.1	96.7	66.7	24.7
DO	28.7	97.2	72.9	22.0
WQI	0.0	91.5	51.6	30.8

With regard to the overall WQI, the minimum, maximum, and mean values are 0.0 (very bad), 91.5 (excellent) and 51.6 (medium), successively. Figure 3 displays the overall WQI values for each monitoring station. The result shows that the water quality of the rivers analyzed can be considered highly degraded during the 1990 to 2017 period. In fact, the river water quality is classified as "very bad to medium" at 59% of the monitoring stations, and as "good to excellent" at the remaining stations.

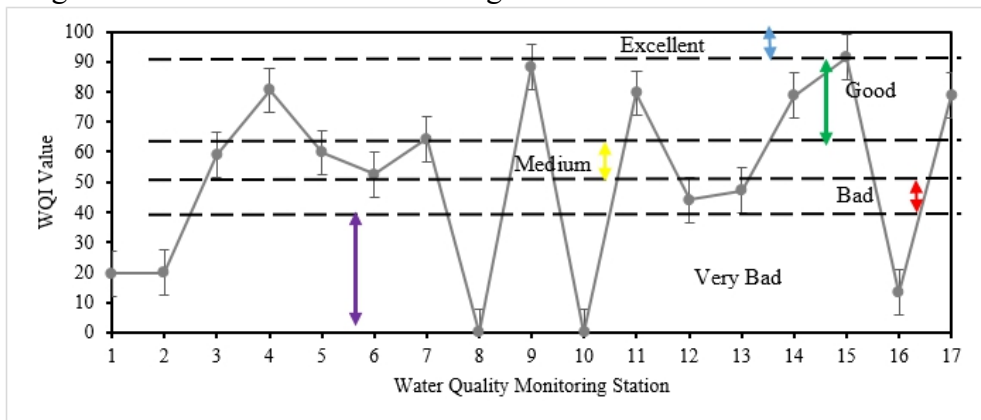


Figure 3. Variation of the overall surface water quality index for 17 monitoring stations

Water Quality Parameters

The spatial variation in surface water quality for each water quality parameter was obtained using the IDW interpolation technique based on the 17 water quality-monitoring stations. Figure 4 shows the spatial distribution of water quality parameters related to the values of their sub-index.

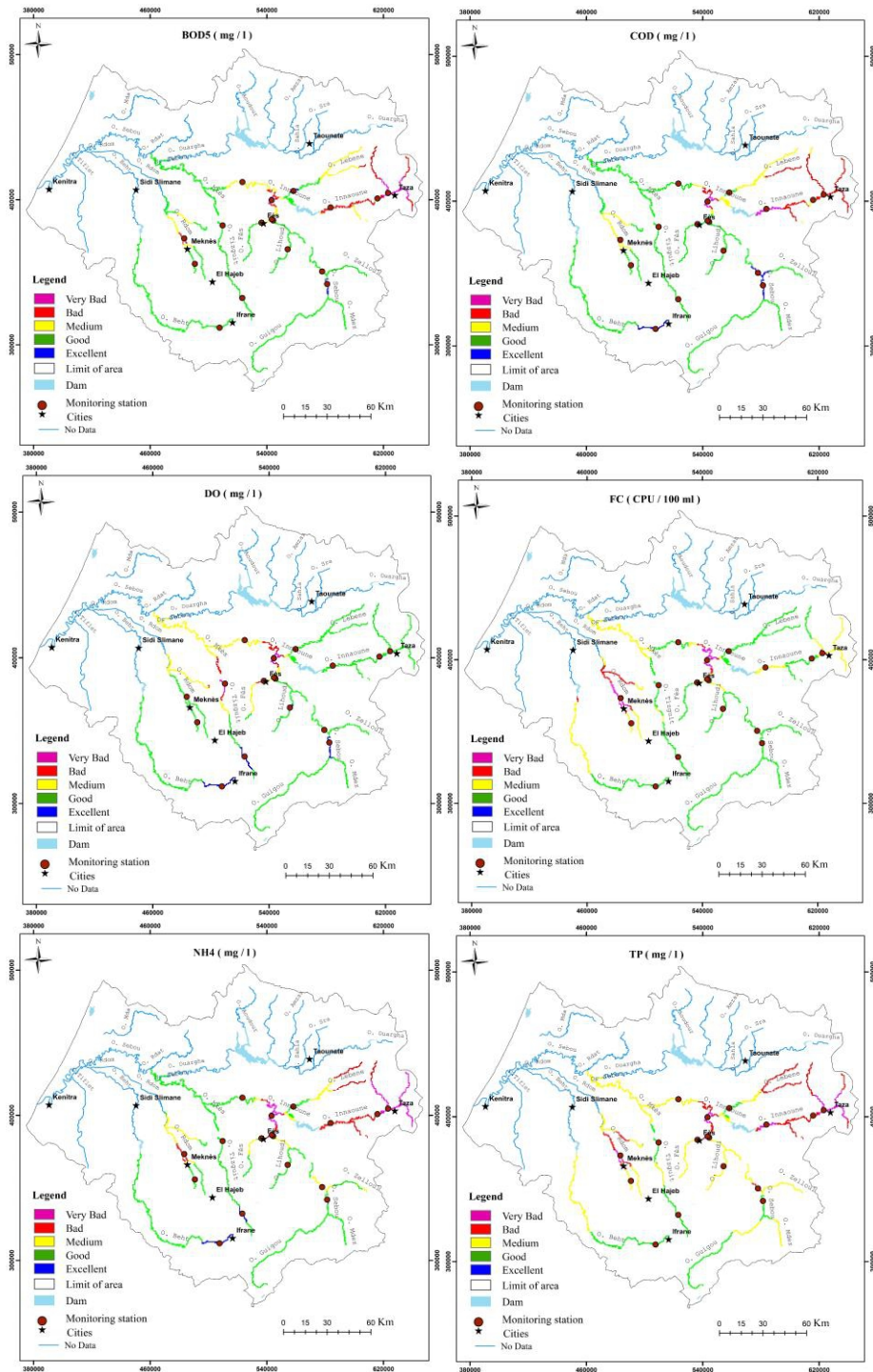


Figure 4. Spatial distribution of the sub-indices of BOD₅, COD, and DO, FC, NH₄⁺ and TP

5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD₅)

The 5-day BOD is an indicator measuring the amount of oxygen required to biochemically degrade any organic matter, and to oxidize inorganic matter (Brandt et al., 2017). Analysis of the BOD map shows that water quality is classified as good to excellent in most sections of the rivers. Meanwhile, on Innaoune River and its tributaries, the water quality ranged from very bad to bad near the city of Taza and from medium to bad at the north of the city of Fès. The water quality of Fès River at the north of the city is classified as medium to very bad over 6 kilometers. On Rdom River, the water quality is classified as medium, very bad, and bad along a stretch of 30 km in the north of Meknès. In river sections where water quality is degraded, the neighboring localities are characterized by high level of economic activities, chiefly industrial that includes oil, paper and sugar mills, and tanneries. Consequently, about 3.7 million inhabitant-equivalents per year are generated and discharged into the Sebou river systems. Beware that wastewater emissions are often uncontrolled in this basin. Perrin et al. (2014) estimated that about 20% is discharged directly into rivers with no prior treatment. Essahale et al. (2010) reported a high abundance of bacterial communities in Fès River, which results from tannery wastes of the city of Fès. The 5-day BOD is a meter of the growing of bacteria and other organic and animal matters (Brandt et al., 2017; Li & Liu, 2019).

Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand is an indicator that measures the amount of oxygen consumed in a solution in reaction, used to estimate the amount of oxidizable pollutants in surface water (Li & Liu, 2019). Examination of the COD map shows that water quality in most rivers of the basin is classified as good to excellent. However, some stretches showed a decreasing of water quality that ranges from medium to very bad. This is the case of Innaoune River and its tributaries for which river water quality was very bad, bad and medium along an accumulated distance of 147 km. On Fès and Sebou Rivers, water quality was very bad and medium respectively over 6 and 90 km north of the city of Fès. The water quality of Lebene River varied from medium to bad along a very prolonged stretch of the river. Similarly, Rdom River and its tributaries showed a water quality classified as medium. Alike BOD₅, Chemical Oxygen Demand (COD) results from both industrial sources and landfill leachate. In the Sebou river basin, according to the ABHS data of 2013, 130 million m³ of wastewater are discharged yearly into rivers while 9 375 t of solid waste are dumped annually into the ground.

Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen is an indicator measuring the amount of oxygen being dissolved in water to sustain aquatic life. It is highly dependent on water temperature. For instance, high temperature decreases the amount of dissolved oxygen (Li & Liu, 2019). Analysis of the map portraying dissolved oxygen shows that most river water has quality ranging from good to excellent. Nevertheless, on Innaouene River and its tributaries as well as Tizguit River, water quality is classified as medium to very bad for a length of 147 km and 33 km, respectively. Similarly, Fès and Sebou Rivers had very bad or bad water quality over a length of 37 and 92 km respectively, which means that DO is extremely low over extended segments. Many researchers (Perrin et al., 2014; Koukal et al., 2004; Hayzoun et al., 2014; El Ouali et al., 2011) reported that DO was very low in Fès River due to industrial discharges and domestic wastewater, as well as agricultural activities.

Fecal Coliforms (FC)

Fecal coliforms are signs of the presence of pathogens from human or warm-blooded animal intestines. The presence of such organisms in river water indicates fecal contamination, meaning that a potential health risk exists for anyone exposed to this water (Walker et al., 2019). Water quality associated with fecal coliforms is classified as good for most river sections. However, on some segments of Innaoune River, water quality is considered as medium or bad near the city of Taza, and very bad or bad north of the city of Fès. Water quality is classified as medium, bad and very bad on Fès River, to the north of the city, as well as on Rdom River on both sides of the city of Meknès. El Ouali et al. (2014) reported fecal coliform contamination of human and animal origins in these river sections near Meknès. Fecal coliforms arise from both domestic waste and non-point source pollution such as agriculture and confined human and animal defecation (Walker et al., 2019).

Ammonium (NH⁺₄)

Ammonium results from the microbiological decomposition of nitrogen compounds in organic matter, which may occur naturally in water or from industrial discharges, domestic waste and animal feces (Li & Liu, 2019). Water quality based on ammonium is classified as good to excellent on most river sections. However, the quality is bad and very bad along 5 km segments of Fès River and 43 km down Sebou River, north of the city of Fès, a few stretch of Innaoune River near the city of Taza, and over a long segment on both sides of the city of Meknès. It is considered as medium and bad on Lebene River, medium on several sections of Fès, Sebou and Rdom rivers. In Fès and Sebou rivers, Perrin et al. (2014) reported that high ammonium concentrations are explained by ammonification of nitrogen compounds in industrial

discharges and prevailing high temperatures. El Ouali et al. (2011) estimated that high ammonium concentrations in rivers, near Meknès, are associated with landfills and agriculture, and wool cleaning for excess ammonium in Fès River. Koukal et al. (2004) reported high concentrations of ammonium in the river of Fès as well. Moreover, according to data from ABHS, roughly some 900 tons per year of nitrogen is leached away from the Sebou basin.

Total Phosphorus (TP)

Total phosphorus measures the total phosphorus constituents in water. It may result from many sources, including agricultural, industrial and domestic ones (El Ouali et al., 2011). Water quality based on total phosphorus concentrations within rivers of the Sebou basin remains of high concern. It is considered as medium, bad and very bad in almost all the rivers, except for the Guigou, Tizguit, Sebou and Beht branches, located at the farther south of the Sebou basin. Many researchers have previously reported high concentrations of total phosphorus in Fès River (El Ouali et al., 2011; Hayzoun et al., 2014). Agriculture, widely practiced alongside stretches of the rivers, increases total phosphorus pollution with almost 220 tons of phosphate leached annually according to data from the Sebou river basin Agency.

Overall WQI

Interpolation of mean overall values of WQI of the 17 monitoring stations along the rivers revealed evidence of degradation of river water quality in the Sebou river basin. Figure 5 illustrates the water quality spatialization results of rivers during the period of sampling (1990-2017).

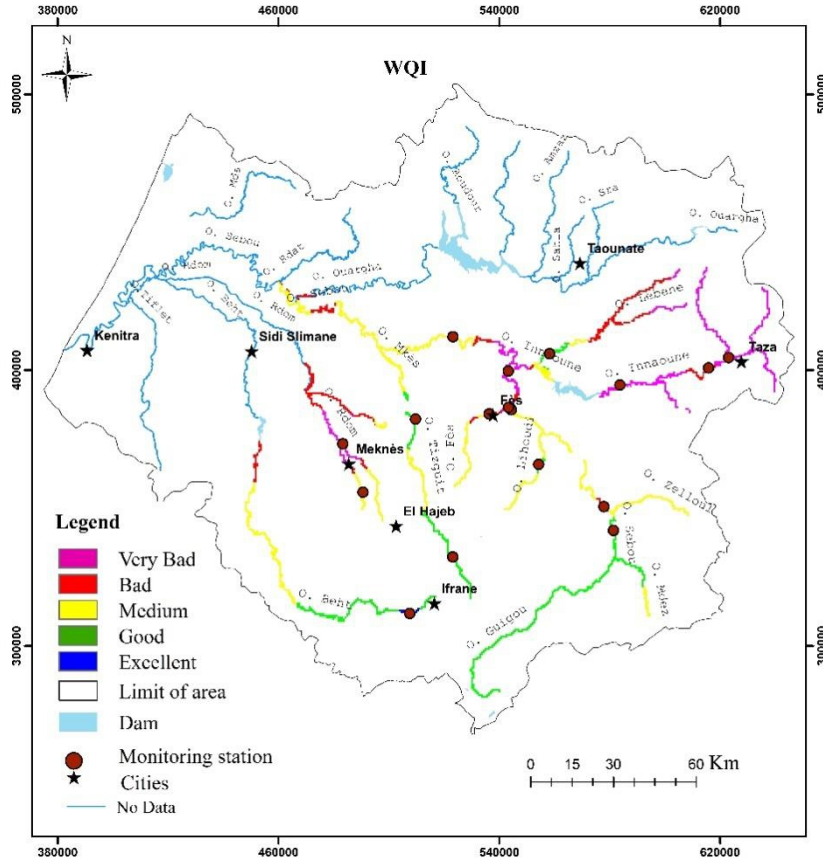


Figure 5. Overall surface water quality

Merely sections of rivers in the southern parts of the basin, which are forested, showed good or excellent water quality. The remaining river sections are highly polluted. This fact is not surprising; to tell the truth, surface water in the Sebou river basin is considered to be the most polluted in Morocco. In fact, several researchers have reported excessive pollution in many rivers, such as Fès River. Industrial and agricultural activities in concert with untreated domestic and industrial wastewater discharges have proven to be the sources of water quality deterioration in this basin (Hyazoun et al., 2015; Perrin et al., 2014; Essahle et al., 2010; Koukal et al., 2004). The correlation matrix between the values of sub-indices and the overall WQI showed high positive correlation coefficients. Table 5 displays the correlation analysis between these two variables.

Table 5. Correlation matrix between sub-indices and the overall WQI

	DO	BOD ₅	COD	NH ₄ ⁺	TP	FC	WQI
DO	1						
BOD ₅	0.80	1.00					
COD	0.68	0.83	1.00				
NH ₄ ⁺	0.78	0.93	0.79	1.00			
TP	0.73	0.89	0.75	0.92	1.00		
FC	0.69	0.74	0.75	0.77	0.73	1.00	
WQI	0.79	0.94	0.86	0.96	0.96	0.83	1.00

The analysis of Table 5 shows high positive correlation coefficients between variables. This means that all parameters may have come out from the identical source. The correlation coefficients are high and are rated as follow: $TP \geq NH_4^+ > BOD_5 > COD > FC > DO$. Therefore, variations in water quality are caused by the concentrations of total phosphorus, ammonium, 5-day biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, fecal coliform and dissolved oxygen, respectively. Similar results have been reported by some researchers (Hyazoun et al., 2015; Perrin et al., 2014; Essahle et al., 2010; Koukal et al., 2004; El Ouali et al., 2011; Hamdaoui et al., 2018) who estimated that, in an undefined ranking, the concentrations of NH₄⁺, TP, COD, DO, FC, and BOD₅ are the main causes of the degradation of river water quality in the Sebou basin.

Spatial-Seasonal Variation of River Water Quality

WQI mean values for each season (1990-2017) were computed for each river water quality monitoring station of the 17 sampled. The wet season includes samples collected from October to May (about 90 % of total annual rainfall), and the dry season includes samples collected from June to September (about 10 % of total annual rainfall). Figure 6 displays water quality indices of the rivers in dry and wet seasons and the overall WQI (no distinction of seasons).

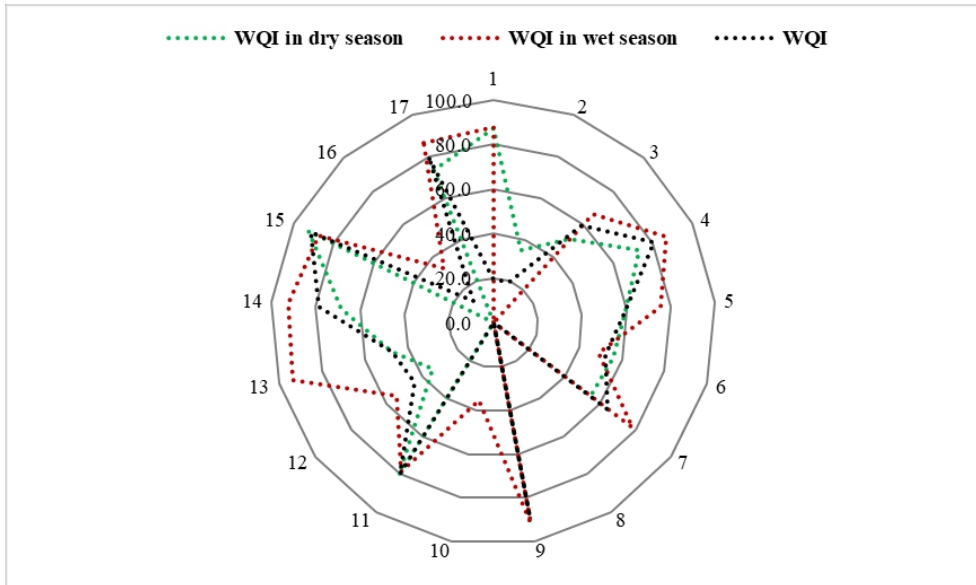


Figure 6. River water quality indices in dry season, wet season, and the overall WQI

The water quality of the rivers has varied seasonally, and the quality is commonly better during the wet season. Rising water levels after rainfall events dilute pollutant concentrations. It must be assumed that despite the input of several pollutants during runoff, the dilution effect of pollutant concentrations is more marked rather than the cumulative effect of pollutant concentrations. During the dry season, water quality is severely damaged. Figure 7 shows the spatial and temporal variation of river water quality in the Sebou basin. The analysis of the map of dry season WQI shows that all the river stretches have severely degraded water quality. It varies from medium to very bad in almost all rivers. Only sections of few kilometers (154 Km for all rivers sections) in the southern-forested areas showed water of good and excellent quality, particularly on Tizguit River (south of the town of El Hajeb), Beht River, and Guigou River. In contrast, observation of the wet season WQI map shows river water quality that varies from good to excellent in most rivers.

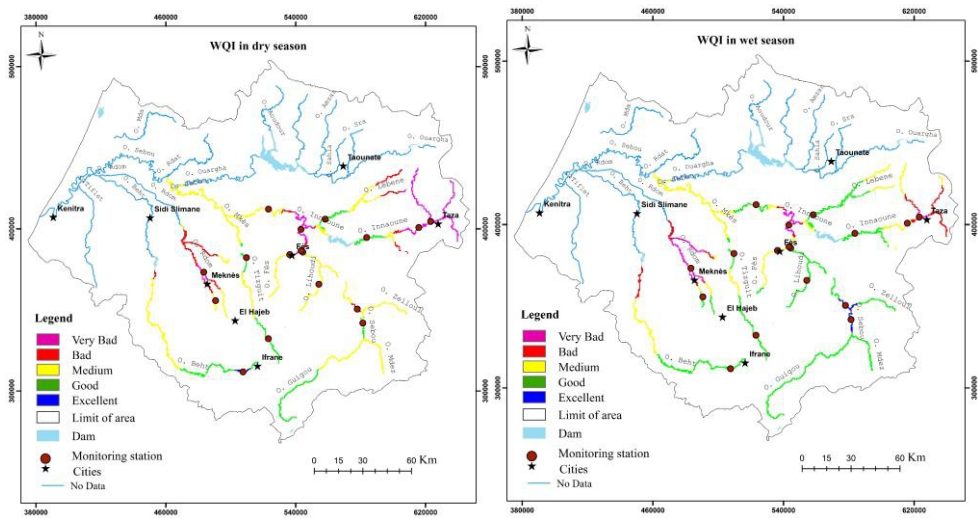


Figure 7. Seasonal variation of WQI of rivers

The linear regression plots established between the seasonal WQI and the overall WQI show high coefficients of determination (Figure 8). R^2 was slightly higher between the WQI in dry season and the overall WQI and was $R^2=0.67$, whereas it is 0.60 for the WQI in wet season with overall WQI. Hence, the overall WQI is slightly more impacted by samplings in dry season compared to those of the wet season. The correlation coefficients of the sub-indices of the water quality parameters and WQI in wet season are found to decrease as follows: $DCO > FC > NH_4^+ > DO \geq TP > BOD_5$. Whereas in dry season, the correlation coefficients between the sub-indices of the parameters and the QWI are ranked in this fashion: $TP \geq NH_4^+ > BOD_5 > DCO > FC > DO$. Agricultural activities in the Sebou basin are highly intensive in the wet season as well as in the dry season thanks to irrigation. Based on the ABHS's data, some 224,722 T/year of nitrogen components are consumed as fertilizers and about 117,000 T/year of phosphorus components are applied in the Sebou basin. The pollutant load resulting from industrial wastewater discharges reaches 29,960 T/year with chiefly COD and BOD_5 .

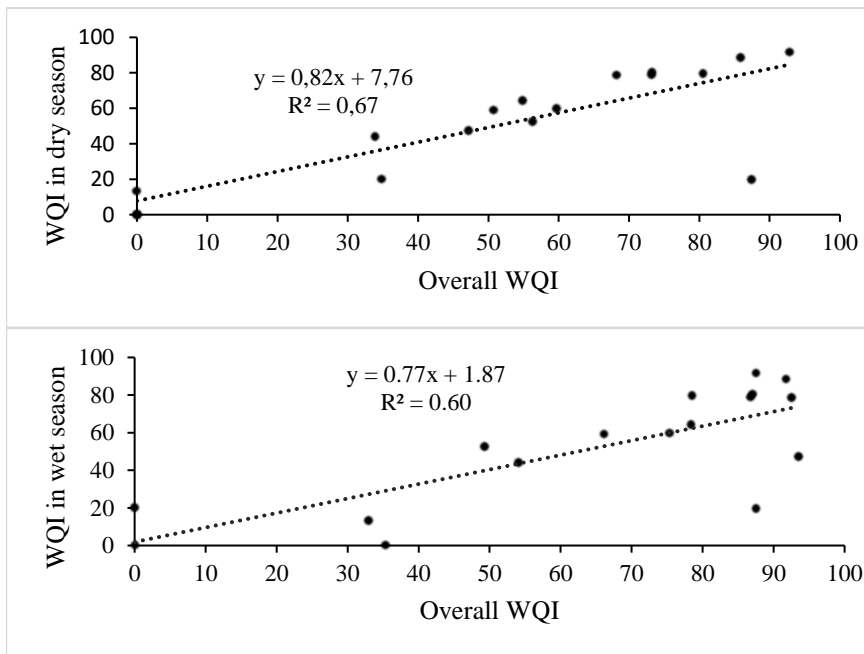


Figure 8. Linear regression between the overall WQI and the seasonal QWI variation

Conclusion

The Sebou river basin provides a high potential of surface water supply. The result of water quality assessment suggest urgent action to be taken by the authorities as 59% of the water quality monitoring stations are classified as being in an advanced stage of degradation. River water quality tends to be improved in the wet season compared to the dry season. Several sections of rivers such as Rdom on either side of the city of Meknès, Fès (north of the city of Fès) and Innaoune cannot be used for human or animal consumption without cutting-edge treatment. Unusual amounts of fecal coliforms, COD, BOD₅, TP and NH₄⁺ in rivers all year long can cause a potential health risk, if the authorities are not making appropriate management decisions as these river waters are regularly used in irrigation. Some organic pollutants or bacteria can accumulate in crops, and therefore will affect human and animal health. It is obvious that point source pollution such as discharges of domestic and industrial wastewater and non-point source pollution (intensive agriculture and others) are causing the deterioration of water quality in the rivers of the Sebou basin. We acknowledge that industrial wastewater discharges and agricultural activities are most likely to be the causes of the degradation of river water quality.

Acknowledgment

We would like to thank the staff of the Water Quality Service of the Sebou Hydraulic Basin Agency. We would also like to thank the staff of the Soil and Water Conservation Laboratory-IAV Hassan II and GISEC project as well as the Hassan II Academy of Science and Technology for their multifaceted financial support.

Conflict of Interest: The authors declare no competing interests.

References:

1. Abbasi, T. & Abbasi, SA. (2012). *Water Quality Indices*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. DOI: 10.1016/B978-0-444-54304-2.00001-4.
2. Brandt, M.J., Johnson, K.M., Elphinston, A.J., & Ratnayaka, D.D. (2016). *Chemistry, Microbiology and Biology of Water in Brandt M.J, Johnson K.M., Elphinston A.J., Ratnayaka D.D., 2016. Twort's Water Supply 7th Edition*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. pp.235–321.
3. El Ouali, L. A., Merzouki, M., El Hillali, O., Maniar, S., & Ibsouda, K.S. (2011). Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences. *Larhyss Journal*, 09 (2011), 55-72.
4. Essahale, A., Malki, M., Marin, I., & Moumni, M. (2010). Bacterial diversity in Fez tanneries and Morocco's Binlamdoune River, using 16S RNA gene based fingerprinting. *Journal of Environmental Sciences*, 22(12), 1944–1953. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60344-20](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60344-20).
5. ESRI (1992). *ARC/INFO user's guide: cell-based modelling with GRID. Analysis, display and management*, 2nd ed.
6. Hamdaoui, F., Elbourkadi, A., Sibari, M., Tabti, S., Ztit, G., Saadaoui, H., Alibrahmi, E., Elkharrim, K., Belghyti, D., & Lotfi, N. (2018). Physical and chemical monitoring of the waters pollution of the lower Sebou, Gharb, Morocco. *JOWSET*, 01 (03) 291–298.
7. Hayzoun, H., Garnier, C., Durrieu, G., Lenoble, V., Le Poupon, C., Angeletti, B., Ouammou, A., & Mounier, S. (2015). Organic carbon, and major and trace element dynamic and fate in a large river subjected to poorly-regulated urban and industrial pressures (Sebou River, Morocco). *Sci. Total Environ.*502 (2015) 296–308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.014>.
8. Kanga, I.S., Niandou, A.S., Naimi, M., Chikhaoui, M., Schimmel, K., & Luster-Teasley, S. (2019a). A Systematic Review and Meta-Analysis of Water Quality Indices. *JAST-B*. 9 (2):1-14. DOI:10.17265/2161-6264/2019.01.001.

9. Kanga, I.S., Chikhaoui, M., & Naimi, M. (2019b). Water Quality Assessment Using a New Proposed Water Quality Index: A Case Study from Morocco. *J. Environ. Agric. Biotech.* 4(4):957-792. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab.4411>.
10. Koukal, B., Dominika, J., Vignati, D., Arpagaus, P., Santiago, S., Ouddane, B., & Benaabidate, L. (2004). Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco). *Environ Pollut*, 131 (2004) 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.01.014>.
11. Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., & Machado, M.A.S., (2009). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecol. Indic*, 9 (2009), 1188–1197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.006>.
12. Li, D. & Liu, S. (2019). Detection of River Water Quality in Li D., Liu S., (2019). *Water Quality Monitoring and Management*, Elsevier. Amsterdam, Netherlands. pp 211–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00007-7>.
13. Liu, Y. & Mao, D. (2020). Integrated assessment of water quality characteristics and ecological compensation in the Xiang jiang River, south-central China. *Ecol. Indic*, 110 (2020) 105922. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105922>.
14. Liu, J., Zhang, X., Xia, J., Wu, S., She, D., & Zou, L. (2016). Characterizing and explaining spatio-temporal variation of water quality in a highly disturbed river by multi-statistical techniques. *Springer Plus* (2016) 5–1171. DOI 10.1186/s40064-016-2815-z.
15. Muzenda, F., Masocha, M., & Misi, S.N. (2019). Groundwater quality assessment using a water quality index and GIS: A case of Ushewokunze Settlement, Harare, Zimbabwe. *Phys Chem Earth*. 112 (2019) 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.02.011>.
16. Perrin, J.L., Raïs, N., Chahinian, N., Moulin, P., & Ijjaali, M. (2014). Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco). *J Hydrol*. 510 (2014) 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.002>.
17. Sa´nchez, E., Colmenarejo, M.F., Vicente, J., Rubio, A., Garcı´a, M.G., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecol. Indic*, 7(2007)315–328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>.
18. Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., & Xu, X. (2018). Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China.).

- Sci. Total Environ. 667 (2019) 142–151.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.356>.
19. Tomas, D., Ćurlin, M., & Marić, A.S. (2017). Assessing the surface water status in Pannonian ecoregion by the water quality index model. *Ecol. Indic*, 79 (2017) 182–190.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.033>.
20. Tlili-Zrelli, B., Gueddari, M., & Bouhlila, R. (2018). Spatial and Temporal Variations of Water Quality of Mateur Aquifer (Northeastern Tunisia): Suitability for Irrigation and Drinking Purposes. *Hindawi Journal of Chemistry*. (2018)15.
<https://doi.org/10.1155/2018/2408632>.
21. Ustaoglu, F., Tepe, Y., & Taş, B. (2019). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecol. Indic*, 113 (2020) 105815. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>.
22. Walker, D.B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P., & Fitzsimmons, K. (2019). *Surface Water Pollution in Brusseau M. L., Pepper I.L., Gerba C.P., 2019. Environmental and Pollution Science. 3rd Edition. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. pp261–292. doi:10.1016/b978-0-12-814719-1.00016-1.*

Maladies et plantes vasculaires du Karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) au Bénin

Valerien A. Zinsou
André A. Fanou
Gildas C. Tchemadon
Huguette A. Dossa
Judith A. P. Doumatey
Balkissou Amadou Sambo Poulou
Rosalie Houénoumadin

Laboratoire de Phytotechnie, d'Amélioration et de Protection des Plantes,
Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

Armand K. Natta

Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie Végétale, Faculté
d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p270](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p270)

Submitted: 28 October 2020
Accepted: 08 February 2021
Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Zinsou V.A., Fanou A.A., Tchemadon G.C., Dossa H.A., Doumatey J.A.P., Sambo Poulou B.A., Houénoumadin R. & Natta A.K. (2021). *Maladies et plantes vasculaires du Karité (Vitellaria paradoxa Gaertn) au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 270. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p270>

Résumé

La présente étude vise à évaluer les maladies et les plantes vasculaires du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn) dans les savanes Soudanienne (SS) et Nord guinéenne (SNG) du Bénin. Pour ce faire, quarante sites au total ont été prospectés au cours du mois de juillet 2018. Sur chaque site, l'incidence et la sévérité des symptômes de maladies, la densité et la distribution des plantes vasculaires ont été étudiées. Des échantillons de feuilles malades, des plantes vasculaires du karité ont été prélevés pour l'identification au laboratoire. *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp, *Xanthomonas* sp ont été les agents pathogènes identifiés. Les valeurs d'incidence étaient élevées dans la SS (59,6% *L. theobromae*, et de 42,2% *Xanthomonas* sp) et dans la SNG (67,5% *Pestalotiopsis* sp et de 55%

L. theobromae). Les valeurs de sévérité étaient élevées dans la SS (39% *L. theobromae* et de 30,6% *Xanthomonas* sp) et dans la SNG (54,7% *Pestalotiopsis* sp et 43% *L. theobromae*). Les données collectées sur la densité des plantes vasculaires ont montré une Orchidiaceae holo-épiphyte (*Calyptrochilum christyanum*), une Moraceae héli-épiphyte (*Ficus thonningii*), une Renonculaceae (*Alafia barteri*) et deux Loranthaceae (*Tapinanthus dodoneifolius*, *Tapinanthus globiferus*). *T. dodoneifolius* et *T. globiferus* sont plus répandus avec des taux d'infestation moyens respectifs de 68,67% et de 66,58% et des densités moyennes par plant respectives de 5,64 touffes et de 2,52 touffes. Ainsi, les efforts d'amélioration de la production de karité doivent prendre en compte les stratégies de lutte contre ces agents pathogènes et plantes vasculaires.

Mots-clés: Karité, maladies, plantes parasites, plantes épiphytes, *Vitellaria paradoxa*

Diseases and vascular plants of shea-butter tree (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) in Benin

Valerien A. Zinsou

André A. Fanou

Gildas C. Tchemadon

Huguette A. Dossa

Judith A. P. Doumatey

Balkissou Amadou Sambo Poulo

Rosalie Houénoumadin

Laboratoire de Phytotechnie, d'Amélioration et de Protection des Plantes,
Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

Armand K. Natta

Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie Végétale, Faculté
d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

Abstract

The present study aims to assess diseases and vascular plants of the shea-butter tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn) in Sudan Savanna (SS) and Northern Guinea Savanna (NGS) of Benin. Thus, forty (40) sites in total were surveyed in July 2018. On each site, incidence and severity of the disease symptoms, and density and distribution of vascular plants of the shea-butter tree were studied. Samples of diseased leaves and vascular plants of the shea-butter tree were collected for laboratory identification. The pathogens

Lasiodiplodia theobromae, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp) and *Xanthomonas* sp were identified. The incidence values were high in SS (59.6% *L. theobromae* and 42.2% *Xanthomonas* sp) and in NGS (67.5% *Pestalotiopsis* sp and 55% *L. theobromae*). The severity values were high in SS (39% *L. theobromae* and 30.6% *Xanthomonas* sp) and in NGS (54.7% *Pestalotiopsis* sp and 43% *L. theobromae*). Data collected on the density of vascular plants of the shea-butter tree showed one holo-epiphytic Orchidiaceae (*Calyptrochilum christyanum*), one Moraceae (*Ficus thonningii*), one Renonculaceae (*Alafia barteri*) and two Loranthaceae (*Tapinanthus dodoneifolius*, *Tapinanthus globiferus*). *T. dodoneifolius* and *T. globiferus* were more widespread with respectively infestation rate of 68.67% and 66.58%, and respectively average densities per shea plant of 5.64 tufts and 2.52 tufts. Thus, efforts to improve shea-butter production must take into account strategies for disease pathogens and vascular plants control in the shea-butter parklands in Benin.

Keywords: Shea-butter tree, diseases, parasitic plants, epiphytic plants, *Vitellaria paradoxa*

Introduction

Le karité (*Vitellaria paradoxa*) est un arbre de la famille des sapotacées qui pousse exclusivement en Afrique, sous le climat sahélo-soudanien ou soudano guinéen et sur les sols argileux (Ahouansou *et al.*, 2008). En Afrique, son aire de répartition s'étend sur une bande de 5.000 km de long sur 400 à 750 km de large du Sénégal oriental à l'Ouganda passant par le Burkina Faso, le Togo et le Nigéria et couvre 16 pays (Samaké *et al.*, 2011). La sous-espèce nilotica est rencontrée entre 1200-1600 m d'altitude en Afrique centrale, en Afrique du Nord et en Afrique de l'Est, en grande quantité en Ouganda et Soudan. Quant à la sous-espèce paradoxa, elle est retrouvée à des altitudes comprises entre 100 et 600 m, au Bénin, au Burkina Faso, au Cameroun, en République Centrafricaine, en Côte d'Ivoire, au Ghana, en Guinée, en Guinée Bissau, au Mali, au Niger, au Nigéria, au Sénégal, au Tchad et au Togo (Lafleur, 2008). Le karité (*Vitellaria paradoxa*) a été signalé au Bénin comme la deuxième sur la liste des 10 espèces ligneuses alimentaires prioritaires pour le Bénin (Eyog Matig *et al.*, 2002). Il représente le troisième produit d'exportation du Bénin, à fort potentiel exportable avec une qualité fortement cotée sur les marchés régionaux et internationaux. Il joue un rôle économique très important dans les zones de production en termes de génération de revenus et de création d'emplois, et contribue à 1,23% au PIB (MAEP, 2008).

Le karité est très recherché aujourd'hui pour sa noix qui a une amande riche de 45 à 50 % en matière grasse (Ahouansou *et al.*, 2008). En effet, en

saison des pluies, *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* produit des baies semblables à de petits avocats à pulpe comestible. Le beurre extrait des amandes de l'espèce, appelé beurre de karité génère non seulement des revenus importants aux ménages de la région mais aussi entre dans la préparation de la nourriture des populations (Larrue, 2005). Ce beurre, est donc utilisé dans l'alimentation humaine, la cosmétologie et la pharmacologie (Ahouansou *et al.*, 2008 ; Campbell, 2002). C'est surtout son intense utilisation alimentaire, notamment dans la chocolaterie, qui a donné un regain d'intérêt pour ce produit (Ahouansou *et al.*, 2008). En effet, l'Union Européenne a autorisé l'incorporation des huiles végétales et notamment le beurre de karité, comme substitut au beurre de cacao dans les chocolats (Kapseu *et al.*, 2001). La proportion de la substitution atteint même déjà 8% voire 15% car les huiles de substitution reviennent de 10 à 40% moins chères. Le karité est récolté par environ 4 millions de femmes dans la région Ouest Africaine et ses fruits sont d'une importante et croissante source de revenu pour les familles et communautés locales (Kpadonou *et al.*, 2012 ; Gnanglè *et al.*, 2012).

Au Bénin, le karité revêt également d'une importance socioculturelle, économique, médicinale, alimentaire, et agroforestière (Gnanglè *et al.*, 2009 ; Sodjinou, 2006 ; Codjia *et al.*, 2003). En effet, il constitue avec le néré, les espèces ligneuses les plus utilisées dans les parcs et systèmes agroforestiers traditionnels (Agbahungba et Depommier, 1989). De plus, avec une capacité de transformation de 12 000 à 35 000 tonnes de noix de karité récoltées pour l'exportation, le Bénin offre d'énormes potentialités sur le marché international (Akouehou *et al.*, 2013).

Malgré cette si grande valeur qui semble lui être accordée de nos jours, le karité est menacé de disparition non seulement en raison du vieillissement des parcs, de sa faible régénération et la lenteur de sa croissance (Samaké *et al.*, 2011), mais également à cause des systèmes de culture (Kindt *et al.*, 2008). La dégradation des conditions climatiques et des sols, la pression humaine, mais aussi les phytopathogènes sans oublier les parasites du genre *Tapinanthus*, menacent également l'espèce et constituent des obstacles majeurs à la conservation des ressources génétiques des essences spontanées. En dépit de ces nombreuses études, la pathologie de l'espèce reste un domaine encore très peu explorée (Bayala *et al.*, 2002; 2009) tout comme celui des parasites végétaux de l'espèce. Pour ce qui concerne les derniers (parasites du genre *Tapinanthus*), Boussim *et al.* (1993) ont rapporté qu'au Burkina Faso, 95 % de la population de karité des savanes serait infestée par quatre espèces de Loranthaceae, à savoir : *Agelanthus dodoneifolus* (DC.) Polhill et Wiens, *Tapinanthus bangwensis* (Engl et K. Krause) Danser, *Tapinanthus globiferus* (A. Rich) Tiegh et *Tapinanthus ophioides* (Sprague) Danser. Au Bénin, des études sur la diversité des Loranthaceae et leur impact sur *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn (Ahamidé *et al.*, 2017) ont été effectués. Néanmoins la

connaissance, des taux d'infestations et la densité parasitaire de chaque espèce de Lorantheaceae et épiphytes, des maladies inféodés du Karité est nécessaire et peut contribuer à anticiper sur les moyens de lutte. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude sur les maladies et plantes vasculaires du Karité au Bénin.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Milieu d'étude

Les études ont été réalisées sur quarante (40) sites de production de karité distants de 5km au moins, à raison de vingt-quatre (24) dans la savane Nord-guinéenne et seize (16) dans la savane Soudanienne au cours du mois de Juillet 2018 (Figure 1). La savane Soudanienne (SS) s'étend entre une latitude de 10.5 à 12° et jouit d'une saison pluvieuse couvrant une période de Mai à Septembre avec une pluviométrie de 900 - 1000 mm et une température de 28 à 45°C. Un sol ferrugineux tropical plus ou moins sablonneux caractérise cette savane. La savane Nord guinéenne est localisée entre une latitude 8.5 à 10.5° et est marquée par une saison pluvieuse allant d'Avril à Septembre avec une pluviométrie comprise entre 1000 - 1100 mm et une température variant de 28 à 40°C. Le sol est de type ferralitique rouge, avec des vertisols et des sols hydromorphes par endroit plus ou moins sableux ou argileux, (Azontondé, 1991).

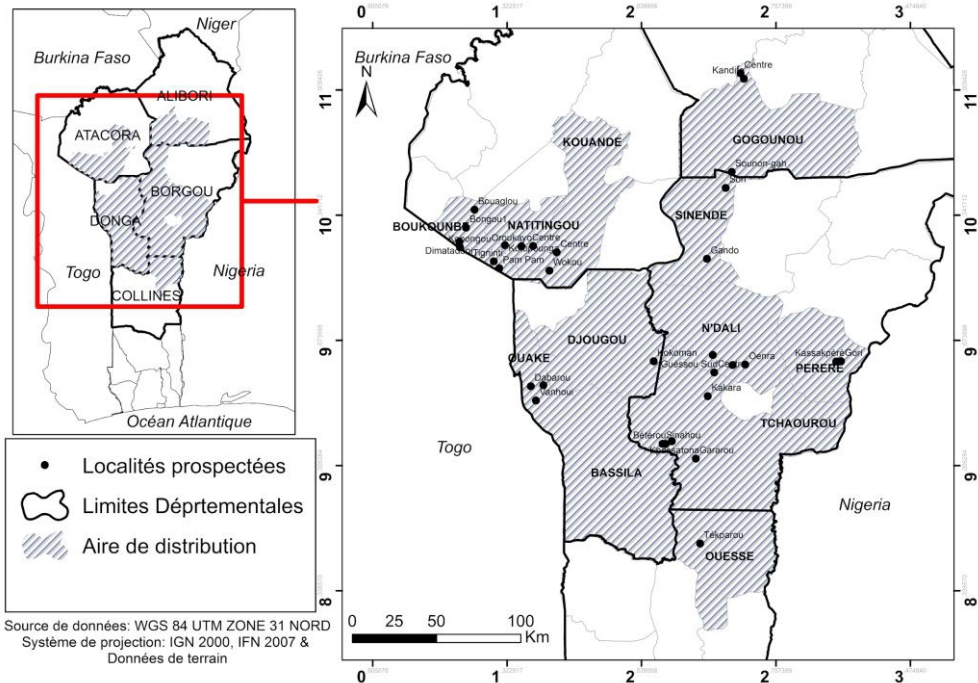


Figure 1 : Carte présentant les sites prospectés dans les savanes Nord guinéenne et Soudanienne du Bénin

1.2. Prospection

La méthode de recensement de surface a été utilisée par la mise au point des placeaux d'un hectare. Au total, 40 placeaux d'un hectare ont été délimités. Dans chaque placeau, un échantillon de 10 pieds de *V. paradoxa* a été choisi et évalué suivant la méthode des diagonales. L'incidence et la sévérité ont été évaluées pour chaque maladie. La sévérité de ces maladies a été évaluée sur les pieds à l'aide de l'échelle visuelle de 0 à 5 proposée par Sijaona *et al.* (2001) avec : 0 = pas de symptôme ; 1 = < 1% ; 2 = 1-10%, 3 = 11-25% ; 4 = 26-50% ; 5 = >50%) de lésions par feuille infectée. De même, l'incidence des pieds parasités et la densité parasitaire des pieds de karité ont été évaluées par champ. Les espèces des plantes parasites et épiphytes ont été recensées par comptage du nombre de touffes pour chaque espèce de plantes parasites rencontrée sur chaque pied de karité, par placette et en fonction du diamètre à hauteur d'Homme (dbh), à 1,3 m du sol. Des échantillons de feuilles ont été prélevés sur la base des types de symptômes visibles de maladies et conservés dans des papiers journaux mis sous presse et transportés au Laboratoire de Phytotechnie, d'Amélioration et de Protection des Plantes (LaPAPP) de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou pour l'identification des agents pathogènes.

1.3. Identification des agents pathogènes, plantes parasites et épiphytes

Pour l'identification des champignons, les échantillons ont été prélevés de la partie incluant les tissus malades et sains, découpés puis stérilisés en surface avec une solution de 0,35% d'hypochlorite de sodium pendant une minute, rincés trois fois à l'eau stérile. Une petite portion de cette échantillon a été déposée dans une boîte de Pétri contenant un milieu de culture Pomme de terre Dextrose Agar (39g/l) préalablement stérilisé et additionné de 5 ml de solution d'acide citrique, avec trois répétitions pour chaque type d'isolat. Les boîtes ont été ensuite incubées à 25°C pendant 72h. Les cultures pures des champignons ont été réalisées par transfert de fragments mycéliens des isolats obtenus dans une boîte de Pétri, sur milieu de culture PDA avec deux répétitions pour chaque isolat. Les boîtes ont été ensuite incubées à 25°C pendant 7 jours. Après fructification, l'identification de l'agent causal de la maladie a été réalisée sous microscope optique ZEISS, grâce à une clé sur la base des caractéristiques microscopiques (nature du mycélium, morphologie et formation du conidiophore, arrangement des conidies sur les conidiophores, forme et taille des conidies, type et nombre de conidies, etc.) (Watanabe, 1994).

Pour l'identification des bactéries, des portions d'échantillons de feuille stérilisés en surface ont été rincés à l'eau stérile puis broyés dans 1ml de 0,01M solution de sulfate de magnésium préalablement stérilisé à

l'autoclave. Le filtrat de chaque homogénat a été ensuite dilué six fois à 1/10 puis 100 µl de la dernière dilution a été étalé dans deux boîtes de Pétri contenant de l'agar nutritif stérilisé à l'autoclave (23g/l) additionné de solution de cycloheximide (500 ppm). Les boîtes ont été ensuite incubées à 30°C pendant 48 à 72 h. Les colonies isolées de *Xanthomonas* sp. ont été ensuite purifiées puis suspendues dans la solution de sulfate de magnésium pour obtenir une suspension aqueuse de cellules (OD₆₆₀ = 0,2 équivalent 10⁸ CFU/ml). Les suspensions ont été infiltrées à des feuilles de plants de karité, sous serre à l'aide d'une pompe, 4 semaines après semis dans des pots contenant un substrat (sol) stérilisé à 65°C pendant 72 heures, puis mélangé à du compost au rapport de ¾ (sol) et ¼ (compost). Les symptômes obtenus ont été comparés à ceux du champ.

L'identification des espèces de plantes parasites et épiphytes a été effectuée au Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie Végétale (LEB) de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou, à base des échantillons de rameaux recueillis sur le terrain et au moyen de la Flore Analytique du Bénin (Akoègninou *et al.*, 2006) et arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest (Arbonnier, 2002).

1.4. Traitement et analyse des données

La richesse spécifique en plantes parasites et épiphytes a été déterminée par pied de *V. paradoxa*. Pour tenir compte du fait que le nombre de touffe variait par parasite identifié, l'indice de diversité de Shannon-Weaver H (Hill, 1973) a été calculé en utilisant la formule suivante : $H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i / \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$; avec S = la richesse spécifique, P_i la proportion du nombre d'individu de l'espèce i. L'incidence des champs parasités a été calculée. L'évaluation de la densité parasitaire par pied de karité a permis de classer la vulnérabilité des plants suivant les cinq niveaux d'infestation proposés par Houéhanou *et al.* (2011) : N1: très faible infestation (1–5 touffes sur un pied), N2: faible infestation (6–10 touffes sur un pied), N3: infestation moyenne (11–15 touffes sur un pied), N4: infestation forte (16–20 touffes sur un pied), N5: infestation très forte (plus de 20 touffes sur un pied). L'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée grâce au logiciel R version 3.1.2 sur les valeurs d'incidence et densité parasitaire par pied des champs parasités, incidence et sévérité des maladies afin de comparer les moyennes au seuil de 5%. Le test de Tukey a été complété afin de séparer les moyennes lorsqu'il y avait une différence significative ($p \leq 0,05$). Pour tester l'effet du diamètre à hauteur d'Homme (dbh) de l'arbre et de l'altitude sur le parasitisme et les maladies du karité, les régressions linéaires généralisées à effets mixtes ont été utilisées (Bolker *et al.*, 2009) avec le package glm TMB (Brooks *et al.*, 2017) dans R version 3.5.0 (R Core Team 2018). La régression logistique

inaire a été utilisée pour tester la présence ou non des plantes vasculaires et des maladies sur les arbres du karité.

2. Résultats

2.1 Identification des maladies inféodées au *V. paradoxa*

Quatre agents pathogènes ont été recensés comme responsables des pathologies notées sur le *V. paradoxa* dans les savanes Nord-guinéenne et Soudanienne du Bénin. Il s'agit des champignons (*Lasiodiplodia theobromae*, *Pestalotiopsis* sp et *Colletotrichum gloeosporioides*) et de la bactérie *Xanthomonas* sp (figures 2, 3, 4, 5).



Figure 2 : (a) symptômes sur feuilles (b) *L. theobromae* sur PDA et (c) conidies au microscope (1000X)

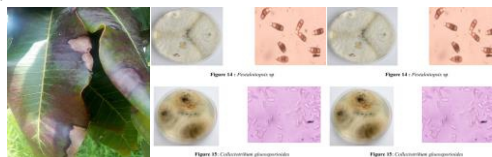


Figure 3 : (a) taches foliaires nécrotiques, (b) *Pestalotiopsis* sp sur PDA et (c) conidies au microscope (400X)



Figure 4 : (a) nécroses sur feuilles (b) *C. gloeosporioides* sur PDA et (c) conidies au microscope (400X)



Figure 5 : Taches anguleuses nécrotiques sur feuilles par *Xanthomonas* sp.

2.2 Distribution des maladies du karité

Une différence significative a été observée entre les deux zones phytogéographiques tant pour l'incidence de *Xanthomonas* sp. ($p < 2e^{-16}$), *Pestalotiopsis* sp. ($p < 2e^{-16}$) et *C. gloeosporioides* ($P = 0,034$), que pour la sévérité de *Xanthomonas* sp. ($p < 2e^{-16}$), *Pestalotiopsis* sp. ($p < 2e^{-16}$) et *C. gloeosporioides* ($p = 0,049$) (Tableau 1). Par contre aucune différence significative n'a été notée entre les deux zones phytogéographiques pour l'incidence et la sévérité de *L. theobromae*. Les fortes valeurs d'incidence (67,54%) ont été enregistrées avec *Pestalotiopsis* sp. dans la savane Nord guinéenne (SNG) suivies de celles de *L. theobromae* respectivement de 59,69% et 55,07% dans la savane Soudanienne (SS) et la SNG, et de *Xanthomonas* sp. 42,27% dans la SS. Les plus fortes valeurs de sévérité ($54,70 \pm 1,58$) ont été observées avec *Pestalotiopsis* sp. dans la SNG suivies de celles de *L. theobromae* (43,04%) dans la SNG, et de *Xanthomonas* sp. (30,68%) dans la SS. *C. gloeosporioides* n'a été retrouvé sur le karité que dans la savane

Soudanienne à des valeurs d'incidence et de sévérité respectives de 0,65% et de 0,26%.

Tableau 1: Incidence et sévérité des maladies inféodées au karité dans deux zones phytogéographiques

Paramètre		Savane Soudanienne	Savane Nord Guinéenne
<i>L. theobromae</i>	Incidence (%)	59,69 ± 2,29a	55,07 ± 1,9a
	p		0,121
	Sévérité (%)	39,00 ± 1,62a	43,04 ± 1,59b
	p		0,086
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	Incidence (%)	39,43 ± 2,28a	67,54 ± 1,78b
	p		<2e-16
	Sévérité (%)	28,80 ± 1,79a	54,70 ± 1,58b
	p		<2e-16
<i>Xanthomonas</i> sp.	Incidence (%)	42,27 ± 2,31a	2,61 ± 0,61b
	p		<2e-16
	Sévérité (%)	30,68 ± 1,78a	1,91 ± 0,46b
	p		<2e-16
<i>C. gloesporioides</i>	Incidence (%)	0,65 ± 0,38a	0 ± 0b
	p		0,034
	Sévérité (%)	0,26 ± 0,16a	0 ± 0b
	p		0,0049

p = probabilité; les moyennes suivies des mêmes lettres sur chaque ligne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour le test de Turkey

2.3. Effet du diamètre des pieds de karité et de l'altitude sur l'incidence et la sévérité des maladies du karité

Le Dbh a un effet significatif et positif, tant sur l'incidence (p = 0,043; E = 0,151) que sur la sévérité (p = 0,0268; E = 0,1251) de *Xanthomonas* sp. (Tableau 2). Le Dbh a eu un effet négatif, hautement significatif (p = 0,0085; E = - 0,2487) et significatif (p = 0,0318; E = - 0,1769) sur l'incidence et la sévérité de *Pestalotiopsis* sp. Il apparait donc que *Xanthomonas* sp. infecte et sévit plus sur les gros arbres contrairement à *Pestalotiopsis* sp. qui infecte et sévit plus sur les petits arbres.

L'altitude a un effet positif, significatif (p = 0,0396; E = 0,0376) et hautement significatif (p = 0,0016; E = 0,0454), respectivement sur l'incidence et la sévérité de *L. theobromae*. L'altitude a un effet négatif, très hautement significatif sur l'incidence (p < 2e⁻¹⁶; E = - 0,1648) et la sévérité (p < 2e⁻¹⁶; E = - 0,1253) de *Xanthomonas* sp. Au niveau de *Pestalotiopsis* sp., l'altitude a un effet positif, très hautement significatif, tant sur l'incidence (p

$< 2e^{-16}$; $E = 0,2207$) que sur la sévérité ($p < 2e^{-16}$; $E = 0,1578$). Il ressort que *L. theobromae*, *Xanthomonas* sp. et *Pestalotiopsis* sp. infectent et sévissent plus sur les plants de karité de hautes altitudes que ceux de basses altitudes.

Tableau 2: Diamètre des pieds de karité et de l'altitude en fonction de l'incidence et la sévérité des maladies du karité

		Dbh - Incidence	Dbh - Sévérité	Altitude - Incidence	Altitude - Sévérité
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	E	0,112	0,074	0,038	0,045
	t	1,098	0,921	2,060	3,158
	p	0,273	0,357	0,040	0,002
<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	E	0,001	0,001	$4,04.10^{-4}$	$1,97.10^{-4}$
	t	0,069	0,330	0,214	0,242
	p	0,945	0,742	0,831	0,809
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	E	-0,249	-0,177	0,221	0,158
	t	-2,634	-2,149	13,029	10,685
	p	0,009	0,032	$< 2e^{-16}$	$< 2e^{-16}$
<i>Xanthomonas</i> sp.	E	0,151	0,125	-0,165	-0,125
	t	2,026	2,218	-12,323	-12,373
	p	0,043	0,027	$< 2e^{-16}$	$< 2e^{-16}$

Dbh = diamètre à hauteur d'Homme; E = Estimate ; t = t value ;
 p = probabilité; les moyennes suivies des mêmes lettres sur chaque ligne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour le test de Turkey

2.4. Diversité des plantes parasites et épiphytes du karité

Cinq (05) espèces de plantes parasites et épiphytes ont été répertoriées (figure 6). Il s'agit de deux Loranthaceae (*Tapinanthus dodoneifolius*, *Tapinanthus globiferus*), d'une Orchidiaceae holo-épiphyte (*Calypstrochilum christyanum*), d'une Moraceae héli-épiphyte (*Ficus thonningii*), et d'une Renonculaceae (*Alafia barteri*). *T. dodoneifolius*, *T. globiferus* et *C. christyanum* ont été relevés dans les deux savanes alors que *Ficus thonningii* et *Alafia barteri* ont été recensés dans la savane Soudanienne. La richesse spécifique (RS) a varié de 1 à 5 dans la savane Soudanienne et de 1 à 3 dans celle Nord guinéenne. Il existe une différence très hautement significative ($P < 2e^{-16}$) de l'indice de Shannon (H) entre les deux zones phytogéographiques étudiés. La diversité a été plus élevée dans la savane Soudanienne ($0,56 \pm 0,02$) que dans celle Nord guinéenne ($0,35 \pm 0,02$).



Figure 6: (a) *T. dodoneifolius*, (b) *T. globiferus*, (c) *C. christyanum*, (d) *Ficus thonningii*, (e) *Alafia barteri*

2.5. Incidence, densité parasitaire par pied et niveau d'infestation des parasites et épiphytes

Il existe une différence très hautement significative entre les deux zones phytogéographiques, en ce qui concerne l'incidence de *Tapinanthus dodoneifolius* ($P = 4,45e^{-12}$) et *Tapinanthus globiferus* ($P = 2,03 e^{-15}$), contrairement aux autres espèces (Tableau 3). En effet, les plus fortes valeurs d'incidences ont été observées dans la savane Soudanienne (80,17% et 79,96%) respectivement pour *T. dodoneifolius* et *T. globiferus* contre (61,01% et 57,68%) dans la savane Nord guinéenne. De même, une différence très hautement significative entre les deux zones a été notée par rapport à la densité parasitaire de *T. dodoneifolius* ($P < 2e^{-16}$) et *T. globiferus* ($P < 2e^{-16}$), contrairement aux autres espèces. En effet, les plus fortes valeurs de densité parasitaire ont été observées dans la savane Soudanienne (7,88 touffes et 3,75 touffes) respectivement pour *T. dodoneifolius* et *T. globiferus* contre 4,16 touffes et 1,71 touffes respectivement dans la savane Nord guinéenne.

Tableau 3: Variation de l'incidence et de la densité parasitaire moyenne par pied de karité

Paramètre		Savane Soudanienne	Savane Nord Guinéenne
<i>Tapinanthus dodoneifolius</i>	Incidence (%)	80,17 ± 1,86a	61,01 ± 1,86b
	p		4,45e ⁻¹²
	Densité parasitaire (touffes)	7,88 ± 0,40a	4,16 ± 0,22b
	p		<2e ⁻¹⁶
<i>Tapinanthus globiferus</i>	Incidence (%)	79,96 ± 1,87a	57,68 ± 1,88b
	p		2,03e ⁻¹⁵
	Densité parasitaire (touffes)	3,75 ± 0,19a	1,71 ± 0,09b
	p		<2e ⁻¹⁶
<i>Calyptrochilum christyanum</i>	Incidence (%)	0,22 ± 0,21a	0 ± 0a
	p		0,22
	Densité parasitaire (touffes)	0,002 ± 0,002a	0 ± 0a
	p		0,22
<i>Ficus thonningii</i>	Incidence (%)	0,22 ± 0,22a	2,90 ± 1,39a
	p		0,117
	Densité parasitaire (touffes)	0,01 ± 0,006a	0,02 ± 0,009a
	p		0,122
<i>Alafia barteri</i>	Incidence (%)	0,22 ± 0,22a	0 ± 0a
	p		0,22
	Densité parasitaire (touffes)	0,004 ± 0,004a	0 ± 0a
	p		0,22

p = probabilité; les moyennes suivies des mêmes lettres sur chaque ligne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour le test de Turkey

Les figures (7a et 7b) présentent les incidences par niveau d'infestation par zone phytogéographique pour chacune des espèces. Il ressort que l'incidence du faible niveau d'infestation (N1) est plus élevée dans la savane Nord guinéenne que dans la savane Soudanienne pour les *Tapinanthus*. En ce qui concerne l'incidence des autres niveaux d'infestation (N2 à N5), on note une proportion plus élevée dans la savane Soudanienne que dans celle Nord guinéenne pour les *Tapinanthus*.

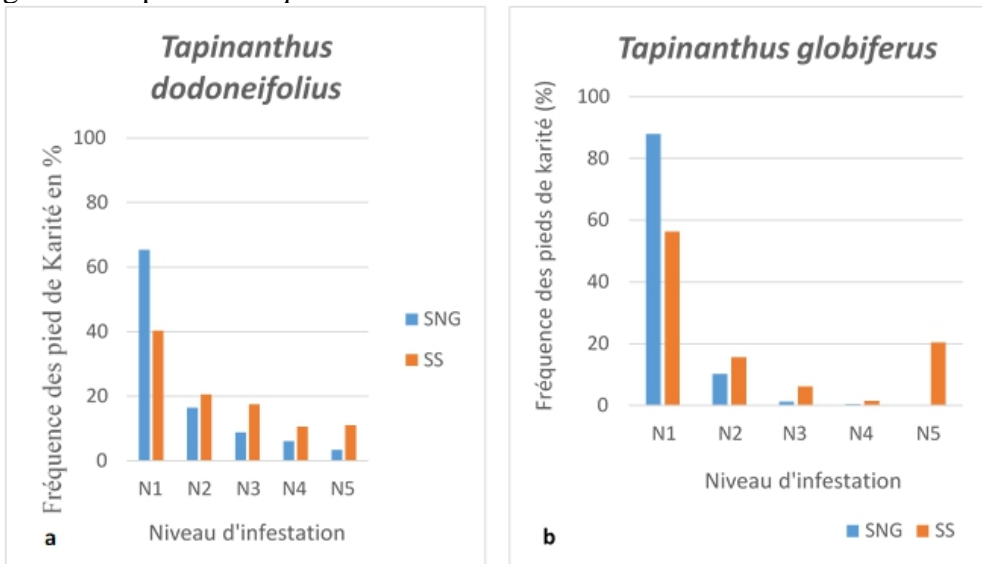


Figure 7 : Variation des pieds de karité en fonction du niveau d'infestation par zone phytogéographique de (a) *T. dodoneifolius* (b) *T. globiferus*

2.6. Effet du diamètre des pieds de karité et de l'altitude sur l'incidence et la densité parasitaire

Le Dbh a un effet très hautement significatif et positif, respectivement sur l'incidence et la densité parasitaire de *T. dodoneifolius* ($p < 2e^{-16}$; $E = 0,979$ et $p < 2e^{-16}$; $E = 0,224$) et de *T. globiferus* ($p = 3,56e^{-15}$; $E = 0,752$ et $p = 1,9.10^{-6}$; $E = -0,033$) (Tableau 4). Un effet hautement significatif et positif a été noté sur l'incidence ($p = 0,005$; $E = 0,017$) et la densité parasitaire ($p = 0,005$; $E = 0,0002$) de *C. christyanum*. Il ressort donc que les gros arbres de karité sont plus infestés et peuplés par *T. dodoneifolius*, *T. globiferus* et *C. christyanum*, que les plus petits.

Quant à l'altitude, il a un effet très hautement significatif et négatif, respectivement sur l'incidence ($p = 1,74e^{-12}$; $E = -0,112$) et la densité parasitaire ($p = 8,96.10^{-9}$; $E = -0,013$) de *T. dodoneifolius*. Sur la densité parasitaire de *T. globiferus*, il a été aussi relevé, un effet significatif et négatif de l'altitude ($p = 0,0145$; $E = -0,003$). Ainsi, les plants de karité de hautes

altitudes, sont moins infestés par *T. dodoneifolius* et moins peuplés par les deux *Tapinanthus*.

Tableau 4: Diamètre des pieds de karité et de l'altitude en fonction de l'incidence et de la densité parasitaire des plantes

		Dbh - Incidence	Dbh – Densité parasitaire	Altitude - Incidence	Altitude – Densité parasitaire
<i>Tapinanthus dodoneifolius</i>	E	0,979	0,224	-0,112	-0,013
	t	11,154	17,319	-7,132	-5,792
	p	$< 2e^{-16}$	$< 2e^{-16}$	$1,74e^{-12}$	$8,96.10^{-9}$
<i>Tapinanthus globiferus</i>	E	0,752	0,033	-0,026	-0,003
	t	7,979	4,789	-1,536	-2,447
	p	$3,56e^{-15}$	$1,9.10^{-6}$	0,125	0,015
<i>Calyptrorchilum christyanum</i>	E	0,017	2.10^{-4}	-0,001	$-1,34.10^{-5}$
	t	2,795	2,795	-1,233	-1,233
	p	0,005	0,005	0,218	0,218
<i>Ficus thonningii</i>	E	0,034	$6,7.10^{-6}$	-0,012	$-2,15.10^{-5}$
	t	0,588	0,015	-1,127	-0,277
	p	0,557	0,988	0,260	0,782
<i>Alafia barteri</i>	E	0,008	$1,66.10^{-4}$	4.10^{-4}	$7,95.10^{-6}$
	t	1,370	1,370	0,365	0,365
	p	0,171	0,171	0,715	0,715

Dbh = diamètre à hauteur d'Homme; E = Estimate; t = t value;
 p = probabilité; les moyennes suivies des mêmes lettres sur chaque ligne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour le test de Turkey

3. Discussion

Pestalotiopsis sp., *Colletotrichum gloesporioides*, *Lasiodiplodia theobromae* et *Xanthomonas* sp. ont été recensés comme responsables des pathologies notées sur le *V. paradoxa* dans les savanes Nord-guinéenne et Soudanienne du Bénin. Ces résultats corroborent ceux de Sakalidis *et al.* (2011), qui ont relevé *Pestalotiopsis* sp., *Colletotrichum gloesporioides* et *Lasiodiplodia theobromae* comme les trois principaux agents pathogènes du karité. De plus, Esiegbuya *et al.* (2014) ont aussi remarqué *Pestalotiopsis* sp. et *Lasiodiplodia* sp. sur des pieds de karité au Nigeria. Il convient également de noter que diverses études sur les fruitiers tels que le manguier (Dianda *et al.*, 2018 ; Tédihou *et al.*, 2017 ; Rehman *et al.*, 2015), les citrus (Tédihou *et al.*, 2017), le karité, et même le *Daniellia oliveri* (Akrofi et Amoah, 2009) ont signalé *Lasiodiplodia theobromae*, *Pestalotiopsis* sp. et *Xanthomonas* sp. comme des menaces pour la production.

Les valeurs d'incidence de *Lasiodiplodia theobromae* révélées par cette étude dans la savane Soudanienne (59,69%) et celle Nord-guinéenne (55,07%) sont inférieures à celles signalées par Tédihou *et al.* (2017) sur le manguier et les citrus de la région centrale du Togo, où ce champignon est le

plus fréquent et présent dans 83,33% des tissus étudiés. Cependant, ces valeurs sont légèrement supérieures à celles retrouvées par Rehman *et al.* (2015) sur les racines et tiges du manguier au Pakistan (43,11 et 51%) ou par Dianda *et al.* (2018), sur le manguier au Burkina Faso (35,5%).

La bactériose du karité causée par *Xanthomonas* sp. est à la base des taches translucides sur les feuilles du *V. paradoxa*. Ces mêmes symptômes ont été également enregistrés sur le manguier au Bénin par Zinsou *et al.* (2017) ; au Ghana par Pruvost *et al.* (2011) et signalé par Delhove *et al.* (2013).

L'étude a inventorié cinq espèces de plantes vasculaires sur le karité dans les savanes Soudanienne et Nord guinéenne du Bénin. Parmi elles, deux espèces prédominent. Il s'agit de *Tapinanthus dodoneifolius* et *Tapinanthus globiferus*. Ces deux espèces de la famille des Loranthaceae, ont été également signalées au Burkina Faso (Boussim *et al.*, 1993), au Mali (Boussim, 2002), en Côte d'Ivoire (Amon *et al.*, 2010), au Cameroun (Azo'o *et al.*, 2013), au Nigéria (Odebiyi *et al.*, 2004) et au Bénin (Akoègninou *et al.*, 2006; Houénon *et al.*, 2012 ; Ahamidé *et al.* 2017). Selon Akoègninou *et al.* (2006), au Benin, la diversité floristique en Loranthaceae est de sept espèces dans la même zone. Cependant notre étude n'a relevé que deux espèces de Loranthaceae. Cette différence peut s'expliquer par la méthode d'échantillonnage et les conditions climatiques. En effet, selon Ahamidé *et al.* (2017), les conditions climatiques influencent la répartition des Loranthaceae. Jiofack *et al.* (2007) ont signalé que les Loranthaceae se caractérisent par leur expansion importante d'une localité à l'autre en fonction de la variabilité des conditions écologiques. Il faut noter qu'il existe une forte affinité entre le *Tapinanthus dodoneifolius* et *Tapinanthus globiferus* comme l'ont déjà signalé, Ahamidé *et al.* (2017) sur le karité au Bénin et Boussim *et al.* (1993) au Burkina Faso. Ceci n'est pas le cas au niveau des agrumes et du colatier. En effet, les agrumes présentent une plus forte affinité avec *T. globiferus* (Houénon, 2012) tandis que le colatier (*Cola nitida*) a plutôt une forte affinité avec *Phragmanthera capitata* et *Globimetula cupulata* (Ahamidé *et al.*, 2015).

Le taux moyen d'infestation des Loranthaceae dans la savane Soudanienne est de 80,07%. Ce taux correspond à celui mentionné dans les parcs agroforestiers environnant le parc national de la Pendjari au Nord du Bénin par Houéhanou *et al.* (2011). Mais, il est inférieur à ceux de 95 % obtenu par Boussim *et al.* (1993) au Burkina-Faso ; 96 % enregistré par Soro (2005) au Nord de la Côte d'Ivoire et 87% obtenu par Ahamidé *et al.* (2017) dans le Nord Bénin. Par contre, il est supérieur à ceux de 60 et 53% rapportés respectivement par Houénon (2012) et Ahamidé *et al.* (2015) dans les plantations d'agrumes et celles de *Cola nitida* au Sud du Bénin. Ce taux est également supérieur à celui de 52,63% enregistré sur le safourtier (*Dacryodes edulis*) par Massako *et al.* (2013) au Cameroun. Ces différences de prévalence des Loranthaceae entre ces études, pourraient être liées d'une part à la densité

des oiseaux (*Pogoniulus chrysonocus*) disséminateurs de grains de *Tapinanthus*, mais aussi à la densité de *Colomba guinea*, régulatrice du parasitisme des *Tapinanthus* suivant les zones étudiées. D'autre part, ces prévalences seraient influencées par la perception qu'ont les populations locales sur ces espèces de plantes parasites.

Les résultats ont montré que le Dbh et l'altitude ont un effet significatif sur l'incidence des pieds de karité par les Loranthaceae. Ces résultats corroborent ceux de Houéhanou *et al.* (2011) et de Dibong *et al.* (2008), qui ont révélé respectivement des effets significatifs entre le Dbh et le taux d'infestation puis entre l'altitude et le taux d'infestation. En effet, d'après Médah (2001), le regroupement des individus par classe de diamètre révèle que l'âge des sujets serait une fonction importante du parasitisme. Plus le sujet acquiert de l'âge, plus il devient sensible aux plantes parasites. Cela nous fait penser à une éventuelle diminution de la résistance physiologique des espèces au cours de leur vieillesse. De plus, comme dans cette étude, Ahamidé *et al.* (2015 ; 2017), ont montré que la densité parasitaire augmente avec le Dbh. Ainsi, pour ces auteurs, ce résultat se justifierait par le fait que les arbres les plus gros, donc vieux constituent les refuges pour les oiseaux dans leur quête de sécurité. Or, ces oiseaux sont des agents de transport et de dissémination des graines de plantes parasites. Egalement, le séjour des graines dans le tractus digestif de ces oiseaux facilite la levée de leur dormance.

Conclusion

Cette étude a montré que *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp, *Xanthomonas* sp sont les agents pathogènes des maladies identifiés affectant le karité. *T. dodoneifolius* et *T. globiferus* sont les plantes parasites plus répandus sur le karité avec des incidences moyennes respectives de 68,67% et de 66,58% et des densités moyennes par pied respectives de 5,64 touffes et de 2,52 touffes. D'autres plantes épiphytes comme *Calyptrochilum christyanum*, *Ficus thonningii*, *Alafia barteri* sont observées. Une meilleure stratégie de lutte contre ces agents pathogènes et plantes vasculaires passe par une bonne maîtrise des pratiques culturales de gestion au sein des champs de karité.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Association Karité Bénin pour la mise à disposition d'informations sur le karité, Mr Kocou justo pour la conception de la carte et le Dr Houéhanou Thierry pour sa contribution scientifique à ce travail.

References:

1. Agbahungba, G., & Depommier, D. (1989). Aspects du parc à karité - néré (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.f. *Parkia biglobosa*) du Borgou (Bénin). *Bois et Forêts des Tropiques*, 222: 41-54.
2. Ahamidé, D. Y. I., Tossou, M. G., Adomou, A. C., Houénon, G. J., Yédomonhan, H., & Akoègninou, A. (2015). Diversité, impacts et usages des Loranthaceae parasites de *Cola nitida* (Vent.) Schott. & Endl. Au Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (6): 2859-2870.
3. Ahamidé, I. D. Y., Tossou, M. G., Yédomonhan, H., Adomou, A. C., Houénon, J., & Akoègninou, A. (2017). Diversité des Loranthaceae et leur impact sur *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.: un fruitier à grande valeur socio-économique au Nord-Bénin. *European Scientific Journal* 13 (24):217-230.
4. Ahouansou, R. H., Sanya, E. A., Bagan, G. C., & Foudjet, A. E. (2008). Etude de quelques caractéristiques physiques des noix et amandes de karité produites au Bénin. *Science et technique, Sciences appliquées et Technologies*, 2 (1-2):1-38.
5. Akouehou, G. S., Assogba, D. O., Houndonougbo, A., & Sinsin, A. B. (2013). Diversité floristique, sécurisation foncière et gestion des systèmes agroforestiers à palmier à huile (*Elaeis guineensis*) en zones périurbaines et rurales du Département de l'Atlantique au Sud du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(3):1180-1189.
6. Akoègninou, A., van der Burg, W. J., & van der Maesen, L. J. G. (2006). *Flore Analytique du Bénin*. Brackhuys Publishers:Wageningen, 1034p.
7. Akrofi, A.Y., & Amoah, F. M. (2009). *Pestalotia* spp. Causes leaf spot of *Vitellaria paradoxa* in Ghana. Cocoa Research Institute of Ghana, P.O. Box 8, Akim Tafo, Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (4): 330-333.
8. Amon, A. D. E., Soro, D., N'guessan, K., & Traoré, D. (2010). Les Loranthaceae: plantes vasculaires parasites des arbres et arbustes, au Sud-est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 25: 1565 - 1572.
9. Arbonier, M. (2000). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest*. CIRAD, MNHN, UICN 2002.
10. Azontonde, A. H. (1991). Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. Soil Water Balance in the Sudano Sahelian Zone. Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991. IAHS Publ. no. 199.
11. Azo'o, J. R. N., Tchatat, M., Mony, R., & Dibong S. D. (2013). Parasitisme et ethnobotanique des Loranthaceae à Lokomo (Est-Cameroun). *Journal of Animal & Plant Sciences* 19 (2): 2923-2932.

- Bayala, J., Ouédraogo, S. J., Ong, C. K. (2009). Early growth performance and water use of planted West African provenances of *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn (karité) in Gansé, Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 75:7-127.
12. Bayala, J., Teklehaimanot, Z., & Ouedraogo, S. J. (2002). Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 54:203-214.
 13. Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S.W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., & White, J.-S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24 : 127-135.
 14. Boussim, I. J. (2002). Les phanérogames parasites du Burkina Faso : inventaire, taxonomie, écologie et quelques aspects de leur biologie. Cas particulier des Loranthaceae parasites du karité. Thèse de doctorat d'état, Université de Ouagadougou, 285 p.
 15. Boussim, I. J., Guinko, S., & Salle, G. (1993). *Tapinanthus* parasite du karité au Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques* 238: 45–65.
 16. Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2) : 378–400.
 17. Campbell, C. (2002). Saskatoon Company could revolutionize chocolate industry, *The Canadian Connection*. IDRC 9 p.
 18. Codjia, T. J., Assogbadjo, E. A., & Ekué, M. R. M. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaires du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 12(5): 321-331.
 19. Delhove, G., Rey, J-Y., Vannièrè, H., Pruvost, O. (2013). Bactériose du manguier 1 : bactériose du manguier provoquée par *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae*. Bruxelles : Comité de Liaison Europe Afrique Caraïbes pacifique (COLEACP), 14p.
 20. Dianda, Z. O., Wonni, P., Zombré, G., Traoré, O., Sérémé, D., Ouédraogo, I., Ouédraogo, S.L., & Sankara, P. (2018). Prévalence du dessèchement du manguier et évaluation des fréquences des champignons associés à la maladie au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 126: 12686-12699.
 21. Dibong, D. S., Din, N., Priso, R. J., Taffouo, V. D., Fankem, H., Amougou, A. (2008). Parasitism of host trees by the Loranthaceae in the region of Douala (Cameroon). *African Journal of Environmental Science and Technology* 11: 371-378.
 22. Esiegbuya, D. O., Osagie, J. I., Okungbowa, F. I., Ekhorutomwen, E. O. (2014). Fungi Associated with the Postharvest Fungi Deterioration

- of Shea Nuts and Kernels. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4 (5): 373 -379.
23. Eyog Matig, O., Gaoué, O. G., Dossou, B. (2002). *Réseau « Espèces Ligneuses Alimentaires »*. Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11-13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso. Institut International des Ressources Phytogénétiques. 241p. ISBN 92-9043-552-6.
24. Gnanglè, P. C, Egah, J., Baco, M. N., Gbèmavo, C. D. S. J., Kakaï, G. R., & Sokpon, N. (2012). Perceptions locales du changement climatique et mesures d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6 (1): 136-149.
25. Gnanglè, C. P. Yabi, A. J., Glèlè Kakaï, J. L. R., & Sokpon, N. (2009). *Changements climatiques : Perceptions et stratégies d'adaptations des paysans face à la gestion des parcs à karité au Centre Bénin*. www.sifee.org/Actes/actes_niamey/1_GNANGLE_comm.pdf; 1-18.
26. Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54: 427-432.
27. Houéhanou, T. D., Kindomihou, & V., Sinsin, B. (2011). Effectiveness of Conservation areas in protecting Shea trees against Hemiparasitic plants (Loranthaceae) in Benin, West Africa. *Pl. Ecol. Evol.*, 144 (3): 267-274.
28. Houénon, G. J. (2012). Les Loranthaceae des Zones Guinéenne et Soudano-Guinéenne au Bénin et leur Impact sur les plantations Agrumicoles. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, 133 p.
29. Jiofack, T., Dondjang, J. P., & Nkongmeneck, B. A. (2007). Les Loranthaceae du groupement Bafou: identification, distribution, biologie et contrôle. [www.tela-botanica.org/Les Loranthaceae du groupement bafou/doc](http://www.tela-botanica.org/Les_Loranthaceae_du_groupement_bafou/doc).
30. Kapseu, C., Dirand, M., Jiokap, N.Y., Parmentier, M. & Dellacherie, J., (2001). Absorption de l'eau : Influence de condition de traitement des amandes de karité et de la pulpe de l'aiélé. Communication présentée à la 9e conférence du comité camerounais de Biosciences. Limbé.
31. Kindt, R., Kalinganire, A., Larwanou, M., Belem, M., Dakouo, J. M., Bayala, J. & Kaire, M. (2008). Species accumulation within land use and tree diameter categories in Burkina Faso, Mali, Niger and Senegal. *Biodiversity and Conservation*, 17: 1883-1905
32. Kpadonou, R. A. B., Adégbola, P. Y., & Tovignan, S. D. (2012). Local knowledge and adaptation to climate change in Ouémé valley, Benin. *African Crop Science Journal*, 20 (2): 181-192.

33. Lafleur, M. (2008). *Recherche et documentation des meilleurs pratiques pour la gestion durable des parcs à Karité en Afrique de l'Ouest*. Québec, Canada. 110 p.
34. Larrue, S. (2005). Contribution au débat sur l'absence relative de karité au Sénégal oriental : fondements naturels, raisons sociales ? », *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 229 [En ligne], mis en ligne le 13 février 2008. URL : <http://com.revues.org/index477.html>. Consulté le 11 août 2010.
35. Massako, F., Tchatat, M., Mony, R., Ladoh, Y. C. F., & Dibong, S. D. (2013). Parasitisme de *Dacryodes edulis* par le genre *Tapinanthus* (Loranthaceae) et répartition de la Myrmécofaune associée à Logbessou Plateau (Douala, Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 68: 5336- 5348.
36. Médah, N. (2001). Contribution à la lutte contre les plantes parasites des ligneux à la Station de Recherches Environnementales et Agricoles de Saria. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option: Eaux et Forêts. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Burkina-Faso. 89p.
37. Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche (MAEP). (2008). Atelier d'élaboration des stratégies des chaînes de valeur du karité au Bénin. Centre Guy Riobé de Parakou.
38. Odebiyi, J. A., Bada, S. O., Omoloye, A. A., Awodoyin, R. O., & Oni, P. I. (2004). Vertebrate and insect pests and hemi-parasitic plants of *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* in Nigeria. *Agroforestry Systems* 60 : 51-59.
39. Pruvost, O., Boyer, O., Vital, K., Verniere, C. & Gagnevin, L. de Bruno Austin L. & Ray, J. Y. (2011). First report in Ghana of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing mango bacterial canker on *Mangifera indica*. *American Phytopathological Society*, 95 (6): 774.
40. R Core Team (2018). *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
41. Rehman, A., Din Umar, U., Naqvi, S. A. H., Latif, M. R., Khan, S. A., Malik, M. T. & Freed, S. (2015). Emerging resistance against different fungicides in *Lasiodiplodia theobromae* as the cause of mango dieback in Pakistan. *Arch. Biology Sciences*. 67 (1): 241-249.
42. Sakalidis, M. L., Hardy, G. E., & Burgess, T. I. (2011). Pathogenic *Botryosphaeriaceae* associated with *Mangifera indica* in the Kimberley region Of Western Australia. In: *European Journal Plant Pathology* 130: 379-391.

43. Samaké, O., Dakouo, J. M., Kalinganire, A., Bayala, J., & Koné, B. (2011). Techniques de déparasitage et gestion du karité. ICRAF Technical Manual No. 15. Nairobi: World Agroforestry Centre.
44. Sijaona, M. E. R., Clewer, A., Maddison, A., & Mansfield, J. W. (2001). Comparative analysis of powdery mildew development on leaves, seedlings and flower panicles of different genotypes of cashew. *Plant Pathology* 50 (2): 234-243.
45. Sodjinou, E. (2006). Institutions locales traditionnelles et modernes de gestion des ressources naturelles, des situations conflictuelles et divers conflits autour de ces ressources au Bénin. PAPA-INRABIFS, Bénin, 1-128.
46. Soro, K. (2005). Les Loranthaceae des légumineuses arborées introduites dans la zone forestière d'Oumé : espèces rencontrées, spectres d'hôtes et taux d'infestation. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 51 p.
47. Tédihou, E., Kpémoua, K., & Tounou, A. (2017). Dépérissement des manguiers et citrus dans la région centrale du Togo et méthodes de lutte par des fongicides. *Journal of Applied Biosciences* 119: 11829-11838.
48. Watanabe, T. (1994). *Pictorial of Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of cultured fungi and key to species*. CRC Press, Inc. Lewis Publishers. 411p.
49. Zinsou, V. A., Ferdinan, A., Tchémadon, C. G., Afouda, L. A. C., & Gagnon, F. (2017). Inventaire des principales maladies du manguiers dans les savanes soudanienne et nord guinéenne du Bénin. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.* 7 (1): 25-31.



A Trainee's Approach for Effective Operating Room Learning

Dr. Hassan Tahir

Dr. Madiha Haroon

Dr. Usman Ali Mobin

Surgical Trainee at Department of General Surgery,
Liaquat National Hospital, Karachi

Dr. Faisal Siddiqi

Associate Professor, Department of General Surgery,
Liaquat National Hospital, Karachi

Dr. Mirza Arshad Beg

Assistant Professor, Department of General Surgery,
Liaquat National Hospital, Karachi

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p290](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p290)

Submitted: 20 November 2020

Accepted: 12 February 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Tahir H., Haroon M., Mobin U.A., Siddiqi F. & Beg M.A. (2021). *A Trainee's Approach for Effective Operating Room Learning*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 290.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p290>

Abstract

Introduction: Surgical training has gone through a paradigm shift in recent years. The trends have shifted from an apprenticeship model to a new era of self-teaching and an attitude-driven learning. In this study, we aim to comprehensively investigate the knowledge and attitude pertaining to the perception of preparation required for the operating room and how the residents prepare themselves for it. **Method:** A quantitative study was conducted via predefined questionnaire. Surgical residents at a single tertiary care institution were asked to complete the survey via Google forms that was distributed by means of email to residents of the general surgery department. Inclusion and exclusion criteria were defined. **Results:** Forty surgical residents opted to participate in the survey. The majority of the residents had a similar perception of operating room preparation. The most prominent theme that emerged following the discussion was that the residents learned through trial and error, and advice solicited from co-residents, which in the majority

of the cases, were senior level resident. The resources defined by the residents were similar among majority and factors that affected their preparation were variable. An important aspect highlighted through the discussion was that the level of postgraduate training affected the preparation done by residents in order to better perform in operation theatres. **Conclusion:** Knowledge and attitude regarding operating room preparation was quite similar among the surgical residents. They varied in their practice for preparation.

Keywords: Operating room preparation, knowledge attitude and practice, training, medical students

Introduction

During recent two decades, surgical training has undergone a paradigm shift. Previously, surgical training was done in a traditional manner by one of the faculty teaching clinical and practical skills to the surgical residents (Goldwag & Jung, 2020). This has shifted to a training model fashioned on the pillars of basic knowledge, the ongoing researches, and patients' specific concerns (Evans & Schenarts, 2016). During recent time's increased patient flow and the number of surgeries being performed, the learning imparted to the residents has narrowed down to dynamic coaching in the operation room. This has raised concerns that the trainees are not prepared to practice and perform procedures independently. According to The American College of Surgeons Committee on Residency Training Survey, around 57% of the Program Directors were worried about the patient quality care by their residents moving towards autonomous practice (Damewood et al., 2017). Thirty percent of surgical trainees were also worried about their preparedness to practice autonomously after completion of their training (Yeo et al., 2019). Improvements in educational resources and continuous introduction of new and innovative technologies have brought up a new shift in surgical training (Glass et al., 2015). A number of studies have been conducted on incorporation of technology in medical education that may aid in filling the gaps in training. A pilot study conducted at the University of Virginia showed that the incorporation of the use of iPad may increase the efficiency of residents in clinical and administrative matters along with the provision of good opportunities for their educational needs (Lobo et al., 2013). Another new innovation is the use of simulations that has been introduced into medical education and training of residents. For provision of such facilities, training institutes are designing and building skill labs consisting of hands on skills stations, virtual reality trainers, and computer-based programs (Pugh et al., 2017). Such simulation-based training has brought an improvement in surgical skills with a great success (Seymour et al., 2002; Scott et al., 2008; Holcomb et al., 2002; Sturm et al., 2008). Another development is the availability of a

web-based SCORE (Surgical Council on Resident Education) curriculum which has been designed by the six US-based association, the purpose of which is to enhance the resident education and to assess their skills (Bell, 2007).

While these developments are encouraging on one hand, these demand an extra hour out of the operating room and clinical hours to practice and master these skills on the other hand (Goldwag & Jung, 2020; Glass et al., 2015).

The aim of the study is to look into ways by which residents prepare for operating room, assess the knowledge of residents pertaining to the procedures, and utilize resources to build themselves and to know what challenges they face.

During the course of clinical training, preparation for operating room has been of paramount importance but no clear methodology has been designed or defined for resident to follow. The main objective of this study is to delineate a scientific approach that can be simulated for residents to match.

Materials and Methods

Prior to the collection of data, the study was approved by ethical review committee.

The survey form was designed using the themes mentioned by Goldwag and Jung in the study which was accepted in the *American Journal of Surgery* in December 2019. The themes mentioned were (1) All participants similarly defined preparation, (2) Residents learned through trial and error and co-residents, (3) Factors impacting preparation were time, attending, autonomy, case complexity, and difficulty finding resources, (4) Resource use varied, (5) PGY level impacted preparation and, (6) Optimal resources were high yield.

The survey forms were sent to the surgical residents working at the Department of General Surgery via Google forms. All forms were distributed via emails to the residents. A total of 58 residents were sent the forms, out of which 40 responses were recorded. The residents were given a period of 30 days to complete the form, from 1st July 2020 to 31st July 2020. After the stipulated period of time, no responses were accepted. All residents who responded to the questionnaire, and were actively undergoing surgical training, were included in the study. Those who failed to respond were excluded. The survey form consisted of 26 questions regarding the preparation for operating room excluding the demographic data of the residents. These questions were concluded into 9 topics keeping in view the themes and sub themes used by Goldwag and Jung (2020).

Residents who participated in the study were divided into junior and senior level residents. Junior level constituted of Post graduate year 1 and Post graduate year 2, whereas senior level residents were Post graduate year 3 to

Post graduate year 5. There were 8 Post graduate year 1, 12 Post graduate year, 7 Post graduate year 3, 9 Post graduate year 4, and 4 Post graduate year 5. The responses were entered into Microsoft excel and were analyzed with the help of a researcher.

Results

Nine themes emerged to include: 1) Operating room (OR) preparation definition, 2) Preparation list for the operating room, 3) Factors affecting operating room preparation, 4) Specific resource use, 5) Differences in progressive preparation, 6) Preparation/study of the operating room list, 7) Guide to preparation, 8) Teaching colleagues aids in preparation and, 9) Optimal resource. These themes were sub divided into 26 questions (Appendix 1).

1 Regarding Definition of Operating Room Preparation

The majority of the residents were well-disposed in regard to the definition of operating room preparation. Thus, they were in agreement that the patient history, patho-physiology of the disease, surgical anatomy & indications to operate, procedural steps, and knowing the complications are important topics to be covered while preparing for an OR case.

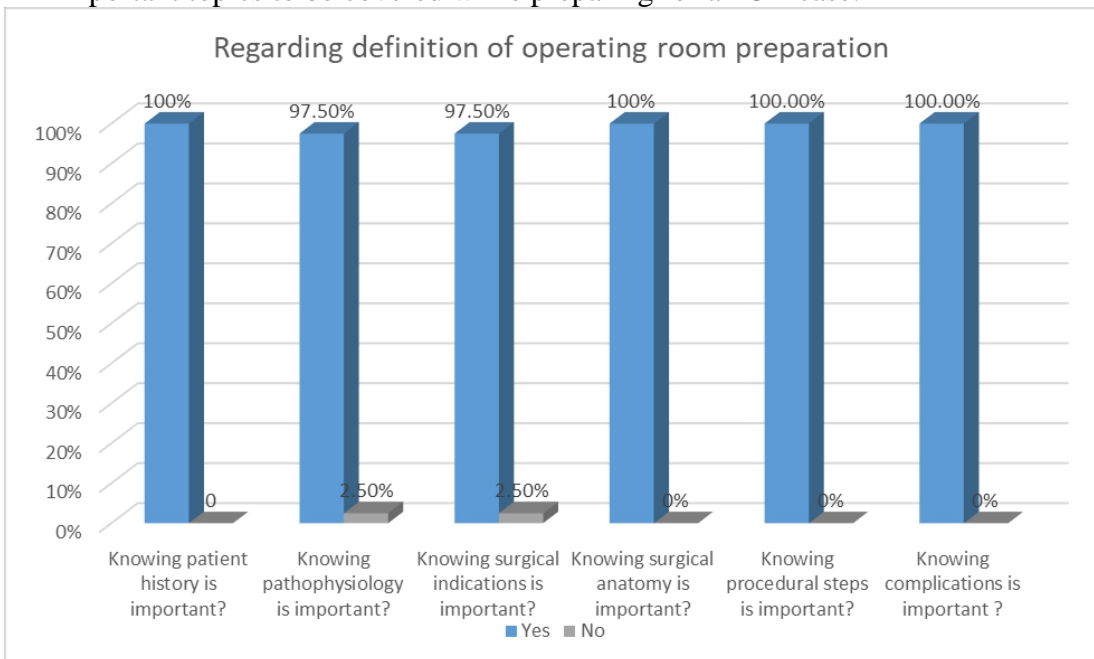


Figure 1. Regarding definition of operating room preparation

2 How do you prepare for the Operating Room List?

When residents were asked about how they prepare for an OR list, they had differing views with a portion of the residents mentioning that they learned this during the undergraduate level when they were medical students. This is with 85% having the view that their preparation had improved over time as they have progressed in their residency. An assessment of improvement was evaluated by a better understanding of the procedural steps by the residents, and the residents performed more procedures when better informed.

Another theme that emerged was that a majority of the residents stated that their preparation has improved through trial & error with foremost advice of a co-resident.

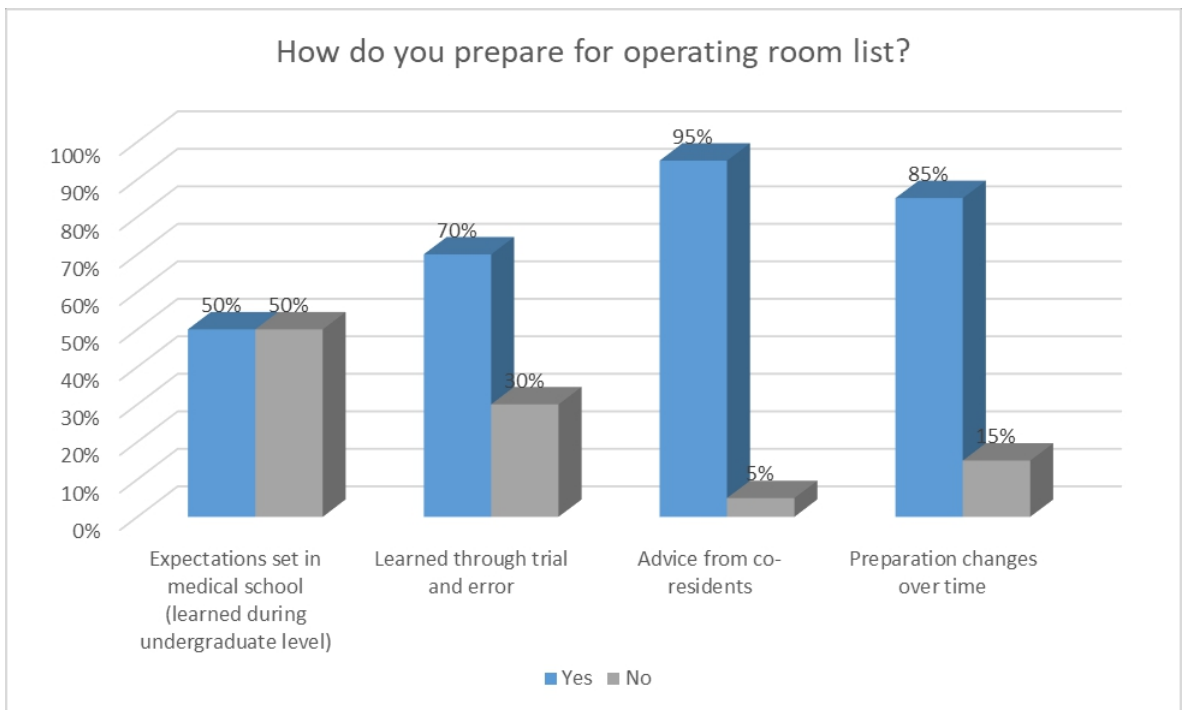


Figure 2. How do you prepare for the operating room list?

3 Factors Affecting Operating Room Preparation

In the current era of surgical training, not all training is limited to the confines of an OR, but part of the training is outside the OR. Therefore, the availability of time is a major factor affecting their preparation. Along with it, case complexity and expected autonomy in the case were prime factors observed to be affecting the preparedness for OR list/case.

Another aspect observed was as to whom was operating the case, whether it was the attending, senior registrar or senior resident leading the

case. This was found to influence the preparation with no differences among particular PGY levels.

However, a factor which was found to be predominantly visible among females or married surgical trainees was the challenge of maintaining a balance between the profession and their personal lives. Easy availability and utilization of resources remained a matter of dispute between the trainees.

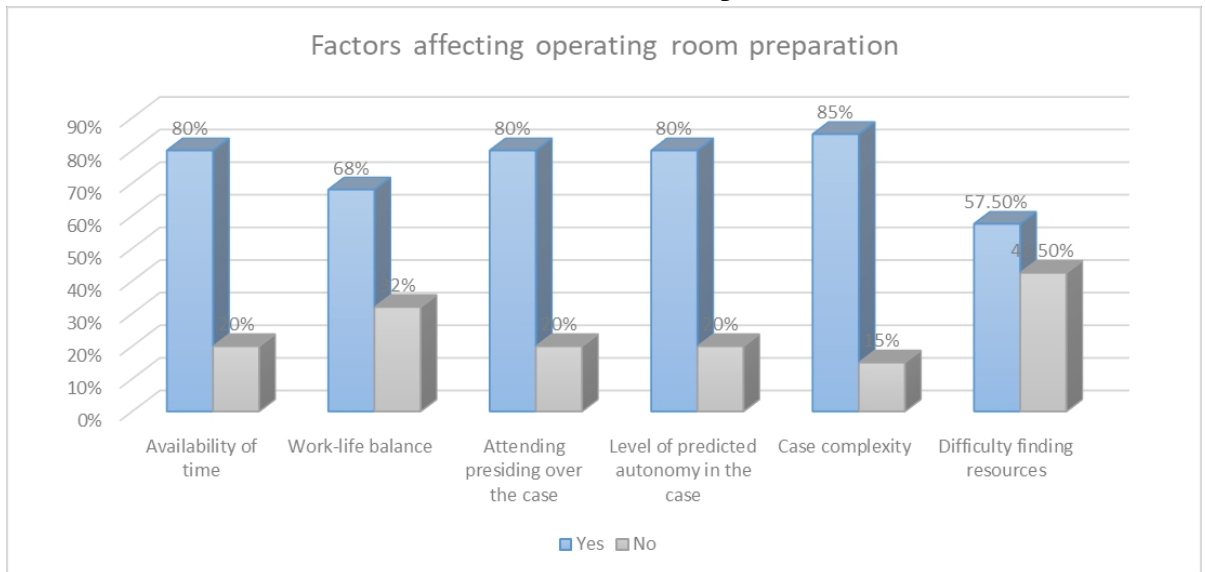


Figure 3. Factors Affecting Operating Room Preparation

4 Resource Specific Use

A number of resources are utilized by the trainees for preparation purposes. Keeping in mind the recent advances that have been incorporated into the surgical training, for example hands-on skills stations and virtual reality training suites that have been developed in the teaching hospitals, trainees were found to be aware of the availability of such resources. Eighty percent of the trainees noted that simulations were only helpful to learn a particular skill or practice, but these did not help them with any particular procedure. The majority of residents (87.5%) were of the view that they use a particular resource to learn a skill or go through procedural details, like an atlas or a book, which may be helpful to learn a procedural detail but not acquire the skill. A group of trainees (66.7%) was keen to attend the teaching sessions as they were more comfortable learning through this mode.

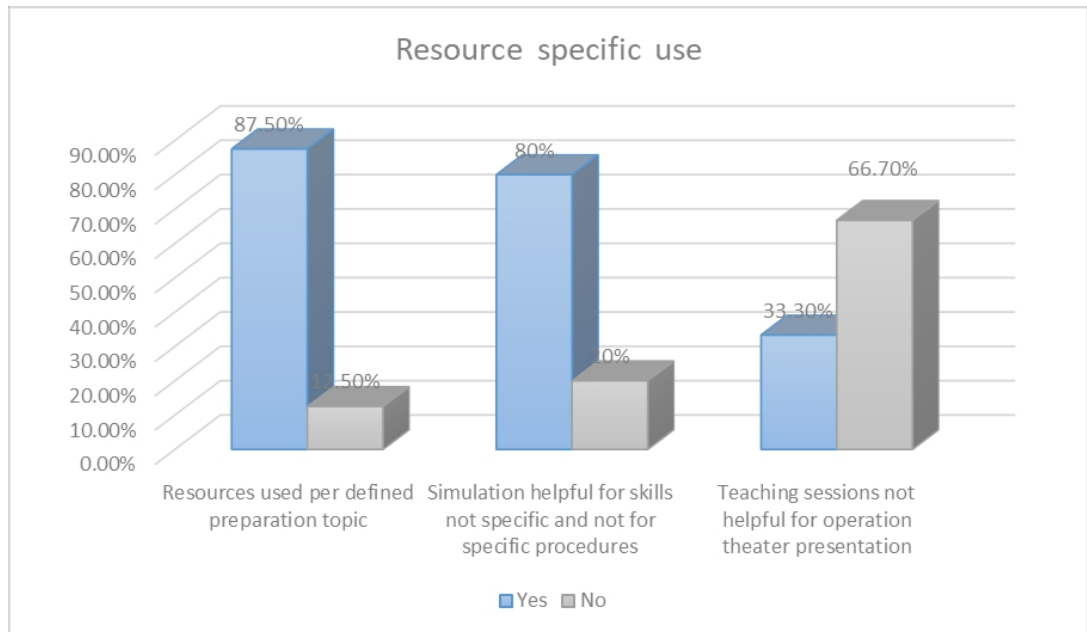


Figure 4. Resource specific use

5 Difference in Preparation throughout Progression

Trainees were asked if their preparation had changed throughout progression. Ninety percent of trainees were comfortable mentioning that the choice of resources and of alternate learning methods had changed over time as they progressed in their residency. Experience gained with time has also improved their approach towards preparing for cases.

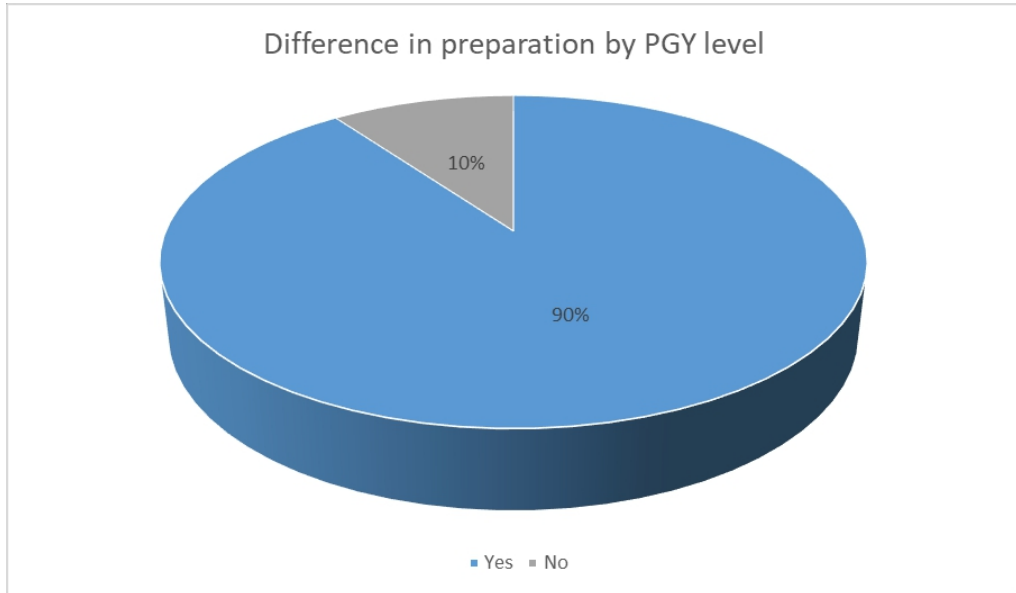


Figure 5. Difference in preparation by PGY level

6 How do you Prepare/Study for Operating Room List?

A number of resources are available. However, out of available options, three genres of resources were preferred by the residents and were included in our survey. Of these, junior residents were found to be more comfortable utilizing video content for preparation. On the other hand, senior residents were utilizing review books and current literature to a notable extent.

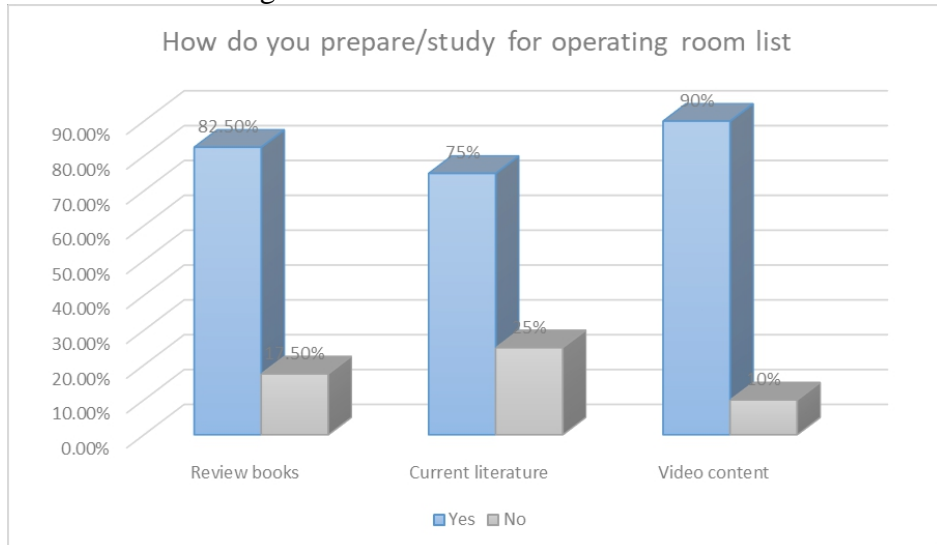


Figure 6. How do you prepare/study for operating room list

7 Guide to Preparation

A trainee without a guide is more likely to end up a disaster while performing a procedure. They always take advantage of advice or help from a person scrubbed in with them. Fifty five percent of the residents were comfortable asking for guidance by a senior level resident with the majority belonging to junior Postgraduate level. Around forty percent were content going through the specifics with the attending during or prior to the procedure.

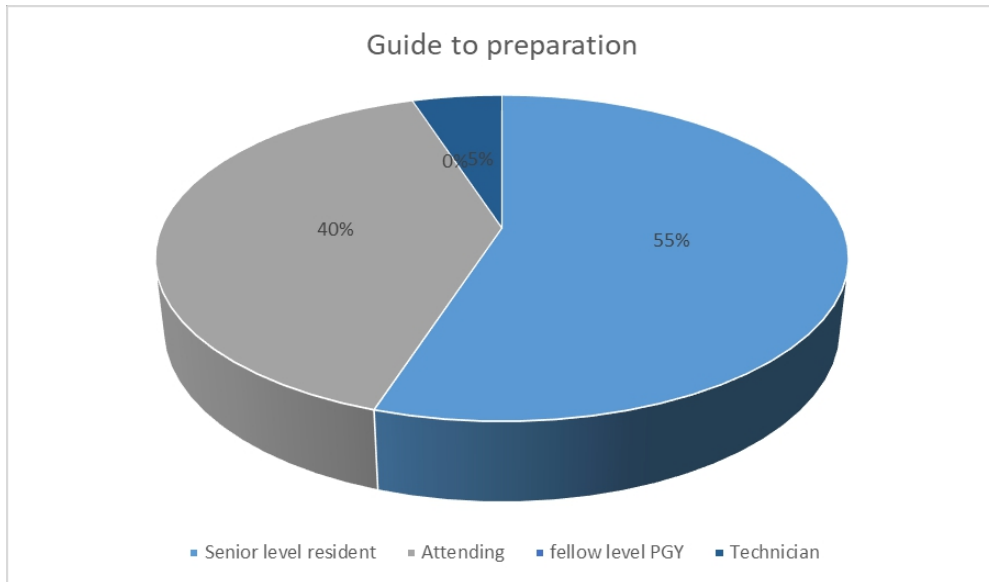


Figure 7. Guide to preparation

8 Teaching Colleagues Aids in Preparation

Teaching is a skill that is beneficial for both the teacher and the recipient. Whether it is a matter of learning a skill or going through the details of a specific disease, 87.5% of trainees were of the view that teaching undergraduate level students of junior colleagues aided in the preparation of the operation room list during the training time period.

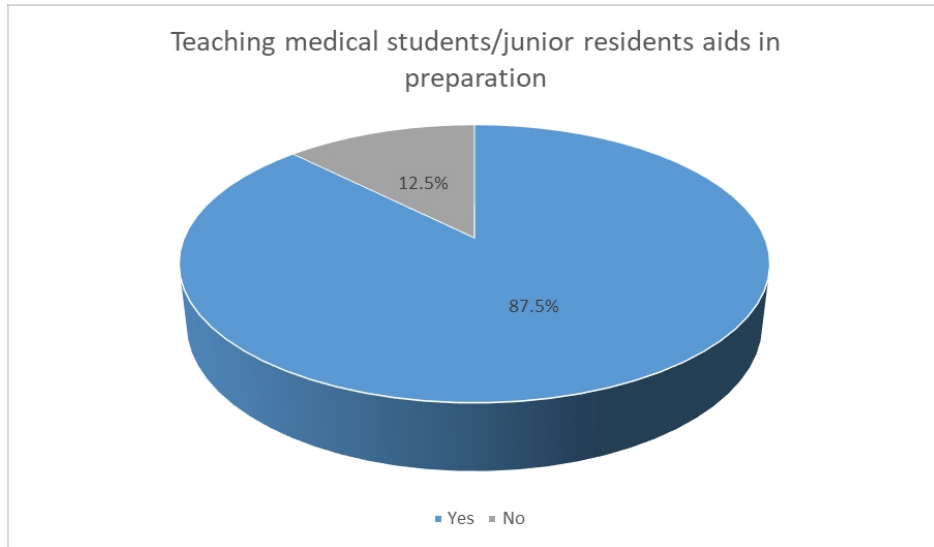


Figure 8. Teaching medical students/junior residents aids in preparation

9 Optimal Resource in your Opinion

Whatever resource was employed by the trainees for preparation, whether video content, review of books or current literature, it was defined by the residents that it should be clear, comprehensive, and concise. Easy availability and being inexpensive were other factors opted by the residents.

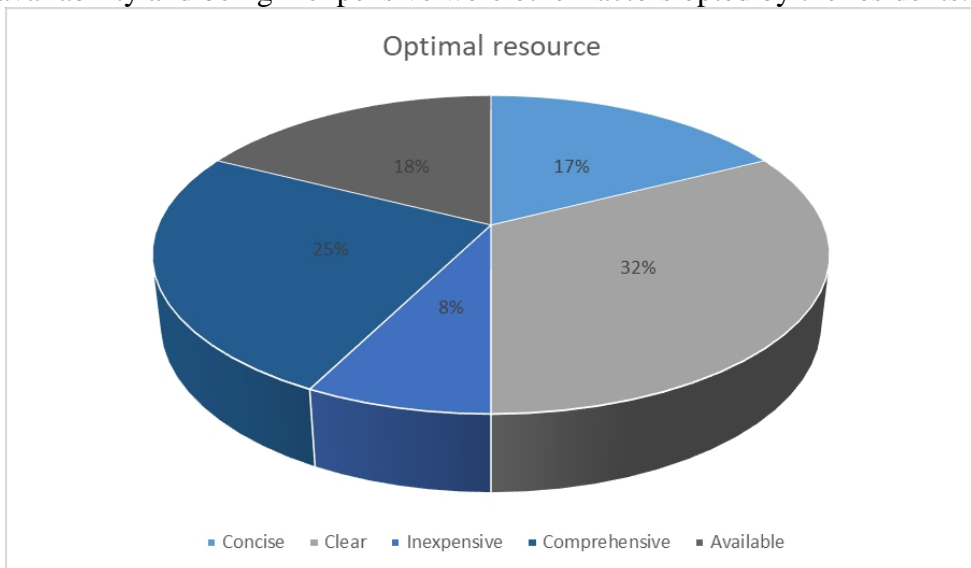


Figure 9. Optimal resource

Discussion

Surgical trainee's knowledge, attitudes, and practice towards operating room preparation were alike in some aspects, while they may vary in others.

We found that the majority of trainees had a consensus about what they should know for the operating room case/list. Their preparedness was found to be affected by a number of variables including, largely, the availability of adequate quality time. Utilization of this quality time to prepare for the operation room is in itself affected by a number of factors, such as maintaining a decent balance between professional life & family, availability of appropriate supervision while practicing skills such as virtual reality & hands on skills, and in some cases a healthy discussion regarding the OR case/list with the attending. A large proportion of trainees pointed out that case complexity and predicted autonomy in the case also affected their preparation, for which they utilized variable resources as per availability and fastidiousness (Meyerson et al., 2017; Pernar et al., 2011). Many of them utilized video content and reviewed books, while senior trainees preferred current literature (Mundschenk et al., 2018). According to Archibald et al. (2014), incorporation of technology such as an iPad can help in teaching and learning, although need for further and more extensive studies was found to be deficient. The literature review showed that video demonstrations and lectures are excellent tools in learning skills and are trusted by both medical professionals and students (Lee et al., 2017; Jowett et al., 2007; Dinscore & Andres, 2010; Clay, 2011; Xeroulis et al., 2007; Lenchus et al., 2011; Hansen et al., 2011). Knowing about the particular practices and similitude of a particular attending for a particular case affected preparation. Some felt this helped them gain the confidence of the trainer which resulted in acquiring more hands on work. This factor is one of many found through our survey and literature review and it plays a significant role in the allocation of desired autonomy to a surgical trainee.

Simulation-based learning is now the part of routine surgical training. While it may be helpful in developing skills, it may not enhance procedural competence completely. Similarly, teaching sessions are helpful for procedural details but cannot help in developing skills or replacing the virtual reality-based development of surgical skills. In short, both should go hand in hand. Simulation-based learning has an important role but these are inadequate without a procedure specific knowledge (Aggarwal et al., 2007; Kneebone et al., 2004).

Through our survey among the surgical trainees and as per the literature, it is clear that their preparation changes over time as they progressed in their surgical training, and learning through trial & error with advice from a senior resident, is of utmost importance in the training period and after training from a colleague (Mundschenk et al., 2018). Trainees learn skills and procedures step by step with a portion of it learned in year one of training, while progressing to complete knowledge of it until the final year of training. Therefore, this points towards the implementation of a standard curriculum for

all, such as SCORE curriculum, to be followed during the training in all training institutes (Bell, 2007). Currently guidance for training a trainee is either from attending under whom he/she is working with or a senior level resident.

Although a number of resources are utilized for learning, common characteristics for the optimal resource is that they should be clear, concise, easily available, and comprehensive (Goldwag & Jung, 2020). This can either be a review book, lecture notes, simulation videos, actual procedural videos or online research-based literature. All resources with above mentioned characteristics work best when incorporated together, completing the jigsaw puzzle with all pieces put together in the designated sequence.

This study was done on a small number of participants working at a single institution which are limitations to be mentioned. Keeping in mind that a very few number of studies have been done on this topic, this study will add to literature for future larger scale studies or a meta-analysis. Another limitation was that the researcher did not meet the trainees personally and so the probability that there might be some misunderstanding in answering the questions may provide a bias. However, to mitigate this effect, the questionnaire was designed in a simple language which is easily understandable. All questions were close ended to yield authentic and precise results.

Since this study is done in a poor resource country with a weak educational system, there might be possibility of differences among other countries in terms of availability and utilization of resources. We hope that further large scale studies will be conducted in the future to know more about the factors that affect trainee preparedness and what are their needs to excel during the training time period.

Conclusion

Through our study, we demonstrated that the level of knowledge among trainees was nearly comparable, but their attitude towards preparation was variable and was found to be multi-factorial. They used a variety of resources for practicing and mastering the skills. Results yielded a wide array of materials being utilized for operating room preparation with differences noted as the trainees progressed in their training, but without any guidance except for a crucial role played by a senior colleague. They face a serious challenge due to shortage of time and unavailability of resources. This brings to attention that there must be a pre-defined curriculum for surgical training to guide both the attending and the trainee.

References:

1. Aggarwal, R., Grantcharov, T. P., & Darzi, A. (2007). Framework for systematic training and assessment of technical skills. *Journal of the American College of Surgeons*, 204(4), 697-705.
2. Archibald, D., Macdonald, C. J., Plante, J., Hogue, R. J., & Fiallos, J. (2014). Residents' and preceptors' perceptions of the use of the iPad for clinical teaching in a family medicine residency program. *BMC medical education*, 14(1), 174.
3. Bell, R. H. (2007). Surgical council on resident education: a new organization devoted to graduate surgical education. *Journal of the American College of Surgeons*, 204(3), 341-346.
4. Clay, C. A. (2011). Exploring the use of mobile technologies for the acquisition of clinical skills. *Nurse education today*, 31(6), 582-586.
5. Damewood, R. B., Blair, P. G., Park, Y. S., Lupi, L. K., Newman, R. W., & Sachdeva, A. K. (2017). "Taking training to the next level": the American College of surgeons committee on residency training survey. *Journal of surgical education*, 74(6), e95-e105.
6. Dinscore, A., & Andres, A. (2010). Surgical videos online: a survey of prominent sources and future trends. *Medical reference services quarterly*, 29(1), 10-27.
7. Evans, C. H., & Schenarts, K. D. (2016). Evolving educational techniques in surgical training. *Surgical Clinics*, 96(1), 71-88.
8. Glass, N. E., Kulaylat, A. N., Zheng, F., Glarner, C. E., Economopoulos, K. P., Hamed, O. H., ... & Winfield, R. D. (2015). A national survey of educational resources utilized by the Resident and Associate Society of the American College of Surgeons membership. *The American Journal of Surgery*, 209(1), 59-64.
9. Goldwag, J. L., & Jung, S. (2020). Operating room preparation by general surgery residents: A qualitative analysis. *The American Journal of Surgery*, 220(2), 316-321.
10. Hansen, M., Oosthuizen, G., Windsor, J., Doherty, I., Greig, S., McHardy, K., & McCann, L. (2011). Enhancement of medical interns' levels of clinical skills competence and self-confidence levels via video iPods: pilot randomized controlled trial. *Journal of medical Internet research*, 13(1), e29.
11. Holcomb, J. B., Dumire, R. D., Crommett, J. W., Stamateris, C. E., Fagert, M. A., Cleveland, J. A., ... & Aoki, N. (2002). Evaluation of trauma team performance using an advanced human patient simulator for resuscitation training. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 52(6), 1078-1086.
12. Jowett, N., LeBlanc, V., Xeroulis, G., MacRae, H., & Dubrowski, A. (2007). Surgical skill acquisition with self-directed practice using

- computer-based video training. *The American Journal of Surgery*, 193(2), 237-242.
13. Kneebone, R. L., Scott, W., Darzi, A., & Horrocks, M. (2004). Simulation and clinical practice: strengthening the relationship. *Medical education*, 38(10), 1095-1102.
 14. Lee, J. C., Boyd, R., & Stuart, P. (2007). Randomized controlled trial of an instructional DVD for clinical skills teaching. *Emergency Medicine Australasia*, 19(3), 241-245.
 15. Lenchus, J., Issenberg, S. B., Murphy, D., Everett-Thomas, R., Erben, L., Arheart, K., & Birnbach, D. J. (2011). A blended approach to invasive bedside procedural instruction. *Medical teacher*, 33(2), 116-123.
 16. Lobo, M. J., Crandley, E. F., Rumph, J. S., Kirk, S. E., Dunlap, N. E., Rahimi, A. S., ... & Read, P. W. (2013). Pilot study of iPad incorporation into graduate medical education. *Journal of graduate medical education*, 5(1), 142-144.
 17. Meyerson, S. L., Sternbach, J. M., Zwischenberger, J. B., & Bender, E. M. (2017). Resident autonomy in the operating room: expectations versus reality. *The Annals of thoracic surgery*, 104(3), 1062-1068.
 18. Mundschenk, M. B., Odom, E. B., Ghosh, T. D., Kleiber, G. M., Yee, A., Patel, K. B., ... & Buck II, D. W. (2018). Are residents prepared for surgical cases? Implications in patient safety and education. *Journal of surgical education*, 75(2), 403-408.
 19. Pernar, L. I., Breen, E., Ashley, S. W., & Peyre, S. E. (2011). Preoperative learning goals set by surgical residents and faculty. *Journal of Surgical Research*, 170(1), 1-5.
 20. Pugh, C. M., DaRosa, D. A., Glenn, D., & Bell Jr, R. H. (2007). A comparison of faculty and resident perception of resident learning needs in the operating room. *Journal of Surgical Education*, 64(5), 250-255.
 21. Scott, D. J., & Dunnington, G. L. (2008). The new ACS/APDS skills curriculum: moving the learning curve out of the operating room. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 12(2), 213-221.
 22. Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., & Satava, R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of surgery*, 236(4), 458.
 23. Sturm, L. P., Windsor, J. A., Cosman, P. H., Cregan, P., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2008). A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Annals of surgery*, 248(2), 166-179.
 24. Xeroulis, G. J., Park, J., Moulton, C. A., Reznick, R. K., LeBlanc, V., & Dubrowski, A. (2007). Teaching suturing and knot-tying skills to

medical students: a randomized controlled study comparing computer-based video instruction and (concurrent and summary) expert feedback. *Surgery, 141*(4), 442-449.

25. Yeo, H., Viola, K., Berg, D., Lin, Z., Nunez-Smith, M., Cammann, C., ...& Curry, L. A. (2009). Attitudes, training experiences, and professional expectations of US general surgery residents: a national survey. *Jama, 302*(12), 1301-1308.

Nivel de Conocimiento de Métodos Anticonceptivos en Estudiantes Universitarios

Yessica García Pérez (Pasante en Servicio Social)

Diana Areli Araiza Cervantes (Pasante en Servicio Social)

Carlos Alonso Ángeles Álvarez (Pasante en Servicio Social)

Licenciatura en Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, México

Ruth Magdalena Gallegos Torres (Dra. en C.S)

Universidad Autónoma de Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p305](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p305)

Submitted: 10 February 2021

Accepted: 10 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

García Pérez Y., Araiza Cervantes D.A., Ángeles Álvarez C.A. & Gallegos Torres R.M. (2021). *Nivel de Conocimiento de Métodos Anticonceptivos en Estudiantes Universitarios*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 305. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p305>

Resumen

Introducción: La sexualidad es un tema importante para el desarrollo de los seres humanos; la salud sexual engloba un estado de bienestar físico, mental y social en relación con su práctica y esta considera a la planificación familiar, la cual se logra mediante el uso de los métodos anticonceptivos.

Objetivo: Determinar el nivel de conocimiento de los métodos anticonceptivos en estudiantes universitarios. **Metodología:** Se trata de una investigación transversal descriptiva, realizada en estudiantes de la Facultad de Contaduría y Administración y Bellas Artes en la Universidad Autónoma de Querétaro. El instrumento a utilizar fue tomado de Del Pino, el cual consta de 15 preguntas, con una confiabilidad de 0.7. El tipo de muestreo fue por conveniencia. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y se cuidaron los principios éticos de la investigación en seres humanos. El proyecto fue evaluado y registrado en la Facultad de Enfermería. **Resultados:** Se aplicó el instrumento a 132 alumnos, obteniendo los siguientes datos: prevalecieron los estudiantes de 19-22 años con un 72%, el 41.7% fueron hombres y el resto mujeres. Un 49.2% de los participantes refieren que la información vinculada con la sexualidad ha sido proporcionada por un profesional de la salud, señalando que sólo el 27.3% ha recibido la

información en la universidad, el resto del fue impartida en otros lugares. Un 47.7% de los alumnos cuentan con pareja. Con respecto a la vida sexual activa manifiestan tenerla el 75.8% de los participantes. El método anticonceptivo más utilizado es el condón masculino con un 59.8%. El 44.7% de los estudiantes señaló que les han ofrecido métodos como las píldoras, inyecciones, condón, parches e implantes transdérmicos. **Conclusiones:** 71.2% tiene un nivel bajo de conocimientos con respecto a los métodos anticonceptivos, por lo que es importante reforzar dicha información ya que se observa que el 29.5% no utiliza algún método anticonceptivo, el cual genera una conducta de riesgo para un embarazo no deseado o posibles infecciones de transmisión sexual.

Palabras claves: Anticonceptivos, conocimiento, estudiantes

Level of Knowledge of University Students about Contraceptive Methods

Yessica García Pérez (Pasante en Servicio Social)

Diana Areli Araiza Cervantes (Pasante en Servicio Social)

Carlos Alonso Ángeles Álvarez (Pasante en Servicio Social)

Licenciatura en Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, México

Ruth Magdalena Gallegos Torres (Dra. en C.S)

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Abstract

Introduction: Sexuality is an important topic for human development. Sexual health encompasses a state of physical, mental, and social wellbeing in relation to its practice, and this considers family planning which is achieved using contraceptive methods. **Objective:** To determine the level of knowledge of contraceptive methods in university students. **Methodology:** This is a descriptive cross-sectional investigation carried out on students of the Faculty of Accounting and Administration and Fine Arts at the Autonomous University of Querétaro. The instrument to be used was taken from Del Pino, which consists of 15 questions, with a reliability of 0.7. The type of sampling was for convenience. The data were analyzed using descriptive statistics and the ethical principles of research in human beings were observed. The project was evaluated and registered with the Faculty of Nursing. **Results:** The instrument was applied to 132 students and the following result was obtained: students aged 19-22 prevailed with 72%, 41.7% were men and the rest were women. 49.2% of the participants refer that the information related to

sexuality has been provided by a health professional, pointing out that only 27.3% have received the information at the university. The rest of it was given in other places. 47.7% of the students have a partner. With regard to active sexual life, 75.8% of the participants claim to have it. The most used contraceptive method is the male condom with 59.8%. 44.7% of the students indicated that they have been offered methods such as pills, injections, condoms, patches, and transdermal implants. **Conclusions:** 71.2% have a limited knowledge regarding contraceptive methods. Therefore, it is important to reinforce this information since it is observed that 29.5% do not use any contraceptive method, which leads to the risk of unwanted pregnancy and sexually transmitted infections.

Keywords: Contraceptive methods, Knowledge, Students

Introduction

La sexualidad es un tema relevante en el desarrollo de los seres humanos, ya que además de ser un derecho que se tiene como persona, está involucrada en el desarrollo total de los individuos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) habla de la salud sexual como “un estado de bienestar físico, mental y social en relación con la sexualidad (Gómez-Camargo et al., 2014).

La OMS promueve la Planificación Familiar (PF) mediante directrices basadas en los Métodos Anticonceptivos (MA). La PF permite a las parejas concebir el número de hijos que se desea tener, determinar el lapso entre un embarazo y otro y la posibilidad de evitar las Infecciones de Transmisión Sexual (ITS); se trata de prácticas que pueden ser utilizadas no sólo por las mujeres, sino también por los hombres. El embarazo no deseado es un problema de Salud Pública en países desarrollados como también en países en vía de desarrollo (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2020).

En México, la PF está sustentada por la NOM-005-SSA-1993 de los Servicios de Planificación Familiar, la cual orienta sobre la selección y prescripción de los MA. Centros como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y la Secretaría de Salud (SS) han creado Programas Nacionales de PF, ya que es importante que se conozca sobre salud sexual, pues de esta manera será más fácil evitar los embarazos no deseados y las ITS; la información debe ser impartida tanto en hombres como en mujeres a nivel grupal o individual y con ella deberán quedar claras las indicaciones, contraindicaciones, ventajas, desventajas, efectos colaterales, etc. de los mismos (Secretaria de Salud, 1986).

Los métodos anticonceptivos son aquellos procedimientos o métodos cuya función es prevenir el embarazo en mujeres edad fértil. Existen diferentes tipos que pueden ser hormonales o no hormonales, temporales o

definitivos (Flores, 2017). Al respecto, el conocimiento básico de estos temas, permitirá a los jóvenes tener un uso seguro de estos y evitar riesgos en su vida (infecciones, embarazos, abortos) (Bravo Salinas et al., 2020).

Dentro del grupo de Hormonales se encuentran los orales e inyectables combinados de estrógeno y progestina o solo progestina, el implante subdérmico, el parche transdérmico y el DIU Mirena. En el grupo de no Hormonales se encuentran los métodos de barrera y mecánicos como el condón masculino, femenino, espermicidas y DIU de cobre. Existen también los métodos Naturales como el método del ritmo, método de la temperatura basal, coito interrumpido y método del moco cervical; todos los antes mencionados pertenecen al grupo de Métodos temporales. Mientras que en Métodos Definitivos solo existen la Vasectomía y la Salpingoclasia. Sin embargo se considera que el condón masculino (método de barrera) es el que se usa con más frecuencia, seguido del DIU de cobre (Secretaria de Salud, 2002).

La juventud es una etapa donde se experimentan grandes cambios y por obvias razones los jóvenes se vuelven vulnerables y sienten la necesidad de experimentar su sexualidad. Por otra parte, el desconocimiento de los MA es un problema bastante amplio porque el alcance que tiene puede llegar hasta la muerte (Gómez-Camargo et al., 2014).

Relacionado con lo anterior, en un estudio realizado a 400 estudiantes universitarios de Colombia, se identificó que 51.7% había iniciado su vida sexual entre los 15 y 19 años, donde el 74.3% tenía relaciones de tipo penetrativo, de las cuales, 73.5% fue vaginal y 56.6% de tipo anal. De estos, 59% no usa métodos anticonceptivos (Suárez Villa et al., 2021).

Los antecedentes muestran que a finales del 2003 ocurrió un incremento importante de embarazos en jóvenes universitarias a pesar de la información académica; el tabú respecto a la sexualidad ha provocado que la información impartida sea insuficiente y esto ha generado como consecuencia prácticas sexuales y un control de natalidad inadecuados. Sin embargo, en los últimos años la tasa de embarazo ha ido disminuyendo, pero aún así se puede apreciar que el embarazo no deseado es relativamente alto. Se estima que un 40% de embarazos en la población mexicana no han sido planificados o deseados y el 20% de ellos ocurren en mujeres menores de 20 años; cada año 15 millones de mujeres en edad de 15 a 19 dan a luz (Juárez & Gayet, 2005). Según datos del INEGI, el 62.3% de las mujeres jóvenes de 15 a 29 años ya han iniciado su vida sexual. En una nota periodista en el estado de Querétaro se señaló que el 98.8% de las mujeres en edad fértil conoce al menos un método anticonceptivo y el 32.7% nunca los ha utilizado. En comparación, otra nota periodística realizada en el mismo año se menciona que de acuerdo a la encuesta intercensal 2015, existían cerca de 826 mil mujeres de 12 años en adelante, de las cuales el 65% había tenido al menos un hijo nacido vivo,

el 67.9% de las adolescentes utilizó algún método anticonceptivo en su primera relación sexual y el 100% conocía funcionalmente alguno (Flores, 2017).

Se llevó a cabo una investigación en estudiantes universitarios de 4 universidades de Paraguay, Colombia, Ecuador y Venezuela, que ya hubiesen iniciado vida sexual activa. Participaron en el proyecto 982 estudiantes. 7% señaló que no utiliza métodos anticonceptivos y entre el 4 y 20% nunca usaban condón (Mejia et al., 2020).

La promoción y prevención de la salud es la herramienta actual más fuerte como determinante de la salud, es un proceso dirigido a fomentar estilos de vida saludables, ya que la educación sexual es una responsabilidad de un equipo multidisciplinario y la juventud es una etapa de la vida en la que las conductas de riesgo como embarazos no deseados y enfermedades de transmisión sexual son mayores. Es por ello que esta investigación se llevó a cabo para determinar los conocimientos sobre los métodos anticonceptivos en el adulto joven, debido que en esta población se han observado datos de embarazos, así como infecciones de transmisión sexual.

Metodología

La presente investigación fue de tipo cuantitativa, descriptiva y transversal (Hernández Sampieri & Mendoza Jiménez, 2018). El estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Querétaro en las Facultades de Contaduría y Bellas Artes. Se seleccionaron estas licenciaturas por ser ajenas al área de la salud.

El tipo de muestreo realizado fue por conveniencia, de manera tal que se trabajó con los grupos indicados por los directivos de las facultades señaladas. Los criterios de selección de los estudiantes fueron los que se describen a continuación (Tabla 1).

La investigación a realizar se sometió a evaluación por parte del Comité de Investigación de la Facultad de Enfermería y Comité de Bioética, posterior a esto se dió continuidad a la realización de la prueba piloto y recolección definitiva de datos.

Tabla 1. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación de los sujetos utilizados en la presente investigación.

Inclusión	Exclusión	Eliminación
<ul style="list-style-type: none">Alumnos de ambos sexosInscritos en cualquier semestre de las carreras	<ul style="list-style-type: none">Estudiantes de movilidadMayores de 30 años	<ul style="list-style-type: none">Cuestionarios que no fueron contestados al 90%Cuestionarios sin firmar el consentimiento informado

El instrumento que se utilizó fue tomado de Del Pino (Del Pino, 2016). Dicho instrumento consta de 15 preguntas, tiene una confiabilidad de 0.7. Se sometió a validación, se envió a revisión a un grupo de 5 expertos en investigación y en el área de la salud para así poder verificar que este cumplía con los elementos necesarios para que fuera entendible, con preguntas claras y contenido adecuado para la población a la cual se le aplicó. Una vez que se hizo la revisión por parte de los expertos se pasó a la aplicación de la prueba piloto.

La prueba piloto se realizó en la Universidad Autónoma de Querétaro en la Facultad de Ingeniería a 34 alumnos. Esta prueba consideró alumnos con características similares a la población de estudio. Se corroboró la confiabilidad del instrumento mediante la prueba de Kuder-Richardson, obteniendo un valor de 0.73.

Se utilizó el programa SPSS V.20 para generar una base de datos y así realizar el análisis de los datos. El tipo de análisis fue descriptivo, en el cual se obtuvieron las siguientes medidas para los datos sociodemográficos: frecuencia, promedios, desviación estándar.

Cada respuesta correcta en las preguntas del instrumento tiene un valor de 1, de manera tal que se determinó el nivel de conocimientos con base en lo siguiente (Del Pino, 2016):

- Alto → mayor de 8.6 puntos
- Medio → De 5.2 hasta 8.5 puntos
- Bajo → Menor de 5.1 puntos

El presente protocolo de Investigación está fundamentado en el Reglamento de la Ley General de Salud en el título segundo de los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos (Secretaría de Salud, 1987). Se consideró una investigación sin riesgo ya que se trató de un estudio donde se utilizaron técnicas y métodos de investigación documental.

Resultados

De un total de 132 jóvenes entrevistados, 115 pertenecieron a la Facultad de Contaduría y Administración y 17 de la Facultad de Bellas Artes (el periodo de pandemia limitó el levantamiento de datos, ya que este proceso se realizó en febrero-marzo de 2020). Se encontraron los siguientes resultados sociodemográficos: 71.96% se encuentra entre los 19 y 22 años de edad. Con respecto al sexo de los participantes, la mayoría fueron mujeres, siendo ellas un 58.3% y hombres 41.6%; en cuanto al semestre, la mayoría cursaba el 2do y la minoría el 8vo.

De acuerdo a si trabajan o no, 56.06% sólo se dedica a estudiar y 43.93% trabajan y estudian. En cuanto a su estado civil, 93.93% son solteros.

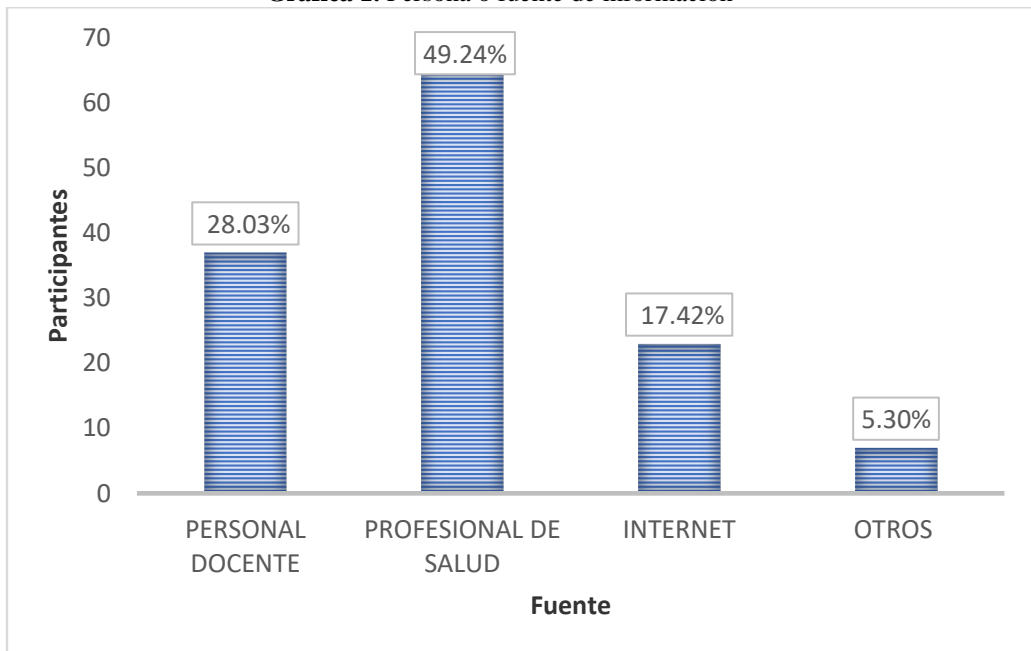
Con respecto a la religión, 64.39% son católicos y 31 23.48 refieren no tener ninguna religión.

Del total de los participantes, 42.42% reportaron que sí tienen una pareja y 57.57% están solteros; del total de participantes, 98.48% sí han recibido información sobre los métodos anticonceptivos.

Al preguntar cuál fue su fuente o persona quien les impartió la información 28.03% mencionaron que fue personal docente (Gráfica 1).

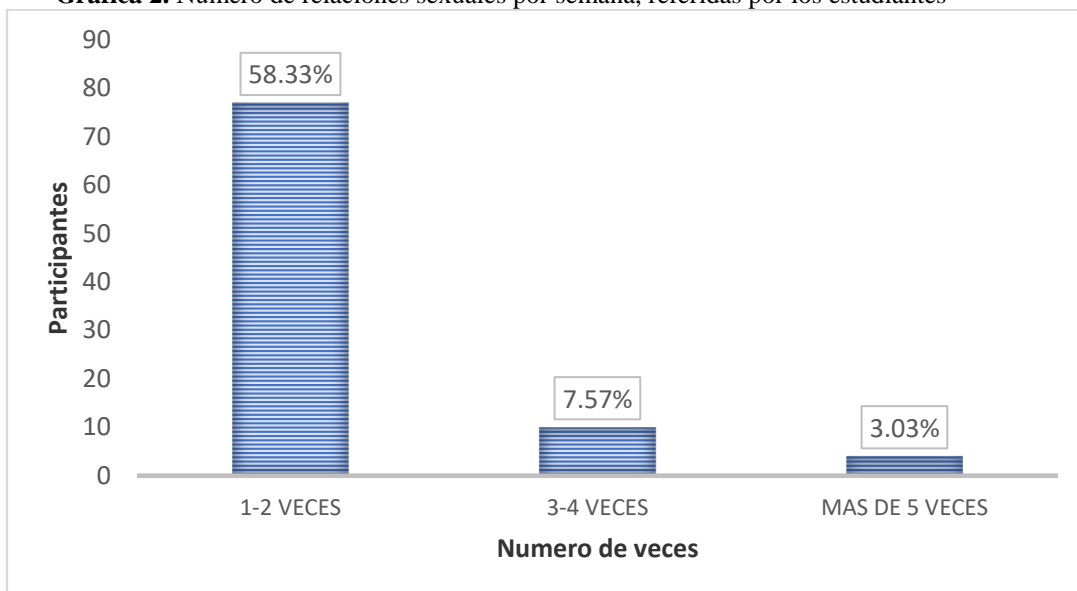
Del total de participantes, la mayoría ha recibido información por medio de charlas y gracias a esto el método que más les han ofrecido han sido las píldoras, las inyecciones y el condón. Al preguntar si se había tenido relaciones sexuales, 75.75% afirmaron ya haber tenido la experiencia. La Gráfica 2 muestra el número de encuentros sexuales por semana.

Gráfica 1. Persona o fuente de información



Fuente: Cuestionario aplicado, 2020

Gráfica 2. Número de relaciones sexuales por semana, referidas por los estudiantes



Fuente: Cuestionario aplicado, 2020

El método anticonceptivo que más se utiliza actualmente ha sido el condón masculino, utilizado por 59.84% de los participantes, resalta el hecho de que 29.54% sujetos refieren que no utilizan ningún método.

En la Tabla 2. se muestran las preguntas de las que se evidenciaron más respuestas incorrectas, sobre el nivel de conocimientos, por parte de los participantes.

Tabla 2. Resultados relevantes sobre el conocimiento de los métodos anticonceptivos: tipo de respuesta

PREGUNTA	CORRECTA	INCORRECTA
¿Para qué sirven los métodos anticonceptivos?	69.7%	29.5%
La elección del método anticonceptivo para una mujer depende de	18.2%	81.8%
¿Qué métodos anticonceptivos consideras son los mejores?	79.5%	20.5%
Son métodos hormonales, excepto:	74.2%	25.8%
Los efectos secundarios de píldoras anticonceptivas combinadas son:	31.8%	66.7%
Sobre los métodos anticonceptivos definitivos, es cierto:	73.5%	26.5%
Respecto a las madres que dan lactancia:	35.6%	62.1%
¿De estos métodos cuál es el más seguro?	65.2%	34.8%

Fuente: Cuestionario aplicado, 2020

El 89.4% de los participantes considera que ninguno de los métodos es seguro al 100%, sin embargo, el 65.2% señalan que el condón masculino es el método que tiene índices de seguridad más alto.

En relación a los resultados globales, en esta investigación se encontró que el 71.2% de los participantes maneja un nivel bajo en conocimientos, el 20.4% mantiene un nivel medio y sólo el 3.7% se encuentra en un nivel alto.

El 56.8% de las participantes son del sexo femenino, las cuales tiene un grado de conocimiento más alto en comparación con el sexo masculino (38.6%).

Discusión y Conclusión

En esta investigación los resultados arrojaron que la mayoría de los participantes 65 (49.24%) recibió información del personal de salud y 37 (28.03%) su fuente de información fue el personal docente, sin embargo, Serrano (Serrano et al., 2012), en su investigación refiere que las fuentes de información sobre sexualidad y anticoncepción son principalmente la familia y los amigos (96% mujeres y 77% varones).

Un investigador (Pizzi et al., 2016), realizó un trabajo acerca del impacto en la asesoría anticonceptiva en la elección del método anticonceptivo; los resultados arrojaron que después de la asesoría hubo una disminución en la selección de la píldora y un aumento en la elección del anillo vaginal, lo cual difiere con los resultados obtenidos en esta investigación puesto que a pesar de recibir información de diferentes medios, el principal método anticonceptivo de elección de los participantes es el condón masculino (59.84%) o no utilizar ningún método (29.54%).

Por otro lado en el estudio “Determinantes en la elección de anticonceptivos en adolescentes consultantes en un centro de atención de salud sexual y reproductiva” se difiere con esta investigación puesto que el inyectable fue el método que más conocen y que más usan, seguido de la píldora (González et al., 2017).

De acuerdo a esta investigación, se reportó que el 75.75% de los entrevistados ha iniciado su vida sexual. Esto es aproximado a lo reportado por Covarrubias 2015 el cual, entrevistó a 71 universitarios, de los cuales, el 80% ha iniciado su vida sexual (Covarrubias López et al., 2015).

En esta investigación, de acuerdo a los métodos naturales, hubo un predominio claro acerca de estos métodos en un 53% de los entrevistados, mientras que Atehortua reporta que los datos fueron similares en un total de 72 entrevistados, donde el 58% también presenta conocimiento claro sobre los métodos naturales (Atehortua Puerta et al., 2011).

Al realizar esta investigación se encontró que el 70.43% utiliza algún método anticonceptivo. Esto difiere con lo reportado por Sánchez (2015) al

entrevistar a 120 adolescentes, en quienes encontró que el 55% utiliza algún método anticonceptivo (Sánchez-Meneses et al., 2015).

En esta investigación se encontró que el 71.2% de los participantes maneja un nivel bajo en conocimientos, el 20.4% mantiene un nivel medio y sólo el 3.7% se encuentra en un nivel alto. Esto difiere con lo reportado por Olmas en su investigación “Nivel de conocimientos y utilización de métodos anticonceptivos que posee un grupo de estudiantes de primer y quinto año de Medicina de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba”, donde encuestó a 577 alumnos y refleja que sólo el 34% maneja un nivel alto en conocimientos (Olmas, 2016).

De la misma manera, los autores Cusiquipse y Pulta en su investigación “Nivel de conocimiento y uso de métodos anticonceptivos en adolescentes del 4° y 5° grado de educación secundaria básica regular de la I. E. N° 0171-1 “Juan Velasco Alvarado” del distrito de San Juan de Lurigancho – Lima, 2018” resaltaron que sólo el 15.2% de los participantes presenta un nivel alto de conocimiento (Cusiquipse Velasque, 2019).

Por otro lado, en la investigación “Nivel de conocimiento sobre métodos anticonceptivos y prácticas sexuales en adolescentes escolares” se encontró que el 60.4% de los adolescentes presentaron un nivel de conocimientos bueno y un 39.6% un nivel de conocimiento malo lo cual varía de lo reportado en esta investigación (Guevara Chávez & Reyna Ríos, 2016).

Mientras tanto en el estudio “Nivel de conocimientos y prácticas sobre métodos anticonceptivos en estudiantes de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo Cajamarca. Perú 2018” en el cual hubo 250 participantes, los resultados arrojaron que el nivel de conocimientos de los estudiantes de la Universidad es alto en cuanto a la conceptualización sobre métodos anticonceptivos y es deficiente en cuanto a la práctica (Ayay Alvarez & Infante Cueva, 2018).

Los resultados del estudio reflejan que, a pesar de haber trabajado con alumnos de un nivel universitario, donde podría asumirse que prevalece una mayor información, los datos sobre los métodos anticonceptivos aún es deficiente en ciertos aspectos y por ello es necesario considerar tales apartados para plantear diversas maneras de difundir la información sobre el tema, sobre todo en aquellos estudiantes que no son del área de la salud.

Vale la pena resaltar que 76% de los estudiantes son activos sexualmente, lo que implica proporcionar una información eficiente sobre la manera de prevenir un embarazo no deseado, dado que, desde hace muchos años, en la universidad donde se realizó el estudio, se ha evidenciado y reportado que una de las mayores causas de deserción escolar es el tener un embarazo no deseado.

El objetivo de investigación de este proyecto fue alcanzado, al identificar los conocimientos de los participantes sobre el fenómeno. En este

sentido, los resultados de este estudio, plantean promover un nuevo plan a la educación de la población en materia de la planeación familiar, ya que las circunstancias actuales hacen más evidente la incertidumbre en el camino futuro que se tendrá, sobre todo en materia de seguridad en salud y a nivel económico.

References:

1. Atehortua Puerta, W., Acosta, S., López, A., Suárez, J., Melo, A., & Carrascal, S. (2011). Conocimiento métodos anticonceptivos en estudiantes de pregrado. *Ciencia y Cuidado*, 8(1), 47–54. <https://doi.org/10.22463/17949831.473>
2. Ayay Alvarez, Y. R., & Infante Cueva, L. (2018). *Nivel de conocimiento y prácticas sobre métodos anticonceptivos en estudiantes de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca. Perú 2018. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo*. La Universidad de Cajamarca. Retrieved from <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1089>
3. Bravo Salinas, S. E., Guerra Ortega, D. L., Uguña Rosas, V. A., & Castillo Zhizhpón, A. A. (2020). Conocimiento y uso de métodos anticonceptivos en estudiantes universitarios de medicina y enfermería, 2020. *Recimundo*, 4(4), 236–248. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).noviembre.2020.236-248](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).noviembre.2020.236-248)
4. Covarrubias López, E. S., Ramírez Villegas, R., Verde Flota, E. E. de J., Rivas Espinosa, J. G., & Rivero Rodríguez, L. F. (2015). Utilización de Métodos Anticonceptivos en estudiantes de Enfermería. *Investigación En Enfermería: Imagen y Desarrollo*, 18(1), 31. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ie18-1.umae>
5. Cusiquispe Velasque, Y. (2019). *Nivel de conocimiento y uso de métodos anticonceptivos en adolescentes del 4° y 5° grado de educación secundaria básica regular de la I. E. N° 0171-1 “Juan Velasco Alvarado” del distrito de San Juan de Lurigancho – Lima, 2018. Repositorio Uma*. Retrieved from <http://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/UMA/178/2019-19%28Final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Del Pino, D. (2016). *Nivel de conocimiento y uso de métodos anticonceptivos en madres adolescentes del “Centro de Salud Chorrillos I Gustavo Lanatta Luján” febrero – abril 2015. Cybertesis*. Retrieved from http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4826/Del_pino_dd.pdf;jsessionid=AA2D80D33B7EFBB46DE0D5A876C5174F?sequence=1
7. Flores, F. (2017, March 8). Inegi: 98% de mujeres fértiles conocen

- métodos anticonceptivos. *El Universal*, p. 1. Retrieved from <http://www.eluniversalqueretaro.mx/politica/08-03-2017/inegi-98-de-mujeres-fertiles-conocen-metodos-anticonceptivos>
8. Gómez-Camargo, D. E., Ochoa-Díaz, M. M., Canchila-Barrios, C. A., Ramos-Clason, E. C., Salguero-Madrid, G. I., & Malambo-García, D. I. (2014). Salud sexual y reproductiva en estudiantes universitarios de una institución de educación superior en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 16(5), 660–672. <https://doi.org/10.15446/rsap.v16n5.39998>
 9. González, E. A., Breme, P., González A, D., Molina G, T., & Leal F, I. (2017). Determinantes en la elección de anticonceptivos en adolescentes consultantes en un centro de atención de salud sexual y reproductiva. *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 82(6), 692–705. <https://doi.org/10.4067/s0717-75262017000600692>
 10. Guevara Chávez, L. L., & Reyna Ríos, S. Y. (2016). *Nivel de conocimiento sobre métodos anticonceptivos y prácticas sexuales en adolescentes escolares. Chimbote, 2016. Universidad Nacional del Santa*. Universidad Nacional del Santa. Retrieved from <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2607>
 11. Hernández Sampieri, R., & Mendoza Jiménez, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación*. (U. de Celaya, Ed.). Celaya: McGraw Hill.
 12. Juárez, F., & Gayet, C. (2005). Salud sexual y reproductiva de los adolescentes en México: un nuevo marco de análisis para la evaluación y diseño de políticas. *Papeles de Población*, 11(45), 177–219. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252005000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 13. Mejía, C. R., Oporto, F. M., Taya-C, L., Oscco, S. S., Bustamante, F. M., Quispe, L., ... Miranda, C. A. (2020). Factores socioeducativos asociados al no uso de métodos anticonceptivos en universitarias de cuatro países de Latinoamérica. *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 85(3), 245–254. <https://doi.org/10.4067/s0717-75262020000300245>
 14. Olmas, J. M. (2016). *Universidad nacional de córdoba facultad de ciencias médicas secretaria de graduados maestría en salud sexual y reproductiva*. Universidad nacional de Córdoba. Retrieved from <http://lildbi.fcm.unc.edu.ar/lildbi/tesis/olmas-jose-maria.pdf>
 15. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Planificación familiar.
 16. Pizzi, R., Fernández, M., Fuenmayor, J., & Rodríguez, E. (2016). Impacto de la asesoría anticonceptiva en la elección del método anticonceptivo: Resultados del Proyecto PIENSA en Venezuela.

- Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*, 76(1), 11–22.
Retrieved from <http://ve.scielo.org/pdf/og/v76n1/art03.pdf>
17. Sánchez-Meneses, M. C., Dávila-Mendoza, R., & Ponce-Rosas, E. R. (2015). Conocimiento y uso de métodos anticonceptivos en adolescentes de un centro de salud. *Atención Familiar*, 22(2), 35–38. [https://doi.org/10.1016/s1405-8871\(16\)30044-x](https://doi.org/10.1016/s1405-8871(16)30044-x)
 18. Secretaria de Salud. NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM 005-SSA2-1993, De los servicios de Planificación Familiar (1986). México. Retrieved from <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/005ssa23.html>
 19. Secretaria de Salud. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigaciones para la Salud., Ley General de Salud § (1987). México. Retrieved from <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/Reglamentos.aspx>
 20. Secretaria de Salud (2002). *Introducción a los métodos anticonceptivos : Información general*. (Secretaria de Salud, Ed.) (Vol. 1). México, DF.
 21. Serrano, I., Lete, I., Coll, C., Arbat, A., Bermejo, R., Martínez-Sameán, J., ... Dueñas, J. L. (2012). Uso de métodos anticonceptivos y fuentes de información sobre sexualidad y anticoncepción en la juventud española: Resultados de una encuesta nacional. *Revista Iberoamericana de Fertilidad y Reproducción Humana*, 29(1), 47–54. Retrieved from http://www.revistafertilidad.org/rif/vplus/arts/uso_de_metodos_anticonceptivos.pdf
 22. Suárez Villa, M., Lastrea Amell, G., & Rodríguez López, J. (2021). Conocimientos y prácticas en salud sexual y reproductiva en estudiantes universitarios de Barranquilla Colombia. *Identidad Bolivariana*, 5(1), 1–14. Retrieved from <https://identidadbolivariana.itb.edu.ec/index.php/identidadbolivariana/article/view/97/173>

Impact du Plan d'action Communal de Meknes (2016-2021) dans l'amélioration de la Qualité des Ressources Hydriques de Ville de Meknes cas de l'oued R'dom

Baouahi Farid, PhD

Laboratoire écologie et biodiversité des zones humides, Faculté des Sciences
de Meknès, Université Moulay Ismail, Maroc

Zine Nacer-Eddine, Pr

Responsable du laboratoire écologie et biodiversité des zones humides,
Faculté des Sciences de Meknès, Université Moulay Ismail, Maroc

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p318](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p318)

Submitted: 04 February 2021

Accepted: 01 March 2021

Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Baouahi F. & Zine N.E.(2021). *Impact du Plan d'action Communal de Meknes (2016-2021)
dans l'amélioration de la Qualité des Ressources Hydriques de Ville de Meknes cas de l'oued
R'dom*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 318.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p318>

Résumé

L'actualisation de l'état de la pollution au niveau du bassin de R'dom revête un caractère très important pour les opérateurs œuvrant dans la protection de l'environnement et le contrôle de la pollution hydrique. Cet article concerne la mise à jour des niveaux de pollution au niveau de l'oued R'dom à travers ces affluents qui sont l'oued Boufekrane, l'oued Bouishak et l'oued Ouislane. En effet, 8 stations au totale ont servi pour le suivi de l'évolution spatiale de la pollution et 5 campagnes pour la mise en évidence de la variation temporelle. Les résultats de cette étude n'ont pas traduit les efforts déployés par l'état et la commune de Meknès en matière des investissements relatifs à la composante environnementale notamment dans l'oued R'DOM qui a fait l'objet de la majorité des investissements de l'état en matière de dépollution dans ce bassin. En effet, trois projets structurants ont été menés par la ville de Meknès pour l'amélioration de l'état de la pollution hydrique à l'aval de la ville. Ces projets sont: La réalisation en 2009 de la station d'épuration de la ville qui déversait auparavant les eaux usées non traitées dans l'oued de Boufekrane. Le deuxième concerne le centre

d'enfouissement et de valorisation des déchets de la ville qui a mis terme en 2015 aux rejets des lixiviats dans le même cours d'eau Le troisième projet structurant et la réalisation des conduites de transport des eaux usées qui longent les trois oueds et qui a mis à terme définitivement aux rejets directs dans ce bassin. Les résultats des analyses ont montrés que les stations S2 qui correspond au point de déversement de la ville de Boufekrane, la station S3 qui reçoit les rejets non traités des unités industriels de cette partie de la zone d'étude et la station S6 qui se trouve à l'aval de la ville de Meknès et qui doit traduire; normalement les efforts de l'état en matière de dépollution liquide présentent des niveaux de pollution très remarquable notamment la pollution organique. Les résultats moyens de la DBO₅ dans ces stations varient de 262 à 531 mg d'O₂/L. La comparaison des résultats des trois oueds montre que l'affluent Ouislane est le plus pollué et présente une moyenne de DBO₅ de l'ordre de 1054 mg/L d'O₂, l'oued Bouishak présente une valeur de DBO₅ de 275 mg/L d'O₂, l'oued Boufekrane d'une valeur de 197 mg/L d'O₂. La valeur de la DBO₅ à la confluence des trois oueds au niveau de la station S6 est de l'ordre de 531 mg/L d'O₂. La station S5 qui a servi à l'évaluation qualitative de l'oued Boufekrane a affiché une valeur moyenne de DBO₅ de l'ordre de 105 mg/L d'O₂. Le rapport DCO/DBO₅, traduisant la biodégradabilité montre une origine diversifiée de la pollution. Elle est à dominance domestique dans les stations S1, S2, S4 et S5 et d'origine industrielle au niveau des stations S3, S6, S7 et S8.

Mots-clés: R'Dom, Pollution, Meknès, rejet des eaux usées, Paramètres physico-chimiques ; Bactériologiques, Plan d'action communal

Impact of the Meknes Municipal Action Plan (2016-2021) in improving of the water resources quality in the City of Meknes Case of the R'dom river

Baouahi Farid, PhD

Laboratoire écologie et biodiversité des zones humides, Faculté des Sciences de Meknès, Université Moulay Ismail, Maroc

Zine Nacer-Eddine, Pr

Responsable du laboratoire écologie et biodiversité des zones humides, Faculté des Sciences de Meknès, Université Moulay Ismail, Maroc

Abstract

Updating the state of pollution in the R'dom basin is very important for the operators working in the protection and control of water pollution. This

study concerns the updating of the pollution levels at the R'dom River through these tributaries which are Boufekrane, Bouishak, and Ouislane. In fact, a total of 8 stations were used to monitor the spatial evolution of pollution and 5 campaigns to improve temporal variation. The results of this study did not reflect the efforts of the government and the municipality of Meknes in terms of investments relating to the environmental component, particularly in the Boufekrane r, which was the subject of the majority of the investments of the state of pollution control in this area. Indeed, three structuring projects were carried out by the city of Meknes to improve the state of water pollution downstream of the city. These projects are The construction in 2009 of the city's sewage treatment plant, which previously discharged untreated wastewater into the Boufekrane river. The second project concerns the city's solid waste landfill and the recycling center, which ended leachate discharges in the same river in 2015. stream. The third structuring project is the construction of the wastewater transport pipes which run alongside the three rivers and which definitively put an end to direct dumping into these rivers. The results of the analyzes showed that the S2 stations which correspond to the discharge point of the city of Boufekrane, the S3 station which receives the untreated discharges from the industrial units of this part of the study area, and the S6 station which is located in the downstream of the city and which should normally reflect the efforts of the city of Meknès in terms of liquid depollution present very levels of pollution, in particular organic pollution. The average BOD₅ results at these stations range from 262 to 531 mg O₂ / L. The comparison of the results of the three rivers shows that the Ouislane river is the most polluted and has an average BOD₅ of around 1054 mg/L of O₂, the Bouishak river has a BOD₅ value of 275 mg/L of O₂, the Boufekrane river with a value of 197 mg / L of O₂. The BOD₅ value at the confluence of the three wadis at station S6 is of the order of 531 mg / L of O₂. Station S5, which was used to evaluate the qualitative assessment of the Boufekrane river, showed an average BOD₅ value of around 105 mg / L of O₂. The COD / BOD₅ ratio, reflecting biodegradability, shows a diverse origin of the pollution. It is predominantly domestic in the stations S1, S2, S4, and S5 and of industrial origin at the stations S3, S6, S7, and S8.

Keywords: R'dom, Pollution, Meknes, dumping raw sewage, Physico-chemical parameters; Bacteriological, Community action plan

1. Introduction

Le Maroc est le 22^{ième} pays le plus stressé par l'eau selon un rapport du World Resources Institute (Frascardi et al., 2018). Le stress hydrique du Maroc est défini entre 1.000 et 1.700 mètres cubes d'eau douce disponible par personne et par an, a déclaré la Commission économique des Nations Unies

pour l'Afrique (CEA) (Serra, 2018). D'ici 2025, la sécurité en eau du pays devrait s'aggraver jusqu'à une «pénurie d'eau», avec des prévisions de moins de 1.000 mètres cubes d'eau douce disponible par personne et par an, a déclaré l'UNECA (Bouhia, 2020).

La Région de Fès-Meknès enregistre chaque année des précipitations et des niveaux de neiges assez importants, surtout dans le Moyen-Atlas (El-Bouhali et al., 2020). Toutefois, elle souffre toujours de pénurie d'eau. Pour pallier à cette situation, qui varie d'une province à l'autre mais dont la gravité reste souvent la même, une enveloppe de 120 millions d'euros a été accordée à la Région Fès-Meknès, dans le cadre du programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation 2020-2027 (Libération, 2020).

Caractérisé par une forte densité de population, un nombre très important d'unités industrielles, et une croissance socio-économique significative, le bassin versant abritant la ville de Meknès est exposé à un ensemble de pollutions de sources domestique (RADEM, 2020), industrielle (Lekehal, Benzougagh, Boukhari Taleb, & Bouchelta, 2017) ou agricole (Larif, Soulaymani, Hnach, & El Midaout, 2013), qui risquent d'entraver le développement de plusieurs secteurs dans la région (ABHS, 2011).

30 millions de m³ (RADEM, 2020) est le volume moyen annuel des rejets liquides de la ville de Meknès qui sont déversés après traitement par lagunage anaérobie à l'aval de la confluence des oueds Boufekrane et Bouishak qui longent la ville. Pour la pollution industrielle, la ville de Meknès est caractérisée par une activité économique dynamique et localisée principalement aux quatre coins de la ville. Les principales branches industrielles polluantes sont : l'agro-alimentaire (huileries, laiteries, conserveries, production de vin...), et les papeteries (PM, 2015). La majorité des secteurs présentent des émissions relativement constantes au cours de l'année, tandis que les rejets des margines se concentrent principalement sur les mois de Novembre – Février, période de récolte des olives pour les huileries (Abdelkader Chahlaoui, 1996).

Les déchets solides sont également une source de pollution diffuse dont les flux sont difficilement estimables. Les lixiviats ont constitué auparavant une source de dégradation pour les eaux superficielles (Lekehal et al., 2017), surtout en période pluvieuse où les eaux ruisselants à travers les déchets (Talbi et al., 2020), se chargent de polluants et ont contribué significativement à la pollution des eaux de l'oued Boufekrane.

L'évaluation de l'impact de ces sources de pollution dans la zone d'étude a été réalisée en suivant la variation et l'évolution spatiotemporelle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques à l'instar de plusieurs études similaires réalisées au Maroc (Abbou, Bougarne, & El Haji, 2020;

Bekri, El Hmaidi, El Mati El Faleh, Essahlaoui, & El Ouali, 2020; Cherifi et al., 2018), et à l'international (Assaad, 2014; Djellit & Habila, 2014).

Les cours d'eau de la zone d'étude (oued R'dom et ses affluents) ont fait l'objet auparavant de plusieurs travaux, aussi bien sur les sédiments que sur les eaux (A Chahlaoui, Ramdani, & Zaid, 1996). L'ensemble des travaux de suivi de la qualité de des eaux réalisés dans la zone d'étude ont montré que la qualité des eaux de l'oued Boufekrane principal affluent de l'oued R'dom à l'aval des villes de Boufekrane et de Meknès sont de très mauvaise qualité (Aboukacem, Chahlaoui, Soulaymani, Rhazi-Filali, & Benali, 2007; Larif et al., 2013).

Face à cette problématique de dégradation de la qualité des ressources hydriques et de l'environnement de la ville de Meknès, l'état à travers le programme d'assainissement liquide (PNA) et le Programme National des Déchets Ménagers (PNDM) a tracé les lignes directrices visant à atténuer cette situation alarmante de la pollution et la préservation de ces ressources. Ces programmes ont visé spécialement l'amélioration des conditions hygiéniques des citoyens et la préservation de l'environnement urbain de la ville de Meknès et de ses alentours (bassin de Sebou).

Au niveau de la ville de Meknès, la commune a élaboré un ensemble de programmes pour la gestion des problématiques de développement dénomés Plan d'action communal (PAC). Ce plan vise entre autres de réaliser un diagnostic mettant en évidence le potentiel économique, social, culturel et environnemental de la Commune et de définir les besoins prioritaires identifiés, en concertation avec la population, les administrations et les acteurs concernés, prenant en considération l'approche genre. Cependant ce plan avec l'apparition de la pandémie covid19 connaît un retard important dans la réalisation de ses projets prévus à cause des restrictions financières sévères imposées par l'état sur les collectivités locales cette contrainte de force majeure rend difficile son évaluation.

Cette étude a pour objectif d'actualiser l'évaluation de l'état qualitatif des eaux le long de l'oued R'dom après l'achèvement des programmes PNA et PNDM visant respectivement le volet assainissement et les déchets solides et aussi les programmes visant la composante environnement du PAC. Pour ce faire, huit stations ont été choisies pour l'étude physico-chimique et bactériologique de ce cours d'eau de l'amont : source Maarouf à l'aval après confluence avec l'oued Ouislane durant la période étalée d'Octobre 2018 à Janvier 2020.

2. Matériel et Méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est caractérisée par une situation géographique remarquable (Figure.1) est localisée entre deux ensembles montagneux, le

Prérief et le Moyen-Atlas Occidental. Cette zone se caractérise par deux grands ensembles géographiques à savoir :

La plaine du Saïss notamment la partie du plateau de Meknès et les collines prériefaines de Zerhoun (Martin, 1973). De point de vue géomorphologique le plateau de Meknès représente environ les 2/3 du Saïss. (Figure.2) Il s'étend sur 80 km d'Ouest en Est et sur 30 km du Nord au Sud, ses limites sont assez étroitement liées à l'extension des calcaires lacustres qui affleurent (Essahlaoui, 2000). Ainsi il est délimité :

- Au Nord par les collines et rides Prériefaines argilo-marneuses ;
- Au Sud par le Causse Moyen-Atlasique calco-dolomitique ;
- A l'Est par la plaine calcaire de Fès, enfoncée de 100 m environ ;
- A l'Ouest par l'oued Kell et par la vallée de l'oued Beht qui se prolonge par le plateau central essentiellement schisteux.

Les altitudes au sein de la zone d'étude sont aux alentours de 530 m.

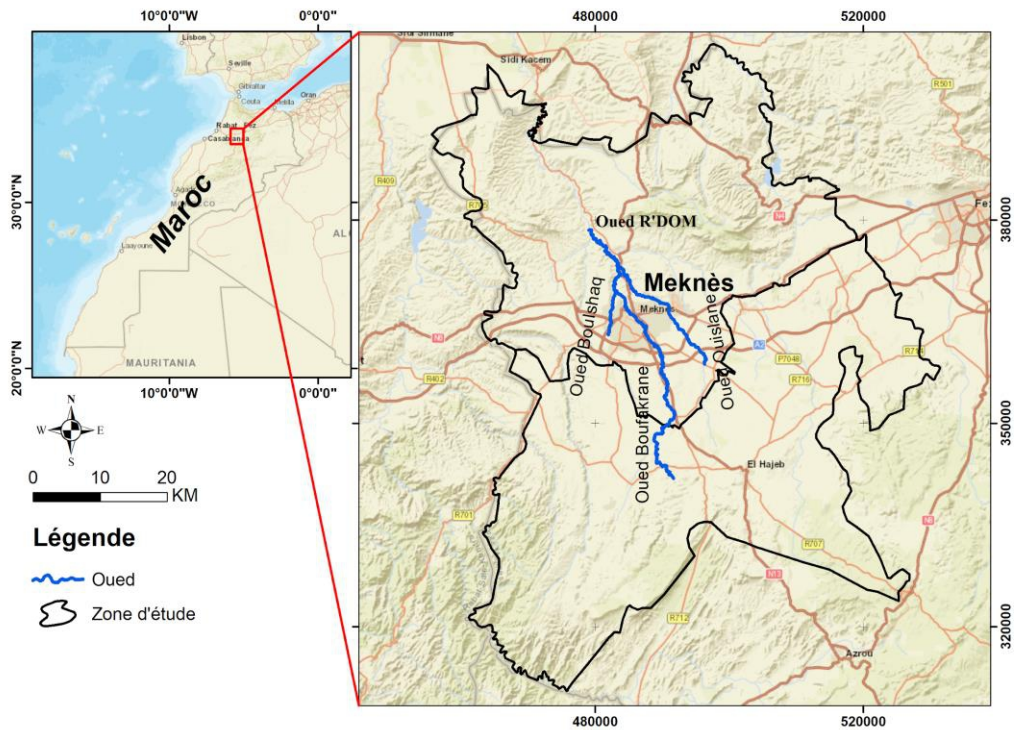


Figure.01 : Localisation de la zone d'étude

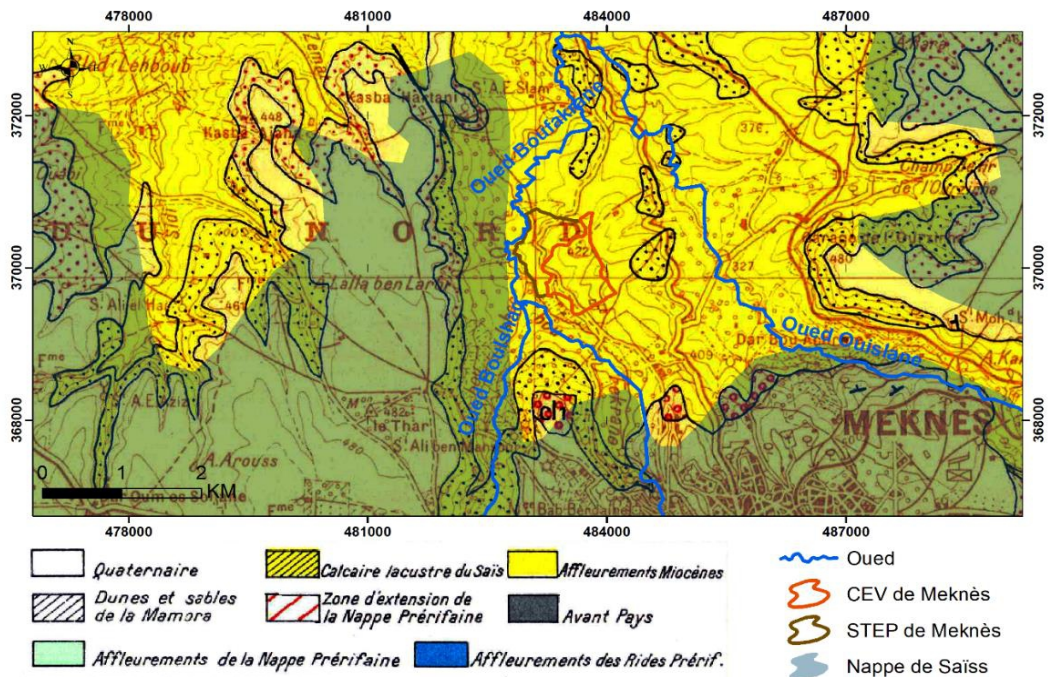


Figure.02 : Situation de la zone d'étude sur carte géologique

Les réserves de la région en eaux souterraines sont considérées comme modestes vu l'abondance de formations géologiques imperméables évitant la pénétration des eaux de pluies ou de neiges fondues (El Hafyani et al., 2020). Cependant, la région d'étude recèle un ensemble d'étendues d'eaux souterraines à savoir la nappe de Saïss dont la limite Nord est située à quelques centaines de mètres du site de la décharge. Cette réserve comprend un aquifère profond et un aquifère phréatique séparés (Essahlaoui, A.2000). La surexploitation de ces deux nappes et les sécheresses répétitives ont conduit à la baisse de la pression des forages artésiens, la chute des niveaux piézométriques (2,8 m/an) et le tarissement des sources (ABHS, 2011). La zone d'étude est principalement traversée par trois Oueds à savoir : Ouislane, Boufekrane et Bouishak (Figure.3). Les principaux débits d'étiage des oueds de la zone sont (ABHS, 2006) :

- Le débit de l'oued Ouislane, qui subit peu de variations journalières, est sensiblement constant entre l'amont et l'aval : 160 L/s en amont et 210 L/s en aval (ABHS, 2006);
- Le débit amont de l'oued Boufekrane, qui s'avère sensiblement constant au cours de la journée, est voisin de 150 L/s. Dans sa zone aval, après traversée de Meknès, ce débit augmente pour atteindre 230 L/s. Une forte

hétérogénéité est toutefois constatée traduisant des apports et l'utilisation pour l'irrigation ;

- Le débit des oueds Bouishak et Boufekrane atteint environ 480 L/s (ABHS, 2006).

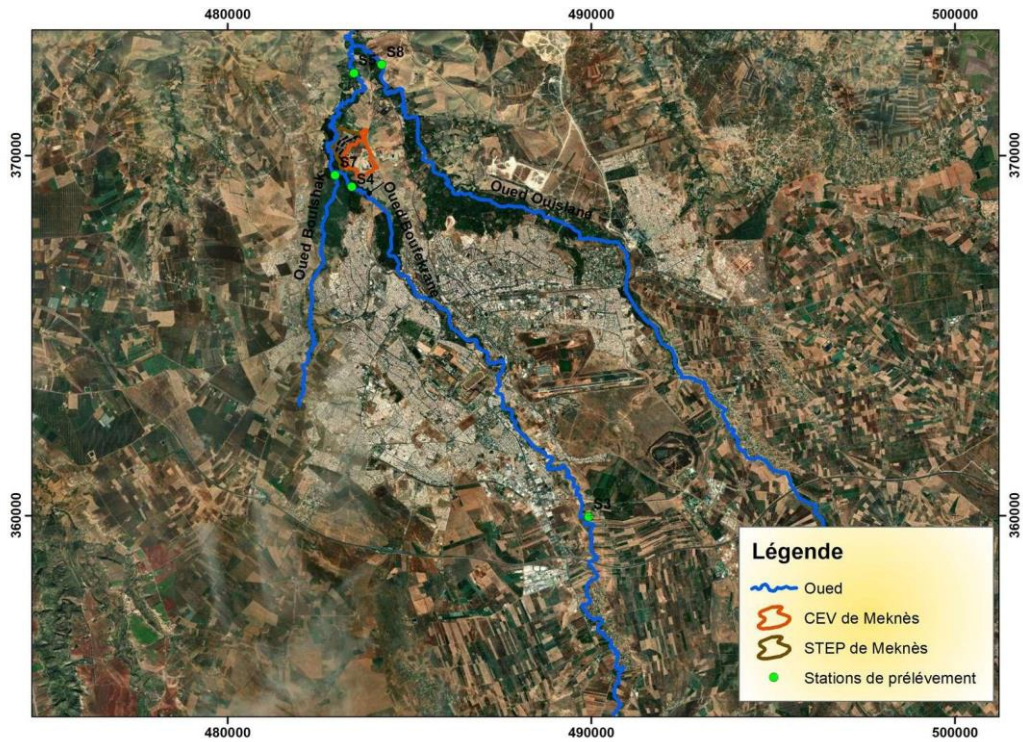


Figure. 03: Situation des cours d'eau de la ville de Meknès

De point de vue climatique, la zone d'étude est caractérisée par un climat du type méditerranéen, semi-continentale tempéré. Le régime des précipitations, les températures, les vents, l'insolation et la nébulosité sont favorables à l'agriculture (Larbi, Mohammed, & Asmae Baba, 2020).

La figure 4 présente les précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans la station de Meknès entre 1988 et 2017. Elle montre que plus de 93% des précipitations tombent entre Octobre et Mai. L'hiver reçoit près de 40% de la pluviométrie moyenne annuelle et le mois le plus pluvieux est décembre (71 mm soit environ 15% de la pluviométrie moyenne annuelle). L'automne et le printemps reçoivent presque la même part de la pluie avec respectivement 29% et 28% de la pluviométrie moyenne annuelle.

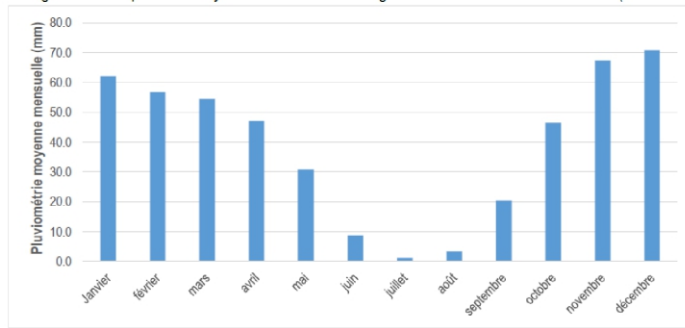


Figure.04 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans la station de Meknès (1988-2017) Source : Direction de la météorologie nationale (DMN)

La pluviométrie de la région de Meknès est caractérisée par une grande variabilité interannuelle (Demerre, 2017). La moyenne interannuelle calculée sur la période d'observation au niveau de la station de Meknès est de l'ordre de 468 mm. Sur la figure 4 on constate que la pluie annuelle enregistrée durant ces dernières années (à partir de 2014), est en dessous de la moyenne. La figure 05 montre l'évolution de la pluviométrie annuelle enregistrée dans la station de Meknès entre 1988 et 2017.

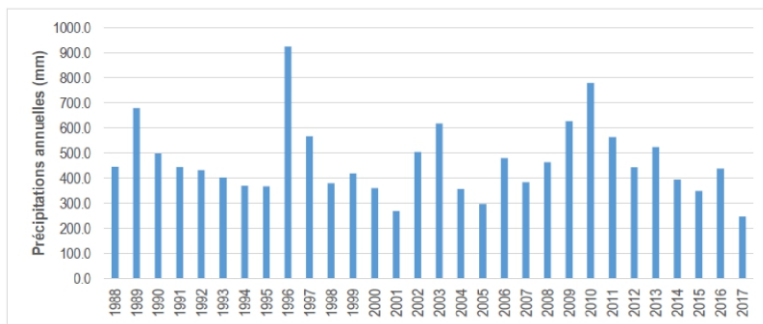


Figure.05 : Précipitations annuelles enregistrées dans la station de Meknès (1988-2017) Source : Direction de la météorologie nationale (DMN)

S'agissant de la température, la zone d'étude est caractérisée par une grande variabilité interannuelle (Demerre, 2017), avec une tendance à la hausse à partir de 2013. La température moyenne interannuelle est de l'ordre de 17,8°C. La répartition des températures moyennes mensuelles montre que le mois le plus chaud est Août (26.4°C) et le mois le plus froid est Janvier (10.3°C). Ces températures moyennes mensuelles s'élèvent graduellement à partir du mois de janvier et évoluent en un caractère estival aux mois de juillet et août (Figure. 6).

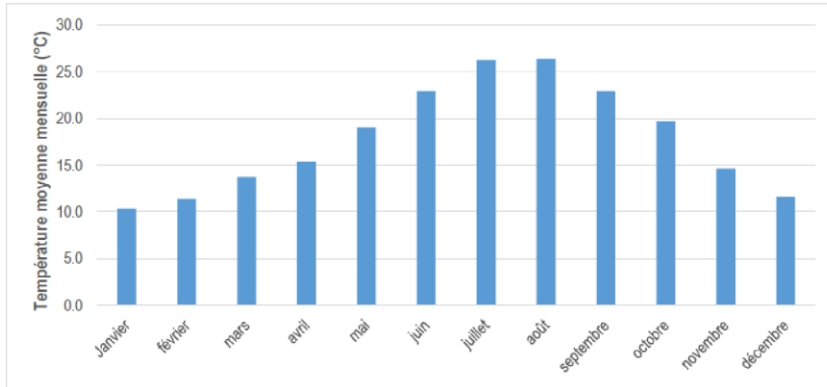


Figure.06 : Températures moyennes mensuelles enregistrées dans la station de Meknès (1988-2017)

L'étude de la rose des vents de la ville de Meknès (Figure 07) montre l'importance des vents soufflant d'Ouest, du Nord-Ouest et du Nord-Est (Rhazi, 2017). Ces vents ont des moyennes de 28, 34,9 et 19,4% de l'ensemble des directions.

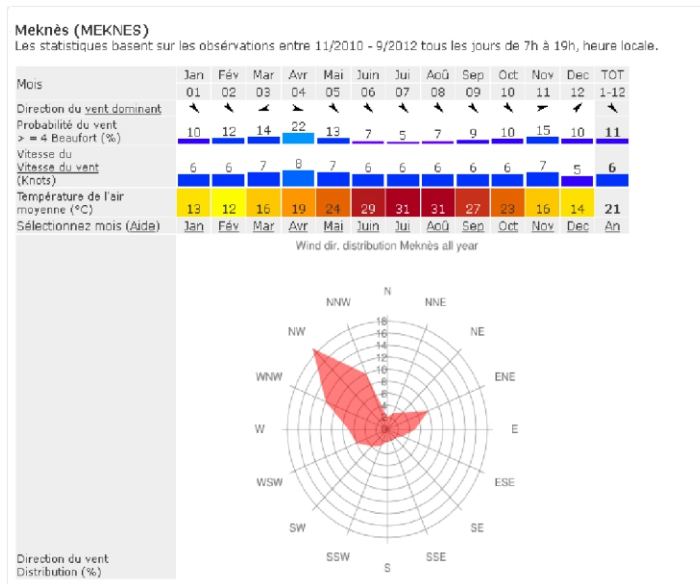


Figure.07: Rose des vents de la Préfecture de Meknès

L'analyse du diagramme de l'évolution de la population (figure 8) montre que la population globale de la ville de Meknès passera d'environ 663 200 habitants en 2014 (HCP, 2014) à environ 766 800 habitants en 2023, 820 000 habitants en 2028 et atteindra environ 950 200 habitants en 2040 (RADEM, 2020). La population de la commune de Meknès atteindra en 2025 environ 551 000 habitants. Et en 2040, la population sera d'environ 950 205 habitants (RADEM, 2020).

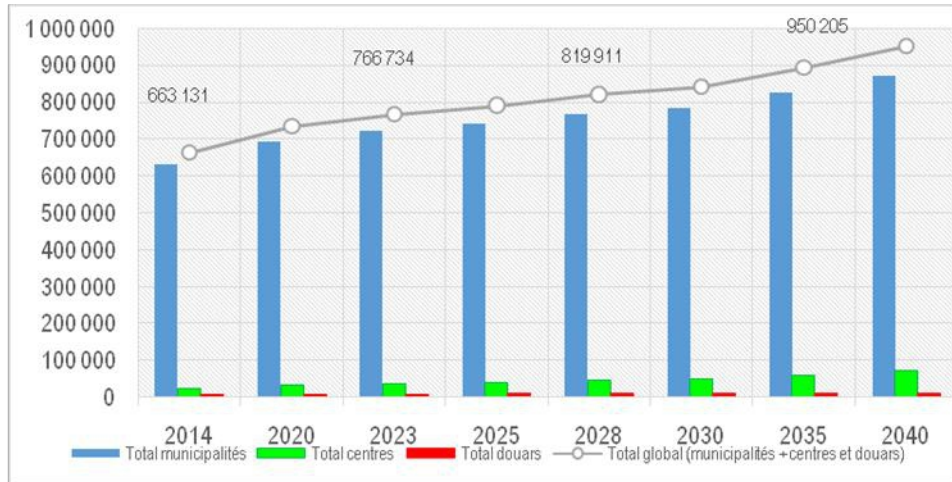


Figure 08: évolution de la population globale de la zone d'étude

Les études sur la demande en eau potable de la ville de Meknès (figure 9) montrent une augmentation de l'accroissement de la population de la zone d'étude qui sera accompagnée d'une forte demande en eau de la ville de Meknès suivant les projections de la RADEM. En 2019, cette demande été de l'ordre de 44 millions de m³ (RADEM, 2020) dont la totalité est assurée par les forages profonds et les sources de l'aquifère de Saiss (ABHS, 2011). Les besoins globaux en eau de pointe à la distribution de la zone d'étude sont d'environ 1 946 L/s en 2020 et augmenteront linéairement pour atteindre 2097 L/s à l'horizon 2040 (RADEM, 2020).

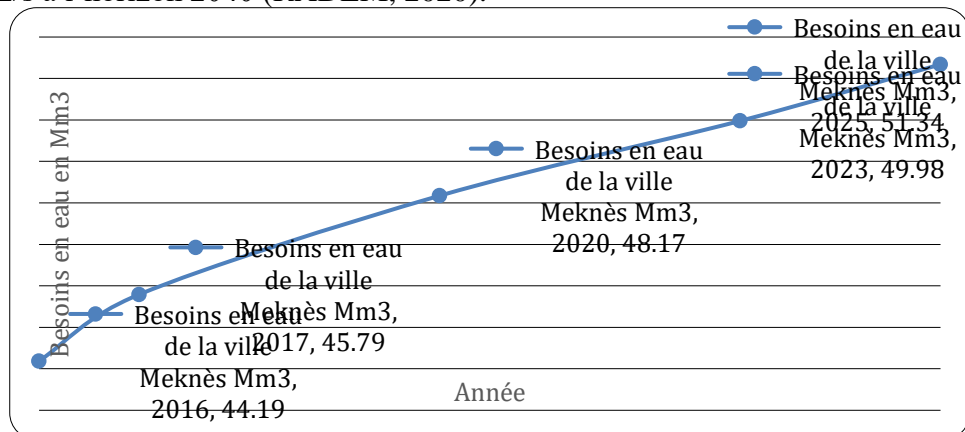


Figure 09 : Evolution et projections de la demande en eau potable de la ville de Meknès

Les rejets de la ville de Meknès sont collectés par le réseau d'assainissement de la ville qui est structuré autour du tracé des trois oueds traversant le tissu urbain de la ville : Ouislane à l'Est, Boufekrane au Centre et Bouisshak à l'Ouest (figure.10). Ce réseau s'étale sur un linéaire de 1400 kilomètres de collecteurs principaux, secondaires et tertiaires (RADEM,

2020). Les rejets liquides de la ville de Meknès sont traités dans une station d'épuration de type lagunage anaérobie située au Nord de la ville à proximité de l'actuelle décharge, alors que les rejets liquides de la ville de Boufekrane situé en amont de la zone d'étude sont déversés directement dans l'oued portant le même nom sans aucun traitement préalable.

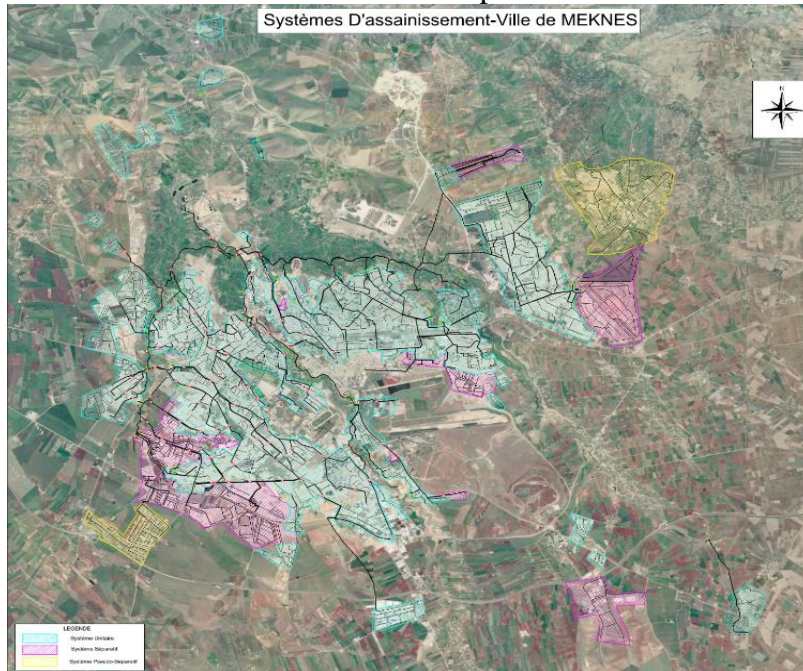


Figure 10 : Structure du réseau d'assainissement de la ville de Meknès

Les industries agroalimentaires dominent les activités industrielles (huileries et conserveries), suivi du textile et de la chimie. Meknès possède d'ailleurs 10% de la capacité de production nationale d'huile d'olive. En plus des déchets solides, ces industries génèrent aussi une charge organique importante rejetées sans aucun traitement préalable au réseau public de collecte des eaux usées. La figure 11 illustre la situation des zones industrielles de la zone d'étude.

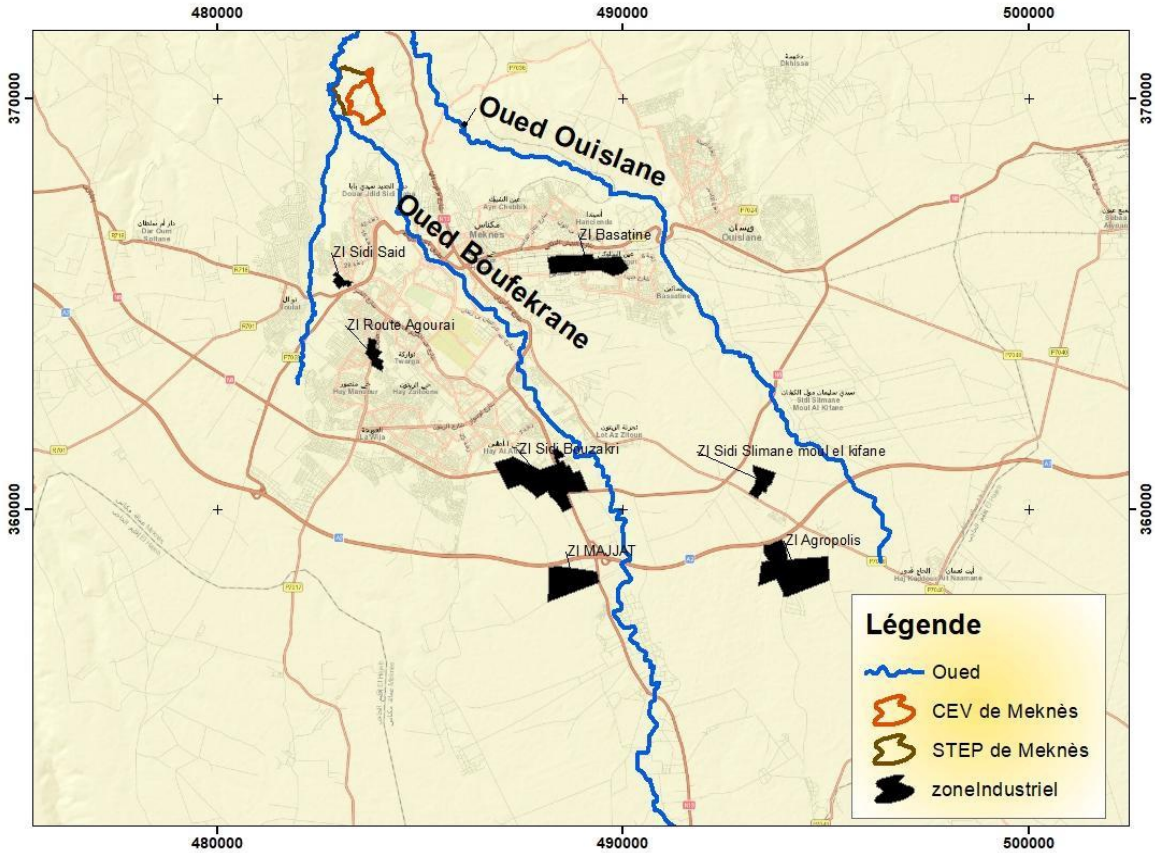


Figure 11 : Localisation des zones industrielles existantes et en cours de réalisation

S'agissant des déchets solides, la ville de Meknès est dotée depuis janvier 2014 d'un centre d'élimination et de valorisation de la ville de Meknès (CEV) s'étalant sur une superficie de 56 hectares. Il est composé de :

- Un Centre de tri Composé d'un hangar de tri de 3000 m² et d'une plateforme logistique de 3000m²,
- Un process de traitement des lixiviats par un procédé industriel associant un bioréacteur à membranes d'ultrafiltration et une station de filtration par osmose inverse avec déshydratation des boues et traitement thermique des concentrâts. Ce process de traitement des lixiviats a permis de traiter un volume annuel de 30 000 m³ en 2015. En juillet 2020, la quantité des lixiviats traitées est d'environ 160 m³/j (soit 58 400 m³/an) (Suez, 2019).

La moyenne journalière des quantités de déchets collectés est de l'ordre de 550 T/j dont 11T/j en provenance des unités industrielles et commerciales de la ville. La composition globale des déchets à la décharge de

la ville de Meknès est dominée par les déchets organiques (figure 12). (Suez, 2019).

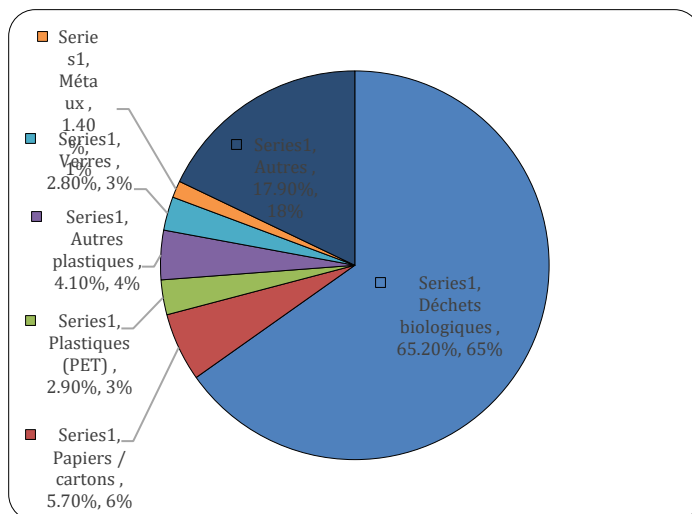


Figure 12 : Composition globale des déchets enfouis à la décharge de la ville de Meknès
 Choix des stations de prélèvement

2.2. Méthodologie

Pour décrire l'état de pollution au niveau de la zone d'étude et évaluer l'impact des rejets de l'ensemble des pressions exercés sur les cours d'eau de la zone d'étude, une caractérisation physico-chimique et bactériologique a été effectuée. Au total, huit stations ont été choisies : Six stations (S1, S2, S3, S4, S5 et S6) qui correspondent à des prélèvements effectués dans l'Oued Boufekrane depuis la source d'Ain Maarouf à son aval au niveau du CEV et la station d'épuration de la ville de Meknès. L'état de la qualité de l'oued Bouishak a été évalué à travers la station S7 localisée avant la confluence de ce cours d'eau avec l'oued Boufekrane. La station S5 a servi pour l'évaluation de la charge polluante des deux cours d'eau Boufekrane et Bouishak avant leurs confluences avec l'oued Ouislane dont la charge polluante a été évaluée au niveau de la station S8. La station S6 donne l'évaluation globale des charges polluantes déversées par la ville de Meknès comprenant aussi les rejets de la ville de Boufekrane. Le repérage des stations utilisées dans ce travail est donné dans la figure 13.

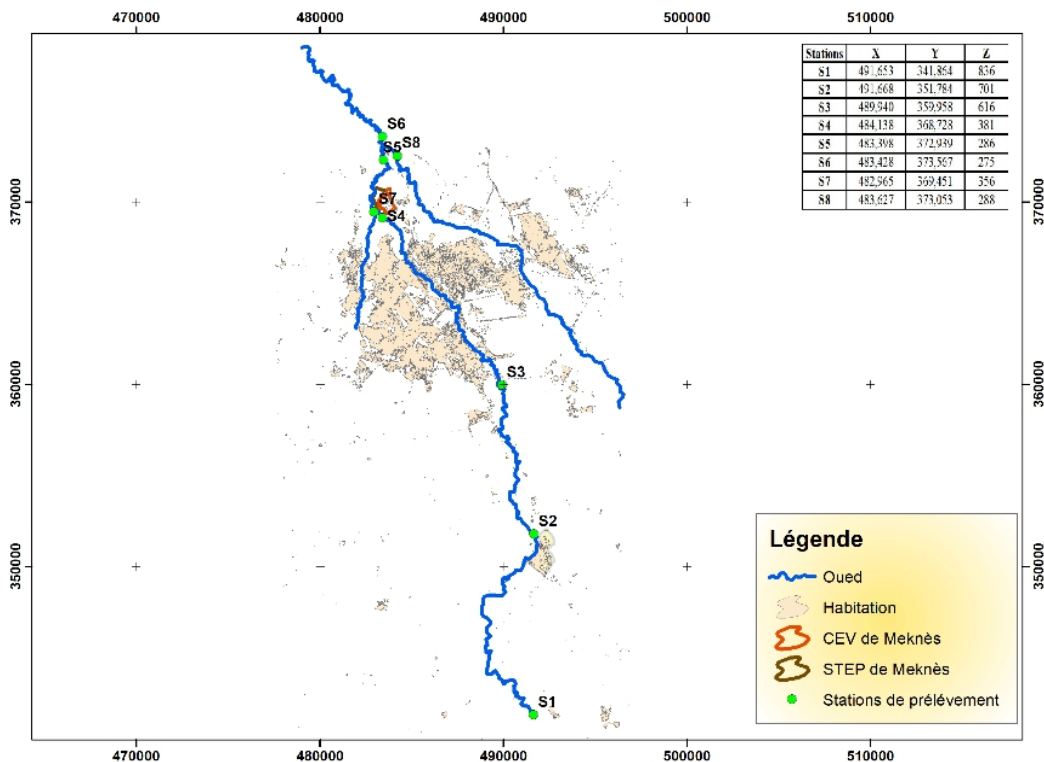


Figure 13 : Carte des situations de prélèvement

2.3 Echantillonnage et analyses

Un échantillonnage a été effectué durant la période “Octobre 2018 – Octobre 2020”. Pour les analyses physico-chimiques, le prélèvement des eaux a été effectué dans des bouteilles de 1,5L, à partir des stations d’études (voir figure 13). Pour l’analyse bactériologique, les échantillons d’eau sont prélevés dans des flacons stériles à bouchons rodés, d’une capacité de 500 mL. Le transport au laboratoire des flacons de prélèvement a été effectué dans une glacière à basse température ($\pm 4^{\circ}\text{C}$). Au total, 10 paramètres de pollution ont été mesurés. L’étude physico-chimique des eaux a porté sur la détermination du pH, la température ($^{\circ}\text{C}$), de la conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentration de l’ion ammonium (en mg/l), l’oxygène dissous (mg d’oxygène par litre), la demande chimique en oxygène (DCO) (en mg d’oxygène/L), et la demande biochimique en oxygène du cinquième jour (DBO_5) (en mg d’oxygène/L). Les méthodes utilisées sont celles citées par (Rodier & Legube, 2009).

La caractérisation physico-chimique des prélèvements a été réalisée sur deux niveaux. Le premier a concerné les mesures in-situ : la température de l’eau, le pH, la conductivité et l’oxygène dissous. Le deuxième a été réalisé au niveau du laboratoire et a concerné une partie des analyses d’évaluation

des charges polluantes et les indicateurs de la pollution organique et minérale (Ndrianirina, Razanamparany, & Ramanantsizehena, 2020). Les ions ammoniums ont été dosés par spectrophotométrie (Rodier & Legube, 2009). Le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF) et streptocoques fécaux (SF), ont été réalisés selon les techniques décrites par (Rodier & Legube, 2009).

3. Résultats et discussion

3.1 Situation de la pollution organique et physico-chimique de la zone d'étude

La température

La variabilité spatio-temporelle des températures des eaux des cours d'eau de la zone d'étude a montré un gradient croissant de l'amont (Ain Maarouf) à l'aval de l'oued R'dom (S6) (Figure.14). La station S1 affiche une moyenne de 15,44°C, alors que S6 affiche une valeur moyenne de 29.72 °C. Le maximum 31.58 °C a été enregistré sur la station S8 qui correspond à l'oued d'Ouislane. Le premier virage ascendant de la température de l'oued a été enregistré sur la station S2 qui regroupe les rejets non traités de la ville de Boufekrane, cette station a affichée une valeur moyenne de 27.21°C. Les variations saisonnières de la température des eaux de l'oued sont négligeables et sont influencées par les déviations des rejets des eaux usées brutes de la ville de Boufekrane, des eaux traitées de la ville de Meknès et des rejets industriels des unités qui déversent directement dans les cours d'eau alimentant l'oued R'dom.

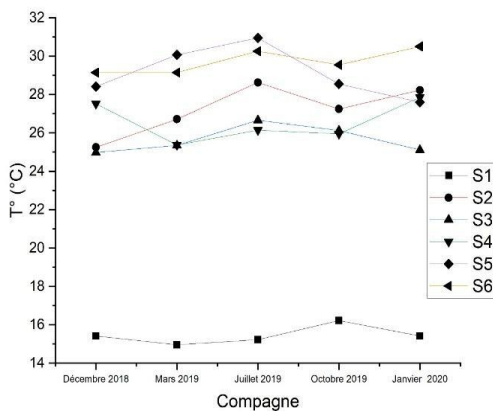


Figure 14 : Evolution spatiotemporelle de la température

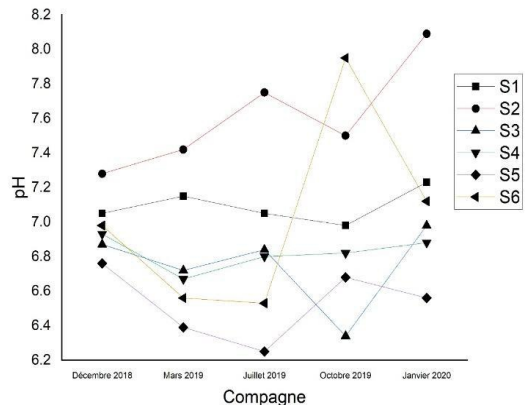


Figure 15 : Evolution spatiotemporelle du pH

Le pH

Le suivi du paramètre pH sur les huit stations a mis en évidence l'impact des rejets industriels sur les trois cours d'eau alimentant l'oued R'dom. En effet, on a constaté une acidification des trois oueds notamment durant la période de trituration l'huile d'olive qui commence en mois d'octobre et s'étale jusqu'à la fin du mois de février. En effet cette période connaît des déversements importants illicite des bassins de stockage des margines. Les valeurs moyennes du pH varient de 7.10 dans la station S1 à 6.78 à la station S6 qui englobe l'ensemble des déversements des villes de Boufekrane et de Meknès y compris les déversements des unités industrielles non raccordées au réseau d'assainissement (Figure 15). L'acidification maximale a été enregistrée dans la station S5 (6.52) qui englobe les rejets traités de la station communale et du centre d'enfouissement et de valorisation des déchets de la ville de Meknès.

Les régressions du pH constatées sur les stations S5 et S6 pourraient être justifiées par la présence des bactéries acidophiles dans les rejets traités de la STEP et aussi par les apports pollués transités par l'oued Ouislane qui draine les eaux usées des unités d'agroalimentaire localisées dans la zone industrielle de Sidi Slimane mouk Kifane.

En effet, l'hydrologie de l'oued Boufekrane a connu depuis quelques années un changement de ces caractéristiques physiques et chimiques à l'amont de la ville de Meknès par la création d'un lac réservoir sur ce cours d'eau. Ce plan vaste qui occupe les anciennes carrières permet une homogénéisation des apports de l'oued, ce qui donne un gradient constant des paramètres de température, de pH et de conductivité électrique à la station de référence de ce travail (S1). Ces valeurs sont aussi influencées par les actions de vandalisme des eaux usées de la ville de Meknès traversant la ville à des fins d'irrigation. (Dahbi & Messaoudi, 2020; El Addouli et al., 2009). L'achèvement de l'opération de trituration et acidification des rejets peut aussi être à l'origine des pics constatés en Mars (Larif et al., 2013). Le pic d'acidification constaté lors de la campagne de juillet pourrait être dû au préparatif de certaines grandes unités de trituration par la vidange complète des bassins de stockages.

Conductivité

La conductivité renseigne sur la minéralisation globale et sur la salinité, elle varie de 771 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S1) à 7562 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité des eaux de l'oued R'DOM évolue suivant un gradient croissant de l'amont (S1) à l'aval (S6) (Figure.16). En effet, la station S1 a enregistré la plus faible valeur de conductivité (771 $\mu\text{S}/\text{cm}$) alors la station S6 affiche une moyenne globale de 4218 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cet accroissement de la valeur de conductivité se justifie par une minéralisation importante influencée par les pollutions d'origine anthropiques

notamment la pollution industrielle des unités localisées en amont de la ville de Meknès et sur la rive droite de l'oued Ouislane. Cette valeur en baisse par rapport aux résultats affichés par (Aboukacem et al., 2007; Larif et al., 2013; Lekehal et al., 2017) est en relation avec la réalisation de la commune de Meknès d'une unité de traitement des lixiviats du CEV qui affichait des valeurs dépassant les 70000 μS . La variation inter mensuelle a été mise en évidence par une augmentation de cette variable durant les périodes estivales et une régression lors des périodes hivernales. Durant la saison d'été, on a constaté une élévation de ce paramètre, due certainement à la forte évaporation et au faible débit d'été drainé par les trois oueds. En hiver la diminution de la conductivité pourrait être expliquée par le phénomène de dilution que connaît l'oued, suite, aux précipitations en période hivernale.

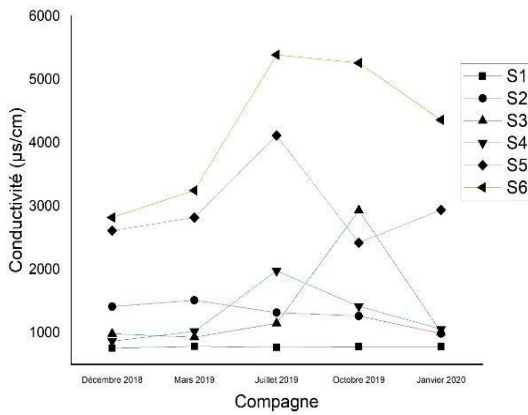


Figure 16 : Evolution spatiotemporelle de la conductivité

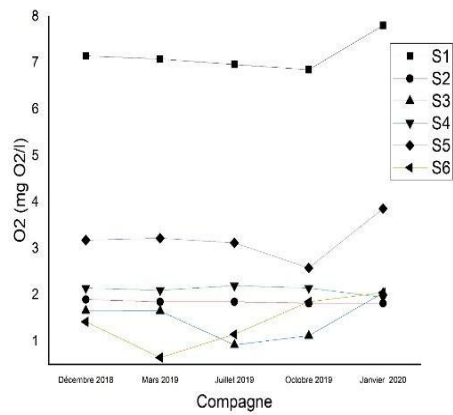


Figure 17 : Evolution spatiotemporelle de l'oxygène dissous

L'oxygène dissous

L'analyse des résultats de suivi de l'oxygène dissous (Figure 17) a montré un gradient décroissant de l'amont qui a affiché une valeur moyenne de 7.16 mg/L à l'aval qui reçoit l'ensemble des rejets de la ville de Meknès, notamment la station S6 qui a enregistré une moyenne des valeurs de l'ordre de 1.42 mg/L.

Un premier virage décroissant est enregistré sur la station S2 qui englobe les rejets de la ville de Boufekrane (1.84 mg/L).

Une première régénération de l'oxygène dissous a été remarquée sur la station S4 affichant une valeur de 2.11 mg/L suivi d'une deuxième au niveau de la station S5 qui reçoit les eaux traitées de la station d'épuration de la ville de Meknès.

Un deuxième virage a été repéré sur la station S6 affichant une valeur de 1.42 mg/L impacté les effluents non traités en provenance des unités

industrielles situées sur la rive droite de l'oued Ouislane dont la station de prélèvement (S8) affiche une valeur moyenne de 0.61 mg/L.

Ion ammonium

Les résultats des analyses de l'ion ammonium ont traduit le degré de pollution lié aux activités anthropiques pratiquées le long de la zone d'étude. Le minimum a été affiché sur la station S1 par une valeur moyenne de 0.048 mg/L, le maximum a été enregistré sur la station S6 par une valeur de 11.15 mg/L (Figure.18). Ce gradient croissant de l'amont à l'aval qui reçoit l'ensemble des rejets de la ville de Meknès, traduit l'état de déversement des rejets traités et non traités de la ville. Le premier point de pollution a été identifié au niveau de la station S2 qui englobe les rejets de la ville de Boufekrane. Une nette amélioration s'est produite au niveau des stations S3, S4 et S5 avec des valeurs respectives de 6.31 mg/L, 1.48 mg/L et 4.51 mg/L. la valeur de ce paramètre a encore été revue à la hausse au niveau de la station S6 qui a affiché une valeur de 11.15 mg/L. Cette haute valeur a été influencée par les rejets en provenance de l'oued Ouislane (S8) qui a affiché le maximum par une concentration moyenne de l'ordre de 16.60 mg/L.

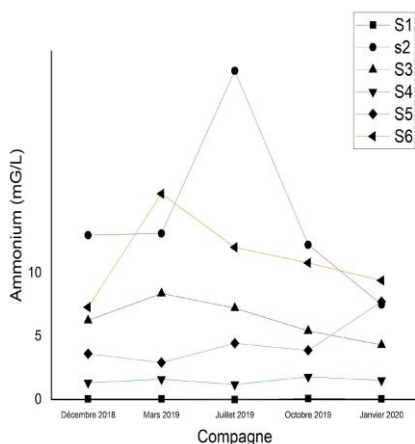


Figure 18 : Evolution spatiotemporelle de l'ion ammonium

La DCO et DBO₅ :

L'analyse des résultats de la DCO des stations étudiées a montré (Figure.19) une relation de causalité entre ce paramètre et l'influence anthropique exercée sur les cours d'eau traversant la ville de Meknès. En effet, la station S1 qui représente la source Ain Maarouf affiche les plus faibles taux de DCO (6.12 mg d'oxygène /L) liés principalement à l'activité d'abreuvement des bétails et aux opérations de lavage des légumes pratiquées à proximité de la source. Le premier virage élevé a été affiché sur la station S2 (524 mg d'oxygène /L) qui englobe les rejets non traités de la ville de

Boufekrane. Entre cette station et la station S3 situées à une dizaine de kilomètres nous n'avons pas constaté l'effet de l'autoépuration sur la qualité de l'oued. Les investigations menées sur le terrain ont montré la présence de rejets liquides industriels en amont de cette station. L'étang d'eau situé en amont de la ville de Meknès sur l'oued Boufekrane assure en partie l'autoépuration de ce cours d'eau qui se reflète par une diminution de la DCO sur la station S4 qui affiche une valeur moyenne de 291 mg d'oxygène/L. La station S5 qui englobe les rejets de la station d'épuration des eaux usées et la station du CEV de la ville de Meknès a affiché une valeur de 230 mg d'oxygène/L. Puis des hausses considérables sur la station S6 (654 mg d'oxygène /L) ce qui prouve que la station S8 englobant les rejets de l'oued Ouislane contribue négativement à la re-pollution de ce cours d'eau par la présence de rejets industriels qui déversent directement sur l'oued.

La dilution de la pollution n'a pas été mise en évidence par le suivi de l'évolution de la DCO. Ceci pourrait être expliqué par les périodes de sécheresses enregistrées durant ces deux dernières années.

Comme la DCO, la DBO_5 suit un gradient croissant depuis l'origine de l'Oued S1 qui affiche une valeur moyenne de 2.83 mg d'oxygène/L pour atteindre son maximum sur la station S6 qui a enregistré une valeur de 531 mg d'oxygène/L. Le premier virage a été enregistré sur la station S2 qui affiche une valeur moyenne de 262 mg d'oxygène/L, suivi d'une augmentation sur la station S3 affichant une valeur moyenne de 423 mg d'oxygène/L (Figure.20). L'analyse du ratio DCO/ DBO_5 de cette station affiche une valeur moyenne de 1,24. Cette valeur indique la présence de rejets provenant d'industries agroalimentaires caractérisés par une DBO_5 élevée.

En plus des rejets industriels situés en amont des stations S3 et S6, nous avons aussi remarqué une augmentation automnale considérable de la DBO_5 . Cette hausse pourrait s'expliquer par les lessivages des sols liés aux premières pluies et probablement à certains rejets illicites de margine stockés dans les unités de trituration. La valeur élevée enregistrée sur la station S5 (105.22 mg d'oxygène/L) est fortement liée aux rejets des unités industriels branchés directement sur l'oued Bouishak et qui opèrent dans l'agroalimentaire.

A la station S4 (197.31 mg d'oxygène/L), l'autoépuration influencée par l'étang de l'oued Boufekrane en aval de la station S3 a permis à l'oued d'améliorer ces caractéristiques par un abattement d'environ 53% de la pollution exprimée en DBO_5 .

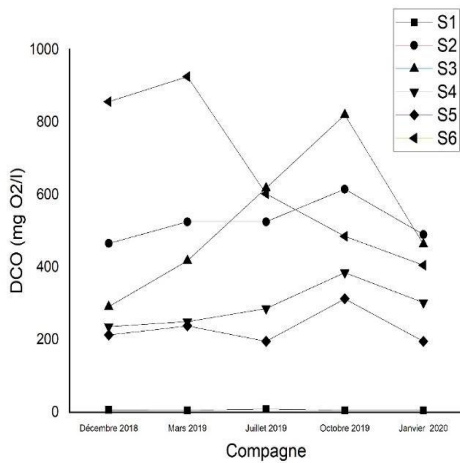
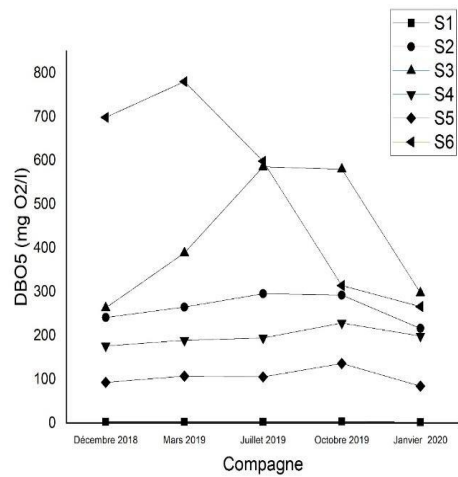


Figure 19 : Evolution spatiotemporelle de DCO



la **Figure 20 :** Evolution spatiotemporelle de DBO₅

la

3.2 Situation de la pollution bactériologique des affluents d'oued R'dom

La charge bactérienne en coliformes totaux (Figure.21), coliformes fécaux (Figure.22) et streptocoques fécaux (Figure.23), présente des fluctuations irrégulières de l'amont à l'aval, avec des teneurs maximales au niveau des stations S2, S5 et S6 qui reçoivent directement le maximum de rejets d'eau usée traitée ou non traitée. Ces résultats sont identiques aux résultats des travaux antérieurs (Abrid, El Hmadi, Abdallaoui, Fassi Fihri, & Essahlaoui, 2011).

La variation temporelle des moyennes en période printanière et estivale est plus marquante pour l'ensemble des stations. Les charges bactériennes les plus fortes ont été enregistrées durant les campagnes de Mars et de juillet qui connaissent des températures élevées et qui favorisent la prolifération bactérienne comme il a été enregistré par les travaux de (Aboukacem et al., 2007; Abrid et al., 2011; Abdelkader Chahlaoui, 1996). En effet, l'ensoleillement favorable est un facteur qui favorise la multiplication des bactéries et leurs enrichissements par les phénomènes physiques adsorption, activation biologique, dilution, dispersion et sédimentation (Rodier & Legube, 2009). L'origine de la pollution a été aussi mise en évidence à travers le facteur R reliant les SF et CF (Figure.24). l'analyse des résultats de ce facteur montre une relation significative des rejets liquide des villes Boufekrane et Meknès avec l'augmentation de ce ratio qui affiche un maximum dans les stations S2 et S5 contre un minimum affiché dans la station S1 de référence dont la pollution ne peut être que d'origine

animale. Ce constat a été observé lors de nos visites à cette station (S1) qui sert d'abreuvoir du cheptel de la population riveraine de cette station.

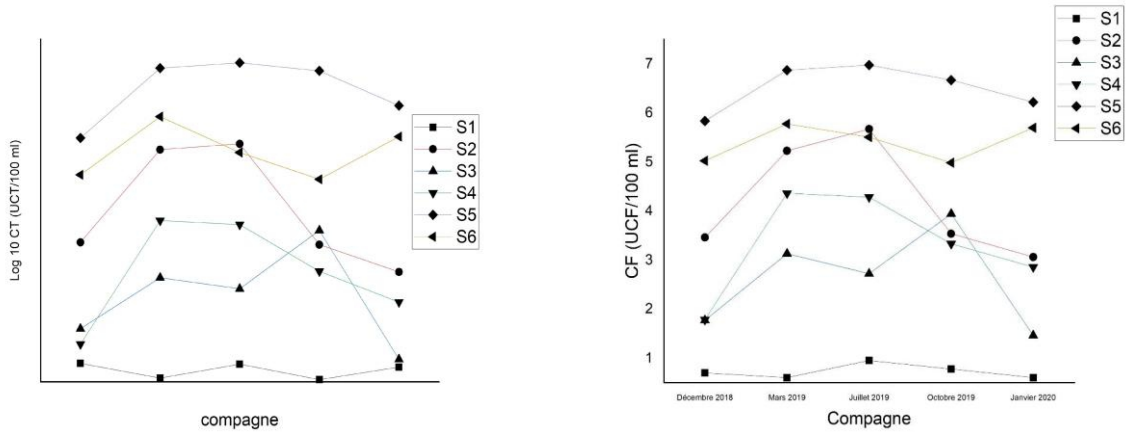


Figure 21 : Evolution spatiotemporelle de la charge des coliformes totaux

Figure 22 : Evolution spatiotemporelle de la charge des coliformes fécaux

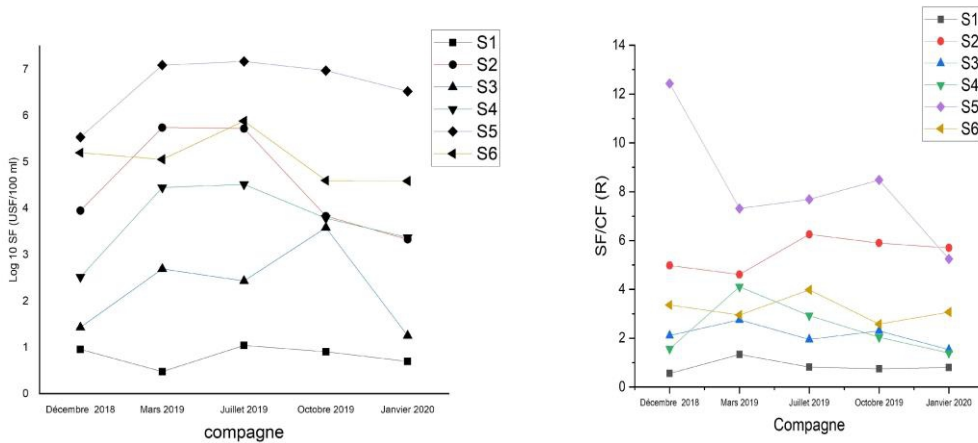


Figure 23 : Evolution spatiotemporelle de la charge des streptocoques

Figure 24 : Evolution spatiotemporelle à travers le ratio R reliant les streptocoques fécaux et les coliformes fécaux

3.3 Impact des apports des oueds Bouishak et Ouislane sur la qualité des eaux de l'oued R'dom (S5 et S6)

Les résultats des analyses du cours d'eau principale de l'oued Boufekrane-R'dom ont montré un gradient progressif de la pollution depuis la source (S1) à la station S6. Ce gradient présente une chute au niveau de la station S5 concernées par les rejets de la ville de Meknès. Toutefois, nous avons observé une augmentation conséquente inexplicable sur la station S6 qui nous a poussés à élargir la zone d'étude en intégrant les deux autres biefs de l'oued R'dom : Oued Ouislane et Oued Bouishak. Les analyses réalisées

sur les deux affluents de l'oued R'dom : (S8) et (S7) ont montrées que leurs qualités respectives présentent une forte charge de pollution dont la variation temporelle est dépendante des activités de pollution exercées aux abords de ces deux oueds. En effet, l'oued Ouislane reçoit l'ensemble des rejets liquides de la zone industrielle de Sidi Slimane moukifane qui abrite un ensemble de sociétés d'agroalimentaire dont la charge de pollution est jugée très importante notamment les charges organiques et bactériennes.

Une comparaison entre les stations a été réalisée pour identifier les sources de l'augmentation considérable des charges de pollution constatées au niveau de la station S6.

En effet, nous avons étudié d'une part, les liens de causalités entre les stations S5 S6 et S8 et d'autre part les liens entre les stations S4, S7 et S5.

Ces résultats montrent que l'oued Bouishak contribue à une augmentation respective de 273% et 202% pour la charge en DBO₅ et en DCO. Aussi il a été remarqué une régression de 37% l'oxygénation de l'oued Boufekrane à cause du taux d'oxygène dissous des apports de l'oued Bouishak.

S'agissant de la station S6, l'analyse des résultats détaillée de cette station et leur confrontation aux résultats de la station S8 montre que les apports évalués à ce point contribuent à une augmentation de la charge polluante de l'effluent principale de R'dom recevant les rejets de la ville de Meknès. Cette augmentation est de l'ordre de 203% pour la DBO₅, 231% pour la DCO, 135% pour la conductivité et 139% pour les ions NH₄⁺. Aussi, les effluents de l'oued Ouislane évalués qualitativement par la station S8 contribuent à un appauvrissement de la teneur en oxygène de l'oued R'dom au niveau de la station S6.

La confrontation des analyses des stations montre clairement une dégradation de la qualité de l'oued R'dom à l'aval de la ville de Meknès. Cette dégradation est principalement influencée par les apports de l'oued Ouislane qui draine les rejets non traités des unités industrielles opérantes dans le secteur de l'agroalimentaire.

Conclusion

Cette étude a montré que l'efficacité des projets de développement menés par la commune pour la réhabilitation de l'état qualitative de l'environnement de la ville de Meknès reste tributaire des mesures d'urgences qui doivent être menées au niveau des oueds Ouislane et Bouishak qui reçoivent des rejets industriels des unités d'agroalimentaire sans aucun traitement préalable. Aussi il est primordial pour la réhabilitation de l'état de l'oued Boufekrane qui assure le remplissage de l'un des monuments marquant de la ville de Meknès qui est le bassin de Swani et de mener des opérations urgentes pour l'épuration des rejets pollués de la ville de Boufekrane et les

unités industrielles situées sur ce cours d'eau et qui déversent des flux importants et fortement chargés en matière organique.

A l'heure actuelle, les eaux émanantes de la ville de Meknès au niveau de la station S6 ne satisfait pas les critères sanitaires de réutilisation en irrigation. Pour cette raison, les décideurs locaux partageant les ressources superficielles étudiées sont amenés à élargir et doubler leurs efforts en matière de collecte et de traitement des rejets industriels l'épuration des eaux usées de la ville de Boufekrane ainsi que le traitement secondaire et tertiaire au niveau de la station d'épuration de Meknès qui sont en cours d'étude par l'établissement de gestion de l'assainissement de la ville et qui rentrera certainement dans le futur PAC (2021-2026) en raison des contraintes normatives de la norme marocaine de déversement des rejets traités n° 1607-06 du 25 juillet 2006.

References:

1. Abbou, M. B., Bougarne, L., & El Haji, M. (2020). Qualité bactériologique des eaux du bassin versant de l'oued Inaouene en amont du barrage Idriss Ier (NE du Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 31(1), 67–78.
2. ABHS. (2006). Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de SEBOU -PDAIRE- (pp. 57). Mission 1 (eau souterraine nappe du lias du moyen Atlas tabulaire): Agence du bassin hydraulique de SEBOU.
3. ABHS. (2011). Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de SEBOU -PDAIRE- (Vol. Rapport de synthèse, pp. 103): Agence du bassin hydraulique de SEBOU.
4. Aboulkacem, A., Chahlaoui, A., Soulaymani, A., Rhazi-Filali, F., & Benali, D. (2007). Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San. Environ*, 1, 10–22.
5. Abrid, D., El Hmaid, A., Abdallaoui, A., Fassi Fihri, O., & Essahlaoui, A. (2011). Pollution impact on Boufekrane river water's (Meknes–Morocco)”: Physico-chemical and bacteriological study. *Phys. Chem. News*, 58, 98–104.
6. Assaad, A. (2014). *Pollution anthropique de cours d'eau: caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux*. (Doctorat PhD Thesis), Université de Lorraine.
7. Bekri, M. H., El Hmaid, D. A., El Mati El Faleh, P., Essahlaoui, A., & El Ouali, A. (2020). Utilisation Des Indices De Qualité Et De Pollution Organique Dans L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles Des Oueds Moulouya et Ansegmir

- (Haute Moulouya, NE Du Maroc). *European Scientific Journal*, 16(27), 55-75.
8. Bouhia, H. (2020). Le Maroc face au Covid-19: Agilité, Cohésion et Innovation/Morocco and Covid-19: Agility, Cohesion, Innovation *Policy Center for the New South* (pp. 1-14).
 9. Chahlaoui, A. (1996). *Etude hydrobiologique de l'oued Boufekrane (Meknès). Impact sur l'environnement et la santé.* (Doctorat thèse de doctorat), Université Moulay Ismail, Meknès.
 10. Chahlaoui, A., Ramdani, M., & Zaid, A. (1996). Etude biotypologique de l'oued Boufekrane (Maroc). *Tropicultura*.
 11. Cherifi, O., Sabri, H., Gharmali, A., Maarouf, A., Hasni, M., Cherifi, K., . . . Sbihi, K. (2018). Variation spatio-temporelle des métaux traces (Cr, Cu, Pb, Zn) chez la laminariale *Saccorhiza polyschides* au niveau du littoral de la région d'Essaouira. *SMETox Journal*, 1(1), 53–58.
 12. Dahbi, N., & Messaoudi, L. (2020). Perception des agriculteurs envers la réutilisation des eaux usées en irrigation: Cas des villes de Meknès, Khemisset, Tifelt et Sidi Allal Lbakraoui (Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(1), 49–58.
 13. Demerre, S. (2017). *Evaluation de la performance du modèle Aquacrop pour la prévision des rendements du blé tendre (triticum aestivum) au Maroc (province de Meknès).* (Master), Université de Liège, Liège, Belgique.
 14. Djellit, R., & Habila, S. E. (2014). *Evaluation de la variation spatiotemporelle de la réponse biologique de l'espèce Carassius carassius à la pollution des eaux du barrage Béni Haroun.* (PhD Thesis), Université de Jijel. Algérie.
 15. El-Bouhali, A., Lebaut, S., Qadem, A., Amyay, M., Gille, E., & Cotonnec, A. (2020, 2020). *Evaluation des produits TRMM et GPM à partir d'observations aux stations et de résultats d'un modèle de quantification spatiale des précipitations sur le moyen-atlas, Maroc.* Paper presented at the In XXXIII ème Colloque de l'AIC Rennes 2020, changement climatique et territoires., Maroc.
 16. El Addouli, J., Chahlaoui, A., Berrahou, A., Chafi, A., Ennabili, A., & Karrouch, L. (2009). Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'Oued Bouishak–région de Meknes (centre-sud du Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 3(1), 56–75.
 17. El Hafyani, M., Essahlaoui, A., Rompaey, A. V., Mohajane, M., El Hmadi, A., El Ouali, A., . . . Serrhini, N.-E. (2020). Assessing Regional Scale Water Balances through Remote Sensing Techniques: A Case Study of Boufakrane River Watershed, Meknes Region, Morocco. *Water*, 12(2), 320.

18. Essahlaoui, A. (2000). *Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de Meknès- Fès, prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau*. Université Mohamed V, Rabat.
19. Frascari, D., Zanaroli, G., Motaleb, M. A., Annen, G., Belguith, K., Borin, S., . . . others. (2018). Integrated technological and management solutions for wastewater treatment and efficient agricultural reuse in Egypt, Morocco, and Tunisia. *Integrated environmental assessment and management*, 14(4), 447–462.
20. HCP. (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014.
21. Larbi, A., Mohammed, M., & Asmae Baba, K. (2020). Perceptions du changement climatique et pratiques adaptatives des agriculteurs du Sais (Maroc). *Collectivus, Revista de Ciencias Sociales*, 7(2), 8–29.
22. Larif, M., Soulaymani, A., Hnach, M., & El Midaout, A. (2013). Contamination spatio-temporelle d'origine hydrique de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès-Tafilalt (Maroc). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 172–184.
23. Lekehal, H., Benzougagh, B., Boukhari Taleb, R., & Bouchelta, A. (2017). Lixiviats Issus De La Decharge Publique De La Ville De Meknes: Caracterisation Et Impact Sur Les Eaux De L'oued Boufekrane. *European Scientific Journal*, 14(29), 332-357.
24. Libération. (2020, Mercredi 15 Janvier 2020). Lancement du Programme prioritaire national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation Sa Majesté le Roi préside une séance de travail à Marrakech.
25. Martin, J. (1973). *Carte géomorphologique du Moyen Atlas Central au 1: 100 000*: Editions du Service géologique du Maroc.
26. Ndrianirina, S., Razanamparany, B., & Ramanantsizehena, G. (2020). Évolution spatio-temporelle de la pollution des eaux cressonnières et des eaux usées domestiques dans la commune urbaine d'Antananarivo, Madagascar. *Afrique Science*, 16(2), 217–228.
27. Norme Afnor, N. (1988). T90-101, Octobre 1988. *Determination de la demande chimique en oxygene*.
28. PM. (2015). Etude du plan directeur pour la gestion des déchets menagers et assimilés de la prefecture de meknès (pp. 160): Prefecture de Meknes (PM).
29. RADEM, M. (2020). Actualisation du schéma directeur d'assainissement et d'eau potable. Meknès.
30. Rhazi, A. (2017). Etude de la vulnerabilite aux risques d'inondations dans la ville de meknes. apport des sig, du mnt et des modeles empiriques. *European Scientific Journal*, 13(36), 102-123.

31. Rodier, J., & Legube, B. (2009). *L'analyse de l'eau* (9^{re} édition ed.): Dunod.
32. Serra, G. (2018). Development indicators at the United Nations Economic Commission for Africa, 1980-1990. *Histoire mesure*, 33(1), 149–172.
33. Suez. (2019). *Centre d'élimination et de valorisation des déchets de la ville de Meknès*. Commune de Meknès.
34. Talbi, F. Z., Sadek, S., Harkati, F. B., Elmarkhi, M., Chiguer, H., El Kharrim, K., & Belghyti, D. (2020). The metallic charge of the leachates of the public discharge of Sefrou'city.(Middle Atlas, MOROCCO). *EasyChair Preprint*.

Ethnobotanical Study of Some Medicinal Species Used in Kimvula City (Kongo Central/ RDC)

L. K. Lassa

G. B. Ilumbe

Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Kinshasa,
DR Congo (Laboratoire de botanique systématique et d'écologie végétale)

A. M. Biloso

Department of Rural Economy, Faculty of Agriculture Sciences,
University of Kinshasa, DR Congo

D. M. Y. Masens

JP. M. Habari

F. L. Lukoki

Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Kinshasa,
DR Congo (Laboratoire de botanique systématique et d'écologie végétale)

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p345](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p345)

Submitted: 20 July 2020
Accepted: 15 March 2021
Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Lassa L. K., Ilumbe G. B., Biloso A. M., Masens D. M. Y., Habari JP. M. & Lukoki F. L. (2021). *Ethnobotanical Study of Some Medicinal Species Used in Kimvula City (Kongo Central/ RDC)*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 345.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p345>

Abstract

This study has been conducted at Kimvula city. The goal was to investigate the medicinal plants used in that city. Thus, any ethnobotanical survey has been realized on the use of the plants in six towns by direct interviews among 180 peoples with an average of age comprise between 17-70 years old with high representatives of women. This study has allowed us to establish a floristic list of 188 medicinal species belonging in 158 genera and 69 families where *Fabaceae* dominant group. Anemia was indications mostly cited as a sickness threated by using plants. Concerning the characteristics of the treatment preparation, leaves are the plant's organs mostly used; decoction is the preparation way cited and the oral administration is the administration way for those medicinal drugs. *Morinda morindoides*, *Ocimum gratissimum*,

Disphania ambrosioides and *Moringa oleifera* have the VAUs superior or equal to 1.10. There is not a link concerning the use of plants between the inhabitant of group 1 and the inhabitant of group 2. By the way, that there is a link concerning the use of plants between the Lona, Winda, Pado, Revolution and Kinata neighborhoods (Group 2). Three species characterized the group 1 like: *Clematis hirsuta*, *Saccharum officinarum* and *Voacanga africana*, and four species *Ceiba pentandra*, *Indigofera paracapitata*, *Maprounea africana* and *Ochna afzelii* characterized the group 2.

Keywords: Medicinal plants, ethnobotanic, threatened sickness, Kimvula city, DR Congo

1. Introduction

Medicinal plants constitute a precious resource for a huge majority of rural population in Africa, where more than 80% use it to assure health care (OMS, 2004; Jiofack et al., 2009, 2010; Dibong et al., 2014; Sylla et al., 2018; Ngbolua et al., 2019). The natural resources of traditional medicine are very diverse; this medicine draws minerals, animals and especially plants, the remedies necessary to restore the patient's health (Ould Mohamed et al., 2009; Caroline G., 2013; Nzuki, 2016; Intissar A.O., 2016).

For a long time, the use of plants has enabled the various cultures of the world to guarantee to a large extent the health of their populations (Bastien, 1987a; Milliken et al., 1992; Geissler et al., 2002; Milliken and Albert, 1997; Milliken, 1997a; Heinrich et al., 1998b; Alexiades, 1999; Bennett et al., 2000; Leonti et al., 2002; Casagrande, 2002; Voeks, 2004). WHO (2002) and Augereau (2008) estimate that approximately less than half of the population in developing countries has regular access to essential medicines. According to Kerharo et al. (1974), WHO (1983), OAU (1985), Sofowora (1996), WHO (2002) and Augereau (2008), 75 to 80% of the populations of the countries of the dependent African countries linked to traditional medicine and more than those preparations based on local medicinal plants. Likewise, Adjanohoun (1993) points out that in rural areas where health facilities are often lacking, the population is 100% dependent on medicinal plants. As Balée (1994) points out, Phillips et al. (1994), Augereau (2008) and Ilumbe (2010), the use of plants varies from one ethnic group to another, because a plant perceived as of great use by an ethnic group can be considered useless by another group (Ilumbe, 2014).

Admittedly, various ethnobotanical studies have been carried out in the different ethnic groups of the different provinces of DR Congo such as Lingola (2001), Masiala (2002), Toirambe (2002), Lumbu (2005), Makumbelo et al. (2008 and 2018), Ilumbe (2006, 2010), Magilu (2007), Gafuene (2009), Bikandu (2007), Bikandu et al. (2018), Lassa (2007, 2012), Mato (2005) and

Musuyu (2006). Some ethnobotanical studies have been carried out in the province of central Kongo, such as those of Kimbundu (2003), Lathan (2007) and Lukoki (2011), on the other hand very few studies or nothing at all have been done on ethnobotanical surveys in the city of Kimvula.

In this study, the working hypotheses have been summarized as follows: “traditional folk medicine constitutes one of the poles of ethnobotanical knowledge; the people of the city of Kimvula use the same plants to cure diseases, they use the same organs, they use the same methods of preparation and administration and they form the same community in the use of medicinal plants.”

During this study, the main objective to contribute of the knowledge about plants using as medicinal species in Kimvula. To achieve this objective, surveys were carried out with local informants to find out which medicinal plants are used by local populations to enhance their value.

To achieve this overall objective, we have set ourselves the following specific objectives:

- Conduct ethnobotanical surveys on medicinal plants in the city of Kimvula;
- Give the general characteristics of the recipes;
- Group all the districts (Kinata, Lona, Mvula nloni, Pado, Revolution and Winda) using a hierarchical ascending classification method (CHA) to check if all the districts use the same plants,
- Assess the cultural significance of the medicinal plants in the city of Kimvula.

2. Area, Material and Methods

2.1. Study Area

The city of Kimvula is located in the Guinean-Congolese and Zambian transition zone of White (1980) or the Sudano-Zambian region dominated by clear forests and savannas, according to Lebrun (1947).

The geographic coordinates are 5°42' to 5°44' South; 15°57's to 15°59's East; 561 to 567 m above sea level (Anonymous, 2002). This altitude contrasts with the 920 m altitude of Kingoma in the north-west and the 650 to 785 m altitude of the Lubisi sector in the south-east (Figure 1).

The city of Kimvula is located 165 km (as the crow flies) southeast of the city of Kinshasa (Encarta, 2005). At the level of the village Kinzala on the road axis (national no. 16) connecting Kimvula to Kisantu is the limit separating the territory of Kimvula from the territory of Madimba to the West.

The Kimvula region enjoys an Aw4 type climate according to the Köppen classification. There is a rainy season that lasts 8 months, from mid-September to mid-May and a dry season of 4 months from mid-May to mid-September. Figure 1 shows a view of the city of Kimvula.

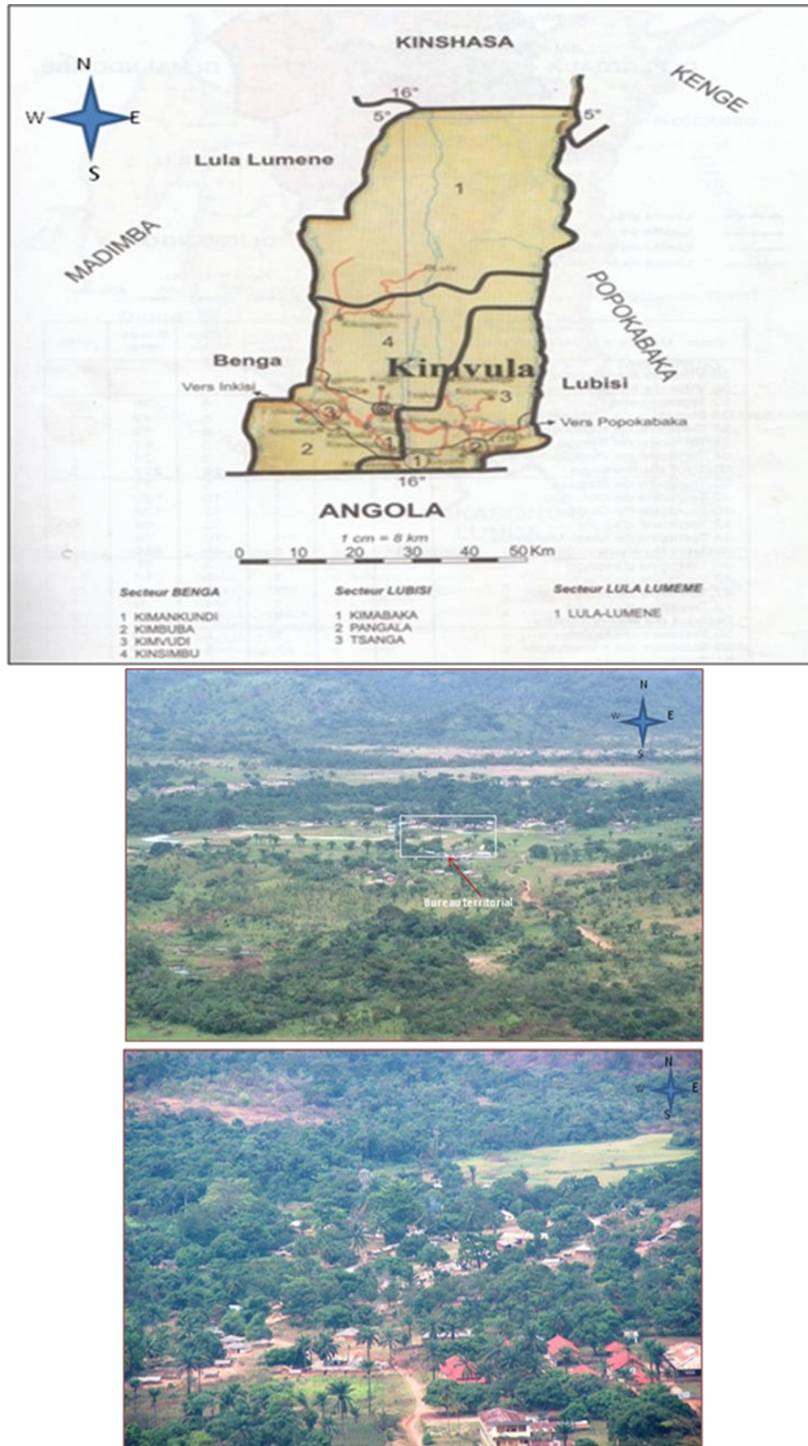


Figure 1: Location of the City of Kimvula in a deep valley between several hills (a) and City of Kimvula, Revolution district where we see in the foreground the general hospital and the convent of the sisters with red sheet metal roof (b)

2.2. Material

The biological material that was used in this study consists of samples of plants collected in the City of Kimvula. So these are the parts of the plants (root, stem, bark, sap, rhizome, flower bud, leaf, resin, whole plant, fruit, seed ...). Harvesting the plants at the city of Kimvula required the following equipment: Digital camera (Canon Power Shot A720 IS), field notebook, pen, pencil, press, herbarium paper, cardboard and harvesting knife.

2.3. Methods

The preparation of a reference herbarium is a necessary basis for any study of botanical inventory. The plants were harvested in the city of Kimvula to constitute a herbarium. For a correct determination of the plants, the flora of the Belgian Congo and the main floristic works of the neighboring countries of Central Africa: Flora of Gabon, Flora of Central Africa and Flora of Cameroon were used.

The verification of determinations was made by comparison with the specimens kept at the Herbarium of Kinshasa "IUK" at the University of Kinshasa, in the Department of Biology.

Some traditional healers but also some young girls and boys who inherited some knowledge generally from their parents on the use of medicinal plants in the city of Kimvula, are among those interviewed.

The present study was carried out from a series of ethnobotanical surveys using semi-structured interview using a pre-developed questionnaire, and the information sought concerned the plants they use to treat diseases, the organs of the plant used, the method of preparation of the recipes and the method of administration (Martin, 1995; Kalanda et al., 1995; Ilumbe, 2014; Alexiades, 1996; Zerbo et al., 2007). Questions were asked in local languages, Lingala and Kikongo. A total of 180 people were interviewed between the ages of 17 and 72. Data processing began by entering the plant lists by neighborhood and by interview, followed by the encoding of various general characteristics of the recipes. Then, the data were processed using the software: MS Word, Excel and MVSP.

To better interpret the medicinal cultural value of plants, the Use Agreement Value Index (VAUs) (Ilumbe, 2010 and 2014) which combines the Use Value Index (VUs) (Philips et al. , 1993) and the confirmation index proposed by Byg and Balslev (2001) was used.

$$VAUs = VUs \times ICs \tag{1}$$

The usage value index VUs is expressed by:

$$VUs = \frac{\sum_{i=1}^n U_{is}}{ns} \tag{2}$$

Where VUs equals the number of uses of the species s mentioned by the informant i and n_s equals the number of people who cited this species.

One technique that takes into account the consensus of participants and can thus be used to assess the cultural importance of plants is the proportion of informant agreement (Trotter et al. And Logan, 1986; Thomas et al., 2009). For the present study, the original formula proposed by Byg and Balslev (2001) has been interpreted to express the consensus of informants or confirmation index of medicinal plants. Thus, the consensus of informants is calculated as follows:

$$ICs = \frac{N_i}{N_t} \quad (3)$$

Where ICs is the confirmation index, N_a = number of people who cited this species and N_t = total number of people interviewed.

For the determination of groupings and ordination, the hypothesis that the users of medicinal plants living in the city of Kimvula form the same community in the use of plants in traditional medicine will be verified; an obtained similarity matrix from the Jaccard similarity coefficient will be used to build hierarchies for the classification of surveys or informants by district for this case. The different uses of plants can be made between neighborhoods in general, depending on the presence / absence of plants using the similarity measure. Thus, the calculation of a similarity coefficient makes it possible to quantify the degree of association of two species, or even the level of similarity between the districts taking into account their floristic composition, for example (Kent and Coker, 1996; Legendre and Legendre, 1998; Stokes et al., 2000; Magurran, 2004). Thus, the chosen Jaccard index focuses on the double presences(a), that is to say on the plants observed as used by the successive districts. The maximum similarity is equal to 1, 0 being the minimum value. The visualization of the content of these matrices is done in the form of dendrograms.

3. Results and Discussions

3.1. Floral Composition

To better understand the medicinal floral of the city of Kimvula on a botanical level, a list of plant species has been drawn up from ethnobotanical surveys. And then an arrangement of families and genera represented in this floral was made. In total, 188 species used as medicinal plants have an inventory was built in the six neighborhoods surveyed in the city of Kimvula, these are divided into 158 genera and 69 families. The distribution of genera and species in botanical families is given in Table 2. The botanical identification showed that among the 69 families identified, the most

represented are the *Fabaceae* 17 genera (10.76%) and 22 species (11.70%), the *Rubiaceae* 10 genera (6.33%) and 11 species (5.85%), the *Euphorbiaceae* 10 genera (6.33%) and 10 species (5.32%), the *Malvaceae* 9 genera (5.70%) and 9 species (4.79%) and the *Asteraceae* 8 genera (5.06%) and 8 species (4.26%). Betti (2001) in the markets of Yaoundé, Souâda et al. (2007) in the region of Rabat and Paulin et al. (2006) in the Niangoloko classified forest in Burkina Faso also confirm the predominance of the *Fabaceae* family in their investigations.

3.1.1. Distribution of species in botanical families

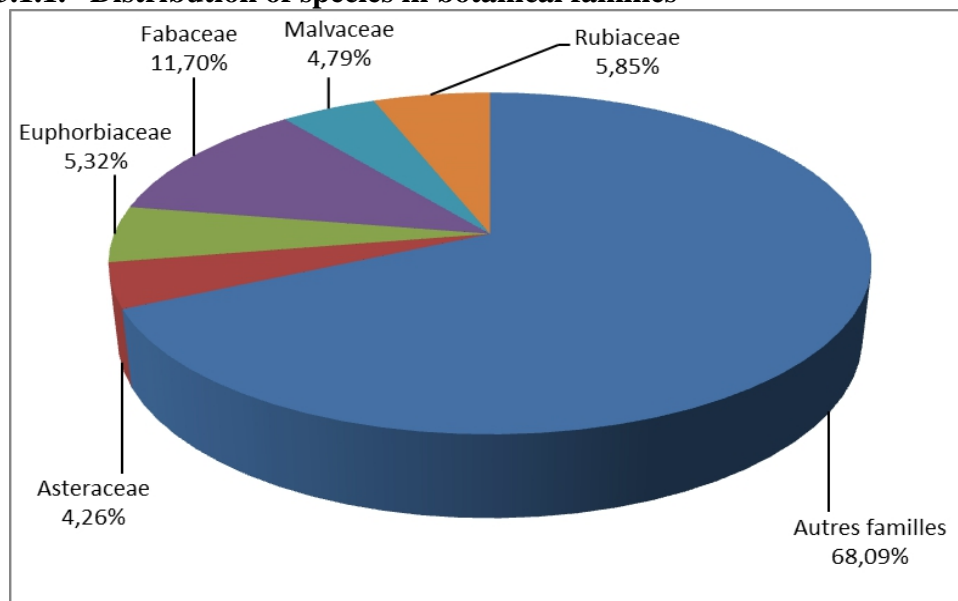


Figure 2: distribution of species in botanical families

3.2. Interviewed People

A total of 180 people were interviewed during this study in 6 neighborhoods in the city of Kimvula (Table 2). Overall, there are 47 men and 133 women. Table 2 reveals the low participation of men in the use of medicinal plants, especially in the Kinata, Lona, Mvula nloni and Révolution districts.

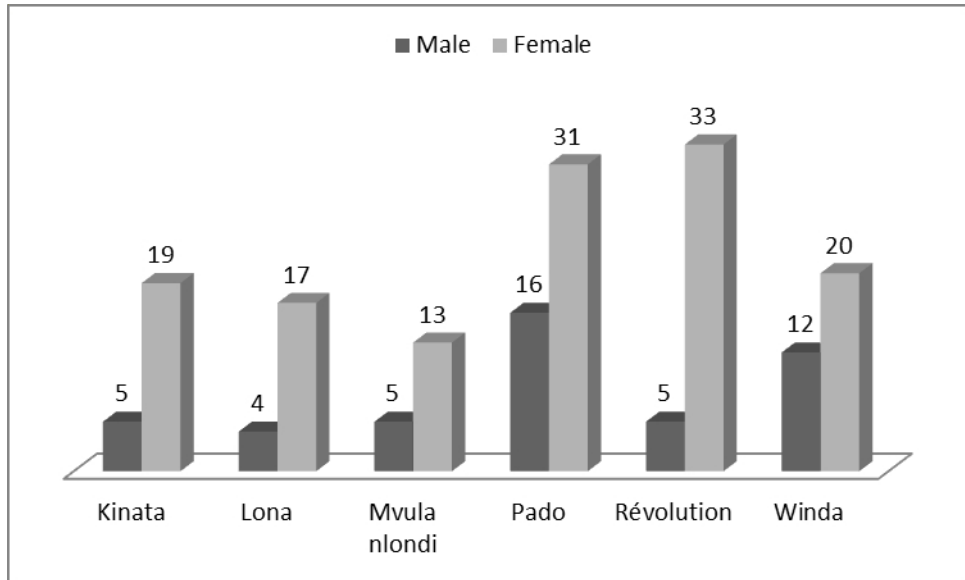


Figure 3: Number of people interviewed on medicinal plants in the city of Kimvula

3.3. Ethnobotanical and Pharmacological Aspects

3.3.1. Ailments Treated by Medicinal Plants

A better understanding of the traditional treatments practiced in the city of Kimvula has made it possible to list around a hundred diseases treated by medicinal plants. The results obtained show that most plants are involved in the treatment of anemia (11.81%), cough (11.39%), fever (10.27%), stomach aches (7.64%), spleen disorders (6.24%), general pain (5.26%), back pain (4.37%) and malaria (4.01%) (Figure 4).

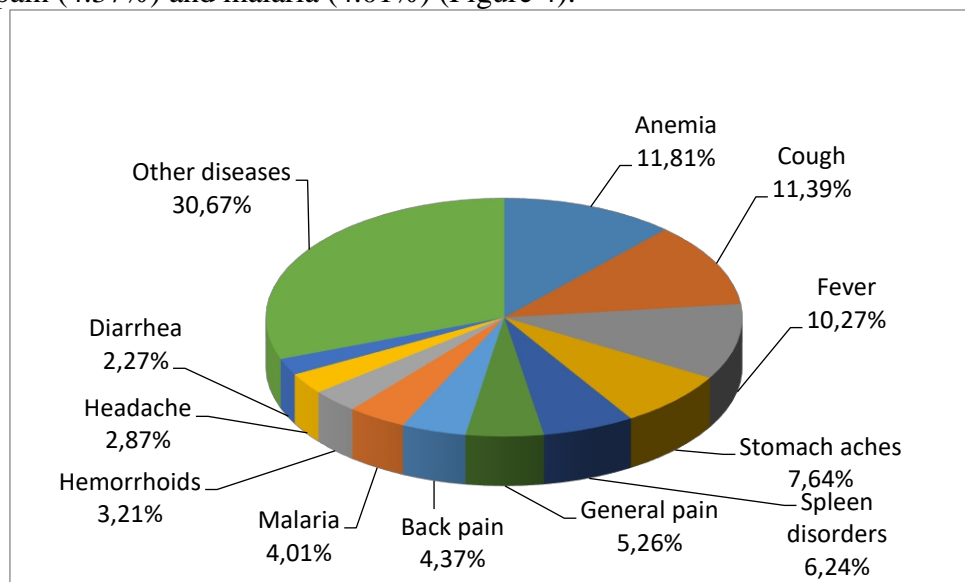


Figure 4: Main disease well-groomed in Kimvula city

3.3.2. Vegetable organs used in recipes

The preparation of phytotherapeutic recipes involves 31 plant organs often used in herbal medicine in the city of Kimvula when the plant is not fully used. The leaf is the organ most used with 3298 citations (59.82%) followed by the root with 813 citations (14.75%), the stem bark with 385 citations (6.98%) and the seed with 338 citations (6.13%). The other organs have little interest (Figure 3).

Ilumbe (2006, 2010 and 2014), Wome (1985), Mabika (1983), Benlamdini et al. (2014), Mato (2005), Magilu (2006 and 2007), Dibong et al. (2011), Fézan et al. (2008), Koffi et al. (2009), Ould (2009), Souad et al. (2010), Bitsindou (1996), Kawukpa and Angoyo (1994) also note the frequent use of the leaves in traditional remedies. For Musuyu (2006), Lubini (1990) and Bitsindou (1996), on the other hand, the barks are the most used organ in the preparation of recipes. As for Lassa (2012), the roots constitute the first organ most used in the preparation of different recipes.

As reported by Bitsindou (1996) and Ilumbe (2010), the importance of the uses of the leaves and stem bark could be explained by the fact that they are generally the seat of biosynthesis and sometimes the storage of metabolites secondary responsible for the biological properties of the plant. Diafouka (1997) argues that the importance of the bark is often due to the ease of harvesting. However, the species for which the leaves are used are less vulnerable than those for which the bark of stems and / or roots is used. It is desirable to encourage the use of leaves in relation to the bark of roots or stems.

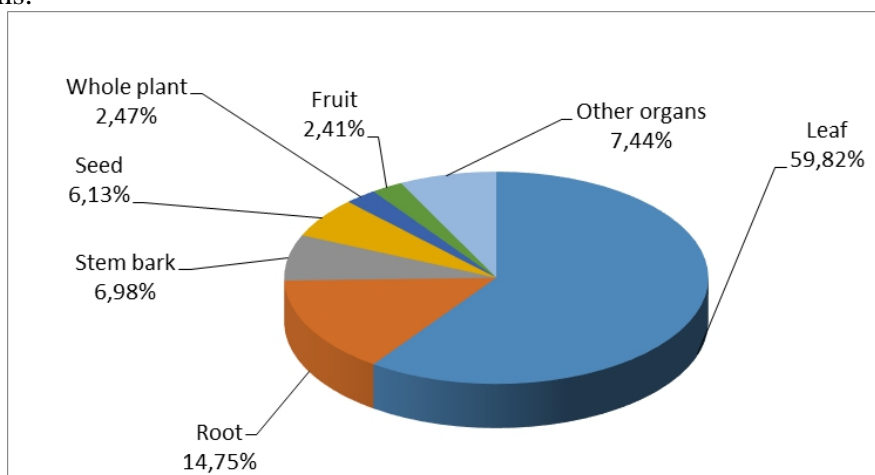


Figure 5: Plant organs used

3.3.3. Mode of preparation of recipes

In this study, the proportions of different methods of preparing plants are listed in Table 3. Among all the methods of preparation listed with

Kimvula's traditional therapists, decoction and pounding are the most common. They collect respectively 2326 citations and 2292 citations, or 42.19 and 41.57%. The other modes of preparation are slightly cited as indicated in Table 1.

The results of this study are consistent with those obtained by Musuyu (2006), Ataholo (1988), Lassa (2012) in DR Congo; Bitsindou (1996) in Congo-Brazzaville in Kindamba, Dibong et al. (2011) in the markets of Douala in Cameoun; Benlamdini et al. (2014) in Morocco, in the Eastern High Atlas (Haute Moulouya) and Koffi et al. (2009) in Côte d'Ivoire in the Krobou country. However, they differ from those obtained by Ilumbe (2006); Mabika (1983); Wome (1985); Magilu (2007) in DR Congo; Fézan et al. (2008) in Côte d'Ivoire, Bitsindou (1996) in Congo-Brazzaville in the Odzala National Park; Dibong et al. (2011) in Cameroon in the Douala markets; Oumar et al. (2014) in Senegal to Khossanto and Souad et al. (2010) in Morocco in the city of Kenitra. For these authors, maceration is the most used mode in the preparation of recipes. Whereas for Kawukpa and Angoyo (1994) among the Batiabetuwa of Mbiye Island in Kisangani (DRC), it is rather the infusion and the drying which are most appreciated in the preparation of the recipes.

Table 1: Mode of preparation of recipes
 (Number of cit: number of citation and %: percentage)

Mode of preparation	Number of cit	%
Burn	90	1,63
Heat up	86	1,56
Cooking	12	0,22
Decoction	2326	42,19
Oven drying	1	0,02
Shead condition drying	2	0,04
Solar drying	1	0,02
Crease	152	2,76
Rub	144	2,61
Scratch	11	0,20
Roast	15	0,27
Infusion	1	0,02
Pounding	2292	41,57
Plant	1	0,02
Without preparation	370	6,71
Break up	8	0,15
Sap leaf	1	0,02
General Total	5513	100,00

3.3.4. Administration Modes

The different modes of administration are represented in figure 6. The oral route is the most used mode of administration with 2511 of citations (45.55%) followed by the anal route with 1217 of citations (22.08%) and skin topical with 419 citations (7.60%). The other routes of administration are poorly cited.

Similar results were also obtained in Bobangi (Ilumbe, 2006); in Kasai-Occidental (Mabika, 1983); in the markets of the city of Kinshasa (Lassa, 2012); in the southwest of the Salonga National Park (Musuyu, 2006); among the Pende populations of the periphery of the INERA forest reserve of Kiyaka, (Magilu, 2007); in Cameroon in the Douala market (Dibong et al., 2011); Kindamba and Odzala National Park (Bitsindou, 1996); in Ivory Coast in the country Krobou, (Koffi, 2009). While in Kisangani, Wome (1985) noted the importance of the rectal route as a whole. Kawukpa and Angoyo (1994) among the Batiabetuwa of Mbiye Island in Kisangani, Lubini (1990) among the Yansi of between Kwilu-Kamastha and Magilu (2006) in Kisangani and Gungu also noted the predominance of the anal route during their investigations. According to Mato (2005) on the outskirts of the southwestern part of Salonga National Park, local application and the oral route are the most common directions for use.

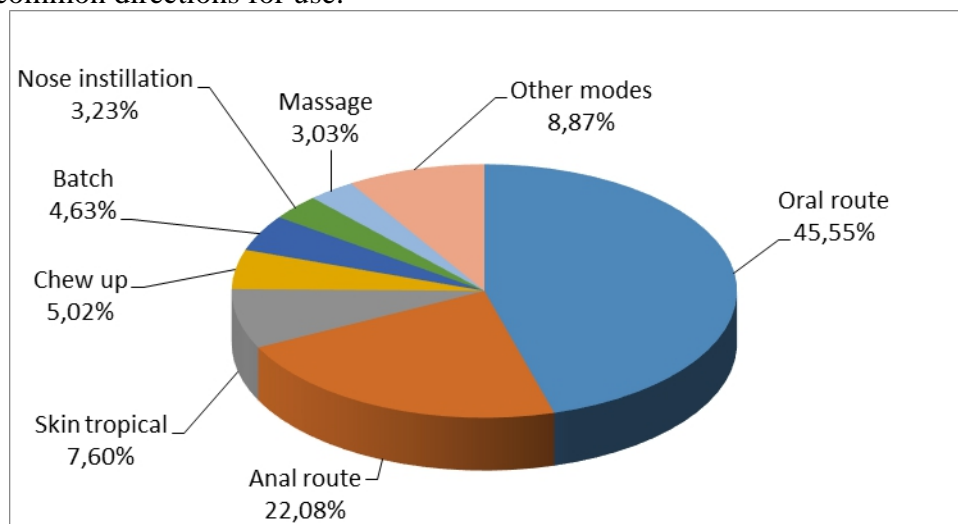


Figure 6: Mode of administration of drugs in Kimvula city

3.4. Cultural Importance of Local Plants

The medicinal plants used in the city of Kimvula with their values of the VUs, ICs and VAUs indices are presented in table 3 in the appendix.

The value-based cash arrangement (VUs) gives different results compared to the informant consensus value-based arrangement (ICs). If the classification based on VUs favors plants used for several uses, that based on

the values of the index of consensus of informants favors plants used or known in several districts.

The classification made from the values of the index of the value of use of the species puts in first position the species *Quassia africana* (4.83), *Canarium schweinfurthii* (3.20), *Moringa oleifera* (2.50) with values greater than or equal to 2.50. By classifying the species according to the confirmation index (ICs), they are the species *Ocimum gratissimum* (0.78), *Morinda morindoides* (0.74), *Disphania ambrosioides* (0.73), *Senna occidentalis* (0.72), *Persea americana* (0.61), *Boerhavia diffusa* (0.60), *Brillantaisia owariensis* (0.60), *Ocimum americanum* (0.56), *Securidaca longepedunculata* (0.53) and *Pentadiplandra brazzeana* (0.50) values greater than or equal to 0.50. By combining the values VUs and ICs into a use agreement value (VAUs), the plant species with a high use agreement value are *Morinda morindoides* (1.58), *Ocimum gratissimum* (1.23), *Disphania ambrosioides* (1.20) and *Moringa oleifera* (1.13) with values greater than 1.10.

3.5. Intra and Inter District Relations About Used of Medicinal Plants

The lists of plants cited during the various interviews across the six districts were subjected to ascending hierarchical classifications. This in order to seek links between the different people interviewed across the different districts on the medicinal plants used in traditional medicine in the city of Kimvula.

3.5.1. Classification based on criteria « used species in traditional medicine »

This classification on the basis of the methods Nearest Neighbour of 6 districts and 188 plant species it possible to observe, 2 groups formed for the use of medicinal plants (figure 7). The first group (G1) is composed of the district inhabitant Mvula nlondi and the second group (G2) is composed of the districts inhabitant Kinata, Lona, Pado, Révolution and Winda. Analysis of the figure below shows that there is not a link concerning the use of plants between the inhabitant of group 1 and the inhabitant of group 2. By the wah, that there is a link concerning the use of plants between the Lona, Winda, Pado, Revolution and Kinata neighborhoods (Group 2). Three species characterized the group 1 like: *Clematis hirsuta*, *Saccharum officinarum* and *Voacanga africana*, and four species *Ceiba pentandra*, *Indigofera paracapitata*, *Maprounea africana* and *Ochna afzelii* characterized the group 2.

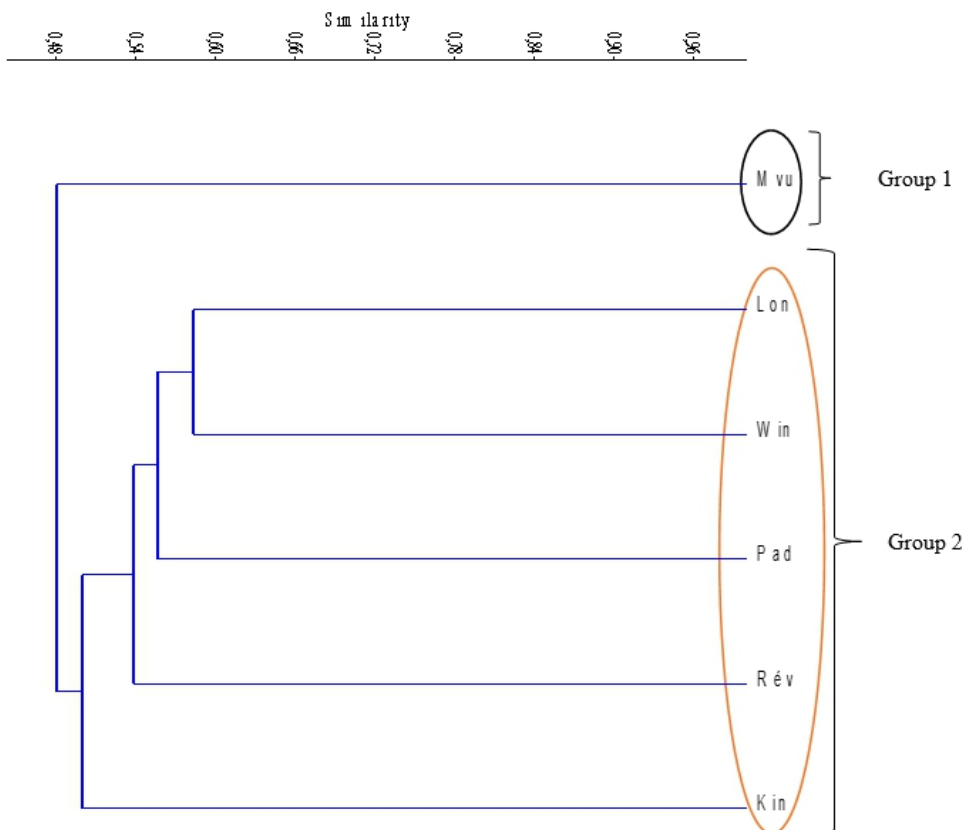


Figure 7: Dendrogram showing the different groups formed by the populations of different districts in the use of plants in traditional medicine according to the nearest neighbor method and Jaccard coefficient (Kin: Kinata, Lon: Lona, Mvu: Mvula nloni, Pad: Pado, Rev: Revolution and Win: Winda)

Conclusion

This study has revealed the relative importance of traditional medicine in the primary health system in the city of Kimvula and at the same time confirms that the use of medicinal plants in the therapeutic field still persists despite the popularity of medicine modern. The ethnobotanical study of medicinal plants showed the presence of 188 medicinal species divided into 158 genera and 69 families. The most represented families are *Fabaceae* (22 species), *Rubiaceae* (11 species), *Malvaceae* (9 species) and *Asteraceae* (8 species). The leaf (59.82%) is the most cited part and in the majority of cases, the plant parts are used fresh in the preparation of medicinal recipes; these are more usually made by decoction (42.19%). As for the method of administration, the oral route is the most cited (45.55%). The species with a high use agreement value are *Morinda morindoïdes* (1.58), *Occimum gratissimum* (1.23), *Disphania ambrosioides* (1.20) and *Moringa oleifera*

(1.13). The medicinal species are used especially against diseases which constitute a real health problem such as anemia, cough, fever, stomach aches, spleen disorders, general pain, back pain, malaria, hemorrhoids, headache and diarrhea. However, despite their effectiveness, these therapeutic products have not been scientifically validated and the problems still lie in unwanted side effects, chronic toxicity and contraindications. These species deserve sustainable management because they are the most widely used and treat several indications or diseases. They can be integrated into sustainable management so that its plant resources exist for future generations. It would be desirable that sustainable management measures be taken to conserve these species.

We will offer some of them to pharmacists and chemists for the control of therapeutic or toxic effects in order to select the truly effective plants. Mainly plants and popular recipes; it will be necessary to determine the indications and the dosage for each of them, this can be done through pharmacological monitoring of patients where the healer and the health worker or doctor work together; and to create gardens of medicinal plants to cultivate interesting species, and also to consider chemical and phytochemical studies with a view to determining the properties of these plants for their better use or the substitution of plant organs which regenerate with difficulty.

References:

1. Adjanohoun E. (1993). Tropical Forest and africaine pharmacopoeia. In Kabala, M.D., Maldaghe & Mankoto ma Mbaelele. IZCN-UNESCO-ACCT, 331-342.
2. Alexiades M.N. (1996). Selected guidelines for ethnobotanical research: A field manual. New York Botanical Garden.
3. Alexiades M.N. (1999). Ethnobotany of the Ese Eja: Plants, health, and change in an Amazonian society. City University of New York, Ph.D. Dissertation.
4. APG III, 2009. Angiosperm Phylogeny Group. Botanical Journal of the Linnean Society, 141:399-436.
5. Ataholo M. (1988) Plantes médicinales de Buta. Mémoire Inédit, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 84 p.
6. Augereau J.M. (2008). The médicinales plants. In Hallé F. & Lieutaghi P. (eds). Aux origines des plantes. Paris: Fayard, 170-201 p.
7. Balée W. (1994). Análise preliminar de inventario florestal e a etnobotânica Ka'apor. Boletim do Museu Paraense. Emílio Goeldi, Ser. Bot., 2: 141-167.
8. Bastien J.W. (1987). Healers of the Andes. Kallawaya Herbalists and their Medicinal Plants. University of Utah Press, Salt Lake City, US.

9. Benlamdini N., Mohamed E., Atmane R. et Lahien Z. (2014). Etude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale du Haut Atlas Oriental (Haute Moulouya). *J. Appl. Biosc.* 78:6771 – 6787.
10. Bennett B. & Prance G. T. (2000). Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of Northern South America. *Economic Botany*, 54: 90-102.
11. Betti J.L (2001). Vulnérabilité des plantes utilisées comme antipaludiques dans l'arrondissement de Minton au sud de la Réserve de Biosphère du Dja (Cameroun). *Syst. Geogr.* 678p.
12. Byg A. et Balslev H. (2001) Diversity and use of palms in Zahamena, eastern Madagascar. *Biodiversity and Conservation*, 10: 951–970.
13. Bikandu K., Fruth B. et Lukoki L. (2018). Inventaire préliminaire des plantes médicinales vendues dans quelques marchés de la partie Ouest de la ville de Kinshasa dans les différents marchés en RDCongo. EUE. 156 p.
14. Bikandu K.B (2012). Etude de quelques espèces médicinales cibles vendues dans les marchés de Kinshasa et leur disponibilité sur les formations végétales : « Cas de l'axe Kinshasa-Matadi et Kinshasa-Kikwit ». Mémoire de DEA en Biologie, Fac. Sciences. Université de Kinshasa.
15. Bitsindou M. (1996). Enquêtes sur la phytothérapie traditionnelle à Kindamba et Odzala. Thèse Doc., Univ. Libre de Bruxelles. pp. 186-265
16. Bontemps (1993). Encyclopédie de santé familiale. Plantes remèdes naturels. Ed. GODEFROY, La Ferrière sur-Risle, 604p.
17. Caroline G., 2013. Guide de poche de phytothérapie. Quotidien Malin, ISBN : 978-2-84899-647-9, 32 p.
18. Casagrande D. G. (2002). Ecology, cognition, and cultural transmission of Tzeltal Maya medicinal plant knowledge. PhD dissertation. University of Georgia, Athens, Georgia, US.
19. Diafouka A. (1997). Analyse des usages des plantes médicinales dans quatre régions du Congo - Brazzaville. Thèse Doc., Université Libre de Bruxelles, 434 p.
20. Dibong S.D., Mpondo M.E., Ngoye A., Kwin M. et Betti J.L., 2011. Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. *J. Appl. Biosc.* 37 :2496 – 2507.
21. Fézan H.T., Guy M., Kohué C.C. et Clejesson H.B., 2008. Etudes de quelques plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle et du diabète : deux maladies émergentes en Côte d'Ivoire. *Sciences & Nature* Vol. 5 N°1 :39 – 48.
22. Jiofack T., Ayissi I., Fokunang C., Guedje N. et Kemeuze V., 2009. Ethnobotany and phytomedicine of the upper Nyong Valley forest in

- Cameroon. *African Journal of Pharmacy and pharmacology* 3(4):144 – 150.
23. Jiofack T., Fokunang C., Guedje N. et Kemeuze V., Fongnzossie E., Nkongmeneck B.A., Mapongmetsen P.M. et Tsabang N. (2010). Ethnobotanical regions of Cameroon. *International Journal of Medecine and Medical Sciences* 2(3):60 – 67.
 24. Gafuene N. (2009). Contribution à l'inventaire des plantes médicinales utilisées au plateau de Bateke. Mémoire, Unikin, Fac. Sc. Dépt. Biol.
 25. Geissler P. W., Harris S. A., Prince R. J., Olsen A., Achieng' Odhiambo R., Oketch-Rabah H., Madiega P. A., Andersen A. & Mølgaard P., 2002. Medicinal plants used by Luo mothers and children in Bondo district, Kenya. *Journal of Ethnopharmacology*, 83: 39-54.
 26. Heinrich M., Ankli A., Frei B., Weimann C. & Sticher, O., 1998b. Medicinal plants in Mexico: Healers' consensus and cultural importance. *Social Science and Medicine*, 47: 1859-1871.
 27. Ilumbe G., 2006. Usage des plantes chez les peuples de Bobangi. Mémoire de DEA, U.L.B, 72 p.
 28. Ilumbe G., 2010. Utilisation des plantes en médecine traditionnelle par les Pygmées (Ba-Twa) et les Bantous (Ba-Oto) du territoire de Bikoro, Province de l'Equateur en R.D.C. Thèse de doctorat, U.L.B, 251 p.
 29. Ilumbe G.B., Van Damme P., Lukoki L.F., Joiris V., Visser M. et Lejoly J., 2014. Contribution à l'étude des plantes médicinales dans le traitement des hémorroïdes par les pygmées Twa et leur voisin Oto de Bikoro, en RDC. *Journal en ligne de l'ACASTI et du CEDESURK*. Vol. 2. N°1 p. 9.
 30. Intissar A.O., 2016. Enquête ethnobotanique à propos des plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel du diabète de type II à Marrakech Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, 123 p.
 31. Kalanda K., Ataholo M. & Ilumbe B. (1995). Contribution à la connaissance des plantes médicinales du Haut-Zaïre : Plantes antihémorroïdaires de Kisangani. *Rev. Méd. Pharm. Afr.* 9 (1): 51-58.
 32. Kawukpa et Angoyo (1994). Plantes utiles chez les Batiabetuwa de l'île Mbiye, Kisangani, Zaïre. *African Study Monograph*, 15 (2) : pp. 49-68.
 33. Kent M. & Coker P. (1996). *Vegetation description and analysis. A practical approach*. Chichester: Wiley.
 34. Kerharo J. & Adam J.G. (1974). *Pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques*. Vigot Frères. Paris, 1011 p.
 35. Kimbundu K., 2003. Quelques plantes médicinales du Bas-Congo et leurs usages. Publication du Jardin Botanique de Kisantu, 189 p.

36. Kimmer 2002. Weaving traditional ecological knowledge into biological education: a call to action. *BioScience*, 52: 432-438.
37. Kanyinda B. (1983). Formulaire thérapeutique Traditionnelle Zaïrois, vol. I, Institut de Recherche en Sciences de la Santé Presse ; Kinshasa.
38. Koffi N., Bengré K., Guédé N., Dossahoua T. et Laurent A. (2009). Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature* Vol. 6 N°1 :1 – 15.
39. K.N. Ngbolua, C.L. Inkoto, N.L. Mongo, C.M. Ashande, Y.B. Masens, P.T. Mpiiana, 2019. Étude ethnobotanique et floristique de quelques plantes médicinales commercialisées à Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2019) 7 (1): 118-128
40. Lassa K., 2007. Inventaire préliminaire des plantes médicinales vendues dans quelques marchés de la partie Est de la ville de Kinshasa « Cas de districts de Mont-Amba et Tshangu ». Mémoire, Unikin, Fac. Sc. Dépt. Biol. 156 p + annexes.
41. Lassa K., 2012. Valorisation des produits forestiers non ligneux (PFNL) d'origine végétale vendus dans les marchés et leur disponibilité dans les environs de la ville de Kinshasa : « Cas de CADIM ». Mémoire de DEA en Biologie, Fac. Sciences. Université de Kinshasa. 353 p.
42. Lathan et al., 2007. Plantes utiles du Bas-Congo, R.D.C. 2^{ème} éd. Paul Lathan, 343 p.
43. Lebrun J., 1947. La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard. *Exploration du Nat. Albert : mission J. Lebrun (1937-1938)*, fasc. 1 :471-800.
44. Legendre P. et Legendre L. (1998) *Numerical Ecology. Developments in Environmental Modelling*, 20, Elsevier Sciences B.V., Amsterdam, 853 p.
45. Liengola I. (2001) Contribution à l'étude des plantes alimentaires spontanées chez les Turumbu et Lokele du District de la Tshopo, Province Orientale, R.D. Congo. *Systematics and Geography of Plants*, 71 (2) : 687-698.
46. Leonti M., Sticher O., and Heinrich, M. (2002). Medicinal plants of the Popoluca, México:
47. Lubini A., 1990. Les plantes utilisées en médecine traditionnelle par les Yansi de l'entre Kwilu-Kamtsha (Zaïre) *Mitt. Inst. Allg. Bot. Hamburg Band 23 b, Comptes rendus de la XII^{ème} Réunion plénière de L'Aetfat. Symposium VIII*, 1007-1020.

48. Lukoki L. F., 2011. Médecine traditionnelle Kongo. Nkisi mi Bakulu. Centre Information de la Faculté d'Economie et développement. Université Catholique du Congo. Kinshasa, 172 p.
49. Lumbu S., Kahumba B., Kahambwe T., Mbayo K., Kalonda M., Mwamba M., Penge O (2005). Contribution à l'étude de quelques plantes médicinales antidiarrhéiques en usages dans la ville de Lubumbashi et ses environs. Annales de Pharmacie, Vol 3, N°1, pp. 75-86.
50. Mabika K. (1983). Plantes médicinales et médecine traditionnelle au Kasai occidental. Thèse de doctorat, Université de Kisangani, 433 p.
51. Magilu M. (2006). Etude ethnobotanique et production fruitière de *Treculia Africana* Decne de la région de Kisangani (Province orientale) et de la région de Gungu (Province de Bandundu) / R.D.C. Mémoire Inédit, Fac. Sc., Unikis, 72 p.
52. Magilu M. (2007). Etude ethnobotanique chez les populations Pende de la périphérie de la réserve forestière de l'INERA de Kiyaka (Kikwit), pp. 45-87.
53. Magurran A.E. (2004). Measuring biological diversity. Blackwell, Malden, Mass.; Oxford.
54. MacRae H.M., McLeod R.S. (1995). Comparison of hemorrhoidal treatment modalities. A meta-analysis. International Journal of Colorectal Disease; 38:687-94
55. Makumbelo E., Lukoki L., J Paulus.J.s.j & Luyindula N. (2008). Stratégie de valorisation des espèces ressources des produits non ligneux de la savane des environs de Kinshasa : II. Enquête ethnobotanique (aspects médicaux). Tropicultura, 26 (3) : 129-134
56. Makumbelo E., Lukiki L. et Bikoko E. (2018). Pratique traditionnelle de gestion durable des espèces végétales utiles. Cas de la savane de Kinshasa. RDCongo. Journal en ligne de l'ACASTI et du CEDESURK. Vol. 6 N° 2 p. 108 – 114.
57. Martin, G. J. (1995). Ethnobotany. A methods manual. Chapman and Hall, London, UK. ISBN 041248370X
58. Mato K.B., 2005. Savoir-faire local dans le périphérique de la partie Sud-Ouest du Parc National de la Salonga. Mémoire DEA en Biologie. Fac. Sciences, Université de Kinshasa. 91 p + annexes.
59. Milliken W. (1997a). Traditional anti-malarial medicine in Roraima, Brazil. Economic
60. Milliken W., Miller R. P., Pollard S. R. & Wandelli E. V. (1992). Ethnobotany of Waimiri Atroari Indians of Brasil. Royal Botanic Gardens, Kew, London, UK, 146 pp.

61. Musuyu D., 2006. Contribution à la revue des plantes médicinales des Nkundo au Sud-Ouest du Parc National de la Salonga. Mémoire DEA en Biologie, Fac. Sciences. Université de Kinshasa. 108 p + annexes.
62. Nzuki B.F., 2016. Recherches ethnobotaniques sur les plantes médicinales dans la région de Mbanza-Ngungu, RDC. Thèse de Doctorat (PhD), Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie, Université de Gand, Belgique, p. 349.
63. O.M.S. (1993). Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes. 10^{ème} révision, vol.1, OMS, Genève, 1335 p.
64. OMS (2002). Stratégies de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005. Organisation mondiale de la santé, 7.
65. OMS. (2004). Atelier sur l'institutionnalisation de la Médecine Traditionnelle dans les systèmes de santé, Cotonou, Bénin, du 13 au 15 septembre 2004.
66. O.U.A. (1985). Pharmacopée africaine. Vol. 1. CSTR/OUA, Lagos, Nigeria, 274 p.
67. Ould Mohamed V.H. et Abdallahi (2009). Contribution à l'étude des plantes médicinales de Mauritanie. ANN. Univ. Lomé (Togo). S2RIE Sciences, Tome XVII :9 – 27.
68. Oumar N.G., Oumar S. et Leonard E. (2014). Richesse de la pharmacopée malinké : rôle médicinal de l'arbre a Khossanto : (Kédougou, Sénégal Oriental). J. Appl. Biosc. 74 :6043 – 6058.
69. Paulin O., Anne M.L., Joseph B. et Sita G. (2006). La flore médicinale de la forêt classée de Niangoloko (Burkinafaso). Etudes sur la flore et la végétation du Burkinafaso, Frankfurt 10, 5 – 16.
70. Phillips O.L., Gentry A.H., Reynel C., Wilkin P. & Ga'avez-Durand B.C. (1994). Quantitative ethnobotany and Amazonian conservation. Conservation Biology 8: 225–248.
71. Sofowora A. (1996). Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Ed. Karthala, Paris, 375 p.
72. Spichiger R.E., Savolainen V., Figeat M. & Jeanmonod D., 2004. Botanique systématique des plantes à fleurs : une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. 3^{ème} ed. Revue et corrigée, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 413 p.
73. Souâda H., Azzeddine K., Hafsa L. et Mohamed T. (2007). Analyses floristique et ethnobotanique des plantes vasculaires médicinales utilisées dans la région de Rabat (Maroc Occidental). Lazaroa 28 :93 – 100.

74. Souad S., Mohamed F., Lahien Z. et Allal D. (2010). Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa* 31 :133 – 146.
75. Stokes M.E., Davis C.S. & Koch G.G. (2000). *Categorical data analysis using the SAS system*. 2nd ed. NC, USA, SAS Institute Inc. 18.
76. Toirambe (2002). Valorisation des produits forestiers non ligneux dans la réserve de biosphère de Luki - Bas-Congo. ERAIFT. Université de Kinshasa, RDC. 161 p.
77. Trotter R.T. & Logan M.H. (1986). Informant consensus: a new approach for identifying potentially effective medicinal plants. In: Etkin, N.L. (Ed.), *Plants in Indigenous Medicine and Diet*. Redgrave Publishing Company, Bedford Hill, New York, pp. 91–112.
- Voeks R.A. (2004). Disturbance pharmacopoeias: medicine and myth from the humid tropics. *Annals of the Association of American Geographers* 94, 868–888
78. White F. (1983). The vegetation map of Africa. A descriptive memoir. UNESCO, Natural Resources Research, 20 : 1-356.
79. Wome B. (1985). Recherches ethnopharmacognosiques sur les plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle à Kisangani (Haut-Zaïre). Thèse Doct. Univ. Libre de Bruxelles, 561 p.
80. Youssouf Sylla, Dieudonné Kigbafori Silue, Kigninma Ouattara et Mamidou Witabouna Kone (2018). Etude ethnobotanique des plantes utilisées contre le paludisme par les tradithérapeutes et herboristes dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(3): 1380-1400, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)
81. Zerbo P., Millogo-Rasodimby J., Nacoulma-Ouedraogo O. G. et Van Damme P. (2007). Contribution à la connaissance des plantes médicinales utilisées dans les soins infantiles en pays San, au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 1(3): 262-274

Appendix

Table 2: Distribution of genera and species in botanical families

Botanical Family	Number of genera		Number of species	
	genera	%	species	%
<i>Acanthaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Amaranthaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Amaryllidaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Anacardiaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Anisophyllaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Annonaceae</i>	2	1,27	3	1,60
<i>Apocynaceae</i>	5	3,16	6	3,19
<i>Araceae</i>	4	2,53	4	2,13
<i>Arecaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Asparagaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Asteraceae</i>	8	5,06	8	4,26
<i>Bignoniaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Brassicaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Burseraceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Caricaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Cecropiaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Celastraceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Chrysobalanaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Clusiaceae</i>	1	0,63	2	1,06
<i>Combretaceae</i>	1	0,63	2	1,06
<i>Commelinaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Connaraceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Convolvulaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Costaceae</i>	1	0,63	2	1,06
<i>Crassulaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Cucurbitaceae</i>	5	3,16	5	2,66
<i>Cyperaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Dioscoreaceae</i>	1	0,63	3	1,60
<i>Ebenaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Euphorbiaceae</i>	10	6,33	10	5,32
<i>Fabaceae</i>	17	10,76	22	11,70
<i>Gisekiaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Hypericaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Hypolepidaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Iridaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Lamiaceae</i>	3	1,90	5	2,66
<i>Lauraceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Loganiaceae</i>	1	0,63	4	2,13
<i>Malvaceae</i>	9	5,70	9	4,79
<i>Marantaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Menispermaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Moraceae</i>	3	1,90	4	2,13
<i>Moringaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Musaceae</i>	1	0,63	2	1,06
<i>Myrtaceae</i>	3	1,90	4	2,13

<i>Nyctaginaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Nymphaeaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Ochnaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Olacaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Passifloraceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Pedaliaceae</i>	1	0,63	2	1,06
<i>Pentadiplandraceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Phyllanthaceae</i>	2	1,27	3	1,60
<i>Piperaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Poaceae</i>	5	3,16	6	3,19
<i>Polygalaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Ranunculaceae</i>	1	0,63	1	0,53
Rubiaceae	10	6,33	11	5,85
<i>Rutaceae</i>	1	0,63	3	1,60
<i>Salicaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Scrophulariaceae</i>	2	1,27	2	1,06
<i>Simaroubaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Solanaceae</i>	5	3,16	8	4,26
<i>Talinaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Theaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Verbenaceae</i>	3	1,90	3	1,60
<i>Vitaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Xantorrhoeaceae</i>	1	0,63	1	0,53
<i>Zingiberaceae</i>	2	1,27	3	1,60
Total	158	100	188	100

Table 3: List of species used in the city of Kimvula with their use agreement values. NI: number of informants, NQ: number of neighborhoods, NM: number of diseases, NR: number of recipes, NC: number of citations, VUs: use value of the species, CIs: confirmation index and VAUs: use agreement value.

Species	N.I	N.Q	N.M	N.R	N.C	VUs	ICs	VAUs
<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench (Malvaceae)	4	2	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Abrus precatorius</i> L. (Fabaceae)	6	3	1	5	6	1,00	0,03	0,03
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC. (Asteraceae)	39	5	8	22	59	1,51	0,21	0,32
<i>Aframomum alboviolaceum</i> (Ridl.) K. Schum. (Zingiberaceae)	70	6	12	34	100	1,43	0,38	0,54
<i>Aframomum melegueta</i> K. Schum.(Zingiberaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Albizzia adianthifolia</i> (Schum.) W. Wight (Fabaceae)	7	3	6	6	9	1,29	0,04	0,05
<i>Alchornea cordifolia</i> (Schum & Thonn.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae)	54	6	7	21	62	1,15	0,29	0,33
<i>Allium sativum</i> L.(Amaryllidaceae)	5	2	4	4	9	1,80	0,03	0,05
<i>Aloe congolensis</i> De Wild & T. Durand. (Xantorrhoeaceae)	83	6	6	20	94	1,13	0,45	0,51

<i>Anchomanes diffiformis</i> (Blume) Engl. (Araliaceae)	4	1	1	1	4	1,00	0,02	0,02
<i>Anisophyllea quangensis</i> Engl. ex Henriques (Anisophyllaceae)	4	2	1	1	4	1,00	0,02	0,02
<i>Annona senegalensis</i> Pers (Annonaceae)	71	5	10	28	82	1,15	0,38	0,44
<i>Arachis hypogaea</i> L. (Fabaceae)	38	6	13	26	44	1,16	0,20	0,24
<i>Argocoferosus capensis</i> L. (Rubiaceae)	1	1	2	2	2	2,00	0,01	0,01
<i>Barteria fustilosa</i> (Mast.) Sleumer (Passifloraceae)	4	2	4	4	5	1,25	0,02	0,03
<i>Bidens pilosa</i> L. (Asteraceae)	56	6	11	26	92	1,64	0,30	0,49
<i>Boerhavia diffusa</i> L. (Nyctaginaceae)	111	6	10	23	178	1,60	0,60	0,96
<i>Brassica oleracea</i> L. (Brassicaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Bridelia ferruginea</i> Benth. (Phyllanthaceae)	31	5	8	16	37	1,19	0,17	0,20
<i>Brillantaisia owariensis</i> P. Beauv. (Acanthaceae)	111	6	22	58	159	1,43	0,60	0,85
<i>Bryophyllum pinnatum</i> (Lam.) Oken (Crassulaceae)	16	3	5	8	18	1,13	0,09	0,10
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. (Fabaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Camelia sinensis</i> L. (Theaceae)	3	1	1	1	3	1,00	0,02	0,02
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl. (Burseraceae)	5	3	7	9	16	3,20	0,03	0,09
<i>Capsicum frutescens</i> L. (Solanaceae)	42	5	14	29	56	1,33	0,23	0,30
<i>Capsicum velutinum</i> L. (Solanaceae)	3	2	3	1	2	0,67	0,02	0,01
<i>Carica papaya</i> L. (Caricaceae)	28	4	11	17	40	1,43	0,15	0,22
<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don (Apocynaceae)	9	1	8	13	21	2,33	0,05	0,11
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn (Malvaceae)	31	5	2	11	31	1,00	0,17	0,17
<i>Celosia trigyna</i> (L.) R. King & H. (Amaranthaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Chromolaena odorata</i> L. (Asteraceae)	44	6	18	35	73	1,66	0,24	0,39
<i>Cissus aralioides</i> (Welw & Baker) Planch (Vitaceae)	10	4	6	9	12	1,20	0,05	0,06
<i>Citrus limon</i> (L.) Burn.F. (Rutaceae)	13	4	4	7	14	1,08	0,07	0,08
<i>Citrus reticulata</i> Blanco (Rutaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Burn.F. (Rutaceae)	7	2	3	6	7	1,00	0,04	0,04

<i>Clematis hirsuta</i> Guill & Perr (Ranunculaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Clerodendrum uncinatum</i> Schinz (Verbenaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Cnestis ferruginea</i> DC. (Connaraceae)	5	2	2	2	5	1,00	0,03	0,03
<i>Coffea canephora</i> Pierre & Fröhner (Rubiaceae)	22	5	7	14	27	1,23	0,12	0,15
<i>Cogniauxia podoleana</i> Baill. (Cucurbitaceae)	6	2	5	5	10	1,67	0,03	0,05
<i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schott et Endl. (Malvaceae)	24	6	12	15	40	1,67	0,13	0,22
<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott (Araceae)	3	2	2	2	3	1,00	0,02	0,02
<i>Combretum psidioides</i> Welw. (Combretaceae)	4	3	5	5	5	1,25	0,02	0,03
<i>Combretum racemosum</i> P. Beauv. (Combretaceae)	3	1	1	1	3	1,00	0,02	0,02
<i>Costus afer</i> Ker-Gawel (Costaceae)	35	6	17	31	66	1,89	0,19	0,35
<i>Costus lucanusianus</i> J. Braun & K. Schum. (Costaceae)	21	5	11	15	29	1,38	0,11	0,16
<i>Cratespermum laurinum</i> (Poir.) Benth (Rubiaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afzel.) Benth (Rubiaceae)	11	4	7	8	17	1,55	0,06	0,09
<i>Croton angolensis</i> Müll.Arg. (Euphorbiaceae)	12	4	6	6	15	1,25	0,06	0,08
<i>Cryptolepis angolensis</i> Welw. ex Hiern (Apocynaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Cucumeropsis mannii</i> Naud. (Cucurbitaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Cynium camporum</i> Engl. (Scrophulariaceae)	3	2	2	2	3	1,00	0,02	0,02
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf. (Poaceae)	34	6	10	14	76	2,24	0,18	0,41
<i>Cymbopogon densiflorus</i> (Steud.) Stapf. (Poaceae)	27	5	7	11	32	1,19	0,15	0,17
<i>Cyperus articulatus</i> L. (Cyperaceae)	6	3	3	3	6	1,00	0,03	0,03
<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don) H.J. Lam. (Burseraceae)	28	5	4	9	31	1,11	0,15	0,17
<i>Dalbergia rufa</i> G. Don (Fabaceae)	4	2	3	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Dalechampia scandens</i> L. (Euphorbiaceae)	7	2	5	5	8	1,14	0,04	0,04
<i>Datura stramonium</i> L. (Solanaceae)	10	2	7	10	16	1,60	0,05	0,09
<i>Dialium pachyphyllum</i> Harms (Fabaceae)	13	2	8	9	16	1,23	0,07	0,09

<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn. (Fabaceae)	2	2	4	4	4	2,00	0,01	0,02
<i>Dioscorea bulbifera</i> L. (Dioscoreaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Dioscorea dumetorum</i> (Kunth) Pax. (Dioscoreaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Dioscorea praehensilis</i> Benth. (Dioscoreaceae)	3	1	2	2	6	2,00	0,02	0,03
<i>Diospyros heterotricha</i> (B.L. Burt) F. (Ebenaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosiyikin & Clements (Amaranthaceae)	136	6	10	37	224	1,65	0,73	1,20
<i>Dracaena acutissima</i> Hua (Asparagaceae)	4	2	2	3	4	1,00	0,02	0,02
<i>Elaeis guineensis</i> L. (Arecaceae)	67	6	15	34	85	1,27	0,36	0,46
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn (Poaceae)	10	3	6	8	16	1,60	0,05	0,09
<i>Emilia coccinea</i> (Sims) G. Don (Asteraceae)	16	5	4	7	18	1,13	0,09	0,10
<i>Erythrophloeum africanum</i> (Welw.) Harms (Fabaceae)	3	2	3	3	3	1,00	0,02	0,02
<i>Erythrophloeum suaveolens</i> (Guill. Et Perr.) Brenan (Fabaceae)	7	2	8	9	13	1,86	0,04	0,07
<i>Eucalyptus globulus</i> Labil. (Melastomataceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Euphorbia trigona</i> Haw. (Euphorbiaceae)	4	3	2	3	4	1,00	0,02	0,02
<i>Ficus exasperata</i> Vahl. (Moraceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Ficus thonningii</i> Blume (Moraceae)	7	4	6	6	10	1,43	0,04	0,05
<i>Garcinia huillensis</i> Welw. ex Oliv. (Clusiaceae)	10	4	4	6	15	1,50	0,05	0,08
<i>Garcinia kola</i> Heckel (Clusiaceae)	33	6	15	19	58	1,76	0,18	0,31
<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach & Thonn. (Rubiaceae)	7	2	4	4	8	1,14	0,04	0,04
<i>Gisekia pharmacioides</i> L. (Gisekiaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Gladiolus gregarius</i> L. (Iridaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Gossypium barbadense</i> L. (Malvaceae)	7	2	4	5	10	1,43	0,04	0,05
<i>Gymnanthemum amygdalinum</i> (Delile) Sch. Bip ex Walp. (Asteraceae)	12	5	9	10	21	1,75	0,06	0,11
<i>Hallea stipulosa</i> (DC.) Leroy (Rubiaceae)	17	6	11	14	25	1,47	0,09	0,13

<i>Harungana madagascariensis</i> Lam ex Poir. (Hypericaceae)	38	6	8	16	52	1,37	0,20	0,28
<i>Heinsia crinita</i> (Afzel) G. Tayl. (Rubiaceae)	28	6	13	19	40	1,43	0,15	0,22
<i>Hibiscus acetosella</i> Welw. ex Hiern (Malvaceae)	4	1	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Hymenocardia acida</i> Tul. (Phyllanthaceae)	26	5	15	19	43	1,65	0,14	0,23
<i>Hymenocardia ulmoides</i> Oliv. (Phyllanthaceae)	13	4	9	10	20	1,54	0,07	0,11
<i>Hyptis suaveolens</i> Poit. (Lamiaceae)	10	2	4	8	12	1,20	0,05	0,06
<i>Indigofera paracapitata</i> Gillett. (Fabaceae)	78	5	2	19	80	1,03	0,42	0,43
<i>Ipomoea batatas</i> Poir (Convolvulaceae)	2	1	2	2	4	2,00	0,01	0,02
<i>Jatropha curcas</i> L. (Euphorbiaceae)	25	5	15	19	29	1,16	0,13	0,16
<i>Justicia secunda</i> Vahl. (Acanthaceae)	77	6	3	19	77	1,00	0,41	0,41
<i>Lagenaria brevifolia</i> (Benth) Roberty (Cucurbitaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standley (Cucurbitaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Landolphia lanceolata</i> (K.Schum) M. Pichon (Apocynaceae)	6	2	4	5	7	1,17	0,03	0,04
<i>Landolphia parvifolia</i> (K. Schum) (Apocynaceae)	9	4	3	4	13	1,44	0,05	0,07
<i>Lannea welwitschii</i> (Hiern) Engl. (Anacardiaceae)	4	2	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Lantana camara</i> L. (Verbenaceae)	3	1	1	1	3	1,00	0,02	0,02
<i>Lasimorpha senegalensis</i> Schott (Araceae)	2	2	2	2	2	1,00	0,01	0,01
<i>Leptoderris congolensis</i> De Wild. (Fabaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenan (Butomaceae)	7	2	2	3	7	1,00	0,04	0,04
<i>Lippia multiflora</i> L. (Verbenaceae)	41	6	12	17	84	2,05	0,22	0,45
<i>Macaranga angolensis</i> Müll. Arg. (Euphorbiaceae)	4	2	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Mangifera indica</i> L. (Anacardiaceae)	84	6	10	27	128	1,52	0,45	0,69
<i>Manihot esculenta</i> Grantz (Euphorbiaceae)	40	6	12	31	74	1,85	0,22	0,40
<i>Maprounea africana</i> Müll. Arg. (Euphorbiaceae)	13	5	3	7	14	1,08	0,07	0,08
<i>Markhamia tomentosa</i> (Benth.) K. Schum. (Bignoniaceae)	4	2	1	2	4	1,00	0,02	0,02

<i>Megaphrynium macrostachyum</i> (Benth) Milne-Redhead (Marantaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Micrococca mercurialis</i> (L.) Benth. (Euphorbiaceae)	7	4	2	4	7	1,00	0,04	0,04
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C. Berg. (Moraceae)	7	4	3	5	7	1,00	0,04	0,04
<i>Millettia drastica</i> Welw. ex Baker (Fabaceae)	6	4	5	5	8	1,33	0,03	0,04
<i>Millettia eetveldeana</i> (Micheli) Hauman (Fabaceae)	4	2	3	3	4	1,00	0,02	0,02
<i>Millettia laurentii</i> De Wild. (Fabaceae)	1	1	2	2	2	2,00	0,01	0,01
<i>Millettia versicolor</i> Welw. ex Baker (Fabaceae)	9	5	4	6	9	1,00	0,05	0,05
<i>Mimosa pudica</i> L. (Fabaceae)	4	1	2	2	8	2,00	0,02	0,04
<i>Mitracarpus villosus</i> (Sw.) DC. (Rubiaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Momordica charantia</i> L. (Cucurbitaceae)	3	2	3	4	7	2,33	0,02	0,04
<i>Mondia whitei</i> (Hook. F.)Stapf. (Apocynaceae)	11	6	6	6	25	2,27	0,06	0,13
<i>Monodora myristica</i> (Gaertn) Dunal (Annonaceae)	29	6	10	17	40	1,38	0,16	0,22
<i>Morinda lucida</i> Benth. (Rubiaceae)	33	6	13	27	54	1,64	0,18	0,29
<i>Morinda morindoides</i> (Baker) Melne. Redh. (Rubiaceae)	138	6	24	35	294	2,13	0,74	1,58
<i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringaceae)	84	6	23	54	210	2,50	0,45	1,13
<i>Musa paradisiaca</i> L. (Musaceae)	4	1	4	4	6	1,50	0,02	0,03
<i>Musa sp2</i> (Musaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br. (Cecropiaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Nicotiana tabacum</i> L. (Solanaceae)	3	2	3	4	6	2,00	0,02	0,03
<i>Nymphaea lotus</i> L. (Nymphaeaceae)	2	2	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Ochna afzelii</i> R.Br. (Ochnaceae)	41	5	3	10	42	1,02	0,22	0,23
<i>Ocimum americanum</i> L. (Lamiaceae)	104	6	16	39	174	1,67	0,56	0,94
<i>Ocimum basilicum</i> L. (Lamiaceae)	3	2	2	2	3	1,00	0,02	0,02
<i>Ocimum gratissimum</i> L. (Lamiaceae)	145	6	13	43	229	1,58	0,78	1,23
<i>Olax viridis</i> Oliv. (Olacaceae)	4	2	4	4	5	1,25	0,02	0,03
<i>Oncoba welwitschii</i> (Oliv.)Gilg. (Salicaceae)	8	4	7	7	10	1,25	0,04	0,05
<i>Oryza sativa</i> L. (Poaceae)	4	2	1	2	4	1,00	0,02	0,02

<i>Pachira glabra</i> (Pasquale) A. Robyns (Malvaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Palisota ambigua</i> (P. Beauv.) (Commelinaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Parinari capensis</i> Harv. (Chrysobalanaceae)	11	3	3	5	12	1,09	0,06	0,06
<i>Paropsia brazzeana</i> Baill. (Passifloraceae)	6	2	4	4	7	1,17	0,03	0,04
<i>Pauridiantha dewevrei</i> (De Wild. & Th. Dr. (Rubiaceae)	1	1	2	2	2	2,00	0,01	0,01
<i>Pentaclethra macrophylla</i> Benth. (Fabaceae)	4	2	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Pentadiplandra brazzeana</i> Baill. (Pentadiplandraceae)	93	6	11	28	170	1,83	0,50	0,91
<i>Persea americana</i> Mill. (Lauraceae)	114	6	8	43	129	1,13	0,61	0,69
<i>Piper nigrum</i> L. (Piperaceae)	22	5	6	14	32	1,45	0,12	0,17
<i>Psidium guajava</i> L. (Myrtaceae)	39	6	4	13	45	1,15	0,21	0,24
<i>Psophocarpus scandens</i> (Endl.) Verdc. (Fabaceae)	8	2	5	6	11	1,38	0,04	0,06
<i>Psorospermum febrifugum</i> Spath. (Hypericaceae)	17	4	3	9	19	1,12	0,09	0,10
<i>Pteridium aquilinum</i> L. (Hypolepidaceae)	6	3	2	3	6	1,00	0,03	0,03
<i>Quassia africana</i> (Baill.) Baill. (Simaroubaceae)	6	3	13	18	29	4,83	0,03	0,16
<i>Raphia textilis</i> Welw. (Arecaceae)	2	1	2	2	2	1,00	0,01	0,01
<i>Rhabdophyllum arnoldianum</i> (De Wild & T. Durand) (Ochnaceae)	2	2	4	4	4	2,00	0,01	0,02
<i>Saccharum officinarum</i> L. (Poaceae)	62	6	6	11	78	1,27	0,32	0,41
<i>Salacia pynaertii</i> De Wild. (Celastraceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Sansevieria trifasciata</i> Train (Asparagaceae)	2	1	2	2	4	2,00	0,01	0,02
<i>Schwenckia americana</i> L. (Solanaceae)	25	6	7	12	26	1,04	0,13	0,14
<i>Sclerocroton cornutus</i> (Pax) Krujt & Roebers. (Euphorbiaceae)	27	5	3	7	28	1,04	0,15	0,15
<i>Scoparia dulcis</i> L. (Scrophulariaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Securidaca longepedunculata</i> Fresen (Polygalaceae)	99	6	14	29	139	1,40	0,53	0,75
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link (Fabaceae)	133	6	9	34	167	1,26	0,72	0,90
<i>Sesamum orientale</i> L. (Pedaliaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Sesamum radiatum</i> Schumach & Thonn. (Pedaliaceae)	32	5	8	11	39	1,22	0,17	0,21

<i>Sida cordifolia</i> L. (Malvaceae)	3	2	2	2	3	1,00	0,02	0,02
<i>Solanum aethiopicum</i> L. (Solanaceae)	4	3	3	4	8	2,00	0,02	0,04
<i>Solanum lycopersicum</i> Mill. (Solanaceae)	32	6	9	16	47	1,47	0,17	0,25
<i>Solanum macrocarpon</i> L. (Solanaceae)	3	2	1	1	3	1,00	0,02	0,02
<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl. (Malvaceae)	3	2	2	2	3	1,00	0,02	0,02
<i>Stomatatens africanus</i> (Oliv. et Hirn) R.H. King. (Asteraceae)	2	2	3	4	4	2,00	0,01	0,02
<i>Strychnos cocculoides</i> Baker (Loganiaceae)	39	6	4	14	44	1,13	0,21	0,24
<i>Strychnos icaja</i> L. (Loganiaceae)	17	6	8	13	36	2,12	0,09	0,19
<i>Strychnos pungens</i> Soler. (Loganiaceae)	2	2	3	3	3	1,50	0,01	0,02
<i>Strychnos spinosa</i> Lam. (Loganiaceae)	4	2	2	2	4	1,00	0,02	0,02
<i>Syzygium guineense</i> (Wild.) DC. (Myrtaceae)	5	2	2	3	5	1,00	0,03	0,03
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. (Myrtaceae)	1	1	2	2	2	2,00	0,01	0,01
<i>Talinum fruticosum</i> (L.) A. Juss. (Talinaceae)	3	1	1	1	3	1,00	0,02	0,02
<i>Tephrosia lupinifolia</i> DC. (Fabaceae)	4	3	5	6	6	1,50	0,02	0,03
<i>Tephrosia vogelii</i> Hook.f. (Fabaceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Treculia africana</i> Decne (Moraceae)	2	1	1	1	2	1,00	0,01	0,01
<i>Triclisia dyctyophilla</i> Diels. (Menispermaceae)	4	2	1	1	4	1,00	0,02	0,02
<i>Tridax procumbens</i> L. (Asteraceae)	14	4	5	9	20	1,43	0,08	0,11
<i>Urena lobata</i> L. (Malvaceae)	25	6	7	19	37	1,48	0,13	0,20
<i>Vernonia potamophila</i> Klatt (Asteraceae)	71	6	9	18	88	1,24	0,38	0,47
<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. (Fabaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Vitex madiensis</i> Oliv. (Lamiaceae)	32	5	10	19	47	1,47	0,17	0,25
<i>Voacanga africana</i> Stapf. (Apocynaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Xylopia aethiopica</i> (Dunal) A. Rich. (Annonaceae)	61	6	14	37	85	1,39	0,33	0,46
<i>Zea mays</i> L. (Poaceae)	1	1	1	1	1	1,00	0,01	0,01
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe (Zingiberaceae)	16	6	7	13	22	1,38	0,09	0,12

Table 4: List of indications types treated by medicinal plants
 (Nber de cu: number of citation and %: percentage)

Indications	Nber cu	%
Abscess	32	0,58
Abdominal pain	2	0,04
Against abortion	9	0,16
Against evil spirits	9	0,16
Against incurable diseases	1	0,02
Against lightning	6	0,11
Against the night husband	2	0,04
Against the rain	10	0,18
Against the serpent	5	0,09
Against wizards	11	0,20
Agalactia	1	0,02
Halicire	63	1,14
Amoebic dysentery	2	0,04
anemia	651	11,81
Angina	5	0,09
Ankylomiasis	6	0,11
Antiphlogistic	10	0,18
Aperitif	15	0,27
Appendicitis	13	0,24
Aprodisiac	10	0,18
Ascariasis	2	0,04
Ascites	32	0,58
Asthma	33	0,60
Backache	241	4,37
Belly ringing	2	0,04
Bronchitis	14	0,25
Bug the stomach	49	0,89
Burn	5	0,09
Cardiopathy	17	0,31
Cataract	13	0,24
Chickenpox	43	0,78
Chronic gastritis	93	1,69
Chronic rhinitis	61	1,11
Colic	8	0,15
Complications of pregnancy	6	0,11
Confusion in children	1	0,02

Congestion of the lungs	2	0,04
Conjunctivitis	3	0,05
Constipation	3	0,05
Continual fever	1	0,02
Cough	628	11,39
Cries in the child	6	0,11
Deafness	1	0,02
Dehydrated	73	1,32
Dental caries	75	1,36
Diabetes	31	0,56
Diarrhea	125	2,27
Disinfectant	2	0,04
Dizzy spells	2	0,04
Drunkenness	3	0,05
Dysmenorrhoea	9	0,16
Dystocia	3	0,05
Ear sores	4	0,07
Earache	22	0,40
Elephantiasis	19	0,34
Epilepsy	40	0,73
Eye disease	3	0,05
Facial paralysis	7	0,13
Fainting fit	2	0,04
Fever	566	10,27
Filariosis	8	0,15
Flu	62	1,12
Fracture	2	0,04
General infection	1	0,02
General pain	290	5,26
Genital infection in woman	1	0,02
Geography legs	3	0,05
Gonorrhoea	3	0,05
Gonorrhoea infection	1	0,02
Headache	158	2,87
Headaches in children	1	0,02
Healing wounds	2	0,04
Hearing fond	3	0,05
Heart attack	3	0,05

Hemorrhoids	177	3,21
Hepatitis	4	0,07
Hernia	6	0,11
Hiccups	2	0,04
High blood pressure	17	0,31
Hypogalactia	3	0,05
Infertility in woman	4	0,07
Insecticide	13	0,24
Kwashiorkor	7	0,13
Language	1	0,02
Layer suites	28	0,51
Leg pain	11	0,20
Loss of weight	3	0,05
Low blood pressure	13	0,24
Lumbago	1	0,02
Madness	4	0,07
Malaria	221	4,01
Malnutrition	4	0,07
Measles	73	1,32
Meningitis	11	0,20
Microbial infection	3	0,05
Mumps	1	0,02
Mycosis	18	0,33
Neck	6	0,11
Non-suppurative otitis media	4	0,07
Nutritional athrepsy	2	0,04
Odontalgia	1	0,02
Ophtalmia	7	0,13
Otalgia	1	0,02
Otitis externa	3	0,05
Pain after childbirth	2	0,04
Poliomyelitis	8	0,15
Poor-quality	8	0,15
Prostate	2	0,04
Psychic trouble	14	0,25
Purgative	2	0,04
Rash	22	0,40
Remains	1	0,02

Rheumatism	24	0,44
Ringworm	10	0,18
Scabies	48	0,87
Sexual impotence	11	0,20
Sinusitis	8	0,15
Smallpox	30	0,54
Smell	1	0,02
Sore throat	15	0,27
Sores in the baby's mouth	1	0,02
Spleen disorders	344	6,24
Sprain	20	0,36
Stomach aches	421	7,64
Stomach pain	9	0,16
Stomatitis	2	0,04
Testicle	13	0,24
Tetanus	4	0,07
To facilitate the conception of the child	6	0,11
To facilitate walking in children	42	0,76
To promote divorce	1	0,02
To promote domination	8	0,15
To promote memory	1	0,02
To promote the fight	4	0,07
Tonic	6	0,11
Traumatism	2	0,04
Typhoid fever	4	0,07
Udder sores	2	0,04
Unspecified site urinary tract infection	3	0,05
washing of hair	2	0,04
Water purification	1	0,02
Whitlow	11	0,20
Whooping cough	2	0,04
Wound	33	0,60
Wound with pain	2	0,04
Yellow fever (Jaundice)	63	1,14
General total	5513	100,00



Impact of Climate Change on Priority Plant Species Conservation in The Forests Under ONAB (the National Wood Office of Benin) Management

S. Donalde Dolorès M. Deguenon

Applied Ecology Laboratory, Faculty of Agronomic Sciences,
University of Abomey-Calavi, Benin

Rodrigue A. Idohou

T. Jean-Didier Akpona

Laboratory of Biomathematics and Forest Estimation,
Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi, Benin

Fortuné Azihou

Applied Ecology Laboratory, Faculty of Agronomic Sciences,
University of Abomey-Calavi, Benin

E. Achille Assogbadjo

Applied Ecology Laboratory, Faculty of Agronomic Sciences,
University of Abomey-Calavi, Benin
Laboratory of Biomathematics and Forest Estimation,
Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi, Benin

Brice Sinsin

Applied Ecology Laboratory, Faculty of Agronomic Sciences,
University of Abomey-Calavi, Benin

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n10p378](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p378)

Submitted: 17 October 2020
Accepted: 03 February 2021
Published: 31 March 2021

Copyright 2021 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

M. Deguenon S.D.D., Idohou R.A., Akpona T.J.D., Azihou F., Assogbadjo E.A. & Sinsin B. (2021). *Impact of Climate Change on Priority Plant Species Conservation in The Forests Under ONAB (the National Wood Office of Benin) Management*. European Scientific Journal, ESJ, 17(10), 378. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n10p378>

Abstract

The sustainable conservation of forest resources in a context of climate change and population growth would be compromised in their current form of exploitation by rural communities. The objective of this study is to assess the impact of climate change on the dynamics of habitats favorable to species of

conservation priority in the forests under ONAB management as these species are heavily used by the populations living along the shores of these forests. The study will consist of: *Khaya senegalensis*, *Azizelia africana*, *Khaya grandifoliola*, *Pterocarpus erinaceus*, *Anogeissus leiocarpa*, *Milicia excelsa*, *Albizia zygia*, *Vitex doniana*, *Antidesma laciniatum* and *Bombax costatum*. Techniques based on the principle of maximum entropy (Maxent) combined with GIS were used to project the favorable habitats of these ten species under current and future climatic conditions (Horizon 2050). Species occurrence data were collected and combined with bioclimatic data derived from the Worldclim database and the edaphic (soil) variable. Two climate models were used for future projections (CNRM-CM5, HadGEM-ES models) under the IPCC A2 scenario, and the partial ROC approach was used for the evaluation of the predictions of ecological niche models. Variables such as cec2 (cation exchange capacity, horizon 5-15cm), bio17 (precipitation of the driest quarter), bio12 (annual precipitation), bio3 (isothermality), bio6 (minimum temperature of the coldest month) and bio7 (annual thermal amplitude) were found to be the most relevant respectively for the distribution of *Khaya grandifoliola*, *Albizia zygia*, *Anogeissus leiocarpa*, *Antidesma laciniatum*, *Azizelia africana* and *Khaya senegalensis*. Under current conditions, only 7% of the Beninese territory would be very favorable to the conservation of *Khaya senegalensis* and the CNRM-CM5 model predicts an increase of 27.5% and 13.2% respectively of these very favorable and moderately favorable areas by 2050 through conversion of unfavorable areas (7.4%). On the other hand, this model predicts an opposite trend at the level of *Azizelia africana* where it predicts a decrease of 8.1% and 1.8% respectively of the very favorable and moderately favorable areas and an increase of 5.1% of the unfavorable areas. Ecological niche modeling has basically revealed the conversion of some currently unfavorable habitats into very favorable habitats for conservation (this is the case of *Khaya grandifoliola*, *Khaya senegalensis* and *Vitex doniana*) and the extension of some habitats unfavorable to conservation (*Anogeissus leiocarpa*, *Bombax costatum*, and *Pterocarpus erinaceus*) by 2050. This study provides scientific support for planning and is a decision support tool for the conservation of these species at the socio-economic level.

Keywords: Utilitarian species, ecological niche, classified forests, climate change, model

Introduction

Many species are becoming rare in their natural habitats because of the threats to biodiversity. Climate change is now recognized as one of the major threats to the survival of species and the integrity of ecosystems around the world. Knowledge of the specific properties of these changes, which may have

an impact on species or their habitats, is central to adaptation strategies (Heller and Zavaleta, 2009). Since climate fluctuations influence biodiversity and determine the spatial distribution of favorable geographical areas, climate change is a crucial environmental issue that needs to be integrated into conservation planning (Fandohan et al., 2013). In addition, many plant species are used by local populations for food, medicine, and also make a substantial contribution to household income (Assogbadjo et al., 2008; Vodouhê et al., 2009). In Africa, 25-42% of plant species could be threatened with extinction due to a loss of 81-97% of suitable habitats by 2085 (Boko et al., 2007). It is projected that 20-30% of plant and animal species will face a greater risk of extinction if global warming exceeds 1.5-2.5°C in Africa (Jovic et al., 2010; Parry et al., 2007).

Furthermore, much of the impressive biodiversity of sub-Saharan Africa, including Benin, remains one of the most vulnerable to the impacts of climate change (Parry et al., 2007). It is clear that fluctuations in climatic variables such as rainfall and temperature will affect biodiversity and the geographical distribution of species-friendly habitats (Parry et al., 2007). Several studies have revealed that due to the manifestations of climate change, many current crop varieties will need to be replaced in the future if cropping areas are to be maintained (Deryng et al., 2011; Duveiller et al., 2007; Jones et al., 2003). These effects are likely to be felt on species that are useful to the riparian populations of the forests under ONAB management. However, the use of ecological niche models can reveal the distribution of habitats favorable to species in the present as well as the future and is a powerful tool for understanding the current and future distribution of a species (Phillips et al., 2006). These models also allow better reasoning for the choice of areas where these species will be now and in the future in order to anticipate future changes in response to environmental disturbances (Idohou et al., 2016). However, climate change represents a threat that is fundamentally different from other threats because, in the past, ecological stress has never called into question the effectiveness of protected area networks in conserving representative samples of species (Baxter et al., 2005) or in covering habitats that are favorable to them. In short, there is considerable uncertainty (at the country and regional scales) about how these static areas will continue to conserve or provide favorable habitat for the species concerned as a result of climate change. Climate change is therefore a real challenge for the development of future policies and options in agriculture and conservation because of the uncertainties associated with it.

In Benin, 280 plant species are threatened with extinction and 90% have a high probability of extinction (Adomou, 2005). Of these, 19 are of regional conservation interest and 10 are on the IUCN Red List (Adomou, 2005). *Azefelia africana* and *Khaya senegalensis* are two of these threatened

species, already on the Red List of the International Union for the Conservation of Nature (IUCN), although they even appear to be critically endangered in Benin (Adomou et al., 2006). In addition to these two species, which are well known for their usefulness as a source of fodder for livestock and as timber highly prized in the international timber trade, other species such as *Daniellia oliveri* and *Anogeissus leiocarpa* are proving to be very vulnerable to anthropogenic pressures and are becoming increasingly rare (Houehanou et al., 2013). Exploitation is therefore being shifted to other plant species, among which *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* and *Burkea africana* can be cited (Houehanou et al., 2013). According to Djègo-Djossou (2003), the Central Nucleus of the Lama Classified Forest, located in southern Benin, constitutes the last great remnant of the natural dense forest. Despite the mono-species nature of the plantations of the Office National du Bois du Bénin (ONAB) most of the time, they also shelter species of interest to the local population. On the one hand, the local populations have an increased need to use the forest resources of these forests under ONAB management (classified forests of Bassila, Pénéssoulou, Atchéribé, Dogo-Kétou, Bonou, Lama, Agrimey, Djigbé). This is due to population growth, to the needs of plant organs in the pharmacopoeia, and to the accelerated and continuous degradation of the forests by the regular passage of vegetation fires and transhumant herds. On the other hand, we have the difficulties encountered in the protection policies of these classified forests and wildlife reserves, which constitute increasingly serious threats to the protection and survival of these important resources. The biodiversity of these forests is disappearing at an alarming rate. It is therefore important, in the face of this conservation problem, to ask to what extent the protected areas in Benin are effectively conserving biological diversity (Fandohan et al., 2013).

This study mainly aims at assessing the potential impact of climate change on the dynamics of habitats favorable to priority species used by the ONAB riparian populations. It thus contributes to the establishment of databases on the potential impact of climate change on certain species of interest according to the different scenarios available. Also, it could accelerate decision-making for adaptive measures. From a bioclimatic point of view, what is the extent of the areas favorable to the conservation of these primate species? With regard to climate projections, what is the potential effect of climate change on the extent of these areas and their geographical distribution by 2050?

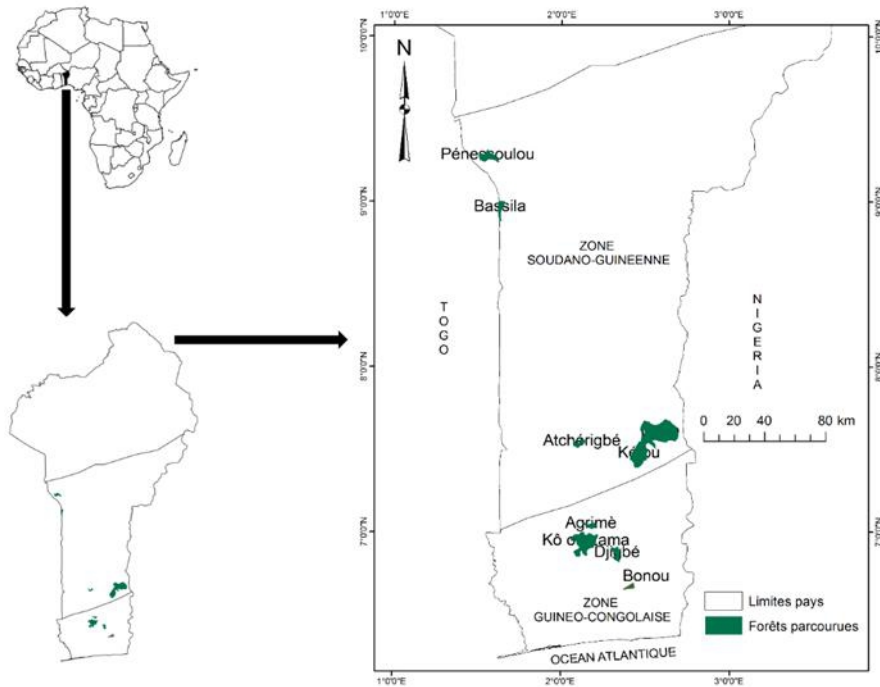
Materials and Methods

Study Environment

This study was conducted in the Republic of Benin (6°-12.25°N; 0.40°-3°E). The study covers two biogeographical zones of Benin: the

Sudano-Guinean zone ($7^{\circ} 30' N$ and $11^{\circ} 5' N$) and the Guineo-Congolese zone ($6^{\circ} 25' N$ and $7^{\circ} 30' N$) (Figure 1). The forests under ONAB management occupy from south to central Benin, two bio-geographical regions: the Guinean affinity zone and the Sudano-Guinean zone.

Figure 1: Location of plantations and forests under ONAB management by biogeographical zone in Benin



Source: Deguenon 2017

Rainfall distribution is bimodal in the Guinean zone (April to June and September to November), with an average annual rainfall of 1200 mm. This zone has deep, low fertility ferralitic soils (700,000 ha), alluvial soils and heavy clay soils (360,000 ha) located in the valleys of the Mono, Niger, Couffo and Ouémé rivers including the Lama depression (Table 1). These soils are rich in clay, humus and inorganic elements (Sala et al., 2000).

Beyond the Guinean zone, the Sudano-Guinean zone is characterized by a unimodal rainfall distribution (May-October) with a mean annual rainfall of more than 900 mm. In this zone, infertile mineral soils and ferruginous soils are encountered (Table 1).

Table 1: Different climatic zones in Benin associated with climatic data and soil properties

Zones	Rainfall (mm)	RainySeasonP eriods	Temperature (°c)	Relative Humidity (%)	Soil Types
Sudano-Guinean	900-1110	May- October	25-29	31-98	Infertile mineral soils, ferruginous soil
Guinean	1200 (annual average)	April-June and September- November	25-29	69-97	Soils ferralitic, alluvial and heavy clay soils

Data Collection

The geographical coordinates (longitude and latitude) of the presence of priority species were collected from fieldwork in protected areas and agroforestry systems in Benin. To maximize the accuracy of the modeling results, the presence coordinates of these species were completed by exploring online biodiversity databases such as the GBIF (Global Biodiversity Information Facility: www.gbif.org) and published articles on the species. Current and future climate data for the global area under consideration were downloaded from the Worldclim website (www.worldclim.org). Nineteen bioclimatic variables (Busby, 1991) were generated from the raw climate data (precipitation and temperature) prepared and put into formats compatible with the MaxEnt program. For this purpose, the QGIS software was used.

Modeling and model validation

The maximum entropy approach (Maxent, version 3.3.3 k (Phillips et al., 2006)) was used to model the ecological niche of the species. This approach is based on probability density estimation (where occurrence data are assumed to be drawn from a certain probability distribution over the study area). The Maxent models were developed using 10,000 background points. A maximum of 1000 iterations, a convergence threshold of 0.00001, and a random 75% of the data points are set aside for the intrinsic test (Fielding and Bell, 1997; Guisan and Zimmermann, 2000). The interest of this method for this study is that it combines the observed occurrence data of a given species with the current bioclimatic characteristics at the observation points to generate: a global map of the potential habitats of the species in the area under consideration; a global map of the future distribution of these favorable habitats in relation to the climatic projections made for the area under study. Due to collinearity and dependence of climate dimensions (Zuur et al., 2010), we examined the correlations between the variables to select those that are not closely correlated ($r < 0.85$). Next, a Jackknife test was performed on the environmental variables considered to determine which ones contribute most to the modeling. A total of 28 environmental variables were identified and

contribute to the different models according to the ecological preferences of the priority utility species, including 14 bioclimatic and 14 soil variables.

To evaluate the model, 25% of the observation points of each species were used to test the model and 75% of the points were used to calibrate the model. The area under the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, known as the Area Under Curve (AUC), is widely used to assess the accuracy of the prediction of distribution models. The database for each species was randomized five times in R software (3.4.0). A model is said to be of good quality if the AUC value is greater than 0.80 (Swets, 1988). However, some authors have begun to criticize the blind use of AUC as a measure of the level of precision in distribution models (Austin and Van Niel, 2011; Lobo et al., 2008). For this, new indices were proposed and proved to be effective in evaluating the performance of the model. Among these new approaches, we have the partial ROC approach (Wisz et al., 2008) which was used within the framework of this study. This new approach provides a firmer basis for evaluating the predictions of ecological niche models. ROC analysis is a method for assessing the specificity (absence of commission error) and sensitivity (absence of omission error) of a diagnostic test (Fielding and Bell, 1997). We calculated the partial AUCs using a program based on the trapezoidal method (Barve et al., 2011). Partial AUC values were presented as a ratio of AUC (with x-axis modification, for traditional applications) to AUC zero expectation (which, unlike traditional approaches ROC is not equal to 0.5) and are variable (Wisz et al., 2008). For each species, we use the sort with the greatest partial AUC value. Significant AUC statistics rating (against zero expectations) will be achieved by resampling 50% of the test points with the replacement 1000 times from the global pool of test data. A good model should identify regions of the high probability that cover most records of presence, and areas of low probability should contain few or no points of presence (Saupe et al., 2012). The available documentation for each priority species was used to determine whether the high probability area models corresponded to areas known to contain the species.

Results

Contribution of Variables and Model Validation

The below table 2 reports on the variables that have contributed to the production of the 10 priority species models for conservation in the classified forests under ONAB management. Overall, species respond differently to environmental conditions. The variables most frequently used in the models produced are bio2 (mean diurnal amplitude), bio3 (isothermality), bio12 (annual precipitation), bio14 (precipitation in the driest month), bio17 (precipitation in the driest quarter), and cec5 (cation exchange capacity, horizon 60-100cm) while the variables cec1 (cation exchange capacity,

horizon 0-5cm), clay1 (clay, horizon 0-5cm), oc1 (organic carbon, horizon 0-5cm), oc4 (organic carbon, horizon 30-60cm), bio13 (precipitation of the wettest month) and clay2 (clay, horizon 5-15cm) contribute the least to the current distribution of the 10 priority species. On the other hand, variables such as cec2 (cation exchange capacity, horizon 5-15cm), bio17 (precipitation of the driest quarter), bio12 (annual precipitation), bio3 (isothermality), bio6 (minimum temperature of the coldest), and bio7 (annual thermal amplitude) are shown to be the most relevant for the distribution of *Khaya grandifoliola*, *Albizia zygia*, *Anogeissus leiocarpa*, *Antidesma laciniatum*, *Azelaia africana* and *Khaya senegalensis*, respectively. On the other hand, variables such as bio17 (precipitation of the driest quarter), bio2 (average diurnal amplitude), bio11 (average temperature of the coldest quarter), clay2 (clay, horizon 5-15cm), bio3 (isothermality) and bio15 (seasonal precipitation) are those which contribute the least to the distribution of areas respectively of *Antidesma laciniatum*, *Albizia zygia*, *Anogeissus leiocarpa*, *Khaya grandifoliola*, *Bombax costatum* and *Milicia excelsa*.

Table 2: Contribution of variables to the model (%)

Species	K.	A.	K.	P.	A.	M.	A.	V.	A.	B.
Variables	<i>senegalensis</i>	<i>africana</i>	<i>grandifoliola</i>	<i>erinaceus</i>	<i>leiocarpa</i>	<i>excelsa</i>	<i>zygia</i>	<i>doniana</i>	<i>laciniatum</i>	<i>costatum</i>
bio1	-	-	-	-	16.3	-	-	10.2	-	-
bio2	-	22.8	7.9	12.8	-	25.4	1.8	-	-	9.7
bio3	21.3	-	-	-	-	9.2	-	-	48.2	5.6
bio4	-	15.8	-	-	-	-	5.5	-	-	8.1
bio5	-	-	-	-	-	-	15	15.4	-	-
bio6	-	27.9	-	23.8	-	-	-	-	-	-
bio7	25.7	-	-	24.5	-	-	-	17	-	-
bio10	-	9.8	-	-	-	-	-	10.8	-	-
bio11	-	-	8.3	19.2	4	-	-	-	-	-
bio12	15.6	-	-	11	42	-	-	-	19.9	-
bio13	-	-	-	-	-	-	5.6	14.7	-	-
bio14	-	-	15.2	-	-	16.8	-	-	9.1	15.2
bio15	-	-	-	-	-	6.8	-	-	18.1	-
bio16	10.7	11.9	-	8.6	-	-	-	-	-	-
bio17	-	-	-	-	-	27.1	58.8	-	0.1	43.9
cec1	-	-	13.4	-	-	-	-	-	-	-
cec2	-	-	50.9	-	24.2	-	-	-	-	-
cec5	-	11.8	-	-	9	14.7	-	-	4.6	-
clay1	-	-	-	-	-	-	-	31.9	-	-
clay2	15	-	4.3	-	-	-	-	-	-	-
oc1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.5
oc2	11.6	-	-	-	-	-	13.4	-	-	-
oc4	-	-	-	-	4.5	-	-	-	-	-

bio1 (mean annual temperature), bio2 (mean diurnal amplitude), bio3 (isothermality), bio4 (seasonality), bio5 (maximum temperature of the hottest month), bio6 (minimum temperature of the coldest month), bio7 (thermal amplitude annual), bio10 (mean temperature of the warmest quarter), bio11 (mean temperature of the coldest quarter), bio12 (annual precipitation), bio13 (precipitation of the wettest month), bio14 (precipitation of the driest month) bio15 (seasonal precipitation); bio16 (precipitation from the wettest quarter), bio17 (precipitation from the driest quarter), cec1 (cation exchange capacity, horizon 0-5cm), cec2 (cation exchange capacity, horizon 5-15cm), cec5 (cation exchange capacity, horizon 60-100cm), clay1 (clay, horizon 0-5cm), clay2 (clay, horizon 5-15cm), oc1 (organic carbon, horizon 0-5cm), oc2 (organic carbon, horizon 5 -15cm), oc4 (organic carbon, horizon 30-60cm).

Validation of Model Results

To evaluate the performance of the models produced, the values of the mean ratio of the AUC statistic (Area Under the ROC Curve) generated by the models were used (Figure 2). Table 4 and Figure 3 report the values of the mean ratio of the AUC statistic relating to the model of each priority species for conservation in classified forests under ONAB management.

Figure 2: Maps showing the variation of AUC ratios for 1000 replicates using the Partial ROC procedure for (a) *Khaya senegalensis*, (b) *Azelia africana*, (c) *Khaya grandifoliola* (d) *Pterocarpus erinaceus* (e) *Anogeissus leiocarpa*, (f) *Milicia excelsa*, (g) *Albizia zygia*, (h) *Vitexdoniana*, (i) *Antidesma laciniatum*, (j) *Bombax costatum*.

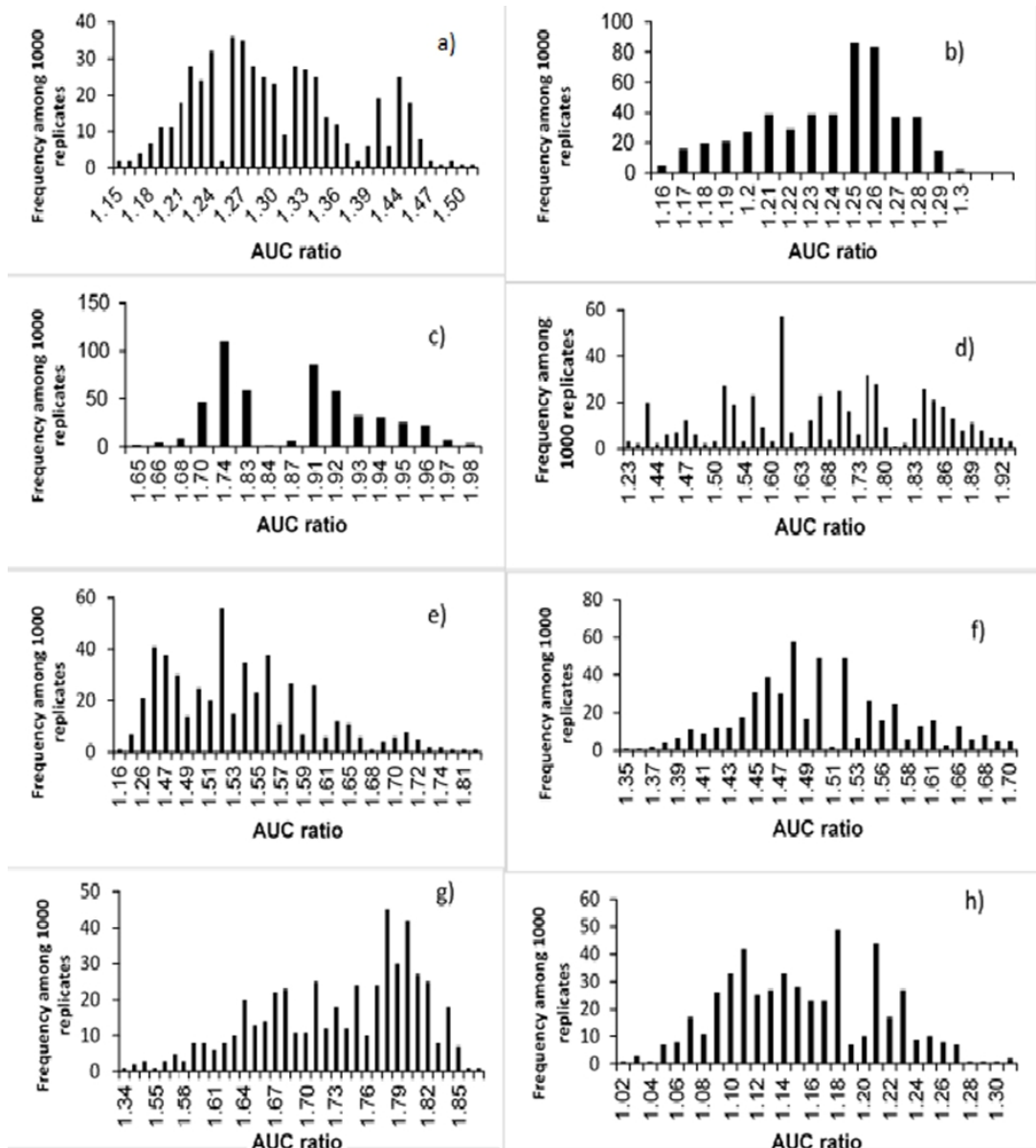


Table 3: Average AUC ratio values relating to the model of each priority species

Species	averageratioAUC	Variation
<i>Khaya senegalensis</i>	1,30	[1,15; 1,51]
<i>Afzelia africana</i>	1,24	[1,16; 1,30]
<i>Khaya grandifoliola</i>	1,85	[1,65; 1,98]
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	1,68	[1,23; 1,93]
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	1,52	[1,16; 1,81]
<i>Milicia excelsa</i>	1,51	[1,35; 1,70]
<i>Albizia zygia</i>	1,73	[1,34; 1,86]
<i>Vitex doniana</i>	1,16	[1,02; 1,30]
<i>Antidesma laciniatum</i>	1,52	[1,19; 1,99]
<i>Bombax costatum</i>	1,15	[1,05; 1,47]

From the analysis of Table 3, it emerges that the value of the mean ratio of the AUC statistic for each priority species is greater than 1. Therefore, the model is very efficient for each of these species. Thus, the current distribution areas predicted by the model for each species constitute areas of high probability where the species would be present or absent depending on the related ecological conditions.

Impact of Climate Change on the Extent of Habitats Favorable for the Conservation of the 10 Priority Species in Forests Classified Under ONAB Management

- **Khaya senegalensis**

According to the modeling results, around 7% of Benin's national territory (not including the islands on the Niger River) is currently very favorable for the conservation of *Khaya senegalensis* (Figure 3a1, Table 4). These habitats, which are very favorable to the conservation of the species, are essentially between 9.5 ° and 8.5 ° then 7.5 ° and 6.5 ° North latitude, which corresponds respectively to the dry subhumid and humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are found throughout the country, mainly between 12 ° and 10 ° (arid zone, dry subhumid) and below 7.3 ° (humid subhumid zone).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, *Khaya senegalensis* will experience an expansion of nearly 27% of habitats which are currently very favorable for conservation by 2050 (Table 4). This model also predicts shrinkage of nearly 7% of habitats that are unfavorable to the species, mainly by conversion of currently moderately favorable habitats.

The HadGEM-ES model the species will experience an expansion of nearly 8% of habitats that are currently very favourable for conservation by 2050 (Table 4). However, compared to the previous one, this model predicts the conversion of unfavorable habitats into moderately favorable habitats for the conservation of *Khaya senegalensis*, especially between 9 ° and 7.5° North latitude (Table 4, figure 3c1).

- **Afzelia Africana**

The modeling results reveal that around 16% of Benin's territory (not including the islands on the Niger River) are currently very favorable for the conservation of *Afzelia africana* (Figure 3a2, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are essentially between 11° and 7° North latitude, which corresponds to the dry subhumid and humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are more below 8° (humid subhumid zone) and above 11° (arid zone).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, a reduction of nearly 8% of highly favorable conservation areas is forecast for *Afzelia africana* by 2050 (Table 4). We will also observe an extension of the less favorable areas mainly by conversion of the currently moderately favorable areas (Figure 3b2).

The HadGEM-ES model gives opposite trends. Indeed, compared to the previous one, this model predicts an extension of areas very favorable to the conservation of the species, particularly between 9.2° and 8.5° North latitude by conversion of less favorable areas but also of relatively favorable area (Figure 3c2).

- **Khaya grandifoliola**

Modeling reveals that a small portion (about 2.2%) of Benin's territory (not including the islands on the Niger River) is currently very favorable for the conservation of *Khaya grandifoliola* (Figure 3a3, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are essentially between 9.3° and 9° then below 7.2° North latitude, which corresponds respectively to the dry subhumid and humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are found throughout the country; mainly between 12.2° and 6.5° (arid zone, dry subhumid and humid subhumid zone).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, we will observe a reduction in very favorable and moderately favorable areas, respectively, of nearly (18%) and 24% for *Khaya grandifoliola* by 2050 (Table 4).

The HadGEM-ES model predicts an opposite trend. We will observe an extension of very favorable areas (Table 4). It also predicts an extension of moderately favorable areas (Figure 3c3) essentially between 9.2° and 8° North latitude by conversion of areas not very favorable to the species.

- **Pterocarpus erinaceus**

The results of the modeling reveal that around 3% of Benin's territory (not including the islands on the Niger River) is currently very favorable to the conservation of *Pterocarpus erinaceus* (Figure 3a4, Table 4). These habitats, which are very favorable to the conservation of the species, are essentially between 9.2° and 8.8° North latitude, which corresponds to the dry

subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are the most common across the country in all three climates.

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, a reduction in the very favorable and moderately favorable areas of *Pterocarpus erinaceus* will be observed (Figure 3b4, Table 4).

The HadGEM-ES model gives opposite trends. Indeed, compared to the previous one, this model predicts rather the extension of very favorable and moderately favorable areas (Figure 3c4) by a conversion of unfavorable habitats, particularly between 12° and 7° North latitude.

- **Anogeissus leiocarpa**

According to the results of the modeling, around 5% of the national territory (not including the islands on the Niger River) are currently very favorable for the conservation of *Anogeissus leiocarpa* (Figure 3a5, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are essentially between 12.2° and 10.8° then below 8° North latitude, which corresponds respectively to the arid zone and the humid subhumid zone. The most extensive habitats unfavorable to the species are throughout the country, essentially between 10.5° and 7.5° North latitude.

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, for *Anogeissus leiocarpa* a reduction of 42.33% of the very favorable areas will be observed (Table 4). Also, we will observe an extension of moderately favorable areas for the species, especially below 7° North latitude (humid subhumid zone; Figure 3b5).

The HadGEM-ES model for *Anogeissus leiocarpa* a reduction of 46.66% of the very favorable areas will be observed (Table 4). It also foresees the conversion of unfavorable habitats into moderately favorable habitats for the conservation of this species, particularly between 8.8° and 7° north latitude (Figure 3c5).

- **Milicia excels**

According to the modeling, around 8% of Benin's territory is currently very favorable for the conservation of *Milicia excelsa* (Figure 3a6, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are mainly included below 7.3° North latitude, which corresponds to the humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are found further north of the country, mainly between 12° and 10° (arid zone, dry subhumid).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, there will not be a great variation in *Milicia excelsa*. Nevertheless, 0.1% of very favorable areas will convert into moderately favorable areas by 2050 (Table 4).

The HadGEM-ES model gives opposite trends. In fact, compared to the previous one, this model predicts a higher extension of very favorable and

unfavorable areas by conversion of moderately favorable areas (table 4, figure 3c6).

- **Albizia zygia**

About 5% of the Beninese territory (not including the islands on the Niger River) is currently very favorable to the conservation of *Albizia zygia* (Figure 3a7, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are essentially below 8° North latitude, which corresponds to the humid subhumid zone. Habitats not very favorable to the species are the most extensive, mainly between 12° and 7.8° (arid, dry subhumid zone).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, we will observe a conversion of nearly 40% of very favorable areas into moderately favorable areas by 2050 (Table 4, Figure 3b7).

The HadGEM-ES model gives similar trends. It predicts a conversion of 13.06% of very favorable areas to moderately favorable areas by 2050 (Table 4, Figure 3b7).

- **Vitex doniana**

According to the results of the modeling, around 13% of Benin's national territory (not including the islands on the Niger river) are currently very favorable to the conservation of *Vitex doniana* (Figure 3a8, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are mainly between 11.8° and 10° then below 8° North latitude, which corresponds respectively to the dry subhumid and humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are mainly located in the arid and dry subhumid zone.

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, about 4% of areas very favorable to the species will be converted into less favorable areas by 2050 (Table 4, Figure 3b8).

The HadGEM-ES model gives opposite trends. In fact, compared to the previous one, this model predicts a large number (almost ten times more) the conversion of unfavorable habitats into very favorable and moderately favorable habitats for the conservation of *Vitex doniana*, in particular between 11.8° and 10° then in below ° North latitude (Table 4, figure 3c8).

- **Atidesma laciniatum**

According to the results, around 28% of Benin's territory (not including the islands on the Niger River) is currently very favorable for the conservation of *Antidesma laciniatum* (Figure 3a9, Table 4). These habitats, which are very favorable for the conservation of the species, are essentially between 10° and 7.5° North latitude, which corresponds to the dry subhumid and humid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are found further north of the country; mainly above 11 ° North latitude (arid zone).

According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, we will observe a reduction of nearly (19.5%) of currently very favorable areas by 2050 (Table 4). These habitats will essentially be converted into habitats that are not very favorable to its conservation (Figure 3b9).

The HadGEM-ES model, compared to the previous one, predicts more the conversion of unfavorable habitats (around 5.22%) and moderately favorable (around 5.6%) to the conservation of *Antidesma laciniatum* into very favorable areas, particularly between 10° and 6, 8° North latitude (Table 4, figure 3c9).

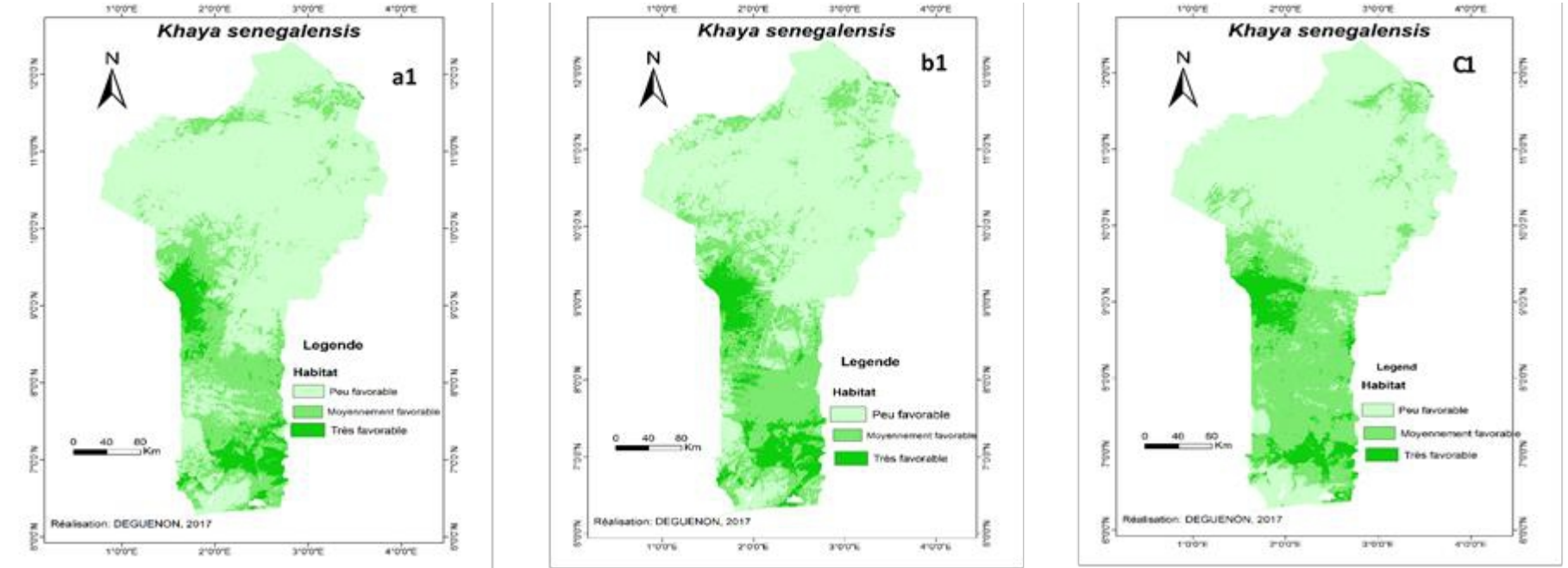
- **Bombax costatum**

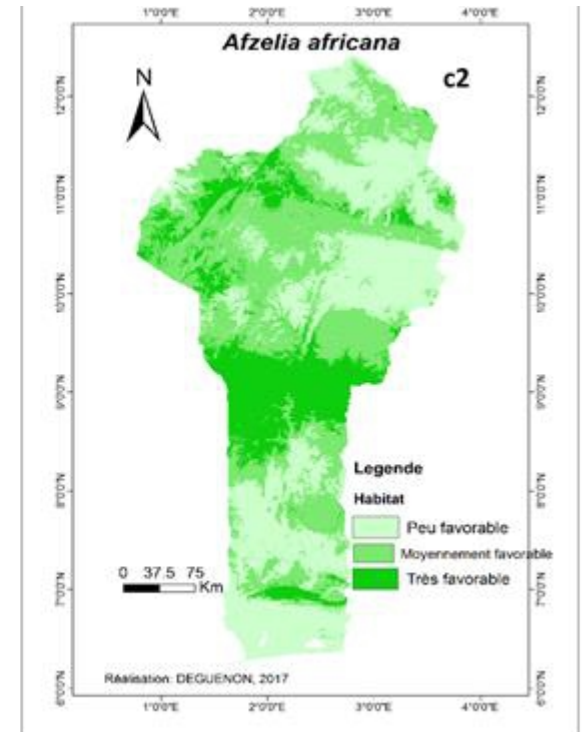
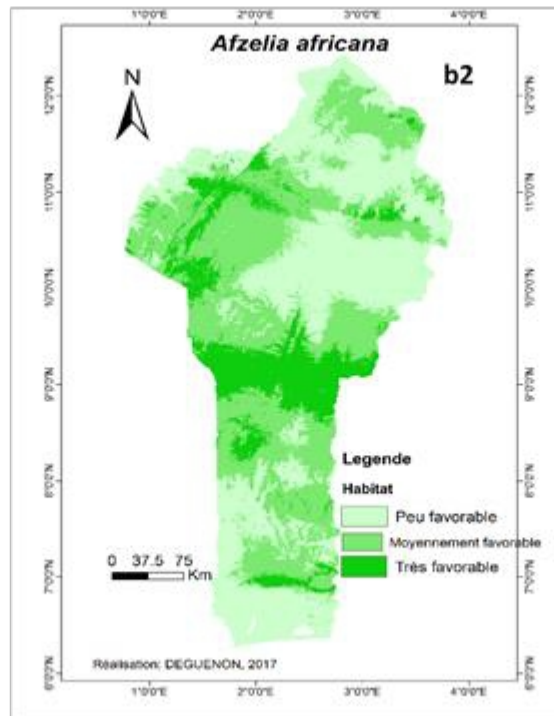
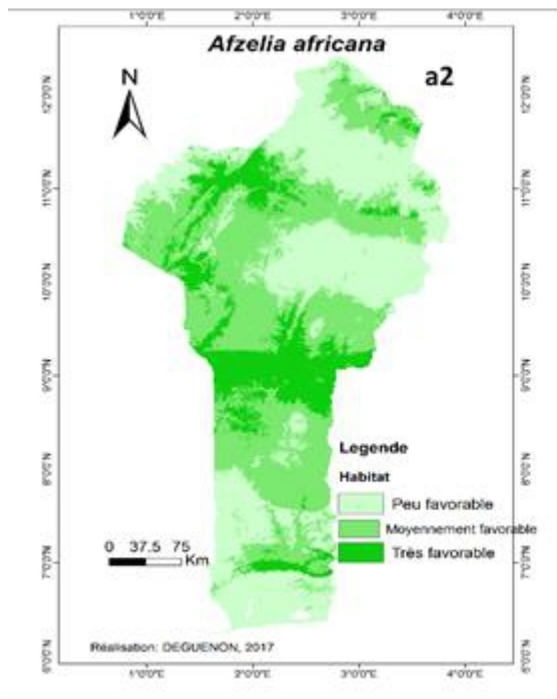
About 27% of the national territory (not including the islands on the Niger River) are currently very favorable to the conservation of *Bombax costatum* (Figure 3a10, table 4). These habitats, which are very favorable to the conservation of the species, are essentially between 12° and 8° North latitude, which corresponds to the dry and arid subhumid zone. Habitats unfavorable to the species are mainly below 8° (humid subhumid zone).

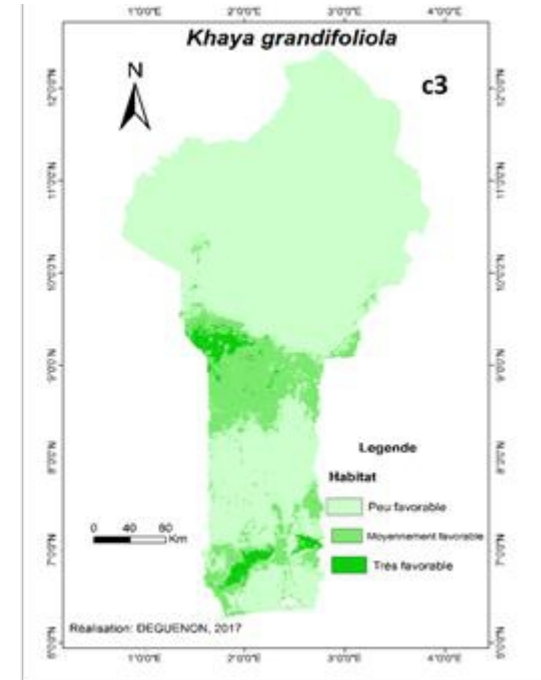
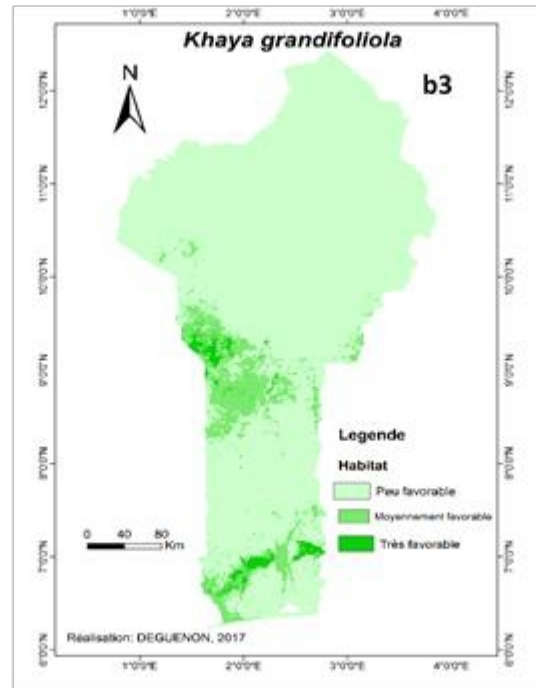
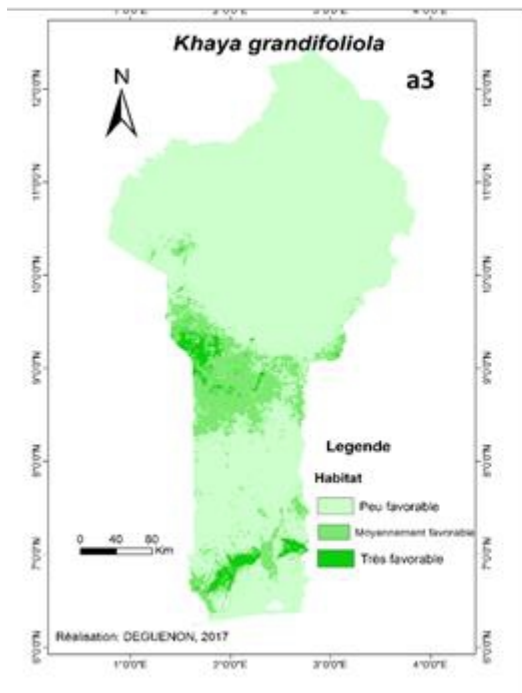
According to the bioclimatic projections of the CNRM-CM5 model, we will note an extension of the less favorable areas of *Bombax costatum*, in particular by converting the moderately favorable areas by 2050 (Table 4).

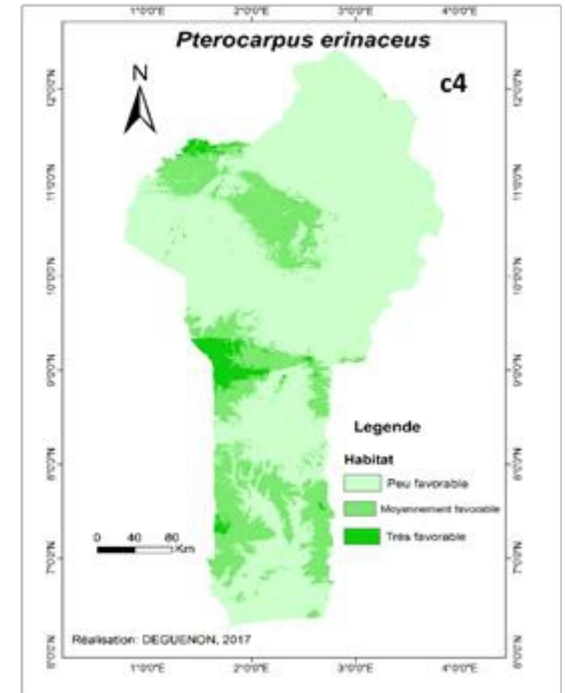
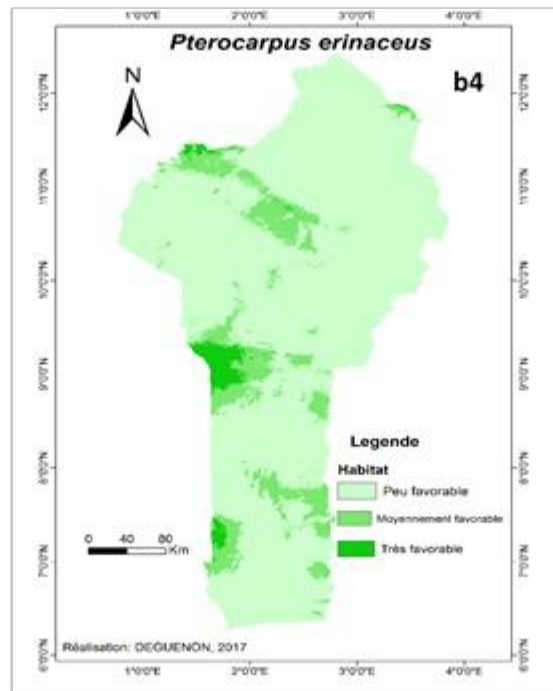
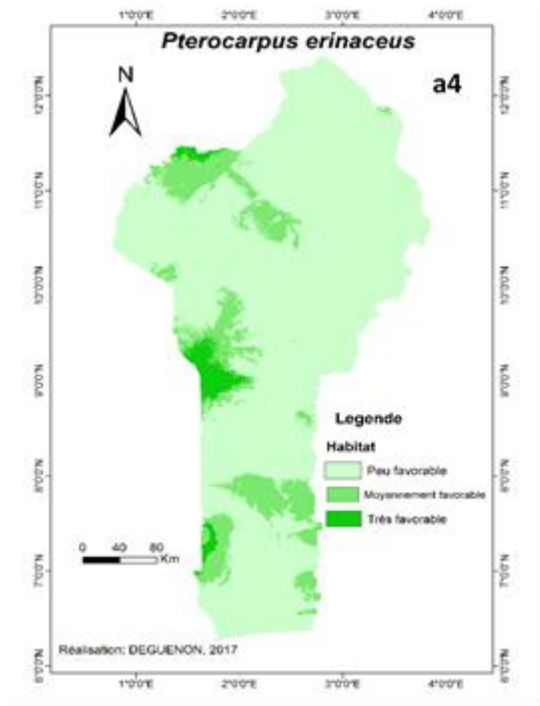
The HadGEM-ES model, compared to the previous one, predicts more the conversion of very favorable habitats (about 40%) into habitats not very favorable for the conservation of *Bombax costatum*, in particular between 12° and 8° North latitude (Table 4, figure 3c10).

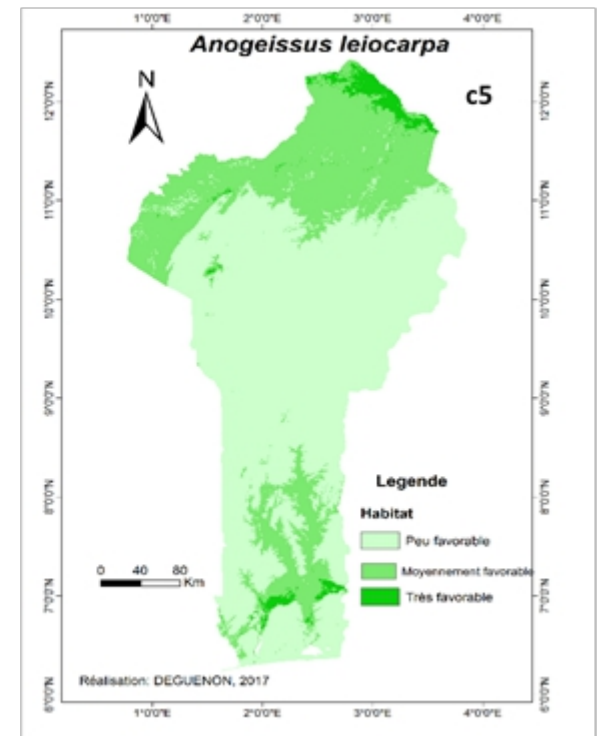
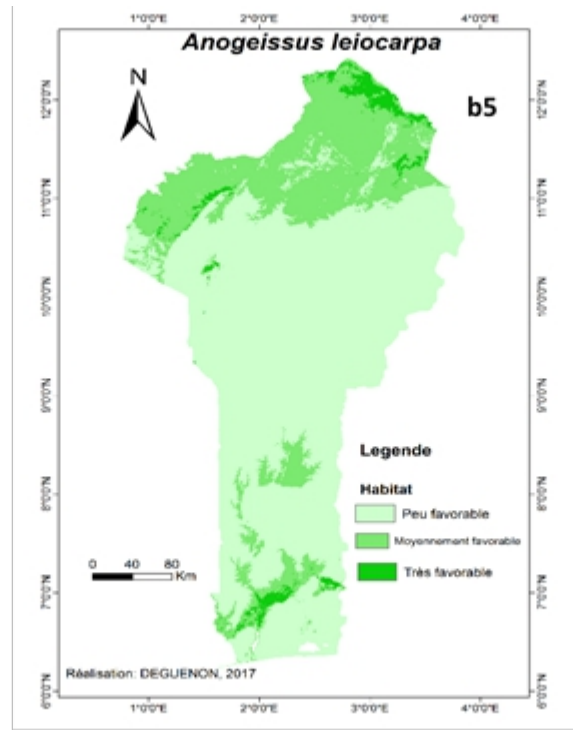
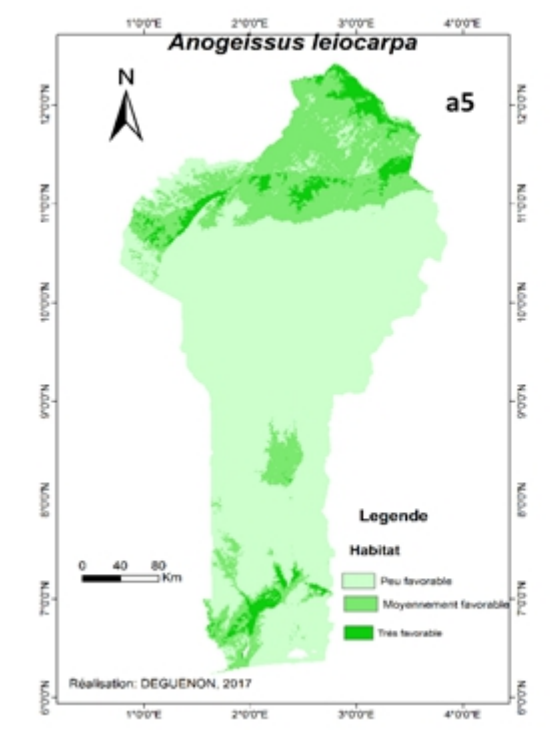
Figure 3: Habitats favorable to the 10 priority species for conservation (current (a) and future distribution (CNRM-CM5: b; HadGEM-ES: c): 2050 as predicted by climate models)

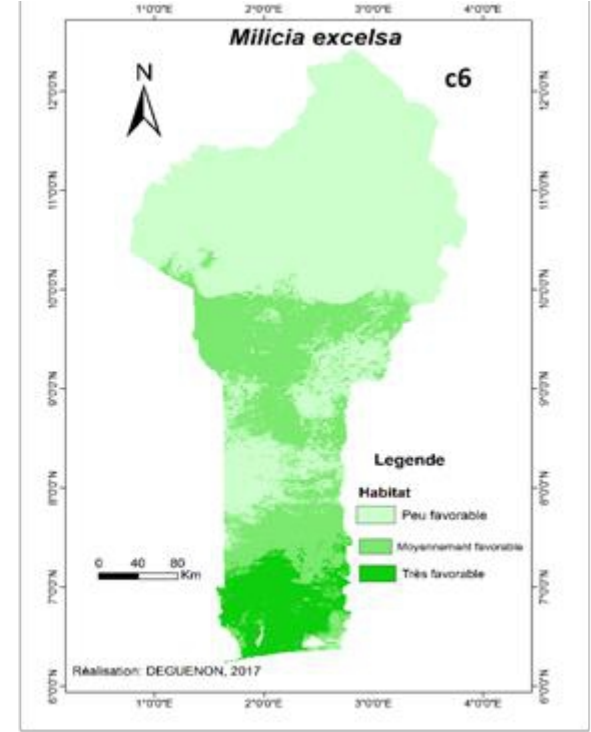
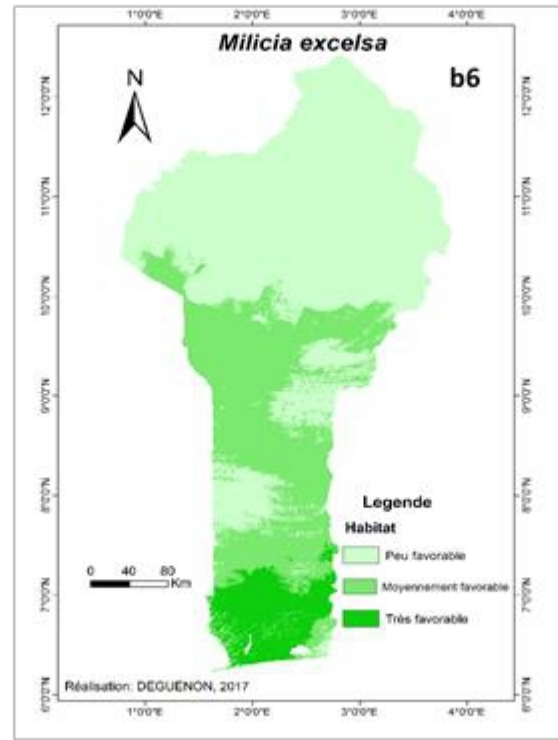
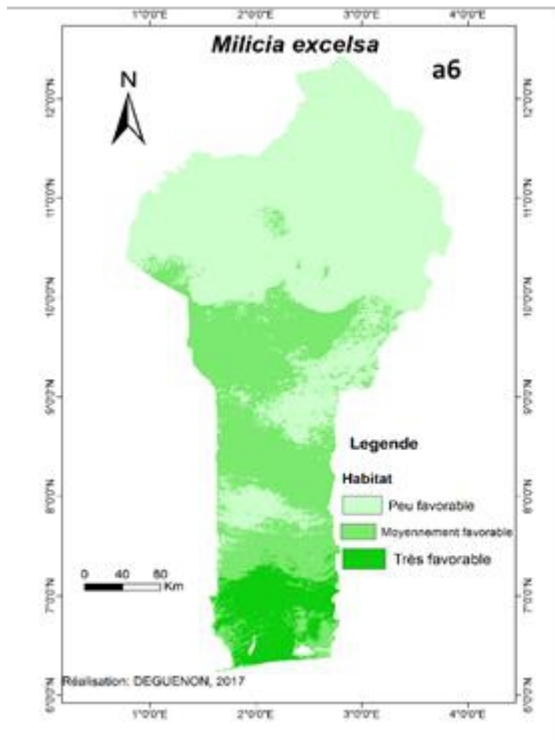


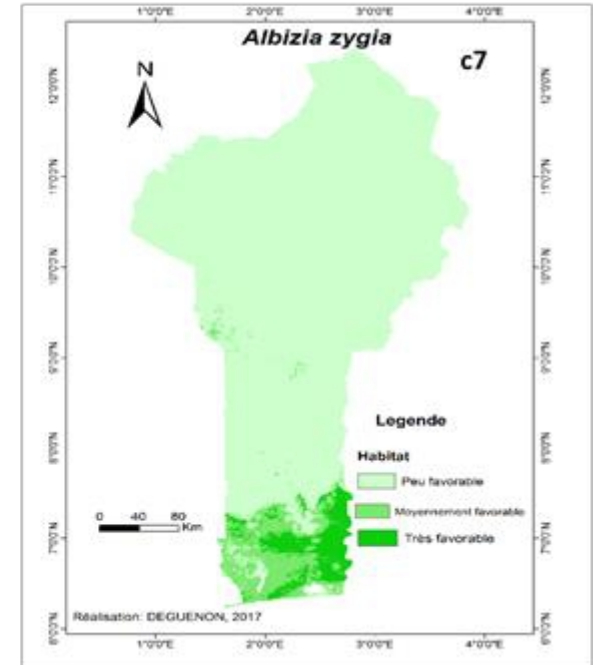
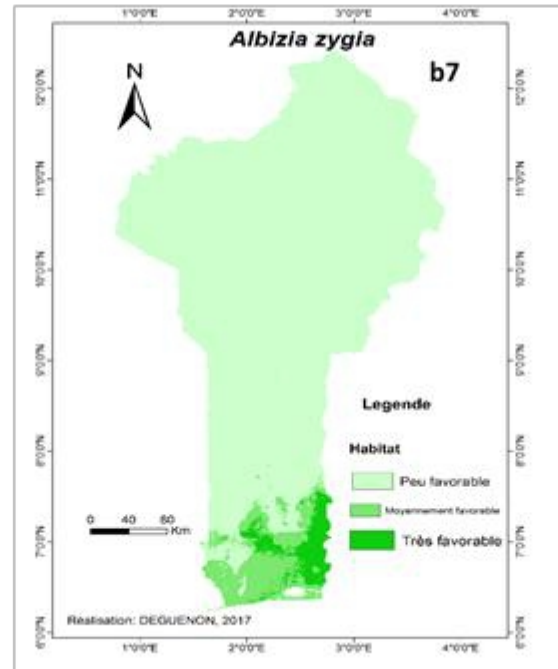
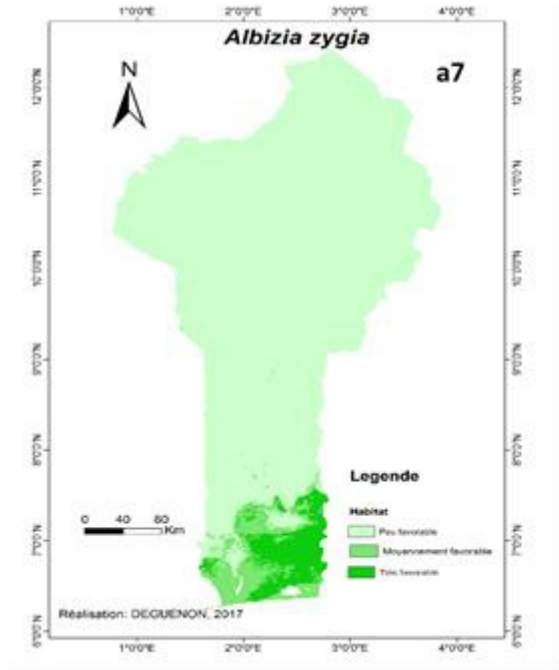


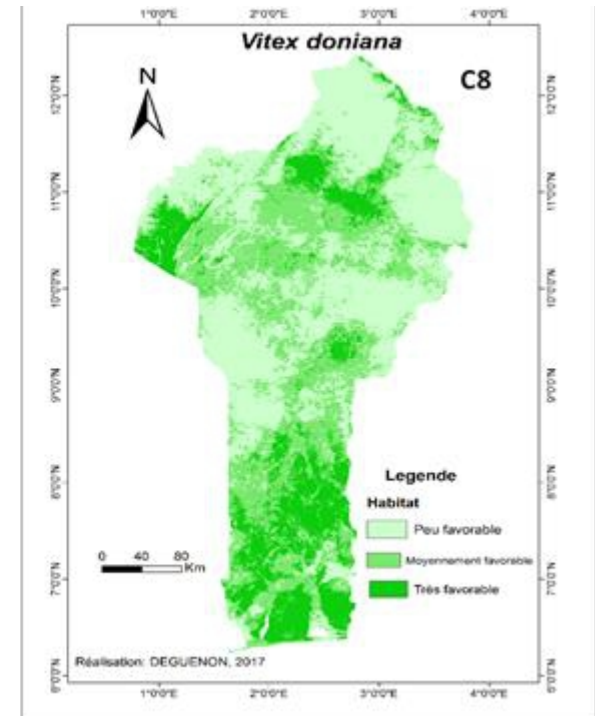
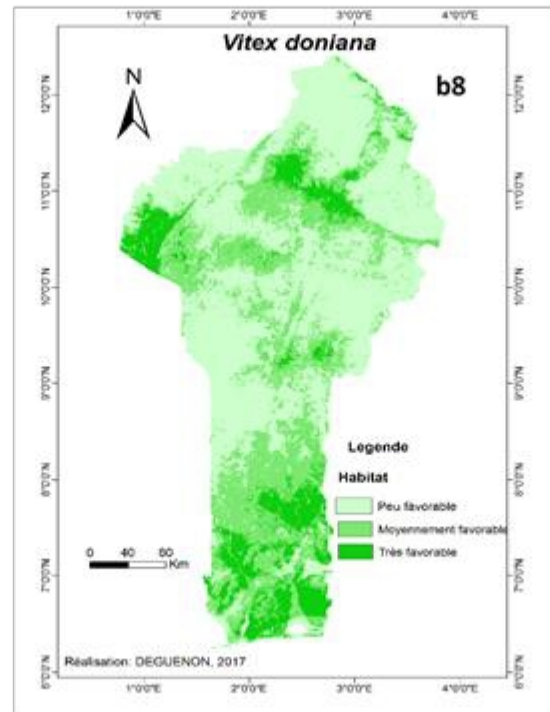
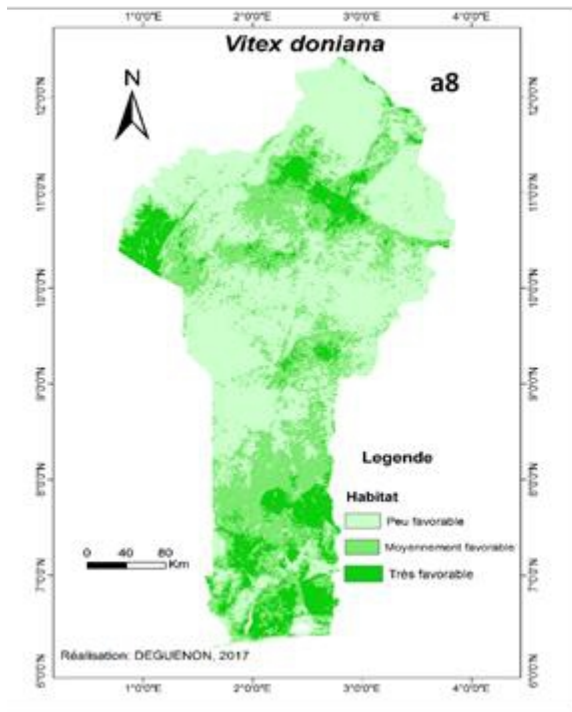


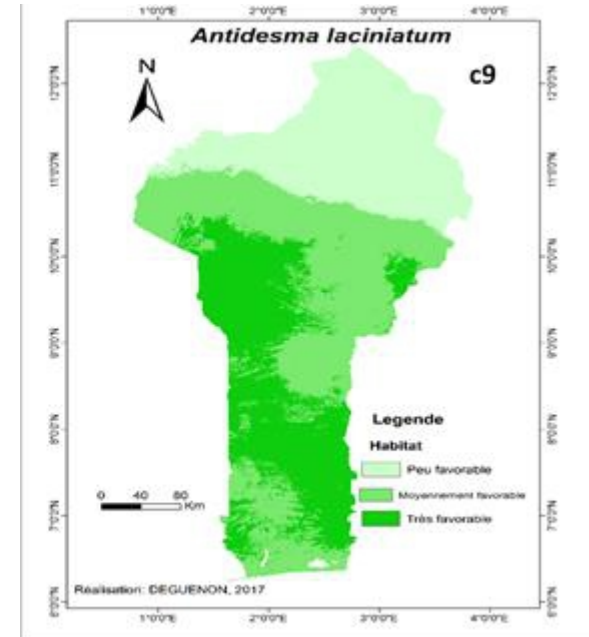
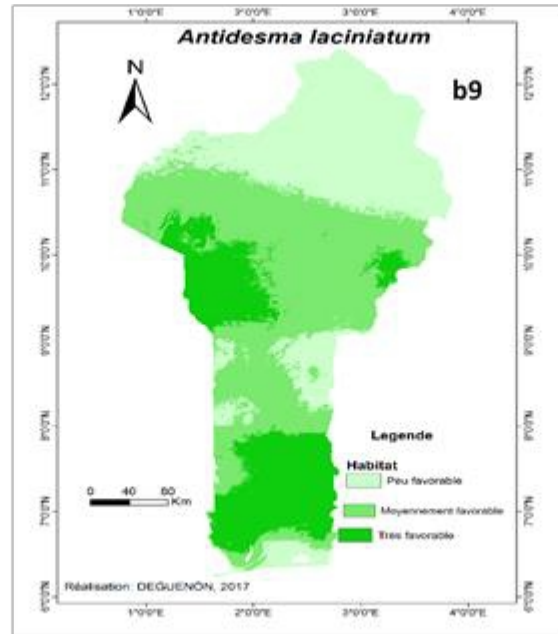
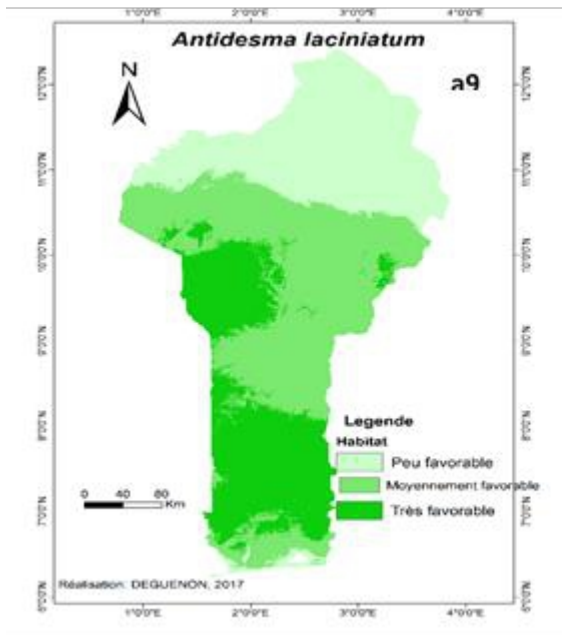












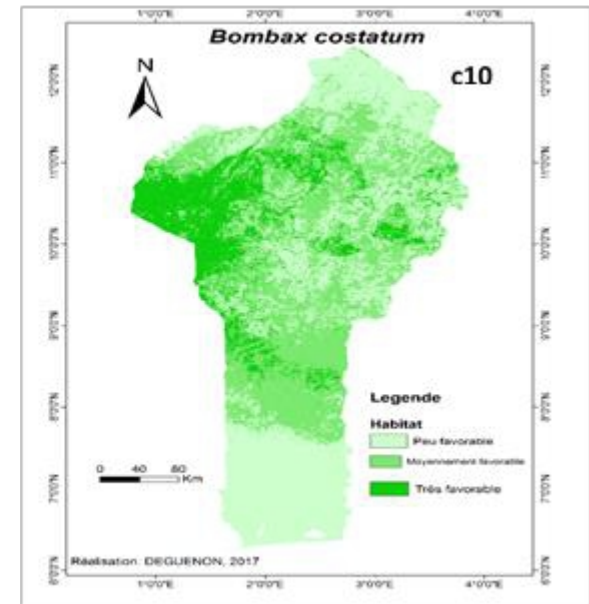
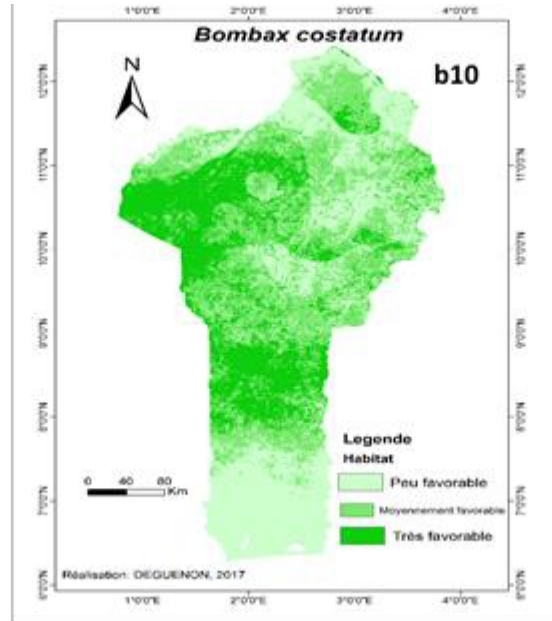
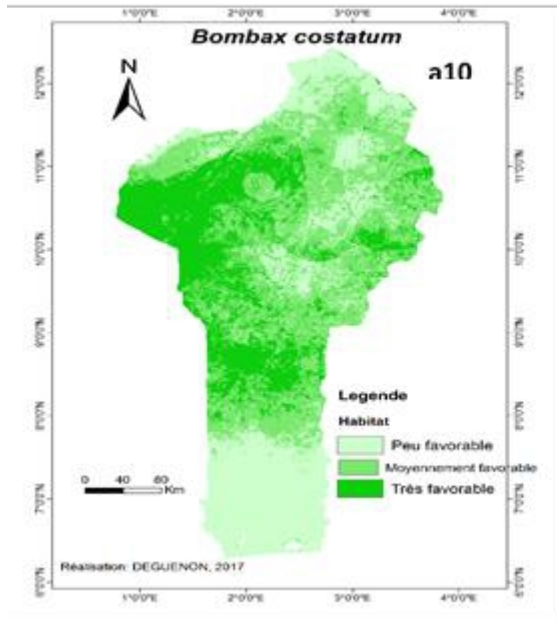


Table 4: Dynamics of areas favorable to the cultivation of ten priority species in classified forests under ONAB management

Species	Culture	Very favorable area		Relatively favorable area		Unfavorable area	
		Area (Km ²)	Trend (%)	Area (Km ²)	Trend (%)	Area (Km ²)	Trend (%)
<i>K. senegalensis</i>	Present	7790,164	-	27314,599	-	77519,238	-
	CNRM-CM5	9929,806	-27,464	30909,969	-13,163	71784,224	7,398
	HadGEM-ES	8409,673	-7,952	34605,718	-26,693	69608,608	10,205
<i>A. africana</i>	Present	17909,042	-	48910,364	-	45804,594	-
	CNRM-CM5	16454,677	8,121	48025,613	1,809	48143,709	-5,107
	HadGEM-ES	20204,166	-12,815	48230,988	1,389	44188,846	3,527
<i>K. grandifoliola</i>	Present	2389,997	-	13675,684	-	96558,3194	-
	CNRM-CM5	1948,035	18,492	10446,984	23,609	100228,981	-3,801
	HadGEM-ES	2672,083	-11,803	16187,653	-18,368	93764,2639	2,894
<i>P. erinaceus</i>	Present	2891,621	-	15189,574	-	94542,805	-
	CNRM-CM5	2597,163	10,183	12693,420	16,433	97333,417	-2,952
	HadGEM-ES	2958,358	-2,308	24578,451	-61,811	85087,191	10,001
<i>A. leiocarpa</i>	Present	5244,454	-	25873,081	-	81506,464	-
	CNRM-CM5	3024,471	42,330	29898,506	-15,558	79701,028	2,215
	HadGEM-ES	2797,468	46,658	34433,035	-33,084	75393,496	7,499

<i>M. excelsa</i>	Present	9008,450	-	35217,968	-	68397,582	-
	CNRM-CM5	8998,887	0,106	35288,738	-0,201	68336,375	0,089
	HadGEM-ES	9498,825	-5,443	31134,080	11,596	71991,095	-5,254
<i>A. zygia</i>	Present	5591,592	-	5970,558	-	101061,85	-
	CNRM-CM5	3368,451	39,759	7410,592	-24,119	101844,956	-0,775
	HadGEM-ES	4861,468	13,057	7361,158	-23,291	100401,374	0,653
<i>V. doniana</i>	Present	14205,137	-	37432,126	-	60986,737	-
	CNRM-CM5	13641,975	3,964	37316,845	0,308	61665,180	-1,112
	HadGEM-ES	19806,766	-39,434	41392,169	-10,580	51425,065	15,679
Species	Culture	Very favorable area		Relatively favorable area		Unfavorable area	
		Area (Km ²)	Trend (%)	Area (Km ²)	Trend (%)	Area (Km ²)	Trend (%)
<i>A. laciniatum</i>	Present	31001,917	-	46185,033	-	35437,050	-
	CNRM-CM5	24969,994	19,457	47885,059	-3,681	39768,947	-12,224
	HadGEM-ES	35434,598	-14,298	43602,515	5,592	33586,887	5,221
<i>B. costatum</i>	Present	30042,872	-	48393,144	-	34187,984	-
	CNRM-CM5	30029,613	0,044	46054,616	4,832	36539,771	-6,879
	HadGEM-ES	18152,927	39,576	49183,571	-1,633	45287,502	-32,466

Discussion

Modeling, Model Reliability, and Contribution of Variables

Modeling of species distribution is widely used nowadays to determine favorable habitats at large scales and to produce comprehensive maps that are particularly used for identifying areas where conservation efforts are needed (Hounkpèvi et al., 2016). During this study, the CNRM-CM5 and HadGEM-ES models were used to predict the future distribution of 10 priority species. The results of this study revealed that the model presents good discrimination of the ecological niche for each of the priority species (AUC mean ratio >1). Thus, the current distribution areas predicted by the model for each species constitute areas of high probability where the species would be present or absent depending on the related ecological conditions. Overall, the distribution of these species depends on climatic and edaphic factors. Variables such as precipitation in the driest quarter, annual precipitation, annual thermal amplitude, and isothermality were found to be the most relevant for most species. This result confirms the fact that direct parameters such as temperature and precipitation are more effective when the modeling of the distribution of species concerns a large area, unlike indirect parameters such as altitude, topography, plant cover which are effective for small areas (Guisan and Zimmermann, 2000). Any significant change in the average states of the climate could therefore generate profound upheavals in the distribution of these species. Climate change is now recognized as one of the main threats to the survival of species and the integrity of ecosystems around the world (Fandohan et al., 2013). Similar results were obtained by Idohou et al. (2016) who showed that the distribution of wild palm depends on these same factors. Other studies have shown that the distributions of species such as *Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Khaya senegalensis* (Adjahossou et al., 2016) and *Vitex doniana* (Hounkpèvi et al., 2016) are sensitive to environmental variations at several spatial scales.

The used prediction models show that the current distribution areas of the species will undergo profound changes in the future. For *Khaya senegalensis*, the two models used predicted an extension of moderately favorable and very favorable areas by conversion of unfavorable areas. For species such as *Anogeissus leiocarpa* and *Albizia zygia*, very favorable areas will experience a retraction in favor of moderately favorable areas. While *Vitex doniana* will experience a retraction of its very favorable range according to the CNRM-CM5 model, the HadGEM-ES model foresees rather a large extension of the very favorable ranges. Climate change could generate a spatial dynamic in the geographic distribution of habitats favorable to these species and thus make certain regions favorable today, very unfavorable in the future and vice versa (Hannah et al., 2002). For a good conservation action, it would be preferable to study for each of these species the tolerance limits of

these two parameters (water and temperature) which significantly affect the distribution through the phytodistricts. Most species with a wide distribution (*Vitex doniana*, *Azelia africana*, *Antidesma laciniatum*, *Bombax costatum*) are expected to remain fairly stable under the effect of future climate changes, even under the most drastic scenarios. According to Adjahossou et al. (2016), species such as *Khaya senegalensis*, *Anogeissus leiocarpa* and *Azelia africana* being potential agroforestry species, used in agroforestry systems in the Guinean zone, where there are very few protected areas, could be considered in reforestation policies.

Implications of the Study

Overall, the distribution of these species depends on climatic and edaphic factors. The direct (driest quarter precipitation, annual precipitation) and indirect (soil) parameters were found to be more effective in predicting favorable priority areas in the conservation of the species studied. The Sudano-Guinean (7 ° 30'-11 ° 5'N) and Guinean (6 ° 25'-7 ° 30'N) zones appear to be more concentrated in priority habitats, while the Sudanese zone (10 ° 00'- 12 ° 27'N) is found to be concentrated in non-priority habitats. These areas seem likely to provide the ten species with suitable climatic conditions for their cultivation and conservation. Restoration policies combining in situ conservation strategies for the ten species should favor these priority unprotected areas because they are likely to provide the species with adequate climatic conditions. Also, the constitution of databases on the potential impact of climate change on forest species according to the different scenarios available could accelerate adaptive decision-making for their regeneration.

References:

1. Adjahossou, S. G. C., Nounagnon Gouwakinnou, G., Houehanou, D. T., Sode, A. I., Yaoitcha, A. S., Houinato, M. R. B., and Sinsin, B. (2016). Efficacité des aires protégées dans la conservation des habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques* 2.
2. Adomou, A. (2005). "Vegetation patterns and environmental gradients in Benin."
3. Adomou, A. C., Sinsin, B., and Van der Maesen, L. J. G. (2006). *Notulae Florae Beninensis* 12: Phytosociological and Chorological Approaches to Phytogeography: A Meso-Scale Study in Benin. *Systematics and geography of plants*, 155-178.
4. Assogbadjo, A. E., Kakai, R. G., Chadare, F., Thomson, L., Kyndt, T., Sinsin, B., and Van Damme, P. (2008). Folk classification, perception, and preferences of baobab products in West Africa: consequences for species conservation and improvement. *Economic Botany* 62, 74-84.

5. Austin, M. P., and Van Niel, K. P. (2011). Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of Biogeography*38, 1-8.
6. Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., Soberen, J., and Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*222, 1810-1819.
7. Baxter, E. J., Scott, L. M., Campbell, P. J., East, C., Fourouclas, N., Swanton, S., Vassiliou, G. S., Bench, A. J., Boyd, E. M., and Curtin, N. (2005). Acquired mutation of the tyrosine kinase JAK2 in human myeloproliferative disorders. *The Lancet*365, 1054-1061.
8. Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., Osman-Elasha, B., Tabo, R., and Yanda, P. (2007). Africa. Cambridge University Press.
9. Busby J.R., 1991. BioClim – a bioclimatic analysis and prediction system. In: Margules C.R. & Austin M.P., eds. Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. Canberra: CSIRO, 64-68.
10. Deryng, D., Sacks, W., Barford, C., and Ramankutty, N. (2011). Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global biogeochemical cycles*25.
11. Djègo-Djossou, S. (2003). Détermination de l'aire de répartition de la population du colobe magistrat (*Colobusvellerosus*) et statut de conservation au Bénin. *Mémoire de DESS/FSA-Université d'Abomey Calavi, Bénin*. 97p.
12. Duveiller, E., Singh, R. P., and Nicol, J. M. (2007). The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica*157, 417-430.
13. Fandohan, B., Gouwakinnou, G. N., Fonton, N. I. H., Sinsin, B., and Liu, J. (2013). Impact des changements climatiques sur la répartition géographique des aires favorables à la culture et à la conservation des fruitiers sous-utilisés: cas du tamarinier au Bénin. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*17, 450.
14. Fielding, A. H., and Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation*24, 38-49.
15. Guisan, A., and Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*135, 147-186.
16. Hannah, L., Midgley, G. F., and Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*11, 485-495.

17. Heller N.E. &Zavaleta E.S., 2009. Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biol. Conserv.*, 142, 14-32.
18. Houehanou, T. D., Assogbadjo, A. E., Kakaï, R. G., Kyndt, T., Houinato, M., and Sinsin, B. (2013). How far a protected area contributes to conserve habitat species composition and population structure of endangered African tree species (Benin, West Africa). *Ecological Complexity*13, 60-68.
19. Hounkpèvi, A., Azihou, A. F., Kouassi, É. K., Porembski, S., and Kakaï, R. G. (2016). Climate-induced morphological variation of black plum (*Vitex doniana* Sw.) in Benin, West Africa. *Genetic resources and crop evolution*63, 1073-1084.
20. Idohou, R., Assogbadjo, A. E., Azihou, F., Kakaï, R. G., and Adomou, A. (2016). Influence of the landscape context on stand structure and spatial patterns of the doum palm (*Hyphaene thebaica* Mart.) in the Republic of Benin (West Africa). *Agroforestry systems*90, 591-605.
21. Jones, G., Steketee, R. W., Black, R. E., Bhutta, Z. A., Morris, S. S., and Group, B. C. S. S. (2003). How many child deaths can we prevent this year? *The lancet*362, 65-71.
22. Jovic, M., Sharma, M., Rahajeng, J., and Caplan, S. (2010). The early endosome: a busy sorting station for proteins at the crossroads. *Histology and histopathology*25, 99.
23. Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., and Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography*17, 145-151.
24. Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., and Hanson, C. E. (2007). IPCC, 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
25. Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*190, 231-259.
26. Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., and Kinzig, A. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *science*287, 1770-1774.
27. Saupe, E., Barve, V., Myers, C., Soberón, J., Barve, N., Hensz, C., Peterson, A., Owens, H., and Lira-Noriega, A. (2012). Variation in niche and distribution model performance: the need for a priori assessment of key causal factors. *Ecological Modelling*237, 11-22.

28. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*240, 1285-1293.
29. Vodouhê, F. G., Coulibaly, O., Greene, C., and Sinsin, B. (2009). Estimating the local value of non-timber forest products to pendjari biosphere reserve dwellers in Benin. *Economic Botany*63, 397.
30. Wisz, M. S., Hijmans, R., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C., and Guisan, A. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*14, 763-773.
31. Zuur, A. F., Ieno, E. N., and Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*1, 3-14.