

# **European Scientific Journal, *ESJ***

*November 2020*

**European Scientific Institute, ESI**

*The content is peer reviewed*

**ESJ Natural/Life/Medical Sciences**

*November 2020 edition vol. 16, No. 33*

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

---

## *About the Journal*

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

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

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

*Sincerely,*

***Jovan Shopovski, PhD***

*European Scientific Journal (ESJ)*

*Managing Editor*

---

# International Editorial Board

**Jose Noronha Rodrigues,**  
University of the Azores, Portugal

**Nino Kemertelidze,**  
Grigol Robakidze University, Georgia

**Jacques de Vos Malan,**  
University of Melbourne, Australia

**Franz-Rudolf Herber,**  
University of Saarland, Germany

**Annalisa Zanola,**  
University of Brescia, Italy

**Vayia Karaïskou,**  
Open University of Cyprus

**Robert Szucs,**  
Szolnok University College, Hungary

**Dragica Vujadinovic,**  
University of Belgrade, Serbia

**Pawel Rozga,**  
Technical University of Lodz, Poland

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

**Rashmirekha Sahoo,**  
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

**Daniel Barredo,**  
University Laica Eloy Alfaro de Manabi, Ecuador

**Georgios Vousinas,**  
University of Athens, Greece

**Asif Jamil,**  
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

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

**Faranak Seyyedi,**  
Azad University of Arak, Iran

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

**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 Olavegogeochea,**  
National University of Comahue, Argentina

**Raul Rocha Romero,**  
Autonomous National University of Mexico, Mexico

**Oihab Allal-Cherif,**  
KEDGE Business School, France

**Izabela Dembinska,**  
University of Szczecin, Poland

**Driss Bouyahya,**  
University Moulay Ismail, Morocco

**William P. Fox,**  
Naval Postgraduate School, USA

**Rania Mohamed Hassan,**  
University of Montreal, Canada

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

**Alicia Marchant Rivera,**  
University of Malaga, Spain

**Lucia D'Ambrosi,**  
University of Macerata, Italy

**Tilahun Achaw Messaria,**  
Addis Ababa University, Ethiopia

**George Chiladze,**  
University of Georgia, Georgia

**Elisa Rancati,**  
University of Milano-Bicocca, Italy

**Alessandro Merendino,**  
University of Ferrara, Italy

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

**Anastassios 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

**Munawar Salahuddin,**  
National University of Science Technology, Pakistan

**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

**Michel Lesne,**  
University of Louvain, Belgium

**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

**Sayeduzzafar Qazi,**  
University of Scintice 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

**Akmele Meless Simeon,**  
Ouattara University, Ivory Coast

**Mohamed Sadiki,**  
IBN Tofail University, Morocco

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

**Gamal Elgezeery,**  
Suez University, Egypt

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

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

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

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

**Alla Manga,**  
University Cheikh Anta Diop, Senegal

**Lalla Aicha Lrhorfi,**  
University Ibn Tofail, Morocco

**Ruth Adunola Aderanti,**  
Babcock University, Nigeria

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

**Aka Koffi Sosthene,**  
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

**Sophia Barinova,**  
University of Haifa, Israel

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

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

**Aderewa Amontcha,**  
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

**Simona Sarotar Zizek,**  
University of Maribor, Slovenia

**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

**Dario Donnarumma,**  
University of Naples, Italy

**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 Superieure 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 Superieure (ENS), Cote d'Ivoire

**Ouedraogo Francois de Charles,**  
Josepk 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, Islambad Pakistan

**Sanja Milosevic Govedarovic,**  
University of Belgrade, Serbia

**Elham Mohammadi,**  
Curtin University, Australia

**Andrianarizaka Marc Tiana,**  
University of Antananarivo, Madagascar

**Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,**  
Udayana University, Indonesia

**Yue Cao,**  
Southeast University, China

**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

# Table of Contents:

**Impact of Guided Inquiry with Simulations on Knowledge of Electricity and Wave Phenomena.....1**

*Fernando Espinoza*

**Neutrophil - Lymphocyte Ratio as a Reliable Predictor of Postoperative Outcome And Mortality In Delayed Cases Of Peripheral Arterial Embolism.....36**

*Lefter Nasto*

*Tanyo Kavrakov*

*Hristo Abrashev*

**An e-Delphi Study on Software Virtualization in the Medical Diagnosis Process: The Experts' Perspective.....45**

*Byrian L. Ramsey*

**Evaluation de la Pollution Métallique des Sédiments Superficiels de la Lagune Potou en Période d'été (Littoral de la Côte d'Ivoire).....70**

*Eric Diangone*

*Yao Alexis N'guessan*

*Lou Kala Marie-Claude Toalo*

*Monde Sylvain*

*Coulibaly Aoua*

**Uso de Minería de Datos Para la Determinación de Perfiles Socioeconómicos y Sanitarios en la UNCAus.....88**

*David L. La Red Martínez*

*Stella M. Gerzel*

*Carlos E. Aguirre*

*Rubén A. Cáceres*

*José A. Berecochea Galarza*

**Caractérisation Spatiotemporelle Et Analyse De La Tendence Des Températures Au Sénégal.....105**

*Papa Malick Ndiaye*

*Demba Gaye*

*Seydou Alassane Sow*

**Spatial Dynamics And Risks Analysis Of Lowlands Degradation Potential Around Of Nakanbé-Dem Sub-Watershed In Center-Nord Of Burkina Faso (West Africa): Through Multi-Date Study And Satellite Tele-Analysis.....122**

*Adama Ilboudo*

*Sâga Sawadogo*

*Soungalo Soulama*

*Edmond Hien*

*Zombre Prosper*

**Dynamique Hydro-Erosive Actuelle Des Bassins Versants Endoreiques  
De La Region De Niamey (Sud-Ouest Du Niger).....149**

*Bouzou Moussa Ibrahim*

*Malam Abdou Moussa*

*Ingatan Warzagan Aghali*

*Boubacar Na-Allah Abdoulaye*

*Bahari Ibrahim Mahamadou*

*Mamadou Ibrahim*

*Descroix Luc*

*Le Breton Eric*

*Vandervaere Jean-Pierre*

**Variabilité Pluviométrique Dans La Région De Katiola Au Nord De La  
Côte D'ivoire (Afrique De l'Ouest).....169**

*Gnamba Franck Maxime*

*Kpan Oulai Jean Gautier*

*Yapi Assa Fabrice*

*Oga Yeï Marie Solange*

**Morphological and Anatomical Characteristics of Moroccan Fir Needles  
in Talassemtane National Park, North-Western Rif Region,  
Morocco.....189**

*Hajar Lamrhari*

*Mariem Ben-Said*

*Zineb Jalal*

*Dhar El Mehraz*

*Hassan Bouziane*



**Cartographie Du Risque De Salinité Des Sols À L'aide De L'approche  
Des Indices Et Des Données Multi-Sources: Cas De La Plaine De Tadla  
Au Maroc.....206**

*Abdelwahed Chaaou*

*Mohamed Chikhaoui*

*Mustapha Naimi*

*Aissa Kerkour El Miad*

*Aiman Achemrk*

**Conditions de Travail des Filles-mères Rejetées par les Parents et les  
Partenaires en Milieu Urbain Ivoirien : Cas de la Commune de  
Yopougon.....226**

*Kouamé Bi Gooré Roland*

**La Gestion Durable Des Adductions D'eau Villageoises Dans Le  
Departement Du Couffo Du Benin : Quelle Gouvernance.....250**

*Yetongnon Judith Eric Georges*

**Profil Épidémiologique Des Pathologies Respiratoires Aux Services De  
Pneumologie De La Ville De Meknès (Maroc).....274**

*Ibrahim El Ghazi*

*Imane Berni*

*Aziza Menouni*

*Marie-Paule Kestemont*

*Mohammed Amane*

*Samir El Jaafari*

**Effets de l'huile de Thevetia et de Top bio sur les prédateurs en culture  
cotonnière biologique à Gobé au Centre du Bénin.....284**

*Saturnin Azonkpin*

*Cocou Angelo Djihinto*

*Gustave Bonni*

*Germaine D. Fayalo*

*Thomas A. Houndete*

*Daniel Chèpo Chougourou*

**Impact Of Lateral Separations Between Pit Latrines And Wells On  
Contamination Of Groundwater In The Tano Districts Of  
Ghana.....303**

*F. Awuah*

*R.C. Abaido*

*K. Badu, S Appah*

**Inventaire Et Identification Des Plantes Melliferes De La Zone Guineenne  
: Cas De La Foret Yapi Daniel Et Extension (Sud De La Cote  
D'ivoire).....315**

*Kouame Koffi Félix*

*Assi Kaudjhis Chimène*

*Coulibaly Kiyinlma*

*Kassi N'dja Justin*

**Análisis de calidad de las observaciones GPS en estaciones de operación  
continua de libre acceso en México.....332**

*Daniel Hernández-Andrade*

*Rosendo Romero-Andrade*

*Juan L. Cabanillas-Zavala*

*Máximo Ávila-Cruz*

*Manuel E. Trejo-Soto*

*Alejandro Vega-Ayala*

**Depistage De L'anemie En Urgence Au Chu Campus : Validation Du  
Degre De Concordance Entre Les Resultats De L'hemocue® Hb 301 Et  
Ceux Du Sysmex Xn-1000®.....355**

*Kafui Codjo. Kouassi,*

*Micheline A. H. N. Tettekpoe*

*Gnatoulma Katawa*

*Agboka Hounogbe*

*Damintoti S. Karou*



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Fernando Espinoza Ed. D

Department of Physics and Astronomy, Hofstra University, Hempstead, NY, USA.  
Department of Chemistry and Physics-Adolescence Education, SUNY College at Old Westbury, Old Westbury, NY, USA

---

Submitted: 23 September 2020  
Accepted: 27 October 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Fernando Espinoza*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p1](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p1)

 Copyright 2020 Espinoza F,  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:  
Espinoza.F. (2020). Impact of Guided Inquiry with Simulations on Knowledge of Electricity and Wave Phenomena. *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p1>

---

## Impact of Guided Inquiry with Simulations on Knowledge of Electricity and Wave Phenomena

---

### Abstract

The impact of inquiry-based instruction on the improvement of content knowledge of electricity and wave properties in two studies was the subject of this investigation. Groups of pre-college and undergraduate students performed a series of tasks designed to determine the effectiveness of exploratory/investigative approaches to the study of wave properties in fostering content retention and conceptual change, as well as in comparison with traditionally performed experimental activities. The results show that a guided inquiry-based method using simulations significantly improves content performance on electricity and wave motion, although not in optics; in particular, it helps students to visualize charge exchanges and electric neutrality, the shape of electric fields, types of waves and their characteristics, and the effects of the transmitting medium on the speed of a wave. Additionally, its exploratory nature is superior to the confirmatory laboratory experience, both in content retention and in facilitating the incorporation of perceptual features that help learners deal with documented challenging properties of waves.

---

**Subject:** Physics Education

**Keywords:** Inquiry, virtual environments, physics instruction, electricity, wave phenomena

## **Introduction**

Content retention and its improvement are crucial measures of a learner's ability to benefit from further exposure to disciplinary core ideas, as declared by the Next Generation Science Standards (NGSS). An understanding of electricity, the properties of fields and wave phenomena play a large role in the study of physics and many areas of investigation in the sciences. In particular, the properties and relationships exhibited by waves can apply to phenomena that apparently have nothing in common, and can greatly enhance one's knowledge of the natural world by incorporating features such as dispersion, superposition, interference, and periodicity into investigations in other disciplines. The applications go beyond natural science; they exist in the social sciences as well, and in other areas of study such as economics in dealing with market forces and other human affairs.

Attempts to reform science education at a national level spanning several decades have led to recommendations from national organizations for instruction to emphasize exploratory, as opposed to confirmatory laboratory experiences (NAP, 2000). Subsequent analyses and recommendations argue that a lack of such exploratory opportunities seriously neglects students' pre-instructional knowledge and limits their engagement in meaningful experiences (Hofstein and Lunetta, 2004; America's Lab Report, 2006). There have been repeated calls for changes in teaching physics for more than a hundred years (Mann, C.R. 1906, 1912). While the vision expressed by these early critics remains largely unrealized (Otero and Meltzer, 2017), some progress has led to innovative instructional approaches. Indeed, a massive document-Adapting to a Changing World: Challenges and Opportunities in Undergraduate Physics Education (NAP, 2013) has identified specific needs and strategies for improving the learning and teaching of physics.

## **Investigating Inquiry and its role in the study of Electricity and the Properties of Waves**

The most commonly used exploratory approach in science instruction is inquiry-based learning, as Figure 1 shows, there are degrees of such an instructional approach. There have been many studies on the effectiveness of inquiry-based learning, with some concluding that guidance is needed for successful implementation (Schneider, 2002; Kanter and Schreck, 2006; Krajcik et al. 2008; Minner et al. 2010). The effectiveness of inquiry-based learning on the development of critical thinking skills in several disciplines has been demonstrated at both the pre-college and undergraduate levels (DiPasquale et al. 2003; Abrahams and Millar, 2008; Casotti et al. 2008; Blanchard et al. 2010; Herrenkohl et al. 2011; Scalise et al. 2011; Redelman et al. 2012). The use of computer simulations to support inquiry-based instruction in learning science concepts has also been documented (Kirschner

et al. 2006; Ryoo and Linn, 2012; Rutten et al. 2012; Chang and Linn, 2013; Pedaste et al. 2015). The advantages of teaching through inquiry have been questioned, and are debated in the literature (Quintana et al. 2005; Cobern et al. 2010; Rnekne and Nunez, 2013; Ronnebeck et al. 2016). However, a possible reason for much criticism may be a lack of awareness of the role of scaffolding made possible in many cases by computer simulations (Webb, 2005; Hmelo-Silver et al. 2007).

Teacher-Centered (Expository)                      Guided Inquiry                      Student-Centered (Exploratory)



**Figure 1.** Representation of range of inquiry.

There are promising findings in using guided inquiry through interactive virtual settings in biology (Derting and Ebert-May, 2010), in physical science and chemistry (Donnelly et al. 2013; Chao et al. 2016), and in physics (Parnafes, 2007; Ceberio et al. 2016). The use of virtual environments (simulations) requires control, hence the need for scaffolding (Ding et al. 2011; Fang et al. 2016). Online simulations are challenging since quick and continuous changes place heavy demands on learners' working memory (particularly if prior knowledge is lacking); however, they also provide the user and the designer with two types of controls, pace control, and variable control. Pace control can facilitate comprehension, and variable control can engage the learner in knowledge construction, exploration, and hypotheses testing (Bjork and Linn, 2006). There exists a need for research on the use of open inquiry tasks to explore the effectiveness of variable manipulation (Wichmann and Timpe, 2015).

There is a documented lack of knowledge in the literature about high school students' ideas expressed in open-ended tasks, and very few empirical studies exist on the use of innovative online simulations such as the Electric Field Hockey simulation (Cao and Brizuela, 2016). Scientific reasoning can improve through the construction and analysis of models made possible by simulations, not just by their use (Heijnes et al. 2018). The Next Generation Science Standards emphasize modeling, and it is effective in increasing understanding of knowledge in certain domains (van Borkulo et al. 2011). Computers play a central role in studies using SimSketch, a modeling tool based on drawings in elementary school science (van Joolingen, 2012, 2015). The use of simulations in modeling is an integral part of developing inquiry processes, particularly student understanding of the relation between variables (White et al., 1999; van Joolingen et al., 2005). The use of simulations to support inquiry-based instruction has also been demonstrated to be effective by using Model Progression (Mulder et al., 2010, 2011, 2012). These studies

have shown that novice learners can benefit by engaging in increasingly specific reasoning about the way variables are interrelated.

The increasing use of simulations and computer assisted learning in the teaching of physics has shown that there are compelling reasons for using authentic learning environments that result in more student engagement with the material (Murphy et al., 2006). Recent findings of the benefits of using inquiry-based instruction in the learning of thermal physics are particularly relevant since they come from Singapore, where policy makers are reconsidering traditional approaches in physics instruction (Fernandez, 2017).

Computer simulations are superior to traditional laboratory work in dealing with optical aberrations (Martinez et al. 2011), and the use of analogical scaffolding is more effective than traditional instruction in the study of electromagnetic waves (Podolefsky and Finkelstein, 2007).

Studies on student understanding of electromagnetism dealing with electrostatics and electric field properties have demonstrated a number of significant features (Viennot and Rainson, 1992; Tornkvist et al. 1993; Furio and Guisasola, 1998; Brian et al. 2009; Gire and Price, 2014); Bollen et al. 2017; Li and Singh, 2017; Klein et al. 2018). In particular, studies have focused on the use of the principle of superposition in electrostatics, exemplified by a force due to multiple charges (Bonham et al. 1999), and the role of computers on students' representations of electricity (Cronje and Fouche, 2008). Other studies have documented for several decades student conceptual difficulties with light propagation and geometric optics (Goldberg and McDermott, 1986, 1987; Perales Palacios et al. 1989; Bendall et al. 1993; Galili, 1996; Langley et al. 1997; Hubber, 2005; Bohm et al. 2009; Andreou and Raftopoulos, 2011; Lopes and Lopes, 2013).

Studies of student conceptualization of sound have documented that the mathematical abstraction (the syntax) seems divorced from the tangible character of its perceptual features (its semantic content). The latter based on a microscopic perspective that represents sound in terms of the bulk properties of a medium (Linder and Erickson, 1989). Student conceptualizations appear seemingly based on an awareness of disturbances through solids, with a predominance of air as the preferred medium. The benefits of conceptual change about sound propagation, using computer animations extend to students as young as 11 years of age (Calik et al. 2011). In undergraduate physics instruction by virtue of its being primarily concerned with problem solving, such sense making (semantic content) is not readily apparent (Linder, 1993; Brown and Hammer, 2008). There is a need for research into student modeling of physical phenomena (Greca and Moreira, 2002), as well as the provision of scaffolding to facilitate student learning (Parnafes, 2010).

The particular focus of this study on electricity and mechanical waves as part of an inquiry-based approach to instruction is on the documented universality of students' use of concepts from kinematics and mechanics when they encounter the topics of electricity, and of waves. Another justification is the identification of some important cognitive features of student understanding of such phenomena. Studies in this area have gradually evolved from an identification of misconceptions to one of more comprehensive and structured patterns for student reasoning (diSessa and Sherin, 1998; Ambrose et al. 1999; McDermott and Redish, 1999; Wittmann et al. 1999).

The emphasis on inquiry-based instruction, and the epistemologically salient features of students' reasoning follow from studies where learners' reliance on explicit cognitive resources have been identified (Wittmann, 2002; Wittmann et al. 2003). These studies have effectively shown the inhibiting effect on learning caused by an adherence to object-like properties as opposed to extended or event-like ones. A proper understanding of field properties and wave characteristics, such as dispersion, superposition, and diffraction among others, tests the teleological explanations that often contain contradictory elements used by students, and that pose formidable challenges for instruction. This investigation specifically addresses two recommendations made in these studies:

1- The provision of learning environments alternative to traditional classroom tasks, so that student thinking seems more transparent through consistent reasoning is called for.

2- The need to explore alternative representations of electricity and wave properties.

Therefore, the research questions for the study became:

- To what extent do students succeed in demonstrating improvements in content knowledge of electrostatics, electric field and wave properties, when given the opportunity to engage in guided inquiry explorations using simulations?
- Are there sustainable benefits in content retention, when comparing control and experimental groups?
- What features of simulations lead to improvements in content performance?

To investigate the effectiveness of inquiry-based instruction on electrostatics, electric field and wave properties among both pre-college and undergraduate students, the study engaged several groups due to their similarity in conceptual level of development.

## **Method**

The study based the similarity in conceptual level of development of the three groups (pre-college/Advanced Placement, non-science majors, and



STEM majors) on the initial value of a pre-post measure of task performance using a normalized 'gain' determination. The measure of this gain reported in a previous study (Espinoza, 2015) with similar groups, resulted from tasks like that in Appendix A, as well as multiple-choice tests; the instruments were both the pre and post assessments of content performance. The normalized gain (h) formula  $h = \frac{\% \text{ post} - \% \text{ pre}}{100 - \% \text{ pre}}$  ensures that variability in pre-instructional knowledge levels is minimized among participants, by virtue of subtracting in the denominator the % pre-test from 100.

The measures used with the current groups reported elsewhere (Espinoza, 2016), were performances on pre-tests of content assessment. The pre-performance range for the groups was very similar to that of previous study groups, as well as subsequent measures of pre-performance on both tasks used in Study II with students in the same course as the one used as the control group.

The groups performed a series of guided-inquiry tasks designed to determine the effectiveness of exploratory/investigative approaches in fostering content improvement (study II), as well as a comparison of content retention with traditional confirmatory experimental activities (study I).

The rationale for conducting two studies was the need to engage sufficient numbers of students to have the means to investigate the two recommendations stated above. The undergraduate students taking the courses where they study wave properties do not study electricity and magnetism. Fortunately, in order to determine the effectiveness of simulations in the study of electricity, a different student population became available due to the collaboration with a physics teacher engaged in an independent study project with the author, for purposes of certification.

#### Study I

Two groups of undergraduates (the majority being second and third year students) were engaged in an investigation of the role of inquiry-based tasks in content retention of mechanical wave relationships expressed by the dependence of the speed on other variables. The study compared the use of a computer simulation for the first group, with the performance of a traditional laboratory task for the second group. The first group (the experimental one) was composed of non-science majors enrolled in a course on wave motion that fulfills a natural science requirement (N= 43).

The second group (the control one) was composed of STEM majors enrolled in a second semester introductory physics laboratory course (N= 34). The first group undertook an online exploratory activity (Appendix A) where they initially predicted the relationship between the frequency of oscillations created in a mechanical wave represented by a string or rope, and the transverse speed of the wave transmitted through it.

The activity specifically probed the documented tendency of students to attribute the speed of a mechanical wave to its source, and completely ignore the properties of the transmitting medium. Indeed, students deem the medium as passive, even useless, and leading them to conclude that a mechanical wave such as sound can travel through a vacuum (Maurines, 1992). The computer simulation designed to engage the students in confirming their prediction allowed for both pace and variable control. The questions included at the end of the activity summarize their findings about the relationship between wave speed in a string or rope and other variables, including wavelength, frequency, and tension.

The virtual exploratory task performance for this group was used as a comparison with a traditionally performed laboratory experiment on the laws governing vibrating strings, the latter being carried out by the STEM majors. The experiment calls for a confirmation of the relationship that exists between the fundamental frequency of a vibrating string and three variables: the string's length, its tension or stretching force, and its mass/unit length. The task incorporated two of the graphical relationships obtained in the experiment (frequency vs length, and frequency vs tension or stretching force), which are part of the laboratory report as questions into the pre and post assessment (Appendix B). The utility of the two questions used as the pre and post assessments rests on their widespread occurrence in textbooks and curriculum materials that deal with the study of mechanical waves. While there are only two questions, they are quite suitable and ideal for probing student understanding of the relationships between the variables that govern the behavior of vibrating strings. Other means of probing for an understanding of such a relationship may exist, but the use of the quantitative relationship expressed by an equation is economical and succinct.

Both groups received the same pre and post assessment. The pre assessments during the first meeting of the semester and the post assessments on the day of the final examination for both groups. The time intervals for both groups were two weeks between the pre assessment and the performance of the two tasks (the experiment with vibrating strings, and the assignment of the simulation); then there was an 11-week interval between the performance of the tasks and the final examinations. Care was exercised in planning for the groups to do both activities on the same week. The STEM majors performed the experiment in pairs, sharing the equipment and data collected; the non-science majors performed the simulation task on their own time during the two days between class meetings. There was no control over whether students received assistance, or if they worked alone in performing the task. However, given that the STEM majors worked in pairs, the sharing of information was a common occurrence. If anything, individual effort in performing the

simulation adds to the benefit obtained from statistically significant differences in performance. Both groups dealt with the concepts involved in the tasks, although the non-science majors had less information, as their task contains a prediction. The STEM majors were predominantly second year students, whereas the non-science majors were predominantly third year students.

Assessment	Activity	Completed	Control group (STEM majors)	Experimental group (non-science majors)
Pre-test	Content Knowledge	First meeting	√	√
Laboratory Report (two graphs)	Laboratory Experiment	Two weeks after pre-test	√	
Project Report	Simulation	Two weeks after pre-test		√
Post-test	Content Knowledge	Final Exam 11 weeks after pre-test	√	√

Table 1. Summary of activities and implementation

Table 1 provides a timeline and structure of the activities performed. The two questions included in the pre and post-test correspond to the tasks undertaken by both groups, but carried out differently. The control group (the STEM students) did them as part of their traditionally performed experiment. The experimental group (the non-science majors) did them as part of the exploratory task using a computer simulation designed to probe for the same relationships. In the assessment, question or task 1 tests for an understanding of the relationship between wave speed and other wave properties.

According to Espinoza (2017) wave speed  $v$  is expressed as  $v = \lambda f$ , where  $\lambda$  is wavelength, and  $f$  is frequency. Additionally, task 2 tests for an understanding of the relationship between mechanical wave speed and properties of the transmitting material.

According to Serway (2019) a string's wave speed  $v$  is given by  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ , where  $F$  is the stretching force or tension in the string, and  $\mu$  its mass/unit length. The objective is to establish a connection between the source of the mechanical waves, and the properties of the transmitting medium.

## Results

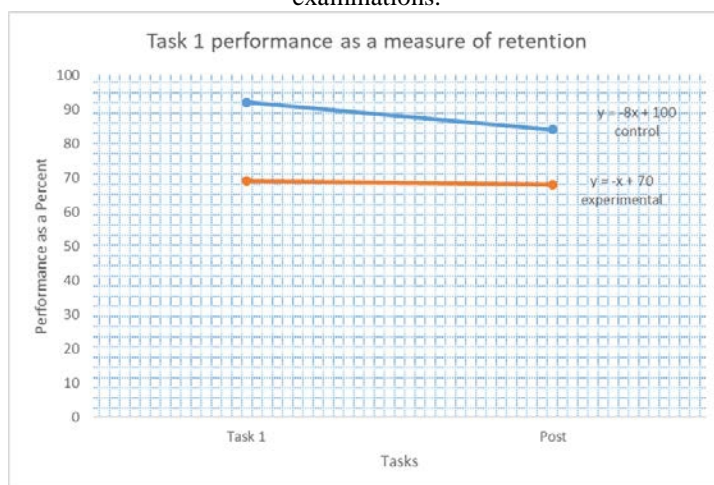
Semester	N	Pre	Sim. Task 1	Sim. Task 2	Gain (h)
Fall 2016	22	43%	76%	76%	.58
Spring 2017	21	40%	62%	62%	.37

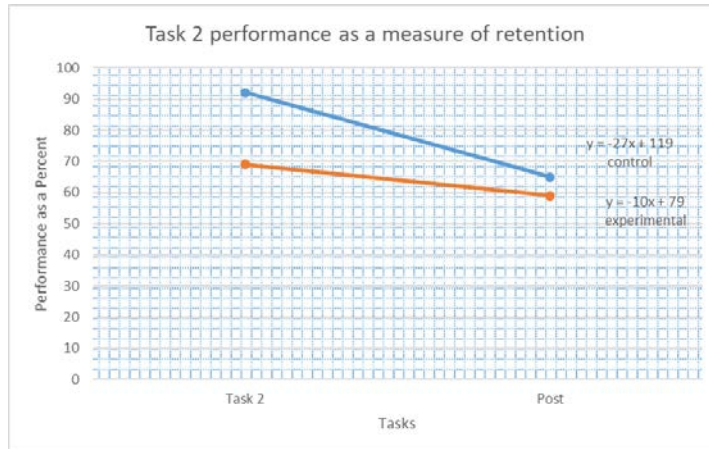
**Table 2.** Results of Wave task for the experimental group. The Pre measurements are the predictions, and the Sim. Tasks are the answers to the two questions after performing the simulation and having completed the table.

Table 2 shows the results of the exploratory activity for the experimental group with a gain in performance ( $h$ ), using  $\% pre = \%$  of correct predictions at the beginning, and  $\% post = \%$  of correct answers at the end of the simulation task. In support of previously reported findings, the values of the gain (.58, and .37) fall in the medium-gain category of the graph of gain as a function of  $\%$  pretest that compares traditional and interactive forms of engagement in the teaching of physics (Hake, 1998).

Group	N	Task 1	Post	Task 2	Post
Control	34	92%	84%	92%	65%
Experimental	43	69%	68%	69%	59%

**Table 3.** Performance for both groups on Tasks 1 and 2. The percentage for both tasks is the average grade for the laboratory report of the experiment for the control group, and the average grade for the report on the simulation task for the experimental group. Post is the answers to the same two questions used as the pre-assessment, given as part of the final examinations.





**Figure 2.** Graphs of performance on experimental tasks and post assessment for control and experimental groups.

Table 3 and the two graphs of content retention in Figure 2 measured in terms of a comparison of performance for both groups indicate that there is a difference between the scores obtained at two different times. For both groups there is a decrease in performance score from the time when they conducted the traditional experiment and the exploratory task, and the time of the post assessment. This corresponded to an approximately 11-week time span. Both groups undertook their respective tasks simultaneously and were administered the post assessment (as part of their final exam) 11 weeks later. It is clear that the experimental group outperformed the control group in the retention of information needed for the final exam, when they took the post assessment. The above conclusion is significant in light of the following results outlined in Table 4. The values for pre and post reported on the table are not means but the % of correct responses to the two questions.

Group	N	Task 1			$\chi^2$	p value	Task 2			$\chi^2$	p value
		Pre	Post	Gain (h)			Pre	Post	Gain (h)		
Control	34	68%	84%	.50	.785	> .10 (*)	54%	65%	.24	7.45	< .01
Experimental	43	44%	68%	.43			21%	59%	.48		

(\*) Not statistically significant

Table 4. Comparison of performance by both groups on the same two questions (Pre: as the performance on the pre assessment before undertaking the tasks), and (Post: the answer to the same two questions as part of the final examinations). The values are not the means but the % of correct responses to

the questions (Appendix B). The average gain for the control group was .37, and for the experimental group it was .46 for the two tasks.

Table 4 shows that there were significant gains for both groups between the pre and post assessment performances; in Task 1, they both fall in the medium-gain category of the graph of gain as a function of % pretest, in a meta-analysis that compares traditional and interactive forms of engagement in the teaching of physics (Hake, 1998). However, in Task 2, the gain is much higher for the experimental than for the control group, supporting the conclusions of that analysis that the more interactive exploratory task results in higher gain than the traditional experiment.

A chi-square analysis reveals no statistical significance between the groups' scores for Task 1, consistent with the first graph; however, the chi-square test  $\chi^2 = 7.45$ ,  $p < .01$ , yields a statistically significant difference between the two means for Task 2. The experimental group clearly outperforms the control group in the assessment of their grasp of the second relationship. The results suggest that while both groups benefit from exposure to experimental work in their understanding of the relationships between the properties of a mechanical wave, it is the exploratory or inquiry-based approach that seems superior in fostering student content retention, and a better grasp of perhaps the more challenging relationship between the variables (Task 2).

## Study II

Variable groups of Advanced Placement (AP) physics students (N= 20-37) undertook tasks on electricity, electric field and wave properties using simulations to test their impact on performance on content knowledge of these topics. Although the research design for this study lacks the strength of the first one due to the lack of a comparison group, the opportunity provided by the collaboration between the author and the physics teacher was limited due to the term schedule and subject assignments of the teacher. The objective was to determine more precisely than in the first study, whether there is a statistically significant improvement in content performance due to engaging in guided inquiry simulations of the phenomena dealt with in the pre and post assessments. In addition, the post assessment probed for student feedback on their perceived impact of the simulations on the questions asked. The measurement tool for both pre and post assessments has a high validity score, as reported at the end of the article.

There were four topics addressed by the questions and the simulations: 1) electrostatics, 2) Electric Fields, 3) Wave Characteristics, and 4) Optics. The electrostatics pre/post assessment had 10 questions, with 37 students completing both the pre and posttest. Students completed an activity that explored the properties of static electricity using Phet simulations (Appendix C).

The electric fields pre/post assessment had 8 questions, with 24 students completing both the pre and posttest. Students completed an activity to explore the properties of electric fields and forces. Students used an online field line simulation to view and sketch field lines on point charges, and to play a game “Electric Field Hockey” to investigate the interaction of point charges within electric fields (Appendix D).

The wave characteristics pre/post assessment had 10 questions, with 21 students completing both the pre and posttest. Students completed an activity to explore the properties of waves using an online simulation to investigate properties such as frequency, amplitude, wavelength and speed, as well as the different motions of transverse and longitudinal waves. Students also used a Phet simulation to investigate sending a pulse down a string with a fixed end, and a loose end (Appendix E).

The optics pre/post assessment had 9 questions, with 20 students completing both the pre and posttest. Students investigated converging lenses using an online simulation (Appendix F).

In all four tasks, students completed the pretest, and then had about 30 minutes to complete the activity in class. Students completed the posttest in class the next day. All simulations used were HTML5 and accessible on students iPads. Some students who brought their laptops to school preferred to complete the simulations on their laptops, but overall, most students used their iPads. Very few students who did not have their iPads with them or had a broken iPad used their cell phones to complete the simulation.

## Results

Task	Performance	Pre	Post	Difference	t-test	P value	Cohen's d
Electrostatics	Mean	37.88	49.39	11.52	25.71	<.001	.657
	St. Dev.	15.52	19.22	2.61			
Electric Fields	Mean	30.92	63.75	32.83	6.70	<.001	1.98
	St. Dev.	12.51	20.05	26.19			
Wave Characteristics	Mean	43.33	64.76	21.43	5.28	<.001	1.26
	St. Dev.	19.35	13.67	18.59			
Optics	Mean	30.56	28.72	-1.83	-.56	.266	-.147
	St. Dev.	13.98	10.46	13.84			

**Table 5.** Results of the performance on the four tasks; with the exception of the Optics task where the performance was quite regressive, the other tasks show a statistically significant

improvement in content performance, as well as large values of Cohen's *d* as a measure of Effect size.

Question	Task	Yes (%)	No (%)
<b>Did the simulations Lab. Influence your answer choices For the post-test?</b>	Electrostatics	31/33 (94)	2/33 (6)
	Electric Fields	20/20 (100)	0/20 (0)
	Wave Characteristics	18/21 (86)	3/21 (14)
<b>What did you find most helpful About the simulations?</b>	Electrostatics: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visual exchanges of (+) and (-) charges</li> <li>• Neutrality concept and attraction between charged and neutral objects</li> <li>• Motion of electrons as compared to protons</li> </ul>		
<b>How did your answers change, if at all, after completing the simulations?</b>	Electric Fields: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direction of E</li> <li>• (+) charges as sources, and (-) as sinks of E</li> </ul> Wave Characteristics: <ul style="list-style-type: none"> <li>• More clarity of Amplitude, wavelength, and frequency                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understood vocabulary</li> </ul> </li> <li>• Longitudinal and transverse concepts</li> </ul>		

**Table 6.** Results of student feedback on the post-test questions to determine their perspective on the role of the simulations in their performance. The post-test assessment for the Optics part did not include such questions.

Tables 5 and 6 provide a summary of the results of study II. As can be seen in Table 5, the differences in performance for the first three tasks are quite significant; as demonstrated here, for the electrostatics task a paired t-test of significance yields a value  $t = 25.71$ ,  $p < .001$ , for the Electric Fields it is  $t = 6.70$ ,  $p < .001$ , and for the wave characteristics  $t = 5.28$ ,  $p < .001$ . The optics task was the exception, the performance being recessive. Table 6 contains the student feedback, and it provides information on the perceived reasons for the results. As the table shows, there is an overwhelming majority of students reporting that the simulations influenced their answer choices for the post-test. The remaining two questions provided specific features the students referred to as being helpful and decisive on their improvement in the post-test. This information is extremely useful for an analysis and reflection on improvements in other simulations in the same, and other content areas of physics instruction.

The assessment of proper questioning domain was done using the Lawshe test of content validity that yields a Content Validity Ratio (CVR) value (Lawshe, 1975). The findings show content validity ratios of the various



sets of questions used as the pre and post assessments. Nine raters consisting of college and high school physics faculty from three institutions assessed the items used as measures of content performance.

Task	Item Number	Lawshe CVR Ratio
Electrostatics	10	.76
Electric Fields	8	.83
Wave Characteristics	10	.84
Optics	9	.90

**Table 7.** Results of the content validity analysis of the items used as the pre and post measures of performance.

Table 7 provides a summary of the results. The Electric Fields, Wave Characteristics, and Optics are at acceptable levels for the number of independent assessors of content validity (9 raters = minimum accepted scale value .78). The Electrostatics task barely misses the threshold value of content validity, perhaps due to the two items included that referred to charging by induction but containing diagrams, as opposed to another item dealing with induction but without a diagram. The remaining items dealt with charging by contact. Curiously, the Optics assessment received the highest CVR score from the raters, although no statistically significant performance for the students was found in this area.

The results confirm findings in studies that have found scaffolding to be effective in helping students understanding of electric field representations (Maries et al. 2017). The impact of the guided-inquiry simulations is also supportive of studies where guidance for discovery process provided significant gains in content knowledge of electric circuits (Kaakkola et al. 2011).

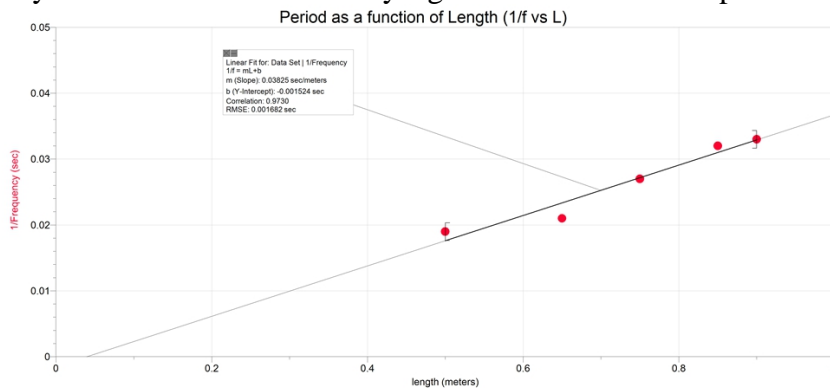
Additionally, the results are consistent with findings using pre and post measures that have found greater conceptual gains for innovative instruction, as opposed to traditional types (Dori and Belcher, 2005).

## Discussion

The results from Study I suggest that perceptual features may be more evident for the experimental group in seeing how the changes in the tension of the string or rope make the difference in the wave speed. While both groups experience relatively similar gains in understanding the relationship expressed by  $v = \lambda f$ , the results from the task involving  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  are much more significantly different between groups. It is precisely the second relationship

that engages the learner in a deeper level of analysis when considering the effect of the transmitting medium on the properties of a mechanical wave. The initial differences in pre performance scores between the groups are readily understood in terms of prior knowledge differences between them. The control group is composed of students likely exposed in the lecture part of the course to the relationships before undertaking the tasks in the laboratory. Whereas the experimental group is encountering the questions as part of the course coverage, where there is no separation between lecture and laboratory parts. The findings in this study confirm and support those in other investigations; particularly those where students are found to initially think of mechanical waves in terms of the properties of objects rather than events, but eventually benefit in understanding and overcoming stubborn misconceptions by engaging in tasks where perceptual features of mechanical waves are made apparent (Wittmann et al. 2003).

The findings suggest reasons for the different outcomes in performance on Task 2 between the two groups, focusing on what the STEM majors (control) group did. The following graphs from the required laboratory report illustrate the likely reasons for the statistically significant difference in performance.



**Figure 3.** Task 1-Graph that translates into  $v = \lambda f$ . The first graphical relationship required as part of the laboratory report was obtained by a slight modification of the equation that incorporates the three independent variables ( $L$ ,  $F$ , and  $\mu$ ) that affect the fundamental frequency of vibration of a string/wire, so that two experimentally obtained slopes can be compared to their theoretical values. The graph produced yields a relationship of the form  $y = mx$ , where only one variable is manipulated while keeping the other two constant. The relationship is as follows: (the values of  $m$  and  $\mu$  are those used in the experiment)

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\mu}} \quad (1)$$

Taking the reciprocal of the expression

$$1/f_1 = 2L \sqrt{\frac{\mu}{mg}} = 2L \sqrt{\frac{.0011 \text{ kg/m}}{(.3\text{kg})(9.8 \text{ m/sec}^2)}}, \text{ this equation is of the form } y = mx$$

Where  $y = 1/f_1$ , and  $m = 2 \sqrt{\frac{.0011 \text{ kg/m}}{(.3\text{kg})(9.8 \text{ m/sec}^2)}} = .039 \text{ sec/m}$ , is the theoretical slope

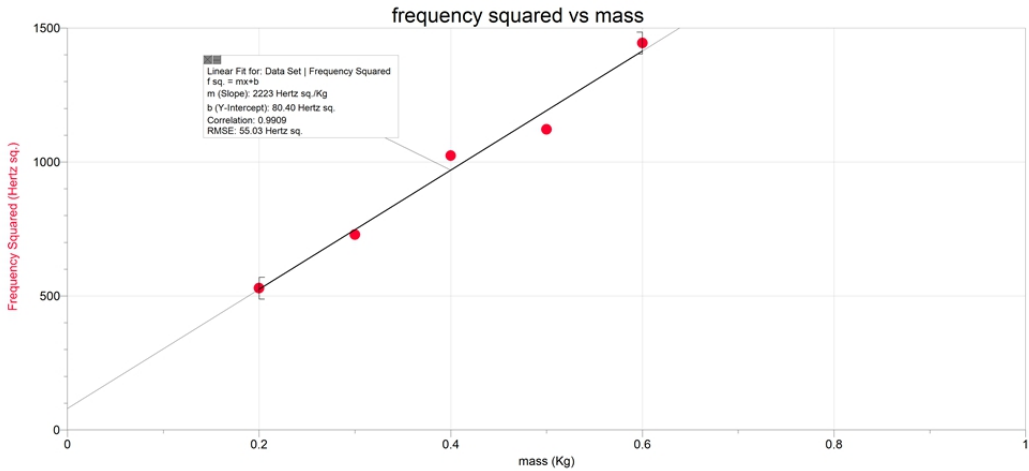


Figure 4. Task 2-Graph that translates into  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ . The second graph is as

follows: (again using the values from the experiment)

Squaring the equation for the fundamental frequency  $f_1$

$$f_1^2 = \frac{mg}{4\mu L} 2, \text{ this equation is of the form } y = mx, \text{ where } y = f_1^2$$

$$\text{and } m = \frac{g}{4\mu L} 2 = \frac{9.8 \text{ m/sec}^2}{4 (1\text{m})^2 (\frac{.0011\text{Kg}}{\text{m}})} = 2,227 \text{ Hz}^2/\text{Kg} \text{ is the theoretical slope.}$$

Students likely find it easier to transition from the direct-linear graph ( $1/f_1$  vs  $L$ ) to the equation in the first question of the post assessment, than they do in the second one ( $f_1^2$  vs  $m$ ). Whereas the graph in Task 1 shows the same relationship between the frequency and the wavelength as does the question, this is not the case with the graph in Task 2 for the relationship between the frequency and the force/tension. The findings suggest that the students in the control group appear to handle much better an inverse than a power relationship between the variables.

As argued here, a caveat to the findings in the gains obtained by using the normalized (h) formula in Study I can be offered. There are concerns over the apparent bias that (h) contains in favor of high pre-test populations (Nissen et al., 2018). As demonstrated earlier, this was addressed in Study II by the inclusion of the evaluation of Cohen's  $d$  in addition to the t-test of significance.

Nevertheless, the significance of the greater improvement by the control group in Task 2 of the first study lies in the fact that they are the low pre-test group. Finally, the results of study II show a statistically significant impact of simulations on content performance improvement in electrostatics, electric field properties, and wave characteristics assessments. The Optics activity shows no improvement most likely due to a lack of correlation between the simulation task and the assessments (e.g., no mirror tasks in the simulation, whereas there were more than half such questions in the assessments). The robustness of the improvements receives support from the student feedback; it reduces the need to infer the likely reasons for improvement in content performance.

### **Limitations and Recommendations**

While providing evidence of the positive impact on content performance due to inquiry-based activities where the tasks are student-centered, the studies did not address process skill development specifically; however, in terms of content retention it is apparent that embedding such practices in the tasks students engage in, leads to improvements in their content performance on the examined properties. It would be advisable to engage larger groups in tasks that can target both content, and process skill development in ways where one can more effectively extrapolate to general populations.

There could have been a potential influence on the performance by the non-science group due to the extra time available for them to undertake the simulation, which was not available to the STEM majors. This factor ought to receive consideration in a replicating study, to ensure a more rigorous methodological approach.

Researchers should test the effectiveness of the techniques by collecting data on students' understanding of other areas, such as mechanics. Nevertheless, the study is part of the awareness-raising call (Powell, 2003) to make available evidence that student-centered instruction helps in the development of scientific knowledge, as well as critical thinking skills.

### **Conclusion**

The two studies provide evidence that students benefit from the use of simulations to improve their understanding of relationships between variables in situations where such relationships are not easily perceptible. There are statistically significant differences in improvement on content performance in electrostatics and electric field properties, as well as in several wave characteristics. The only area without improvement is likely due to the lack of correlation between the simulation tasks, and the assessment of content knowledge.

## Abbreviation

STEM is an acronym for Science, Technology, Engineering, and Mathematics.

All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

This article does not contain any studies with animals performed by the author. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

The author wishes to thank Emily Ferrara for her assistance in the data collection, and Josh Fyman for the analysis of the content validity part.

## Appendix A Exploratory Task

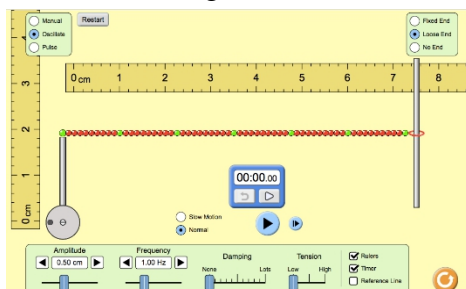
Does the speed of a wave in a rope or a string depend on how fast the oscillations are created?

ANSWER:

What are your reasons for the answer?

Now test your answer by using a simulation at <http://phet.colorado.edu/index.php>

Choose “Wave on a string” from the available choices. With the simulation open, make sure it looks like the diagram below.



The horizontal ruler can be moved to determine the wavelength, while the vertical one stays put.

- Click *as simultaneously as possible* the Oscillate and Play/Start buttons and determine how long it takes for the wave to reach the ring at the end. Stop the timer and record the value. Determine the wavelength by placing the horizontal ruler so that it measures the distance between peaks. Repeat for “Frequency” (the equivalent of how fast the oscillations are set up) values of 2.0 and 3.0.

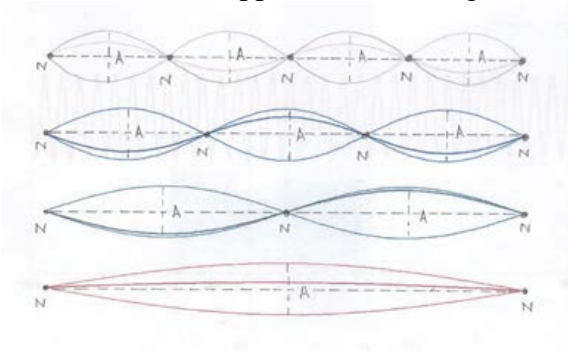
- Now select “Frequency” back to 1.0 and then change the tension to the middle of the scale; repeat the measurement of the time. Finally, change the tension to high and repeat once more, then fill in the table.
- (\*) The speed can be calculated by multiplying the wavelength by the frequency ( $v = \lambda f$ )

Frequency (Hertz)	Tension	Timer Reading (seconds)	Wavelength (centimeters)	(*) Speed (cm/sec)
1.0	Low			
2.0	Low			
3.0	Low			
1.0	middle			
1.0	high			

- 1-What does the table suggest for
- The time taken for the waves to travel?
  - The speed of the waves?
- 2-a) What did you notice about the wavelengths as you made the changes?
- Can you offer reasons for the answer in a)?

### Appendix B

For the case of a string of length L (held fixed at both ends), a standing wave results when a transverse force is applied to the string.



The bottom diagram represents the fundamental mode of vibration, and the remaining ones represent the harmonics or multiples of the fundamental. Since the speed of a wave is given by the product of its wavelength and frequency  $v = \lambda f$ . Since  $L = \frac{\lambda}{2}$  (from the fundamental mode of vibration), Hence  $\lambda = 2L$

Also, for a vibrating string  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  (the speed is the ratio of the tension or stretching force and the inertial mass/unit length property of the string). Therefore,

$$f = \frac{v}{\lambda} = \left(\sqrt{\frac{F}{\mu}}\right) \left(\frac{1}{\lambda}\right) = \left(\sqrt{\frac{F}{\mu}}\right) \left(\frac{1}{2L}\right)$$

Rewriting the above expression:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \mu = \frac{m}{L} \text{ is defined as the mass/unit length of the string.}$$

The three laws are summarized by the following statements:

1. The frequency of vibration/oscillation of a stretched string varies *inversely* with the length ( $L$ ) of the string.
2. The frequency varies *directly* with the square root of the stretching force ( $F$ ) on the string.
3. The frequency varies *inversely* with the square root of the diameter of the string (related to its thickness).

Use the equation to answer two questions:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

In order to double the frequency, and ***keeping the other variables constant in each case***, how does one change

- a) The length of the vibrating string?
- b) The stretching force on the string?

## Appendix C

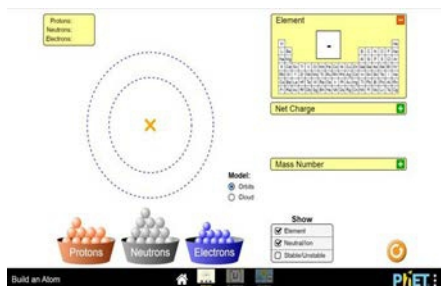
Shocking Simulations (Sample questions from the three parts)

Part 1: Build an Atom

1. Go to <http://phet.colorado.edu>. Click on HTML5 Sims to get to the list of simulations. From the menu choose the Build an Atom simulation then click on the Atom. You should see the screen at right.
2. Click on the plus signs to drop down the boxes for *Mass Number*, *Net Charge*, and *Symbol*.

(To see the SYMBOL you have to select the middle simulation at the bottom of the page)

3. Drag a proton to the center of the atom (the X). Fill in the following:



\*\*(When you click the middle simulation at the bottom of the page you must re-drag the proton)

Symbol	Mass Number	Net Charge

4. What type of atom have you built – a positive ion, a negative ion, or a neutral atom? (1 pt)

5. Add a neutron to the nucleus then fill in the chart below. (3 pts)

Symbol	Mass Number	Net Charge

6. Does adding a neutron change the net charge of an atom? (1 pt)

7. Add an electron to the orbital ring then fill in the chart below.

Symbol	Mass Number	Net Charge

8. Does adding an electron change the charge of an atom?

9. What type of atom do you have now - a positive ion, a negative ion, or a neutral atom?



## Part Two: Balloons and Static Electricity

17. Go back to the simulations menu for physics and click
18. open the simulation entitled Balloons and Static Electricity.

Select *Remove Wall*.


Select *Show no charges*.

You should see the screen to the right



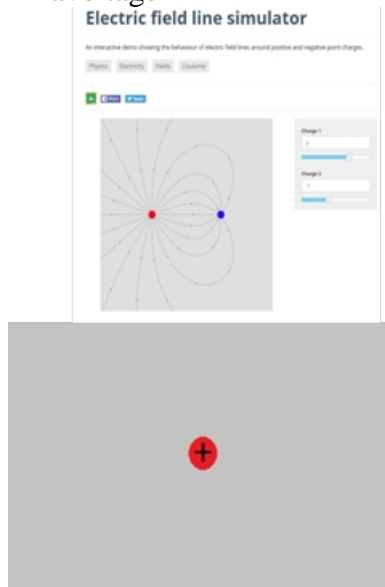
19. Move balloon near the sweatshirt but not touching it and let go. Does the balloon move when you let it go or does it stay put? (1 pt)
20. Does this indicate that the balloon and sweatshirt are charged or neutral? (1 pt)
21. Now grab the balloon and rub it all over the sweatshirt. Can you tell by looking at the balloon whether it is positive, negative or neutral? (1 pt)
22. Pull the balloon far away from the sweatshirt and let it go. What does it do? (1 pt)
23. Does this indicate that the balloon and sweatshirt are charged or neutral? (1 pt)
24. Do you think the balloon and sweatshirt have the same type of charge or the opposite type of charge? (1 pt)



25. Click on  to restart the simulation and *remove the wall* again but this time click on *Show all charges*. Look at the number of positive and negative charges on the balloon and the sweatshirt. Do they look like they are positively charged, negatively charged or (approximately) neutral? (1 pt)
26. Rub the balloon on the sweatshirt just a little. What happens to the negative charges? (1 pt)
27. Rub the balloon much more on the sweatshirt now. How does this affect the number of charges that are transferred?

(1 pt)

### Part Three: John Travoltage



39. Go back to the menu for physics click on the John Travoltage simulation. You should see the screen at right.
40. Be sure his finger is not near the door knob. Rub his foot on the carpet to build up charge on his body. Are these charges positive or negative? (1 pt)
41. Now bring his finger near the door knob. Describe what happens to the charges. (1 pt)
42. Based on your observations, what is happening when you see a spark go between a person's finger and a metal object such as a door knob? (1 pt)
43. Now, keep his finger near the door knob and rub his foot again on the carpet. What happens to the charges as you do this – do they build up on his body or do they immediately go into the door knob?

(1 pt) (2) neatness

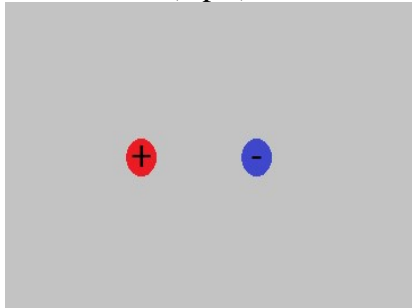
### Appendix D

Electric Fields and Forces (Sample questions from both parts)

Part One: Electric Field Lines

1. Using the link in google classroom, go to <https://academo.org/demos/electric-field-linesimulator/> . You should see a screen that looks like the one at right.
2. Drag the slider underneath Charge 2 and set it equal to zero. Drag the slider for Charge 1 and set it equal to 1.

3. Sketch this field on the diagram below. Pay careful attention to the direction of the arrows. (2 pts)
4. Sketch the resulting electric field for these two charges on the diagram below. (3 pts)

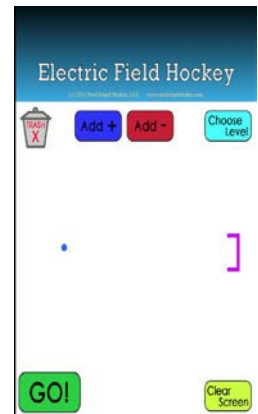


### Part Two: Electric Field Hockey

17. Go to <http://www.physicsclassroom.com>. Click on Physics Interactives on the menu on the left side. Scroll down and select Static Electricity Interactives. On the next screen click

Put **Launch Interactive** the Charge in the Goal.  
Select

Use the Arrows to make the simulation full screen, you should see the screen at right.



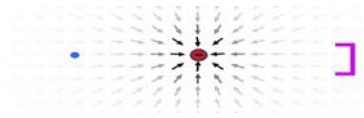
18. The goal of the game is to put the puck into the net using electric fields and forces that you choose. First, we need to do a little warm-up to get you used to the difference between an electric force and an electric field.
19. Click a blue positive charge to add it to the field and drag it to the middle of the playing field. Based on what you learned in Part One of this lab, do the electric field lines match your earlier conclusions? (1 pt)

Electric field lines always point \_\_\_\_\_ positive charges.

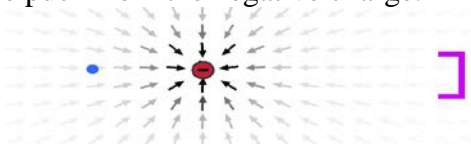
(1 pt)

20. Click **GO!**. What happens to the puck? Use details to describe the motion (does it speed up quickly or slowly?) (2 pt)
21. Does this electric force repel or attract the puck? (1 pt)
22. What can you conclude about the charge of the puck? (HINT: Do like charges attract or repel?)

(1 pt)



25. Drag the red negative charge closer to the puck and click **GO!**. Draw a red arrow on the diagram below to depict the direction and the estimated magnitude of the electric force attracting on the puck from the negative charge. (2 pt)



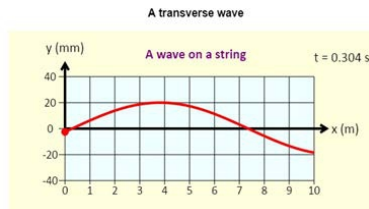
28. How does the size of the force vector compare when the charges are close?

## Appendix E

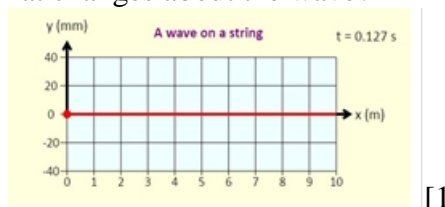
Intro to Waves (Sample questions from the three parts)

Part One: Transverse Waves

- Go to <http://physics.bu.edu/~duffy/classroom.html>. Click on HTML5 simulations on the menu on the left, scroll down to waves, and select A transverse wave. You should see the screen at right which represents a string with many particles (dots) attached to it.



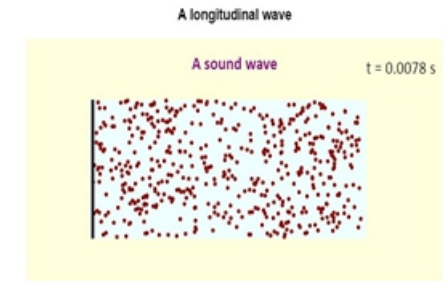
- Set the *frequency* to 10Hz and the *amplitude* to 40mm. Describe what you see happening on the screen. [1]
- Pause the simulation and, on the axes at right, sketch what you see along the string. [1]
- Change the Amplitude slider bar to its maximum and its minimum values. What changes about the wave?



[1]

### Part Two: Longitudinal Waves

12. On the menu on the left side of the page, select A longitudinal wave. You should see the screen at right. The graphic represents air particles that are being compressed.
13. Watch as the air molecules are alternately compressed and expanded. Which way is this wave of compressions and expansions moving – up and down vertically or left to right horizontally? [1]

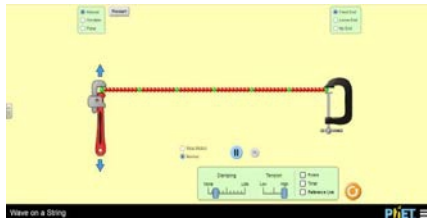


14. Watch a single red molecule as the wave travels. Which way does this single coil/molecule move – up and down vertically or left side to side horizontally? [1]
15. Compare your answers to the previous two questions. Is the motion of the particle parallel to the motion of the wave? 18. Set the *Amplitude* to its highest value and click *PULSE* string. Measure the distance and time and record your data below.

---

### Part Three: Wave on a String

16. Go to <http://phet.colorado.edu>. Click on HTML5 to get to the list of simulations. From the menu choose Wave on a String simulation You should see the simulation to the right.



17. Click *No End Pulse*, and set *Damping* to *None*, *Pulse Width* to *.50*, and *Tension* to the middle of the slider bar.



to get the pulse moving

18. Set the *Amplitude* to its highest value and click *PULSE* string. Measure the distance and time and record your data below.

Distance: \_\_\_\_\_ Time: \_\_\_\_\_

19. Calculate the speed of the pulse. Show your calculation in the space below

20. Now move the amplitude bar back and forth from high to low and some in between values and send several pulses down the string. See how long it takes each pulse to get to the end of the string. (HINT: Send a few down

right after each other and see who wins the race.) Compare the speed of a high amplitude pulse with the speed of a low amplitude pulse – which is faster or are they the same?

## **Appendix F** (Sample questions)

### **Optics**

1. The definition of the focal length of a converging lens is the distance to the point where rays initially parallel to the axis meet after passing through the lens. The point is marked by a red circle called the focal point. Why is there a focal point on each side of the lens? Does it make any difference which way light travels through a thin lens?
2. Drag the object back and forth. Describe what you see. What two things are different about the image if the object is closer than the focal length, as compared to when it is further away from the focal length?
3. Use the slider to change the height of the object. How does the height of the image compare to the object height? Does the height of the object change any of your conclusions from the previous question? Explain.
4. For all cases a one ray goes straight through the center of the lens. Why is that? (Hint: Read the introduction.)
5. Carefully describe the other two rays. What happens to a ray that enters the lens parallel to the horizontal axis? What happens to a ray that goes through the focus (if the object is further away from the focus)? What happens to a ray that appears to come from the focus (if the object is closer than the focus)?
6. The previous two questions are about the rules for drawing light rays for a converging lens: 1. Rays parallel to the axis bend and go through the focus on the other side of the lens; 2. Rays going through the focus (or coming from the focus if the object is closer to the focus) bend to exit the lens parallel to the axis; and 3. Rays through the center go straight through without bending. Using these three rules, it is possible to determine where the image will be and how big it will be for any converging lens. Go back and verify these rules. Are they true?
7. Now choose the diverging lens case and experiment. How is it different from the converging case? How does the image size compare with the object size? Is there any case where the image is bigger than the object?

<https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=12399&Attached=1>

<https://www.compadre.org/osp/EJSS/4476/262.htm?F=1>

## References:

1. Abrahams, I., Millar, R. (2016). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30 (14), 1945-1969.
2. *Adapting to a Changing World—Challenges and opportunities in Undergraduate Physics Education*. (2013). National Academies Press.
3. *America's Lab Report*. (2006). National research Council, National Academies Press.
4. Andreou, C., Raftopoulos, A. (2011). Lessons from the History of the Concept of the ray for
5. Teaching Geometrical Optics. *Science & Education*, 20, 1007-1037.
6. Bendall, S. et al., (1993). Prospective Elementary teachers' Prior Knowledge about Light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), 1169-1187.
7. Bjork, R.A., Linn, M.C. (2006). The science of learning and the learning of science: introducing desirable difficulties. *American Psychological Society Obs.* 19, 29-39.
8. Blanchard, M.R. et al., (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A Quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94 (4), 577-616.
9. Bollen, L. et al., (2017). Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. *Physical Review Physics Education Research*, 13
10. S.W. et al., (1999). Using Physlets to teach electrostatics. *The Physics Teacher*, 37, 276-281.
11. Bohm, U. et al., (2009). Multiperspective-Modelling in the Process of Constructing and Understanding Physical Theories Using the Example of the Plane Mirror Image.
12. International Conference on Physics Education, AIP.
13. Brian, H. et al., (2009). Sequencing Embedded Multimodal Representations in a Writing to Learn Approach to the Teaching of Electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 225-247.
14. Brown, D.E., Hammer, D. (2008). Conceptual change in physics, in *International handbook of Research on Conceptual Change*, edited by S. Vosniadou (Routledge, New York), 127-154.
15. Calik, M. et al., (2011). A Comparison of Different Conceptual Change Pedagogies Employed Within the Topic of Sound Propagation. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 729-742.

15. Casotti, G. et al., (2008). Successful implementation of inquiry-based physiology laboratories in
16. undergraduate major and non-major courses. *Adv. Physiol. Educ.* 32, 286-296.
17. Cao, Y., Brizuela, B.M. (2016). High school students' representations and understandings of
18. electric fields. *Physical Review Physics Education Research*, 12, 0200102.
19. Ceberio, M. et al., (2016). Design and Application of Interactive Simulations in Problem-Solving
20. in University-Level Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, 25,
21. 590-609.
22. Chang, H.Y., Linn, M.C. (2013). Scaffolding learning from molecular visualizations. *Journal of*
23. *Research in Science Teaching*, 50 (7), 858-886.
24. Chao, J. et al., (2016). Sensor-Augmented Virtual labs: Using Physical Interactions with Science
25. Simulations to Promote Understanding of gas Behavior. *Journal of Science Education and*
26. *Technology*, 25, 16-33.
27. Cobern, W. et al., (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science.
28. *Research in Science & Technological Education*, 28 (1), 81-96.
29. Cronje, J., Fouche, J. (2008). Alternatives in evaluating multimedia in secondary school science
30. teaching. *Computers and Education*, 51 (2), 559-583.
31. Derting, L., Ebert-May, D., (2010). Learner-Centered Inquiry in Undergraduate Biology:
32. Positive Relationships with Long-term Student Achievement. *CBE-Life Sciences Education*, 9, 462-472.
33. Ding, L. et al., (2011). Exploring the role of conceptual scaffolding in solving synthesis problems. *Physical Review Physics Education Research*, 7(2), 020109.
34. DiPasquale, D.M. et al., (2003). Exercise in inquiry. *Journal of College Science Teaching*, 32, 388-393. diSessa, A.A., Sherin, E.F. (1998). What changes in conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20, 1155-1191.
35. Donnelly, D. et al., (2013). Enhancing the Student Experience: Visible Scientific Inquiry Through a Virtual Chemistry Laboratory. *Research in Science Education*, 43, 1571-1592. Dori, Y.J., Belcher, J. (2005). How does technology-enabled active learning affect undergraduate



- students' understanding of electromagnetic concepts? *Journal of Learning Sciences*, 14, 243.
36. Espinoza, F. (2015). Graphical representations and the Perception of Motion: Integrating Isomorphism Through Kinesthesia into Physics Instruction. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 34 (2), 133-154.
  37. Espinoza, F. (2016). Manipulation and Physicality in the Understanding of Wave Motion as Inquiry. 25<sup>th</sup> Annual Conference on Instructional Technologies (CIT), SUNY Potsdam, May31-June 3.
  38. Espinoza, F. (2017). *Wave Motion as Inquiry: The Physics and Applications of Light and Sound*. Springer Nature.
  39. Fang, S.C. et al., (2016). Investigating the effects of structured and guided inquiry on students' development of conceptual knowledge and inquiry abilities; a case study in Taiwan.
  40. *International Journal of Science Education*, 38 (12), 1945-1971.
  41. Fernandez, FB. (2017). Action research in the physics classroom: the impact of authentic, inquiry based learning or instruction on the learning of thermal physics. *Asia-Pacific Science Education*, 3, 3-20.
  42. Furio, C., Guisasola, J., (1998). Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. *Science Education*, 82, 511.
  43. Galili, I., (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 847-868.
  44. Gire, E., Price, E., (2014). Arrows as anchors: An analysis of the material features of electric field vector arrows. *Physical Review Studies Physics Education Research*, 10, 020112.
  45. Goldberg, F.M., McDermott, L.C., (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24 (8), 472-480.
  46. Goldberg, F.M., McDermott, L.C., (1987). An investigation of student understanding of the real
  47. image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55 (2)108-119.
  48. Greca, I.M., Moreira, M.A., (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science & Education*, 86, 106-121.
  49. Hake, R.R., (1998). Interactive engagement versus traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
  50. Heijnes, D. et al., (2018). Stimulating Scientific Reasoning with Drawing-Based Modeling.
  51. *Journal of Science Education and Technology*, 27, 45-56.

52. Herrenkohl, L. et al., (2011). Pedagogical practices to support classroom cultures of scientific inquiry. *Cognition and Instruction*, 29 (1), 1-44.
53. Hmelo-Silver, C. et al., (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist*, 42 (2), 99- 107.
54. Inquiry and the National Science Education Standards; A Guide for Teaching and Learning. (National Academies Press, 2000).
55. Hofstein, A. Lunetta, V.N., (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54.
56. Hubber, P. (2005). Secondary students' perceptions of a constructivist-informed teaching and learning environment for geometric optics. *Teaching Science*, 51 (1), 26-29.
57. Kaakkola, T. et al., (2011). A Comparison of Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation only and Simulation-laboratory Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48 (1), 71-93.
58. Kanter, D.E., Schreck, M.A., (2006). Learning content using complex data in project-based science: An Example from high school biology in urban classrooms. *New Directions in Teaching and Learning*, 108, 77-91.
59. Kirschner, P.A. et al., (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discover, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
60. Klein, P. et al., (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence; How do students look at vector field plots? *Physical Review Physics Education Research*, 14, 010116.
61. Krajcik, J.S. et al., (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 92 (1), 1-32.
62. Langley, D. et al., (1997). Light propagation and visual patterns; Pre-instruction learners' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (4), 399-424.
63. Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*. 28(4),563–575.
64. Li, J., Singh, C., (2017). Investigating and improving introductory physics students' understanding of the Electric Field and superposition principle. *European Journal of Physics*, 38, 055702.

67. Linder, C.J., Erickson, G.L., (1989). A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, 11, 491-501.
68. Linder, C.J (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15 (6), 655-662.
69. Lopes, M.A.R., Lopes, D.S., (2013). Reflecting Understanding. *Science Scope*, October, 20-29.
70. Mann, C.R. (1906). On Science Teaching. *School Science and Mathematics*, 6 (1), 29-35.
71. Mann, C.R. et al., (1906). A New Movement Among Physics Teachers. *Scholastic Review*, 14 (3), 212-216.
72. Mann, C.R. (1912). *The Teaching of Physics for Purposes of General Education*, (McMillan Company).
73. Maries, A. et al., (2017). Challenges in designing appropriate scaffolding to improve students' representational consistency: The case of a Gauss's Law problem. *Physical Review Physics Education Research*, 13, 020103.
74. Education Research, 13, 020103.
75. Martinez, G. et al., (2011). Comparative study of the effectiveness of three learning environments: Hyper-realistic virtual simulations, traditional schematic simulations and traditional laboratory. *Physical Review Studies Physics Education Research*, 7.020111.
76. Maurines, L. (1992). Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, 14 (3), 279-292.
77. *International Journal of Science Education*, 14 (3), 279-292.
78. McDermott, L.C., Redish, E.F., (1999). Resource Letter PER-1: *Physics Education Research*.
79. *American Journal of Physics*, 67, 755-767.
80. Minner, D.D. et al., (2010). Inquiry-Based Science Instruction; What is it and does it Matter?
81. Results from a Research Synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (4), 474-496.
82. Mulder YG, et al., (2010). Finding out how they find it out: an empirical analysis of inquiry learners' need for support. *International Science Education*, 32, 2033-2053.
83. Mulder YG, et al., (2011). Comparing two types of model progression in an inquiry learning environment with modeling facilities. *Learning Instruction*, 21, 614-624.
84. Mulder YG et al., (2012). Validating and Optimizing the Effects of Model Progression in
85. Simulation-Based Inquiry Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 722-729.

86. Murphy, P et al., (2006). The impact of authentic learning on students' engagement with physics.
87. *The Curriculum Journal*, 17, 3, 229-246.
88. New York State Regents Examination in Physics, 2015 Technical Report. Available at <http://www.p12.nysed.gov/assessment/reports/2015/physics-15.pdf>
89. Next Generation Science Standards. <http://www.nextgenscience.org>
90. Nissen, J.M et al., (2018). Comparison of normalized gain and Cohen's d for analyzing gains on
91. concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 14, 1-12.
92. Otero, V., Meltzer, D., (2017). The Past and Future of Physics Education Reform. *Physics Today*, 7 (5), 51-56.
93. Parnafes, O. (2007). What does fast mean? Understanding the physical world through representations. *Journal of Learning Sciences*, 16 (3), 415-450.
94. Parnafes, O. (2010). When Simple Harmonic Oscillation is not that Simple: The Complexity of Students' Sense Making. *Journal of Science Education and Technology*, 19 (6), 565-579.
95. Pedaste, M. et al., (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61.
96. Perales Palacios, F.J. et al., (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, 11 (3), 273-286.
97. Podolefsky, N.S., Finkelstein, N.D., (2007). Analogical scaffolding and the learning of abstract ideas in physics: An example from electromagnetic waves. *Physical Review Studies Physics Education Research*, 3 (1), 10.1103.PhEt Interactive simulations, available at <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>
98. Powell, K. (2003). Spare me the lecture. *Nature*, 425, 234-236.
- Quintana, C. et al., (2005). A framework for supporting meta cognitive aspects of on-line inquiry through software-based scaffolding. *Educational Psychology*, 40 (4), 235-244.
1. Redelman, C.V. et al., (2012). Inquiry-based examination of chemical disruption of bacterial biofilms. *Biochemical and Molecular Biology Education*, 40 (3), 191-197.
2. Renken, M.D., Nunez, N., (2013). Computer simulations and clear observations do not guarantee conceptual understanding *Learning and Instruction*, 23, 10-23.

3. Ronnebeck, S. et al., (2016). Searching for a common ground-A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52 (2), 161-197.
4. Rutten, N. et al., (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58, 136-153.
5. Ryoo, K.L., Linn, M.C., (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (2), 218-243.
6. Scalise, K. et al., (2011). Student Learning in Science Simulations: Design Features that Promote Learning Gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48 (9), 1050-1078.
7. Schneider, R.M., (2002). Performance of students in project-based science classrooms on a national measure of scientific achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (5), 410-472.
8. Serway, R. A., Jewett, J. W. (2019). *Physics for Scientists and Engineers*. 10th Ed. Cengage
9. Tornkvist, S. et al., (1993). Confusion by representation; on students' comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*, 61, 335.
10. Van Borkulo, SP. et al., (2011). What can be learned from computer modeling? Comparing expository and modeling approaches to teaching dynamic systems behavior. *Journal of Science Education and Technology*, 21 (267), 267-275.
11. Van Joolingen, WR. et al., (2005). Co-Lab: research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human behavior*, 21, 671-688.
12. Van Joolingen, WR. et al., (2012). Drawing-based modeling for early science education. In: Cerri SA et al (eds) ITS 2012. Springer, Berlin, 689-690.
13. Van Joolingen, WR, et al., (2015). Understanding elementary astronomy by making drawing-based models. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 256-264.
14. Viennot, L., Rainsong, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of Electric Fields. *International Journal of Science Education*, 14, 475.
15. Webb, M. (2005). Affordances of ICT in science learning; implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27 (6), 705-735.
16. White, BY. et al., (1999). Enabling students to construct theories of collaborative inquiry and reflective learning: computer support for metacognitive development. *International Journal of Artificial Intelligence Education*, 10, 151-182.

17. Wichmann, A., Timpe, S., (2015). Can Dynamic Visualizations with Variable Control Enhance the Acquisition of Intuitive Knowledge? *Journal of Science Education and Technology*, 24, 709-720.
18. Wittmann, M.C. et al., (1999). Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves. *The Physics Teacher*, 37, 15.
19. Wittmann, M.C., (2002). The object coordination class applied to wave pulses: analyzing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24, 97-118.
20. Wittmann, M.C. et al., (2003). Understanding and addressing student reasoning about sound. *International Journal of Science Education*, 25 (8), 991-1013.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Dr. Lefter Nasto,**  
**Prof. Dr. Tanyo Kavrakov,**  
**Dr. Hristo Abrashev,**

Clinic of Vascular Surgery - University Hospital,  
Stara Zagora, Bulgaria  
Trakia University, Medical Faculty - Stara Zagora,  
Bulgaria

---

Submitted: 29 June 2020  
Accepted: 16 September 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Lefter Nasto*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p36](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p36)

 Copyright 2020 Lefter, N. et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:

Lefter .N., Kavrakov T, Abrashev, H (2020).  
Neutrophil - Lymphocyte Ratio as a Reliable  
Predictor of Postoperative Outcome And Mortality  
In Delayed Cases Of Peripheral Arterial Embolism.  
*European Scientific Journal, ESJ, 16 (33), 36.*  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p36>

---

## **Neutrophil - Lymphocyte Ratio as a Reliable Predictor of Postoperative Outcome And Mortality In Delayed Cases Of Peripheral Arterial Embolism**

---

### **Abstract**

**Introduction:** Peripheral arterial embolism (PAE) continues to pose a challenge to vascular surgeons and remains to be characterized by high morbidity, limb threat and mortality, often requiring urgent revascularization. Contemporary untreated arterial embolism is among the leading causes of morbidity and mortality within the vascular field. Detection of a fast and reliable biomarker for risk stratification and early post-treatment prognosis is important for those with PAE, so that individuals at high risk can be accurately treated and targeted for prevention.

Complete blood count is inexpensive, comparatively routine, and is a practical laboratory test that gives important information about the patient's formed blood contents. Routine peripheral blood counts may be useful in diagnosis and prognosis of many disorders, including peripheral vascular ischemic incidents. Neutrophil - lymphocyte ratio (NLR) has been shown to be an independent predictor of early and midterm amputation in patients with acute limb ischemia after revascularisation.

**Methods:** Data was collected retrospectively from hospitalised patients, in the Vascular Surgery Clinic of University Hospital, Stara Zagora, Bulgaria, who had a diagnosis of PAE, from January 2010 to January 2019. Inclusion criteria were clinical data of an ischemic embolic incident of the limbs,

untreated at least 12 hours from the onset of symptoms.

**Results:** A single cutoff point was chosen to better inform clinical practice at a value of NLR 4.55, to maximize sensitivity and specificity. The majority of patients from the group

Who had a NLR under 4.55 had mild symptoms. Older patients however, were significantly more likely to have an elevated NLR. The incidence of diabetes and hypertension were not significantly higher in any group. There was a higher incidence of primary major amputations in the elevated NLR group. Of the 25 deaths during the course of the study, which were specifically attributed to cardiac causes, twelve (13.8%) occurred within the elevated NLR group and thirteen (8.7%) in the low NLR group.

**Conclusion:** NLR is an easily accessible biomarker that conveys important information about the patient's inflammatory activity and can be easily calculated from the differential WBC count, which is routinely performed on admission and is universally available.

An elevated NLR could potentially be included in addition to the most common risk factors for mortality and poor post-treatment outcome including cardiac causes, age >70 years, history of stroke or previous MI, renal failure, and smoking history (at any time).

---

**Subject:** Medicine, Vascular surgery

**Keywords:** Peripheral, Arterial, Embolism, Neutrophil, Lymphocyte, Ratio



## **Introduction**

Peripheral arterial embolism (PAE) continues to pose a challenge to the vascular surgeons and is still characterized by high morbidity, limb threat or mortality and often requires urgent revascularization (Creager, Kaufman, Conte, 2012).

Contemporary untreated arterial embolism is among leading causes of morbidity and mortality in vascular surgery (Van, Boesmans, Defraigne, 2018). Detection of a fast and reliable biomarker for risk stratification and early post-treatment prognosis in PAE is important so that individuals at high risk can be accurately treated and targeted for prevention.

Complete blood count is inexpensive, comparatively routine, and a practical laboratory test that gives us important information about the patient's formed blood contents (Zahorec, 2001). Routine peripheral blood counts may be useful in diagnosis and prognosis of many disorders, including peripheral vascular ischemic incidents.

This paper reviews the association of the NLR, with post-treatment outcome and mortality in contemporary untreated peripheral arterial embolism of the limbs.

NLR has been shown to be an independent predictor of early and midterm amputation in patients with acute limb ischemia after revascularisation (Spark, Sarveswaran, Blest, Charalabidis, Asthana, 2010).

The ratio is measured by dividing the number of neutrophils by the number of lymphocytes. Relevant studies were analysed with NLR as a study factor. An elevated NLR was significantly associated with an increased risk of coronary arterial disease, acute coronary syndrome, stroke, and composite cardiovascular events. Even when white blood cell count is in normal range, NLR has been demonstrated to play a predictive role in the prognosis of chronic and acute cardiovascular events (Bhat, Afari, Garcia, 2016).

The aim of this study was to examine the predictive ability of the NLR for post-treatment outcome and survival in patients who received delayed treatment (12 hours from onset of symptoms) in PAE.

## **Methods**

Retrospectively collected data of hospitalised patients in Vascular Surgery Clinic of University Hospital, Stara Zagora, Bulgaria with a diagnosis of PAE untreated at least 12 hours from onset of symptoms from January 2010 to January 2019.

Inclusion criteria were clinical data of an ischemic embolic incident of the limbs untreated at least 12 hours from the onset of symptoms.

Patients were identified through the administrative hospital database using the International Classification of Diseases (ICD-10) codes: I74.2 - "Embolism and thrombosis of arteries of the upper extremities", I74.3 - "Embolism and

thrombosis of arteries of the lower extremities”, I74.5 - “Embolism and thrombosis of the iliac artery” and I74.0 - “Embolism and thrombosis of the abdominal aorta”.

Demographic characteristics, medical histories, laboratory studies (including WBC counts and automated peripheral differential counts), and outcomes of the data were collected using a standardized hospital database - Gama Codemaster.

Any subsequent surgical or other intervention was also documented as follows: primary surgery (limb salvage), primary surgery (amputation), or a combined procedure.

## Results

432 patients were analysed, of which 236 (54.6%) met the inclusion criteria and participated, including 155 male (65.6%) and 81 female (34.4%) with a mean age of  $67.5 \pm 6.85$  years. Average hospital stay was 8.7 days. In all of the cases, post-treatment outcome (including mortality) during the hospital stay was recorded.

A single cutoff point was chosen to better inform clinical practice, using a value of NLR 4.55, to maximize sensitivity and specificity.

149 patients (63.1 %) were with a NLR < 4.55 and 87 patients (36.9%) with NLR > 4.55.

The majority of patients from the former group were with mild symptoms. Older patients were significantly more likely to have an elevated NLR, with a mean age in the high NLR group of  $72.5 \pm 9.85$  versus low NLR group  $64 \pm 10.15$ .

The incidence of diabetes and hypertension were not significantly higher in any of the groups. Medications use (antiplatelet, vasoactive, analgesics etc.) differed between groups (43.5% in the low NLR group vs 19.8% in the high NLR group).

83.9% (73 patients) of the higher NLR group had present or past cardiac incidents or comorbidities (including atrial fibrillation, coronary artery disease, congestive heart failure or episodes of past myocardial infarction) versus 57.3 % of the lower NLR group.

**Table I.** Analysis of risk factors for patients with late peripheral embolism.

	<i>NLR &lt; 4.5</i> <i>(n=149)</i>	<i>NLR &gt; 4.5</i> <i>(n=87)</i>
<i>Age &gt;70 years (127)</i>	<i>71 (47.6%)</i>	<i>56 (64.4%)</i>
<i>Hypertension (146)</i>	<i>91(61.07%)</i>	<i>55(63.2%)</i>
<i>Diabetes (93)</i>	<i>59(39.5%)</i>	<i>34(39%)</i>

<i>Smokers (162)</i>	<i>113(75.8%)</i>	<i>49(56.3%)</i>
<i>Cardiac pathology (AF, CAD, CHF, incl.past myocardial infarction) (171)</i>	<i>98(57.3%)</i>	<i>73(83.9%)</i>
<i>Cerebrovascular disease (84)</i>	<i>51(34.2%)</i>	<i>33(37.9%)</i>
<i>Chronic kidney failure (29)</i>	<i>13(8.7%)</i>	<i>16(18.3%)</i>
<i>Medication use (prior to admission)</i>	<i>63(42.2%)</i>	<i>21(24.1%)</i>

There was a significantly higher incidence of primary major amputations in the elevated NLR group (16.1% vs 7.4%). A higher number of patients with lower NLR underwent embolectomy alone (69.8% vs 46%). There was no difference in necessity of combined surgical revascularizations in both groups (18.1% vs 18.4%). A significant difference was evident in the rates of nonsurgical or conservative management between the groups (4.7% in lower group vs 19.5% in higher NLR group).

**Table II.** Analysis of primary procedures.

	<i>NLR &lt; 4.5 (n=149)</i>	<i>NLR &gt; 4.5 (n=87)</i>
<i>Embolectomy alone (n=144)</i>	<i>104 (69.8%)</i>	<i>40 (46%)</i>
<i>Combined procedure (embolectomy + bypass, or embolectomy + minor amputation) (n=43)</i>	<i>27 (18.1%)</i>	<i>16 (18.4%)</i>
<i>Primary major amputation (n=25)</i>	<i>11 (7.4%)</i>	<i>14 (16.1%)</i>
<i>Conservative/palliative (n=24)</i>	<i>7 (4.7%)</i>	<i>17 (19.5%)</i>

102 patients (68.4%) of the lower group had no complaints when being discharged, versus 51 patients (58.6%) of the higher NLR group.

The incidence of recurrent PAE was significantly more frequent in the higher group, 10.3% versus 3.3% in lower NLR group.

In higher NLR group the incidence of recurring thrombosis (with or without revascularisation options) was more common 37.9% vs 20.1% in lower NLR group.

Of the 25 deaths during the course of the study which were specifically attributed to cardiac causes, twelve (13.8%) occurred within the elevated NLR group and 13 (8.7%) in the low NLR group.

Table III. Analysis of post-treatment outcomes

	<i>NLR &lt; 4.5</i> <i>(n=149)</i>	<i>NLR &gt; 4.5</i> <i>(n=87)</i>
<i>Free of complains at discharge</i>	<i>102 (68.4%)</i>	<i>51 (58.6%)</i>
<i>Minimal complains ( numbness, coldness etc.)</i>	<i>20 (13.5%)</i>	<i>9(10.3%)</i>
<i>Rethrombosis followed by revascularisation</i>	<i>16 (10.7%)</i>	<i>18(20.6%)</i>
<i>Rethrombosis followed by amputation</i>	<i>14 (9.4%)</i>	<i>15(17.3%)</i>
<i>Reccurent embolism</i>	<i>5 (3.3%)</i>	<i>9(10.3%)</i>
<i>Fasciotomy</i>	<i>17 (11.4%)</i>	<i>7 (8%)</i>
<i>Infection of operative side</i>	<i>8 (5.3%)</i>	<i>6 (6.8%)</i>
<i>Death (during hospital stay or 30 days follow up period.)</i>	<i>13 (8.7%)</i>	<i>12 (13.8%)</i>

## Discussion

Cole (et al 1954) stated more than 50 years ago, that patients with myocardial infarction and elevated WBC counts had a higher risk of death compared to those with WBC counts in the normal range. Since then, many studies have demonstrated and suggested a relationship between higher total leukocyte counts and cardiovascular events. (Friedman, Klatsky ,Siegelaub, 1974; Hajj-Ali, Zareba, Ezzeddine, Moss, 2001).

Patients suffering from acute PAE bear a considerable risk of recurrent embolic incidents including MI, stroke, or cardiovascular incidents (Dormandy & Rutherford, 2000).

The number of neutrophils correlated primarily and constantly in a positive manner with the atherosclerotic load and ischemic condition in most of the cohort studies that have provided information on differential WBC count (Gurm, Bhatt, Lincoff, Tchong, Kereiakes, Kleiman, 2003; Sweetnam, Thomas, Yarnell, Baker, Elwood, 1997; Wheeler, Mussolino, Gillum, Danesh, 2004).

Neutrophils mediate the inflammatory response by numerous biochemical mechanisms, such as release of arachidonic acid metabolites and platelet-aggravating factors, cytotoxic oxygen-derived free radicals, and hydrolytic enzymes such as myeloperoxidase, elastase, various hydrolytic enzymes, and acid phosphatases. The NLR therefore reflects both the neutrophilia of inflammation and the relative lymphopenia of cortisol-induced stress. (Tamhane, Aneja, Montgomery, Rogers, Eagle, Gurm, 2008).

NLR is also correlated with other markers of a pro-inflammatory state; recent studies of long-term outcome in cardiac disease as well as oncologic resections have shown associations of elevated NLR with poor long-term outcome (Walsh, Cook, Goulder, Justin, Keeling, 2005; Gomez, Farid, Malik, Prasad, Toogood, Lodge, 2008; Halazun, Malik, Al-Mukhtar, Prasad, Toogood, Lodge, 2008).

The impact of cardiac pathology on survival and postoperative outcomes has long been known, thus medications, such as statins, play an undisputed role in the quest of increasing both the quantity and quality of life.

To conclude, it can be summarized that NLR is an easily accessible biomarker that conveys important information about the patient's inflammatory activity. NLR can be easily calculated from the differential WBC count, which is routinely performed on admission and is universally available.

NLR is an inexpensive and readily available marker that delivers an additional level of risk stratification beyond that provided by conventional methods in predicting and anticipating in-hospital and post-treatment outcome and mortality.

An elevated NLR could potentially be included in addition to the most common risk factors for mortality and poor post-treatment outcome including cardiac causes, age >70 years, history of stroke or previous MI, renal failure, and smoking history (at any time).

Moreover, it is available preoperatively and may be of use in informing patients with regard to treatment options and possible outcomes.

## References:

1. Creager MA, Kaufman JA, Conte MS. Clinical practice. Acute limb ischemia. *The New England Journal of Medicine*. 2012;366:2198-2206. DOI: 10.1056/NEJMcp1006054.
2. Van DH, Boesmans E, Defraigne JO. Acute limb ischemia. *Revue Médicale de Liège*. 2018;73:304-311
3. Zahorec R. Ratio of neutrophil to lymphocyte counts—rapid and simple parameter of systemic inflammation and stress in critically ill. *Bratisl LekListy*. 2001;102:5–14
4. Spark JI, Sarveswaran J, Blest N, Charalabidis P, Asthana S. An elevated neutrophil-lymphocyte ratio independently predicts mortality in chronic critical limb ischemia. *J Vasc Surg*. 2010;52(3):632-636. doi:10.1016/j.jvs.2010.03.067
5. Bhat TM, Afari ME, Garcia LA. Neutrophil lymphocyte ratio in peripheral vascular disease: a review. *Expert Rev Cardiovasc Ther*. 2016;14(7):871-875. doi:10.1586/14779072.2016.1165091
6. Cole D, Singian E, Kate L. The long-term prognosis following myocardial infarction, and some factors which affect it. *Circulation*. 1954;9:321-334.10.
7. Friedman G, Klatsky A, Siegelau A. The leukocyte count as a predictor of myocardial infarction. *N Engl J Med*. 1974;290:1275-1278.
8. Hajj-Ali R, Zareba W, Ezzeddine R, Moss A. Relation of the leukocyte count to recurrent cardiac events in stable patients after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*. 2001;88:1221-1224.
9. Dormandy JA, Rutherford RB. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC Working Group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc Surg* 2000;31:S1-S296.
11. Gurm HS, Bhatt DL, Lincoff AM, Tcheng JE, Kereiakes DJ, Kleiman NS, et al. Impact of preprocedural white blood cell count on long term mortality after percutaneous coronary intervention: insights from the EPIC, EPILOG, and EPISTENT trials. *Heart* 2003;89:1200-4.
12. Sweetnam PM, Thomas HF, Yarnell JW, Baker IA, Elwood PC. Total and differential leukocyte counts as predictors of ischemic heart disease: the Caerphilly and Speedwell Studies. *Am J Epidemiol* 1997;145: 416-21.

13. 12. Wheeler JG, Mussolino ME, Gillum RF, Danesh J. Associations between differential leucocyte count and incident coronary heart disease: 1764 incident cases from seven prospective studies of 30,374 individuals. *Eur Heart J* 2004;25:1287-92.
14. 13. Tamhane UU, Aneja S, Montgomery D, Rogers EK, Eagle KA, Gurm HS. Association between admission neutrophil to lymphocyte ratio and outcomes in patients with acute coronary syndrome. *Am J Cardiol* 2008;102:653-7.
15. 14. Walsh SR, Cook EJ, Goulder F, Justin TA, Keeling NJ. Neutrophil-lymphocyte ratio as a prognostic factor in colorectal cancer. *J Surg Oncol* 2005;91:181-4.
16. Gomez D, Farid S, Malik HZ, Prasad KR, Toogood GJ, Lodge JP. Preoperative neutrophil-to-lymphocyte ratio as a prognostic predictor after curative resection for hepatocellular carcinoma. *World J Surg* 2008;32:1757-62.
17. Halazun KJ, Aldoori A, Malik HZ, Al-Mukhtar A, Prasad KR, Toogood GJ, Lodge JP. Elevated preoperative neutrophil to lymphocyte ratio predicts survival following hepatic resection for colorectal liver metastases. *Eur J Surg Oncol* 2008;34:55-60.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Dr. Byrian L. Ramsey**

University of Phoenix

---

Submitted: 7 September 2020  
Accepted: 12 November 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Dr. Byrian L. Ramsey*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p45](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p45)

 Copyright 2020 Ramsey.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:

Ramsey, B. (2020). An e-Delphi Study on Software Virtualization in the Medical Diagnosis Process: The Experts' Perspective. *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 45.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p45>

---

## **An e-Delphi Study on Software Virtualization in the Medical Diagnosis Process: The Experts' Perspective**

---

### **Abstract**

The purpose of this qualitative e-Delphi study was to collect opinions and experiences from a group of expert panel members made up of physicians and virtualization experts. This e-Delphi research study provided information about the opinions and experiences from experts about the possible benefits for virtualization in medical facilities. The expert panel was comprised of 12 virtualization experts and physicians. Virtualization is a concept of technology where one physical hardware device, called a server, is configured with software that allows for multiple software servers to be installed or implemented. Virtualization may offer benefits to healthcare organizations including the ability to deliver patient data to physicians more quickly. Virtualization has demonstrated substantial benefits in many areas of information technology infrastructure in the medical informatics field. The expert panel members were chosen at random through existing professional relationships and previous employment. The expert panel members were provided three rounds of survey questions and were asked to complete all surveys in its entirety. The findings show that hospitals and medical facilities will benefit from virtualization and provide increased patient care by delivering faster data to the patient and physician. As leaders in hospitals and medical facilities continue to be well-informed, leaders will be better equipped to make more-informed decisions about virtualization and the positive relationship software virtualization has on patient care.

---

**Subject:** Health Technology



**Keywords:** Virtualization, Health Information Systems, Hospital, Patient, Healthcare, Patient Relationship, Virtual, Technology, Information Technology

## **Introduction**

Receiving timely diagnoses from hospitals, health care providers, and physician practices [medical facilities] is a priority for patients. The increase in quality patient health care continues to be a concern of medical facilities. Patients desire a higher quality of care with precise diagnoses to sustain a healthier life. With the onset of technology, medical facilities continue to investigate solutions to increase the visibility of expedient quality services. Technology in health care continues to evolve and provides medical facilities new capabilities and functionalities for increasing the quality of care for patients. As technologies continue to evolve, new types of technologies have emerged that could assist in providing increased medical care to patients. As medical facilities continue to examine new technologies, some medical facilities are hesitant to implement new technologies due to risks, education, or budgeting costs and constraints (Daaleman & Mueller, 2004; de Mul & Berg, 2007; Parente & McCullough, 2009; Purcarea, Petrescu, Gheorghe, & Petrescu, 2011; Reiner, 2011; Takakuma, Shofer, Boedec, & Reyes, 2003; White, 2008; Young, Mintz, Cohen, & Chinman, 2004).

There are different types of technology evolving that may benefit medical facilities. One evolving technology is software virtualization. Software virtualization, also called virtualization, is a software increasing the capabilities of the medical facilities. Virtualization is a concept of technology where one physical hardware device, called a server, is configured with software that allows for multiple software servers to be installed or implemented (Microsoft, 2019; VMware, 2019). Two of the prevailing organizations that have developed virtualization are Microsoft® and VMware®. The fundamental purposes of virtualization are to increase stability, reliability, expandability, and disaster recovery (Microsoft, 2019; VMware, 2019). When multiple software servers are built within a single hardware server, the hardware server is called a host server (Microsoft, 2019; VMware, 2019). In larger infrastructures, many hosts are implemented to carry software servers across multiple hosts to allow for increased performance, fault tolerance, and disaster recovery when one host goes offline. According to Loveland, Dow, LeFevre, Beyer, and Chan (2008), virtualization is software that emulates hardware. Virtualization does not depend on hardware to operate and operating systems do not require certain hardware to function. There may be benefits of using virtualization in medical facilities (Graschew et al., 2006; Kilman & Forslund, 1997; Robb, 2008).

Health informatics is a rising field in health care. Health informatics continues to play an important role in medical facilities, such as hospitals and private practices. Traditionally, health care informatics provides information regarding the patient via paper or film. In the age of digital, health informatics has evolved to implement digital capabilities to handle patient medical

information. The challenge of understanding software virtualization is a paradigm shift in knowledge with traditional managers and executives in medical facilities. Microsoft® and VMware® continue to push forward with new technologies in software virtualization to demonstrate to organizations the need for implementation (de Mul & Berg, 2007; Parente & McCullough, 2009; Purcarea et al., 2011; Reiner, 2011; Takakuma et al., 2003; White, 2008; Young et al., 2004).

Providing top quality patient care is a priority of medical facilities (de Mul & Berg, 2007). Physicians and medical professionals look to technology to increase efficiency by delivering reliable and quality data at higher rates of speed (Young et al., 2004). With advancements in technology, medical facilities are delivering medical data quicker, more reliable, and more efficiently. Traditional methods of delivering medical data, such as computer hardware solutions and paper, may reduce the effectiveness for patients to receive timely, quality patient care. As such, medical facilities desire robust methods for delivering reliable and efficient medical data. Software virtualization has evolved providing multiple levels of redundancy, expandability, reliability, and sustainability (Microsoft, 2019; VMware, 2019).

Health care professionals and physicians may require a paradigm shift in knowledge to serve a higher quality of patient care (White, 2008). To be effective with providing timely feedback to patients, doctors require quick access to electronic patient data; however, elements exist influencing the timely access to patient data. One element influencing patient care is the timely delivery of patient data. According to Cantrill (2010), a growing issue is the delivery of patient data. Cantrill (2010) provided information showing how a simple procedure escalates out of control due to the lack of medical data not presented in a timely manner. Patients rely on the expertise of physicians and if physicians do not have timely access to medical data, patient care is impacted. According to Allgar and Neal (2005), the delay in medical treatment for six cancer patients proves to be evident in the outcome of the treatment of those patients. After surveying 65,192 patients, Allgar and Neal (2005) provided information to show that slower computer technologies affect the quality of the patient. The timely access to patient data is important to providing timely diagnoses.

Virtualization may offer benefits to health care organizations including the ability to deliver patient data to physicians more reliability and quicker. The general problem is that patient diagnoses are delayed to patients due to unreliable and underperforming server hardware. According to Cantrill (2010) and Grasczew et al. (2006), health care facilities continue to be reluctant to implement virtualization due to the uncertainty of the technology. Organizations are fearful of placing several software servers on one hardware

platform because of the “all eggs in one basket” theory. This theory describes the architecture of one hardware platform with several servers built on top of a single platform (Park & Sharma, 2009). If the single platform goes offline or down, then all software virtual servers are offline affecting the delivery of patient data to physicians. Although Microsoft® and VMware® have technology built in that eliminates this theory from occurring, medical facilities continue to refrain from implementing software virtualization solutions (Microsoft, 2019; VMware, 2019).

The specific problem is that insufficient empirical evidence on experts’ opinion exists on the relationship of software virtualization on the patient diagnosis process. Sufficient empirical evidence on experts’ opinion is important for the benefit of patients and medical facilities. Without sufficient evidence on the relationship of software virtualization, patients may not receive proper health care and medical diagnoses. Patient care has been reduced due to hardware and non-standard practices for hospital and medical facilities infrastructures. As a result, patients have been receiving reduced medical care and delayed diagnoses due to unreliable data and the availability of data.

The purpose of this e-Delphi study was to collect opinions and experiences from a group of expert panel members made up of physicians and virtualization experts on the relationship of software virtualization on the patient diagnosis process. The expert panel answered three rounds of surveys online with SurveyMonkey®. Round one consisted of questions gathering information from the background of the expert panel and the panel’s knowledge of virtualization, while Round two consisted of questions about the advantages and disadvantages of virtualization, and finally, Round three consisted of questions about the current and future state of virtualization. This research study collected opinions and experiences from a panel of experts in virtualization in medical facilities. The expert panel members were comprised of 12 virtualization experts and physicians.

This research study followed the same flow. First, the Delphi requirements were defined, which was the framework of the student and the type of research panel necessary for research. This research study identified the expert panel would consist of physicians and virtualization experts in the medical field. The second step of this study was to compose the number of expert panel members in this study. This study chose to represent 12 expert panel members. According to Loo (2002), the ideal study size for a Delphi study is approximately 20 participants. The population of expert panel members comprised of 12 medical informatics physicians and virtualization experts certified and their opinions and experiences in software virtualization in medical facilities.

The third step of the theoretical framework was the gathering of the experts' opinion. The gathering of the expert opinions was cyclical to narrow the questions to the research question of this study. This research study consisted of three rounds to gather the opinions of the expert panel members. The expert panel answered three rounds of surveys online with SurveyMonkey®. Round one consisted of questions gathering information from the background of the expert panel and the panel's knowledge of virtualization, while Round two consisted of questions about the advantages and disadvantages of virtualization, and then finally Round three consisted of questions about the current and future state of virtualization. After three rounds of surveys, the final step of the theoretical framework was the statistical response. This study used NVivo® to analyze the pattern and themes emerging from the panel responses.

Porter (2008) created a tool that analyzes the competition of businesses and the external forces impacting the business. Porter's model contains five forces, such as supply-side economics of scale, demand-side benefits of scale, customer switching costs, capital requirements, and incumbency advantages independent of size (Porter, 2008, p. 27).

Porter's (2008) five forces are forces that influence business competition are similar to forces that can influence this research study. To ensure the framework was not influenced by outside forces, the study's structure was controlled by ensuring the physicians and software virtualization experts contained the appropriate certifications, knowledge, and information to align with the study's purpose and research.

Significant of the study for research. This research study is significant to the field of study for research of medical informatics in medical facilities to continue increasing patient care quality by increasing the delivery performance of patient diagnoses. Medical informatics continues to grow and evolve in different types of computer technologies. Two types of medical informatics data are cardiology and radiology data. Despite the two types of medical informatics data, each type is substantially different in how much data traverses the network and the type of data. Medical facilities continue to require challenging methods for delivering large amounts of data to physicians to make timely, informed diagnoses. This research is significant in the study for research in that the research builds upon previous research in virtual technology. As technology continues to change for medical facilities, continued research is necessary to study the relationship of software virtualization and other technologies on the impact of patient care and diagnoses.

Significance of the study for theory. This research study is significant for theory in that the study builds upon the theories of virtualization. This

research study expands upon the existing theory of virtualization and the relationship of software virtualization on the patient diagnoses process.

Significance of the study for leadership. This research study is significant for leadership by providing research information to medical facility leadership and administration to assist in making informed decisions about delivering timely patient care with virtual technologies. Medical facilities continue to strive to make fiscally conscience decisions about proving higher patient care (Reiner, 2011; Schimke, 2009). One aspect of virtualization that reduces medical facilities operational and capital expenses is that virtualization reduces the necessity for hardware (Microsoft, 2019; Spink et al., 2016; VMware, 2019). In reducing the expenses in information technology, the medical facilities can use those resources for other means to increase patient quality or medical facility functionality.

The qualitative research method was appropriate for this research study because the information regarding the relationship of software virtualization in the medical diagnosis process was not numerical data but experiences and opinions from a panel of experts via online surveys. The expert panel member responded to three rounds of surveys to conform to a consensus.

### **Research Question**

The following section provides the research question that guided this qualitative e-Delphi research study. The overarching research question in this study was:

What advantages and disadvantages did physicians experience with using virtualization during the patient diagnosis process?

### **Theoretical Framework**

Porter (2008) created a tool that analyzes the competition of businesses and the forces that influence the business. Porter's model contains five forces, such as supply-side economics of scale, demand-side benefits of scale, customer switching costs, capital requirements, and incumbency advantages independent of size (Porter, 2008, p. 27).

Porter's (2008) five forces are forces that influence business competition are similar to forces that can influence this research study. To ensure the framework was not influenced by outside forces, the study's structure was controlled by ensuring the physicians and software virtualization experts contained the appropriate certifications, knowledge, and information to align with the study's purpose and research.

### **Literature Review**

The history of virtualization dates back to the 1960s with the work of Melinda Varian (Ameen & Hamo, 2013; Daniels, 2009; Gribbin, 1989;

Miseviciene, Ambraziene, Tuminauskas, & Pazereckas, 2012; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). Melinda Varian played an essential role with the development and discovery of virtual machines for a Compatible Time-Sharing System (CTSS) on the IBM OS/360 Model 67 (Ameen & Hamo, 2013; Gribbin, 1989; Miseviciene et al., 2012; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). Varian's research of virtualization provided the Massachusetts Institute of Technology (MIT) programming team the opportunity to expand further on Varian's idea to create a similar time-sharing computer or machine that provided more robust computing than the foundation of the system (Ameen & Hamo, 2013; Daniels, 2009; Munro, 2001). In 1973, Srodowa and Bates demonstrated the process and steps for creating efficient virtual machines in relation to utilizing a new theory of hypervisor (Ameen & Hamo, 2013; Daniels, 2009).

Evolving out of the work by Srodowa and Bates, a hypervisor is the software layer between the host operating system and the virtual machines on the server (Cervone, 2010; Daniels, 2009). The hypervisor is the layer that controls the communication between the hardware and the virtual machines to prevent direct access to the hardware (Ameen & Hamo, 2013, p. 66). The hypervisor plays an important role in virtualization due to the barrier between that host's hardware and the virtual machines. MIT programmers discovered that by using the hypervisor this separates the virtual machines and allows the virtual machines to run independently from each other (Cervone, 2010; Daniels, 2009; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). The independence of the virtual machines is necessary to separate the different memory spaces; thus allowing the virtual machines to be independent of each other and the host system (Cervone, 2010; Daniels, 2009; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). Before the 1980s, virtualization played a role within the mainframe computing systems; however, through the 1980s and 1990s, distributed architectures emerged with a more client-server based system and computing (Daniels, 2009). As a result, virtualization expanded into stand-alone servers and computing systems expanding the capability of the back-end systems while providing functionality for specific purposes, such as e-mail, databases, and applications (Ameen & Hamo, 2013; Daniels, 2009; Gribbin, 1989; Van Vleck, 2013).

Since the 1990s, virtualization has expanded into larger organizations to reduce operational costs in data centers (Ameen & Hamo, 2013). According to Ameen and Hamo (2013), "technological advancements in hardware and software make virtual machines stable, affordable, and offer tremendous value, given the right implementation" (p. 66). As virtualization continues to expand into organizations, new and prevailing capabilities in this technology have emerged and evolved. There are three primary types of virtual machines, such as software virtual machines, hardware virtual machines, and virtual

operating system (OS) containers (Ameen & Hamo, 2013; Daniels, 2009; Munro, 2001).

### **Software Virtualization**

Virtualization is a phenomenon increasing the capabilities of the medical informatics field. According to Loveland et al. (2008), virtualization is software that emulates hardware. The virtualization software does not depend on hardware to operate and operating systems do not require certain hardware. Virtualization is relatively new to technology evolving since the early 1960's era (Ameen, & Hamo, 2013; Daniels, 2009; Gribbin, 1989; Miseviciene et al., 2012; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). Software virtualization benefits health informatics in several ways. Despite the benefits, organizations hesitate to implement software virtualization. To start effectively with the implementation, organizations must undergo a paradigm shift in technology knowledge. Organizations are fearful of placing several servers on one platform because of the "all eggs in one basket" theory. This theory or fear describes the architecture of one hardware platform with several servers building on top of a single platform (Park & Sharma, 2009). Software virtualization provides a more efficient means for presenting server architectures and provides for a better foundation in providing quicker patient data to physicians. Virtualization continues to provide valuable benefits for information systems and technologies, such as lower hardware costs - reduces capital spending, increases server resources efficiency, increases uptime - fail over time between servers nodes is less than hardware, reduces the amount of power or electricity used in a data center, reduces the number of servers in the data center, faster server provisioning or imaging, better disaster recovery capabilities, more expandable, extends application life for older applications - less dependent upon hardware, and the ability to isolate applications within a virtual environment (Armstrong et al., 2005; VMware, 2019).

e-Delphi research. The qualitative e-Delphi research study fits best for this research because a panel of experts answered open-ended, online questionnaires. This qualitative e-Delphi research study provides information from a panel of experts investigating if there are benefits for virtualization in medical facilities. The expert panel was comprised of 12 software virtualization engineers and physicians certified and experienced in the virtualization software technology in medical facilities.

### **Research Methodology**

The process of collecting data through electronic measures are according to the Delphi Method Operations Flowchart (Hsueh, 2012, p. 2821). Hsueh (2012) developed the steps for a Delphi method to demonstrate the controlled nature of the study. "The Delphi method is composed of the



following steps: (1) select experts; (2) obtain initial assessment factors from previous studies; (3) design and distribute questionnaires; (4) recover and modify questionnaires; (5) if assessment factors do not reach a consensus, return to Step 4; and (6) obtain the criteria required for this study” (Hsueh, 2012, p. 2821).

Table 1  
Round 1 Survey Questions

Number	Question
1	What is your occupational role?
2	If physician, on average, how much time do you spend on each patient during the diagnosis phase of interaction?
3	If physician, on average how many patients do you diagnose per day?
4	If virtual expert, does your facility use virtualization? If so, what type (i.e. Microsoft® or VMware®)?
5	If virtual expert, does the software used for medical diagnoses run in virtualization?
6	Do you know what virtualization is in technology?
7	Describe an example of virtualization in technology.
8	If physician, describe your patient diagnosis process.
9	Does virtualization have any relationship on the patient diagnosis process?
10	Explain why or why not virtualization is or is not related to the patient diagnosis process.
11	What are the benefits of virtualization?
12	How might the benefits of virtualization benefit the patient diagnosis process?

**Round 2.** Round 2 consisted of 3 questions (see Table 3). The purpose of round 2 was to gain information from the experience of the expert panel members through their knowledge of virtualization. Round 2 was designed to have both open-ended and closed questions. The open-ended questions were designed to continue discovering the advantages and disadvantages of virtualization with the expert panel respective organizations. The following were the questions in Round 2.

The purpose of question 1 was to gain information on the background of the panel member’s role in the medical facility. This perspective was important to gain insight on which question the panel member should be answering during the study round. Questions 2 and 3 were questioned due to not gaining a consensus during Round 1. Questions 2 was questioned to gain further insight and background from the expert panel members on the experienced disadvantages of software virtualization. In Round 1, question 11 (see Table 2) questioned the advantages of software virtualization; however, the data analysis showed that a consensus was not gained; therefore, asking the adverse provided additional information on the use of software virtualization. Question 3 gained additional insight into the relationship with software virtualization and the patient diagnosis process. The reason question

3 was questioned a second time was due to the lack of a consensus and additional information and insight were required to form a consensus.

Table 1  
*Round 2 Survey Questions*

Number	Question
1	What is your occupational role?
2	What are the disadvantages of using virtualization?
3	How do you believe virtualization can impact the patient encounter process?

**Round 3.** Round 3 consisted of 2 questions (see Table 4). The purpose of round 3 was to gain information on the future of virtualization. The questions were designed to understand how leadership can gain experience from the experiences of the expert panel. This research was designed to assist medical facilities in making informed decisions about using virtualization and the advantages and disadvantages of virtualization. The expert panel members were to provide background on their experiences and how leadership benefits from those experiences to make informed decisions. The following are the questions in Round 3.

Round 3, questions 1 and 2 were questioned to continue working towards a consensus. Question 1 gained information from the background of the literature review and the reasons from experiences why executive leadership has implemented software virtualization in the expert panel members' respective medical facilities. Question 1 was an important question to gain information from the panel's perspective on the relationship of software virtualization and the patient diagnosis process for gaining executive support. Question 2 was questioned to gain additional background on the future of software virtualization. The perspective from the expert panel on the future of software virtualization showed that software virtualization has a future in the medical sciences.

Table 2  
*Round 3 Survey Questions*

Number	Question
1	If you are pitching an opportunity to your CEO, what information would you present to remove the issues around having all "eggs in one basket" with virtualization?
2	Where do you believe virtualization is going over the next 5-10 years?

The three rounds were created to gain from the experiences of the expert panel members. The rounds were designed to continue to gather information to form to a consensus of the answers to the survey questions.

### **Analysis Software and Data Collection Portal**

NVivo® 12 software is a qualitative research software developed by QSR International (QSR International, 2018). NVivo® software assists in the compilation of information and research data. NVivo® analyzes data by finding trends and emerging themes in survey responses. NVivo® is comprised of different analytical methods. This research study used cluster analysis within NVivo®. Cluster analysis is a technique used to explore patterns in data collection (QSR International, 2018). The analysis occurs by examining the data from the questionnaires and compiling a grouping or cluster of common terms or language in the questionnaire answers. NVivo® 12 was used in this research to analyze the cluster patterns of the expert panel responses. SurveyMonkey® is a web-based instrument for the collection of survey responses through online questionnaires. SurveyMonkey® was used in this research to collect the expert panel responses for three rounds of surveys. SurveyMonkey® also contains the ability to analyze survey responses via the cluster method. SurveyMonkey® contains different analysis methods; however, similarly to NVivo®, the cluster method was used in this research study.

### **Population, Sampling, and Geographic Location**

The expert panel members were either virtualization experts or physicians in medical facilities across the United States. To participate in the study, the expert panel members have to be certified as software virtualization experts or a certified medical physician. The expert panel members either work, practice, or have experiences with the patient diagnosis process with virtualization in medical facilities across the United States. The sampling of participants occurred by random selection through previous business and personal contacts with the panel members. As each member agreed to perform on the research panel, the snowball effect also became prevalent for additional members. According to Egan and Estrada (2013), the snowball sampling effect is “designed to recruit recognized experts from the pool of acquaintances of other recognized experts” (p. 304). As the expert panel was solicited, it became prevalent that some of the expert panel members knew of other potential participants.

### **Field Test**

The field test performed in this study utilized SurveyMonkey® and three software virtualization experts to test the questionnaire method and trustworthiness of the questioning process. First, the three software virtualization experts were questioned on the areas that could affect receiving appropriate information from the expert panel. After careful examination, the three experts determined there were no risks in the SurveyMonkey®

questionnaire method. SurveyMonkey® contains internal controls to ensure questions were controlled and anonymous, according to settings setup during the survey creation process (SurveyMonkey, 2018).

Analysis and Results

### **E-Delphi Rounds**

**Round 1.** The Round 1 questionnaire became available to participants on August 22, 2018, and ended on August 29, 2018. The expert panel members were emailed the SurveyMonkey® link to begin the questionnaire. The email was sent to all 12 expert panel members in such a way to ensure anonymity from the other panel members. 11 of the expert panel members elected to agree with the informed consent and complete the questionnaire. The Round 1 questionnaire consisted of eight open-ended questions and 4 multiple choice questions. Table 5 is the table of survey questions for Round 1.

The purpose of Round 1 was to understand the background of the expert panel member and their experiences with virtualization in medical facilities. Question 1 was the informed consent where 11 of the 12 (92%) participants elected to agree and move forward with the questionnaire. Question 2 defined the occupational role of the participant. Questions 3 through 6 collected data on the current knowledge of virtualization and what type of virtualization is used in the participant's medical facility. The data analysis shows that out of the 11 expert panel members, eight facilities utilize VMware® while three facilities use Microsoft® virtualization.

Question 7 of the survey questioned the expert panel member's background in virtualization. The data analysis shows that eight of the 11 (72%) expert panel members understood virtualization technology. As technology changes, so do the ability to support and administrate the technology.

Question 7 responses were key indicators for Round 1 and the amount of information required for expert panel members to understand further the purpose of the research and the questions in the research questionnaire. Expert panel members were included in research due to their background and experience with virtualization; therefore, Question 7 is a key indicator to ensure the expert panel members are legitimate in knowledge and experience with virtualization.

Question 8 was for the physicians in the study to answer. The questions asked the physicians to provide details of their patient diagnosis process. Two physicians participating in the research study. One physician described the patient diagnosis process as a cycle. The physician described the process as an intellectual collection of data and then interpreting the data into a diagnosis. The data collection was a mental collection. The second physician described the diagnosis process as a data interpretation method. The second physician

provided additional information stating that at times, the data was not arriving fast enough for the physician to make a quick diagnosis. The second physician provided additional details that substantiated the research that when data does not arrive to physicians quickly, the delay could cause a reduction in patient care. The second physician provided key information and with Question 11, additional information emerged. Question 8 received 100% participation from the physicians.

Question 9 was asked of both the physicians and virtual experts. Question 9 asked if virtualization has any relationship on the patient diagnosis process. Out of the 11 participants, nine of the participants provided answers to Question 9 (82%). The purpose of this question was to gain information on the server infrastructure, if known, from the respondents. Question 10 was an open-ended question asking how virtualization is related to the patient diagnosis process. Nine of the 11 participants answered Question 10 (82%). Question 11 of Round 1 was a key indicator of the study. Question 11 questioned the expert panel member how software virtualization was related to the patient diagnosis process. Question 11 was an essential indicator of the research study. Nine of the 11 participants answered question 11 (82%). The final question of Round 1 was question 12, which asked the participants how the benefits of virtualization would benefit the patient diagnosis process. 10 and of the 11 participants answered question 12 (91%). Round 1 provided intuitive experiences of the physicians and virtual experts. Unfortunately, a consensus did not conform; therefore, Round 2 was created to continue questioning the panel members about the benefits of virtualization. Round 2. The Round 2 questionnaire became available to participants on September 30, 2018, and ended on October 7, 2018. Round 2 questionnaire was provided to the expert panel members via email for those who indicated they wanted to proceed with Round 2. 11 of the 12 (92%) original expert panel members indicated to proceed to Round 2. At the end of Round 2, eight of the 11 (73%) participants completed the survey questions completely. Three of the 11 participants completed the informed consent to proceed; however, did not complete all survey questions in Round 2. Table 6 is the table of survey questions for Round 2.

**Round 2** consisted of the informed consent to proceed and three open-ended questions. Question 1 was the informed consent where 11 of the 12 (92%) participants agreed to move forward with the Round 2 questionnaire. The purpose of three Round 2 questions was to dive deeper into the knowledge of virtualization of the expert panel members. Question 2 gained information from the expert panel member of the disadvantages of using virtualization while the final question collected information on the impact of virtualization on the patient encounter process. In Round 1, Question 12 asked the expert panel member the advantages of virtualization; while Round 2, Question 3

requested information on the disadvantages of virtualization. The purpose of asking contrasting questions in two different rounds was to gain further insight from the expert panel member on their experience and background of virtualization. Question 4 continued the discussion on the patient diagnosis process. Question 4 continued receiving the experiences of the panel members and how their experiences related to virtualization and the patient diagnosis process.

**Round 3.** The Round 3 questionnaire became available to participants on October 15, 2018, and ended on October 22, 2018. Round 3 consisted of three questions. Round 3 questionnaire was provided to the expert panel members via email for those who indicated they wanted to proceed with Round 3. Question 1 was the informed consent question. 11 of the 12 (92%) original expert panel members indicated to proceed to Round 3. The purpose of the two questions was to gain information from the expert panel members regarding where virtualization will be going in 5-10 years and the type of information required to convince executive leadership to implement virtualization. Although 92% of the participants indicated to proceed with Round 3; six out of 11 (55%) expert panel members completed Round 3. The loss of 5 expert panel members may be attributed to the amount of time required to participate in the study, personal or job commitments, the loss of interest in participating in the study, or the length of rounds for the study. No one indicated via email or phone call they were not continuing the study. Table 7 is the table of survey questions for Round 3.

Six participants answered both questions of Round 3. Although Rounds 2 and 3 had reduced expert panel members who participated in the study than Round 1, the response rate was 55% for those who participated in the study. According to Yehuda (1999), the acceptance rate for responses depends on the study and the number of participants. For this study, the acceptable participation rate was 50% which was achieved in each round of surveys.

## **Results**

From the results of the data analysis emerged three primary themes from the expert panel members. After three rounds of interpretation, a consensus was formed and the following results occurred.

Theme 1: Increased performance with software virtualization. Theme 1 emerged from the responses multiple times. Expert panel members responded that software virtualization processes data for efficiently and quickly than traditional hardware platforms. Each of the expert panel members was uniquely identified via a lettering and numbering system, for example, P1 was Participant 1, P2 was Participant 2, etc. P1 stated, “higher resource availability and system HA [high availability] leads to higher up-times and better performance across clinical applications” P2 stated, “Having a virtual

environment allows for use of routing technology like Akamai to route requests in the quickest way possible providing speed.” P4 stated, “virtualization can increase availability and performance for the virtualized service.” P7 stated, “faster and more reliable patient care as technology becomes more and more a part of our system used to provide care.” P10 stated, “the ability to add resources to a virtualized instance running the patient diagnosis software in order to improve performance and the ability to migrate virtualized instances between physical hosts to limit the amount of downtime for the patient diagnosis application(s).” And finally, P11 stated, “Speed: Get results faster than running from a physical machine.” The consensus and analysis resulted that software virtualization does increase system performance and the ability to deliver data faster to the physician for quicker medical diagnoses.

Theme 2: Increased data reliability with software virtualization. The increase in data reliability emerged as the second theme from the expert panel responses. The consensus showed that software virtualization increases data reliability, meaning the data will arrive more reliably with software virtualization than with traditional hardware infrastructures. Data reliability was also linked to higher availability of data. P4 stated, “high availability offers conservation of resources, shared physical resources, disaster recovery/business continuance offerings, faster reboot time for virtual machines, and faster deployment via cloning and template deployment operations.” P2 stated, “may help minimize downtime and be easier to support.” P7 stated, “creating a highly available and high performing system that supports clinicians benefits the patient. Saving money through virtualization can create funds for medical staff. Virtualization can also increase [the] mobility of information, allowing clinicians to more easily meet patient needs. That can include scenarios like a doctor’s ability to visit the patient in any room, or other location, with quick access to the same software. Virtualization also benefits [the] analytical processes used to determine how effective clinical care is for patients. That information leads to company/hospital/clinical care improvements.” P9 stated, “benefits include up time due to high availability, lower impact from hardware changes, faster restoration from backup, ease of management and visibility due to management software. In many cases, virtualization may save money.” And finally, P11 stated, “virtualization allows a business to utilize physical servers at a much more efficient capacity level, as guest operating systems are able to take advantage of idle Computer Processing Unit (CPU) cycles and unused Random Accessed Memory (RAM) on the host. This allows the business to save on physical footprint. It also affords the business much more mobility, as the virtual servers can be built at a pace much quicker than traditional physical server builds, that must be ordered, delivered, racked, and provisioned.” The

consensus and analysis resulted that software virtualization does increase the reliability and availability through increased uptime for physicians to give more reliable patient diagnoses.

Theme 3: Reduction in cost with software virtualization. The theme for the reduction in cost emerged from the expert panel responses. The results show that implementing software virtualization will decrease the costs of the server infrastructure. P3 stated “it [software virtualization] allows the provider the ability to provide more patient-facing services at a lower cost as they are able to run more of those applications/services on less hardware or in multiple locations (on-premise vs cloud). It also allows them to provide higher availability for those services as they are able to implement redundancy at a lower cost.” P4 stated, “the high availability offerings of virtualization can provide greater uptime and availability of critical healthcare systems much easier and cheaper than using physical servers.” And finally, P5 stated “reduce costs by reducing the need for physical servers which in turn reduces licensing needs, energy and data center needs. It also allows ease of creating new servers and environments on the fly.” The consensus and analysis resulted that software virtualization will reduce the operational costs for medical facilities.

## **Conclusions and Recommendations**

Virtualization is the conceptual concept of technology that builds multiple servers onto one hardware platform (Microsoft, 2019; VMware, 2019). Virtualization may offer benefits to health care organizations including the ability to deliver patient data to physicians more quickly. The virtualization literature review validated that virtualization is an emerging technology that can affect the patient diagnosis process. The findings of this research study using expert panel members in virtualization aligned with the literature review for virtualization. The expert panel members concluded Round 3 that virtualization can positively affect the patient diagnosis process. The literature review indicated there were many benefits to virtualization and throughout the analysis, the benefits emerged to demonstrate that virtualization can positively impact the patient diagnosis process. The use of virtualization in the patient diagnosis process has been a concern of many medical facilities (Conti, 2001; Harbin & Baum, 2014; Marco, 2004; Shapiro, 1993). A challenge for medical facilities is the ongoing costs to maintain computer technologies to provide quick access to patient data.

**Theme 1: Increased performance with software virtualization.** According to Loveland et al. (2008), virtualization is software that emulates hardware. Virtualization does not depend on hardware to operate and operating systems do not require certain hardware to function. As such, software virtualization processes data more quickly and has the ability to process big data more efficiently. As a result of the analysis, the findings



concluded that virtualization positively affects the patient diagnosis process. The data analysis shows that patients can receive faster results with the use of virtualization than traditional hardware methods.

The hypervisor plays an important role in virtualization due to the barrier between that host's hardware and the virtual machines. MIT programmers discovered that by using the hypervisor the virtual machines are separated and allows the virtual machines to run independently from each other. The independence of the virtual machines is necessary to separate the different memory spaces; thus allowing the virtual machines to be independent of each other and the host system (Cervone, 2010; Daniels, 2009; Munro, 2001; Van Vleck, 2013). With the use of the hypervisor in software virtualization, performance increased due to software virtualization being able to process data more quickly and bigger amounts of data processed more efficiently.

Medical informatics organizations state that virtualization increases efficiency and dependability within the medical industry (Fujifilm, 2019). Microsoft® and VMware® recognize a growing trend in system architectures, especially the medical field, to decrease the footprint in data centers by decreasing the number of physical servers in the data center (Microsoft, 2019; VMware, 2019). As big data continues to evolve and require additional computing power, hardware manufacturers continue to build computer systems with larger processing speeds, faster memory processing, and increased video capabilities (Yaffe, 2019). Due to the development methods and how the data is processed, software virtualization does increase the performance of medical data.

### **Theme 2: Increased data reliability with software virtualization.**

Organizations are fearful of placing several servers on one platform because of the “all eggs in one basket” theory. This theory or fear describes the architecture of one hardware platform with several servers building on top of a single platform (Park & Sharma, 2009). Software virtualization implementations with more than one host increase the reliability of data through continual uptime. The results from the consensus and analysis show that software virtualization provides more reliable data.

The fundamental purpose of virtualization is to increase stability, reliability, expandability, and disaster recovery (Microsoft, 2019; VMware, 2019). When multiple software servers are built within a single hardware server, the hardware server is called a host server (Microsoft, 2019; VMware, 2019). In larger infrastructures, many hosts are implemented to carry software servers across multiple hosts to allow for increased performance, fault tolerance, and disaster recovery when one host goes offline. The results from the analysis show that software virtualization increases data reliability through increased uptime.

**Theme 3: Reduction in cost with software virtualization.** According to Bernstein et al. (2007), there are five constants of information technology that continue to drive success within medical facilities. Those five constants are “budget, supportive leadership, project management, implementation, and end user involvement” (p. 17). Despite these constants, medical facilities continue to slow down on integration and the effectiveness of information technology (Bernstein et al., 2007). With the implementation of software virtualization, medical facilities will reduce operating expenses in the information technology department.

One aspect of virtualization that reduces medical facilities operational and capital expenses is that virtualization reduces the necessity for hardware (Microsoft, 2019; Spink et al., 2016; VMware, 2019). In reducing the expenses in information technology, the medical facilities can use those resources for other means to increase patient quality or medical facility functionality. With the reduction in the quantity of server hardware, the information technology footprint is reduced. The results and consensus show that software virtualization decreases the cost of ownership for medical organizations.

As medical facilities continue to examine new technologies, some medical facilities are hesitant to implement new technologies due to risks, education, or budgeting costs and constraints (Daaleman & Mueller, 2004; de Mul & Berg, 2007; Parente & McCullough, 2009; Purcarea et al., 2011; Reiner, 2011; Takakuma et al., 2003; White, 2008; Young et al., 2004). The results of this research study show that operational expenses are reduced; therefore, medical facilities will reduce budget costs.

### **Contribution to Research**

This research study contributed to research by exploring the advantages and disadvantages of virtualization in the medical informatics field to assist in increasing the care of patients. The data analysis provided themes that showed that virtualization positively affected the patient diagnosis process; therefore, patients may receive more reliable information through virtualization than hardware.

The research study contributed to the knowledge of software virtualization and the relationship on the patient diagnosis process. Through this research, the opinions and experiences of the expert panel contributed to the further advancement in software virtualization in medical facilities.

### **Contribution to Theory**

This research study contributed to the theory of virtualization by building upon the expandability and reliability of virtualization with respect to patient data and diagnosis. The theory that virtualization was a viable solution for medical facilities becomes more prevalent in the research of this

study. The data analysis provided insight that virtualization does positively affects the patient diagnosis process; therefore, medical facilities would benefit from the implementation of virtualization.

### **Contribution to Leadership**

This qualitative e-Delphi research study contributed to leadership by providing research information to medical facility leadership to assist in making informed decisions about delivering timely patient care. Medical facilities continue to strive to make fiscally conscientious decisions about providing higher patient care (Reiner, 2011; Schimke, 2009). One aspect of virtualization that reduces medical facilities operational and capital expenses is that virtualization reduces the necessity for hardware (Microsoft, 2019; VMware, 2019). In reducing the expenses in information technology, the medical facilities can use those resources for other means to increase patient quality or medical facility functionality.

The findings of this research study show significant analysis to provide hospital leadership that virtualization can improve patient care through timely diagnoses. The benefits for virtualization include high availability, increased reliability, and increased expandability, while lowering the cost of ownership to the organization. The expert panel members affirm that medical facilities would benefit from virtualization; however, the complexity of administration is greater.

### **Strengths of the Study**

This research study demonstrated several strengths throughout the research. First, this study gained additional information on how data is gathered for the patient diagnosis process. Within the literature review, the study found information that although physicians were provided patient data, the process in which the data is obtained was different depending on the specialty of the physician. The second strength of the study was the use of an expert panel. The expert panel had direct experience with virtualization and patient diagnosis within a medical facility. The expert panel members' experiences contributed to the research

### **Limitations of the Study**

This qualitative e-Delphi research study contains limitations. The first limitation is the classification of the expert panel of experts. The panel of experts is designated as experts per this research study's criteria. However, other criteria may exist that could prevent some panel members from being experts in certain aspects of the medical field. This limitation is controlled by designing the research panel around industry standards in the medical informatics field in cardiology and radiology.

The number of expert panel members started out strong with 11 members; however, toward the end of Round 3, there were fewer number of expert panel members. The reduction in expert panel members may be attributed to the amount of time to participate in the study, personal or job commitments, the loss of interest in participating in the study, or the length of rounds for the study.

Another limitation that emerged during the analysis of the data was the length of the responses. Most of the expert panel members provided shorter answers than expanding on the question to provide deeper insight into the situation. Due to not providing lengthy responses to the open-ended questions, analyzing the themes were more challenging and some were incomplete. This limits the amount of information to analyze and could potentially affect the emerging conclusions from the data.

### **Recommendation for Future Research**

This research study was limited in scope; however, there are recommendations for future research that emerged. The first recommendation for future research would be within other fields, such as financial and manufacturing. Financial and manufacturing may benefit from virtualization because these fields require quick, reliable data for fast decisions. Financial and manufacturing fields also require the processing of large amounts of data. AI may assist in the processing of large amounts of data.

The second recommendation for future research would be to implement software virtualization in medical facilities. The expert panel consensus confirms that software virtualization positively increases the care patients receive through reliable and more efficient data. Implementing software virtualization in medical facilities would increase patient care. The next recommendation for future research is to research the relationship of software virtualization in expert systems. Expert systems will continue to evolve; however, with a relationship with software virtualization, expert systems may be able to process increased amounts of data under extreme processing speeds. Software virtualization was an initial step towards more efficient expert systems and the management of big data.

The final recommendation for future research is studying the relationship of software virtualization on data mining. Data mining manages large amounts of data and virtualization may assist in faster processing and increased capabilities for data mining experts. As more data requirements emerge, systems will need to consistently increase computing power and efficiency.

## References:

1. Allgar, V. L., & Neal, R. D. (2005). Delays in the diagnosis of six cancers: Analysis of data from the National Survey of NHS Patients: Cancer. *British Journal of Cancer*, 92(11), 1959-1970. doi:10.1038/sj.bjc.6602587
2. Ameen, R. Y., & Hamo, A. Y. (2013). Survey of server virtualization. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 11(3), 65-74.
3. Armstrong, W. J., Arndt, R. L., Boutcher, D. C., Kovacs, R. G., Larson, D., Lucke, K. A., Nayar, N., & Swanberg, R. W. (2005). Advanced virtualization capabilities of POWER5 systems. *IBM Journal of Research and Development*, 49(4.5), 523-532. doi:10.1147/rd.494.0523
4. Cantrill, S. (2010). Computers in patient care: The promise and the challenge. *Communications of the ACM*, 53(9), 42-47. doi:10.1145/1810891.1810907
5. Cervone, H. F. (2010). An overview of virtual and cloud computing. *OCLC Systems and Services*, 26(3), 162-165. doi:10.1108/10650751011073607
6. Conti, F. (2001). Claude Bernard: Primer of the second biomedical revolution. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 2(9), 703-8. doi:10.1038/35089594
7. Daniels, J. (2009). Server virtualization architecture and implementation. *Crossroads*, 16(1), 8-12. doi:10.1145/1618588.1618592
8. de Mul, M. M., & Berg, M. (2007). Completeness of medical records in emergency trauma care and an IT-based strategy for improvement. *Medical Informatics & The Internet In Medicine*, 32(2), 157-167. doi:10.1080/09670260701231284
9. Egan, A., & Estrada, V. (2013). Socio-economic indicators for forest restoration projects. *Ecological Restoration*, 31(3), 302-316. doi:10.3368/er.31.3.302
10. Fujifilm Medical Systems. (2019). Retrieved from <http://fujifilmusa.com/products/medical/index.html>.
11. Grasczew, G., Theo A., Roelofs, T. A., Rakowsky, S., Schlag, P. M., Heinzreiter, P., Kranzlmuller, D., & Volkert, D. (2006). New trends in the virtualization of hospitals – Tools for global e-health. *Medical and Care Compunetics*, 3, 168-175.
12. Gribbin, P. J. (1989). Development of 360/370 architecture - A plain man's view. Retrieved from <http://www.leeandmelindavarian.com/Melinda/gribbin.pdf>.

13. Harbin, T. & Baum, N. (2014). The vital two minutes of the patient encounter. *The Journal of Medical Practice Management: MPM*, 29(4), 248-249. Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/1524878168?accountid=134061>
14. Hoeren, T., & Niehoff, M. (2018). Artificial intelligence in medical diagnoses and the right to explanation. *European Data Protection Law Review (EDPL)*, 4(3), 308–319. doi:10.21552/edpl/2018/3/9
15. Hsueh, S. (2012). A fuzzy utility-based multi-criteria model for evaluating households' energy conservation performance: A Taiwanese case study. *Energies*, 5(8), 2818-2834. doi:10.3390/en5082818
16. Kilman, D. G., & Forslund, D. W. (1997). An international collaboratory based on virtual patient records. *Communications of the ACM*, 40(8), 111-117. doi:10.1145/257874.257898
17. Loo, R. (2002). The delphi method: A powerful tool for strategic management. *Policing*, 25(4), 762-769. doi:10.1108/13639510210450677
18. Loveland, S., Dow, E. M., LeFevre, F., Beyer, D., & Chan, P. F. (2008). Leveraging virtualization to optimize high-availability system configurations. *IBM Systems Journal*, 47(4), 591-604. doi:10.1147/SJ.2008.5386515
19. Marco, A. P. (2004). The virtual patient encounter - units of service in the electronic age. *Physician Executive*, 30(3), 32-34. Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/200057620?accountid=134061>
20. Microsoft. (2019). Hyper-V server. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/server-virtualization>.
21. Miseviciene, R., Ambraziene, D., Tuminauskas, R., & Pazareckas, N. (2012). Educational infrastructure using virtualization technologies: Experience at Kaunas University of Technology. *Informatics in Education*, 11(2). Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/1112240702?accountid=134061>
22. Munro, J. (2001). Virtual machines & VMware, part I. Retrieved from [http://atlas.binus.ac.id/PDC/EasWeb2.nsf/0/d6f02e9dba8b088247256bf7001f3bd3/\\$FILE/Virtual%20Machines%20\\_VMware.pdf](http://atlas.binus.ac.id/PDC/EasWeb2.nsf/0/d6f02e9dba8b088247256bf7001f3bd3/$FILE/Virtual%20Machines%20_VMware.pdf).
23. Parente, S. T., & McCullough, J. S. (2009). Health information technology and patient safety: Evidence from panel data. *Health Affairs*, 28(2), 357-360. doi:10.1377/hlthaff.28.2.357

24. Park, Y. R. & Sharma, S. (2009). Providing service using a virtualization infrastructure. Clute Institute for Academic Research, 2(2), 17-22. Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/195627357?accountid=134061>
25. Porter, M. (2008). The five competitive forces that shape strategy. Harvard Business Review. 25-40.
26. Purcarea, V. L., Petrescu, D. G., Gheorghe, I. R., & Petrescu, C. M. (2011). Optimizing the technological and informational relationship of the health care process and of the communication between physician and patient: Factors that have an impact on the process of diagnosis from the physician's and the patient's perspectives. Journal of Medicine and Life, 4(2), 198-206. Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/876966298?accountid=134061>
27. QSR International. (2018). NVivo®. Retrieved from <https://www.qsrinternational.com/nvivo/home>.
28. Reiner, B. I. (2011, April). Improving healthcare delivery through patient informatics and quality centric data. Journal of Digital Imaging, 24, 177-178. doi:10.1007/s10278-011-9363-4
29. Robb, R. (2008). Medical imaging and virtual reality: A personal perspective. Virtual Reality, 12, 235-257. doi:10.1007/s10055-008-0104-z
30. Schimke, I. (2009). Quality and timeliness in medical laboratory testing. Analytical & Bioanalytical Chemistry, 393(5), 1499-1504. doi:10.1007/s00216-008-2349-5
31. Shapiro, J. (1993). The use of narrative in the doctor-patient encounter. Family Systems Medicine, 11(1), 47-53. doi:10.1037/h0089128
32. Spink, T., Wagstaff, H., & Franke, B. (2016). Hardware-accelerated cross-architecture full-system virtualization. ACM Transactions on Architecture and Code Optimization (TACO), 13(4), 36. doi:10.1145/2996798
33. SurveyMonkey®. (2018). Retrieved from <https://www.surveymonkey.com/>.
34. Takakuma, K. M., Shofer, F. S., Boedec, C., & Reyes, I. M. (2003). The effect of bedside registration on patient encounter times in an urban academic emergency department. Academic Emergency Medicine, 10(5), 525.
35. Van Vleck, T. (2013). The IBM 360/67 and CP/CMS. Retrieved from <http://www.cedix.de/VorlesMirror/Band2/multicians.pdf>.

36. VMware. (2019). ESXi. Retrieved from <http://www.vmware.com/products/vsphere/esxi-and-esx/overview.html>.
37. White, R. E. (2008). Health information technology will shift the medical care paradigm. *Journal of General Internal Medicine*, 23(4), 495-499. doi:10.1007/s11606-007-0394-y
38. Yaffe, M. J. (2019). Emergence of “big data” and its potential and current limitations in medical imaging. *Seminars in Nuclear Medicine*, 49, 94–104. doi:10.1053/j.semnuclmed.2018.11.010
39. Yehuda, B. (1999). Response rate in academic studies - a comparative analysis. *Human Relations*, 52(4), 421-438. doi:10.1177/001872679905200401
40. Young, A. S., Mintz, J., Cohen, A. N., & Chinman, M. J. (2004). A network-based system to improve care for schizophrenia: The medical informatics network tool (MINT). *Journal of the American Medical Informatics Association*, 11(5), 358-367. Retrieved from <https://search-proquest-com.contentproxy.phoenix.edu/docview/220780938?accountid=134061>





ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Diangone Eric,  
Yao Alexis N'guessan,  
Lou Kala Marie-Claude Toalo,  
Monde Sylvain,  
Coulibaly Aoua,**

Laboratoire de Géologie Marine et Sédimentologie,  
Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

Submitted: 19 June 2020  
Accepted: 27 November 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Diangone Eric*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p70](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p70)

© Copyright 2020 Diangone et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Diangone E., Y. N'guessan, L. Toalo, M.Sylvain,  
CM Aoua (2020). Evaluation de la Pollution  
Métallique des Sédiments Superficiels de la Lagune  
Potou en Période d'Étiage (Littoral de la Côte  
d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33),  
70. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p70>

## **Evaluation de la Pollution Métallique des Sédiments Superficiels de la Lagune Potou en Période d'Étiage (Littoral de la Côte d'Ivoire)**

### **Resume**

La présente étude vise à évaluer la pollution métallique des sédiments superficiels de la lagune Potou (littoral de la Côte d'Ivoire en période d'étiage). La méthode utilisée à cet effet repose en premier sur l'échantillonnage des sédiments et sur la détermination de leurs concentrations en ETM (Élément Trace Métallique) à l'aide de la technique spectrométrique. Ensuite, l'estimation du niveau de la pollution métallique des sédiments, a été faite en comparant les concentrations des métaux obtenues à celles de la croûte continentale de Wedepohl (1995) et à celles des sédiments non pollués de Calamari et Naeve (1994) et Kikouama et al. (2009). De même, l'estimation du niveau de la pollution métallique des sédiments a été réalisée par le calcul de plusieurs indices de pollution dont le facteur d'enrichissement et l'index de géo-accumulation. L'approche méthodologique s'est enfin achevée par l'évaluation des risques des sédiments en place à partir des valeurs guides TEC (Threshold Effects Concentrations) et PEC (Probable Effect Concentration) et par l'étude de la distribution spatiale des différents contaminants au sein de la zone étudiée. Au total, 15 ETM ont été identifiés dans les sédiments du milieu, à savoir l'aluminium (Al), l'arsenic (As), le calcium (Ca), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le potassium (K), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le sodium (Na), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'antimoine (Sb), et le zinc (Zn). Ces ETM ont des teneurs variables évoluant en moyenne entre 0,81 et 46693,33mg/Kg. Cette importante variabilité est aussi constatée au niveau des valeurs d'enrichissement en ETM. Celles-ci sont comprises en moyenne entre 0,03 et 4,15mg/Kg. Concernant l'index de géo-accumulation, les valeurs trouvées sont en

majorité négatives sauf chez le zinc (0,77mg/Kg) et l'antimoine (1,4 mg/Kg). L'ensemble de ces résultats a montré que les sédiments de la lagune Potou sont de mauvaise qualité car pollués par le cuivre, le fer, le zinc et l'antimoine. Ces métaux, en particulier le zinc et l'antimoine, peuvent exercer un effet néfaste sur les organismes aquatiques du milieu lagunaire ainsi que sur l'Homme..

---

**Subject:** Geologie

**Mots-clés:** Pollution, sédiments, lagune Potou, Côte d'Ivoire, ETM, géo-accumulation

## **Evaluation of Metallic Pollution of Surface Sediments in the Potou Lagoon during Low Water (Coast of Côte d'Ivoire)**

*Diangone Eric,  
Yao Alexis N'guessan,  
Lou Kala Marie-Claude Toalo,  
Monde Sylvain,  
Coulibaly Aoua,*

Laboratoire de Géologie Marine et Sédimentologie, Université de Cocody,  
Abidjan, Côte d'Ivoire

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p70](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p70)

---

### **Abstract**

This paper focuses on evaluating the metallic pollution of the superficial sediments of the Potou lagoon (Coast of Côte d'Ivoire) during the low water period. The method used for this study is based, first of all, on the sampling of the sediments and on the determination of their respective concentrations in MTE (Metal Trace Element) using the spectrometric technique. The estimation of the level of metallic pollution of the sediments was made by comparing the concentrations of the metals obtained with those of the continental Wedepohl crust (1995) and those of the unpolluted sediments of Calamari and Naeve (1994) and Kikouama et al. (2009). It was also achieved by calculating several pollution indices including the enrichment factor and the geo-accumulation index. The methodological approach was finally completed by assessing the risks of sediments in place from the TEC (Threshold Effects Concentrations) and PEC (Probable Effect Concentration) guide values and by studying the spatial distribution of the various contaminants at the site within the study area. A total of 15 MTE were identified in the sediments of the medium, namely: aluminium (Al), arsenic (As), calcium (Ca), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), potassium (K), magnesium (Mg), manganese (Mn), sodium (Na), nickel (Ni), lead (Pb), antimony (Sb), and zinc (Zn). These MTE have variable contents ranging on average between 0.81 and 46693.33 mg / kg. This important variability is also found in the MTE enrichment values. These are on average between 0.03 and 4.15. Regarding the geo-accumulation index, the values

found are mostly negative except for zinc (0.77) and antimony (1.4). All of these results showed that the sediments of the Potou lagoon are of poor quality because they are polluted by copper, iron, zinc, and antimony. These metals, in particular zinc and antimony, can have a detrimental effect on the aquatic organisms that inhabit the environment as well as humans.

---

**Keywords:** Pollution, sédiment, Potou lagoon, Côte d'Ivoire, MTE, geo-accumulation

## I. Introduction

Dépressions côtières situées au-dessus du niveau moyen des océans (Lankford, 1977), les lagunes représentent environ 13 % de la longueur des côtes du monde. Elles sont en communication plus ou moins étroite et permanente avec la mer et parfois avec un ou plusieurs fleuves. Les lagunes servent par ailleurs de refuge et/ou d'habitats à de nombreuses espèces vivantes grâce à leurs mangroves ; l'un des traits spécifiques qui fait de ces espaces un patrimoine unique qui mérite d'être préservé. Malheureusement, ces milieux naturels censés être protégés sont soumis aujourd'hui à une dégradation accrue. En effet, cette situation trouverait son origine dans le développement croissant à travers le monde des activités socio-économiques dans les zones côtières. Ces attrait s'expliquent par les nombreuses potentialités physiques, biologiques, écologiques et hydrodynamiques de ces zones. En Côte d'Ivoire, la pollution des milieux lagunaires et en particulier de la lagune Potou (Sud-Est du littoral), est devenue un phénomène alarmant qui menace gravement l'environnement car de nombreux éléments chimiques tels que les métaux y sont rejetés incessamment sans précaution. Ces éléments chimiques, dont la gravité de la pollution augmente avec l'emploi des intrants agricoles comme les engrais et les pesticides dans les plantations de la région et particulièrement avec le développement industriel des villes environnantes comme Abidjan ; nécessitent une attention particulière. Cette dernière est non seulement liée à la persistance des métaux dans l'environnement car difficilement éliminés dans l'environnement, ni détoxifiés ou dégradés par les activités métaboliques des organismes vivants qui les ingèrent ; mais aussi due au fait que leurs fortes teneurs sont à l'origine de conséquences néfastes sur les ressources naturelles et l'Homme (Dufour, 1981 ; Marchandet Martin, 1985; Adingra & Kouassi, 2011; Irié, 2017). La lagune Potou, qui constitue l'une des grandes réserves en eau douce situées à proximité de la ville d'Abidjan, devient donc un danger permanent pour les populations. De nombreuses études ont déjà été initiées sur certaines lagunes du pays en vue de sensibiliser la population et les autorités sur les dangers et l'ampleur de la pollution (travaux de N'Guessan *et al.*, 2009 ; N'Guessan *et al.*, 2013 ; et de Coulibaly *et al.*, 2014; ...). Cependant, ces travaux devraient être approfondis

en lagune Potou. C'est pourquoi la présente étude vise à évaluer la pollution métallique des sédiments de surface de ladite lagune. Les sédiments peuvent accumuler des substances plus ou moins dégradables, non dégradables, artificielles et/ou naturelles, et devenir de véritables réservoirs de polluants, en particulier pour les éléments traces métalliques (ETM).

## **II. Matériel Et Méthodes**

### **II.1 Présentation de la zone d'étude**

Avec une superficie de l'ordre de 22,8 km<sup>2</sup>, la zone d'étude est limitée au sud par la sous-préfecture de Bingerville et à l'ouest par la ville d'Abidjan (Figure 1). Elle présente un climat équatorial de transition marqué par quatre principales saisons continentales dont deux grandes et deux petites. Les deux grandes saisons (sèche et pluvieuse) s'étendent de décembre à avril, et de mai à juillet ; tandis que les deux petites saisons (sèche et pluvieuse) se situent d'une part entre août et septembre ; et d'autre part entre octobre et novembre. En ce qui concerne les saisons lagunaires, celles-ci au nombre de trois évoluent respectivement de janvier à avril (saison sèche), de mai à août (saison des pluies) et enfin de septembre à décembre (saison des crues). Les sols du secteur d'étude sont de type ferrallitique lessivé (sols à sesquioxydes) et des sols hydromorphes. La végétation quant à elle est constituée de la forêt dense sempervirente ou ombrophile à laquelle s'ajoute un autre type de forêt marécageuse, avec des bambous et des mangroves en bordures de lagune. Concernant les apports en eau douce de la région étudiée, ils sont assurés principalement par la Comoé, la Mé, et l'Agnéby. La Comoé, qui débouche à l'extrémité orientale du système Ebrié, fournit l'essentiel (80 % du volume total), avec un régime quasi tropical de transition. L'apport annuel de la Mé est de l'ordre de six fois le volume du système Potou-Adjin dans lequel elle se déverse. La Mé s'apparente avec l'Agnéby au régime équatorial de transition. Ces apports sont complétés par ceux des petites rivières d'importance très médiocre, disséminées sur la rive Nord, et par ceux des précipitations et bien entendu les apports négatifs de l'évaporation.

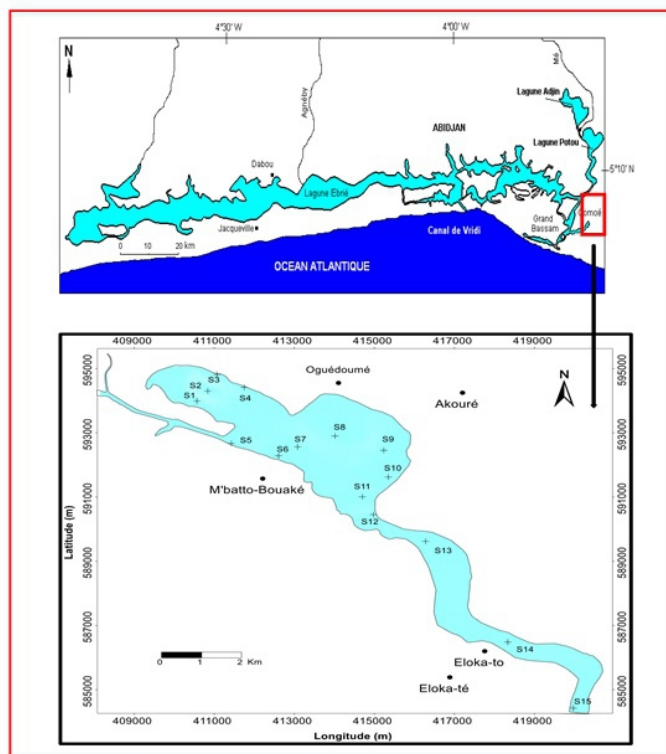


Figure 1. Présentation de la zone d'étude et des stations de prélèvements des sédiments

## II.2 Méthodologie de l'étude

### II.2.1 Echantillonnage des sédiments superficiels

L'échantillonnage des sédiments a été réalisé sur l'ensemble de la lagune Potou, les 13 et 15 au 20 avril 2017, au moyen d'une benne Van Veen. Le nombre total de sédiments prélevés s'élève à 15 (Figure 1).

### II.2.2 Analyses chimiques des sédiments

#### II.2.2.1 Dosage des ETM par spectrométrie d'absorption atomique à flamme

Le dosage des ETM a débuté par une préparation physique, durant laquelle les sédiments échantillonnés ont été séchés (à l'étuve) pendant 24 heures et à 40 °C ; puis broyés, homogénéisés, et enfin tamisés sur des toiles de maille de 2 mm et 63 µm. Cette phase préalable a laissé place ensuite au dosage des différents ETM présents dans les sédiments, à l'aide de la méthode spectrométrique d'absorption atomique à flamme. Cette technique de

spectrométrie utilisée repose essentiellement sur le couplage d'une torche à plasma ICP (Inductively Coupled Plasma) générant des ions monovalents positifs et d'un spectromètre de masse quadripolaire qui sépare ces ions en masse.

### II.2.2.2 Estimation de l'intensité de pollution

Les valeurs références choisies dans cette étude pour estimer le niveau de contamination des sédiments sont celles de la croûte continentale (Wedepohl, 1995) et celles des sédiments non pollués (Calamari & Naeve, 1994 ; Kikouama et al., 2009) (Tableau I).

**Tableau I.** Concentrations des ETM dans la croûte continentale (Wedepohl, 1995) et dans les sédiments non pollués (Calamari & Naeve, 1994 ; Kikouama *et al.*, 2009)

ETM (mg/kg)	Al	As	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Zn
UCC (Upper Continental Crust)	77440	2	28450	0,11	35	14	30890	28850	13510	527	25670	19	17	0,31	52
Calamari et Naeve, (1994)	-	-	-	0,11	-	33	41000	-	-	-	-	-	19	-	95
Kikouama et al., (2009)	-	-	-	0,44	-	24,84	-	-	-	-	-	-	12,88	-	45,13

L'impact des métaux polluants sur la qualité des sédiments a été aussi chiffré à travers le calcul des indices de pollution :

- **Le facteur d'enrichissement (FE)** est établi par la relation de Sutherland (2000):  $FE = ([M]_{\text{éché}} / [M']_{\text{éché}}) / ([M]_{\text{RM}} / [M']_{\text{RM}})$ ; Avec : FE = facteur d'enrichissement; [M]éché = concentration du métal M dans l'échantillon; [M']éché = concentration de l'élément normalisateur dans l'échantillon; [M]RM = concentration du métal M dans le matériau de référence et [M']RM = concentration de l'élément normalisateur dans le matériau de référence. Le fer (Fe) a été choisi comme élément normalisateur en raison de son abondance naturelle dans l'environnement.
- **L'index de géo-accumulation** est donné par la relation Müller (1969):  $I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$  ; Avec :  $I_{geo}$  = indice de géo-accumulation;  $\log_2$  = logarithme de base 2 ; n = élément considéré ;  $C_n$  = concentration mesurée dans l'échantillon ; B = fond géochimique ; 1,5 = constante qui associe les variations naturelles de la concentration d'un élément dans un milieu et les faibles pressions anthropiques.

### II.2.2.3 Évaluation de la qualité environnementale des sédiments

La qualité environnementale des sédiments a été évaluée à partir des valeurs TEC et PEC de Macdonald et al. (2000). La TEC (Threshold Effects Concentration) désigne les limites de concentrations des contaminants en dessous desquelles les organismes vivants ne sont pas menacés. La PEC

(Probable Effect Concentration) représente les concentrations des contaminants au-dessus desquelles ceux-ci ont un effet sur les organismes vivants (Tableau II).

**Tableau II.** Valeurs de TEC et de PEC (Macdonald *et al.*, 2000)

ETM	Cu	Cr	Zn	As	Cd	Pb
TEC (mg/kg)	31	43,3	121	9,79	0,99	35,6
PEC(mg/kg)	149	111	459	33	4,98	128

#### **II.2.2.4. Étude de la répartition spatiale des polluants métalliques**

Elle a été faite à partir du logiciel Surfer 11 à partir du fichier de données Excel comportant les coordonnées GPS (longitudes et latitudes) de chaque station de prélèvement. Ces données permettent de réaliser des fichiers mathématiques en utilisant l'interpolation krigeage linéaire.

### **III. Résultats Et Interprétations**

#### **III.1 Teneurs en ETM des sédiments**

Les concentrations des ETM obtenues après dosage, dans les sédiments de chacun des 15 sites de prélèvement, évoluent en moyenne entre 0,81 mg/kg et 46 693,33 mg/kg. Ces résultats mettent en exergue une variabilité importante des teneurs métalliques.

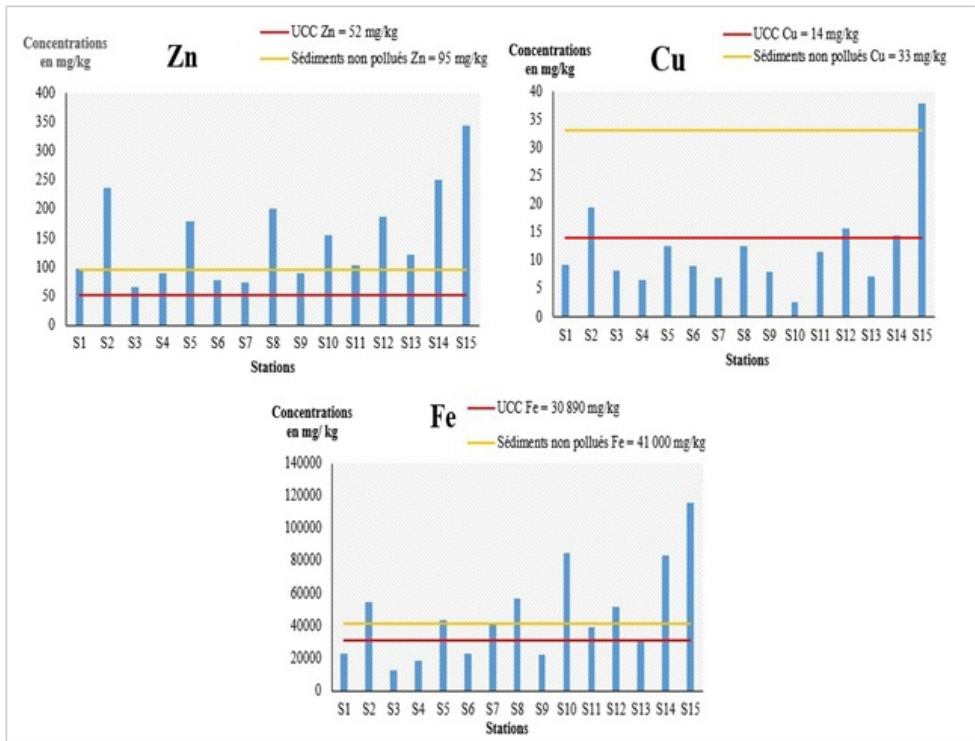
#### **III.2 Estimation de l'intensité de pollution métallique**

□En fonction des teneurs des éléments traces métalliques

Les résultats observés (Tableau III) montrent que les ETM tels que le Ni, Al, K, Na, Ca, Mg, Pb et Cd, ont des concentrations inférieures aux valeurs de la croûte continentale dans les sédiments de la zone d'étude. Ces faibles valeurs témoignent d'une dilution qui s'opère par des apports de sédiments moins contaminés ou non. D'autres métaux comme Cu, As, Cr, Mn, Zn, Sb et Fe présentent des teneurs plus élevées, ce qui traduit par conséquent une contamination polymétallique des sédiments superficiels par ces métaux. Cette contamination pourrait s'expliquer par les rejets dans le milieu lagunaire, des déchets non traités, émanant des diverses activités domestiques, agricoles et industrielles réalisées tout autour de la lagune. Les ETM dont le Cu, Fe, Zn appartenant à ce dernier groupe, montrent en plus des concentrations supérieures à celles des sédiments non pollués. Ceci au niveau des échantillons des stations prélèvement 15 pour le cuivre ; 2, 5, 8, 10,12, 14 et 15 pour le fer et pour le zinc, les échantillons 1, 2, 5, 8, 10, 11, 12, 13 ,14 et



15 (Figure 2). Cette situation met en évidence une pollution des sédiments de la zone étudiée par ces trois éléments métalliques.

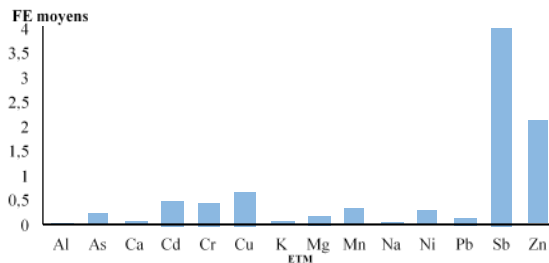


**Figure 2.** Evolutions des teneurs en Zn, Cu et Fe dans les sédiments étudiés

□ En fonction des indices de pollution

L'évolution de l'enrichissement en aluminium dans les sédiments se fait entre 0,001 et 0,05 avec un taux moyen de 0,03. Les valeurs d'enrichissement en arsenic évoluent de 0,04 à 0,49, soit une grandeur moyenne de 0,22. Elles sont inférieures à 1 dans l'ensemble des sédiments étudiés. Au niveau du calcium, des valeurs situées entre 0,01 et 0,23 sont observées. La moyenne d'enrichissement en Calcium s'élève par contre à 0,07. L'enrichissement en calcium reste également inférieur à 1 dans les sédiments. L'enrichissement en cadmium se fait entre 0,13 et 1,21 avec une moyenne de 0,47. Seul l'échantillon 3 présente un enrichissement supérieur à 1. Les sédiments de la zone d'étude ont un enrichissement moyen en chrome de 0,44. La valeur d'enrichissement la plus élevée est égale à 0,77. La valeur la plus faible atteint 0,09. L'enrichissement en chrome n'excède pas 1 dans tous les sédiments étudiés. Le cuivre a un enrichissement maximal équivalent à 1,41 et un minimal égal à 0,07. La moyenne d'enrichissement est équivalente à 0,67. Les valeurs supérieures à 1 sont observées seulement au niveau de l'échantillon 3. L'enrichissement en potassium oscille entre 0,005

et 0,11, soit une moyenne de 0,06. La variation de l'enrichissement en magnésium se fait entre 0,06 et 0,40 avec une moyenne de 0,18. Cette variation est inférieure à 1 ( $FE < 1$ ) dans l'ensemble des échantillons. Pour ce qui est du manganèse, les résultats révèlent des valeurs comprises entre 0,15 et 0,60, d'où une moyenne de 0,33. L'enrichissement en manganèse demeure inférieur à 1 dans la totalité des sédiments étudiés. Ceux-ci présentent un enrichissement en sodium inférieure à 1. Cet enrichissement évolue de 0 à 0,10, avec une moyenne de 0,05. Le facteur d'enrichissement en nickel évolue entre 0,07 et 0,57 avec une moyenne de 0,28 ( $FE < 1$ ). L'enrichissement en plomb des sédiments de la lagune Potou varie de 0,001 à 0,31, avec une moyenne de 0,13. Cet enrichissement est inférieur à 1 dans l'ensemble des échantillons étudiés. L'antimoine présente un enrichissement oscillant entre 0,22 et 7,85 avec une moyenne de 4,15. Ce enrichissement reste inférieur à 1 dans les sédiments 3 et 5; compris entre 1 et 3 dans les échantillons 4 et 6 ; entre 3 et 5 dans les sédiments 7,8,9,10,11 et 15 et un enrichissement supérieur à 5 au niveau des échantillons 5,2,12,13 et 14 .Quant au zinc, la variation de son enrichissement se fait entre 1,07 et 3,08, avec une moyenne de 2,12. Seuls les sédiments 7, 10, 11,14 et 15 ont un enrichissement en zinc inférieur à 2 (Figure 3).



**Figure 3.** Variation des valeurs moyennes du facteur d'enrichissement

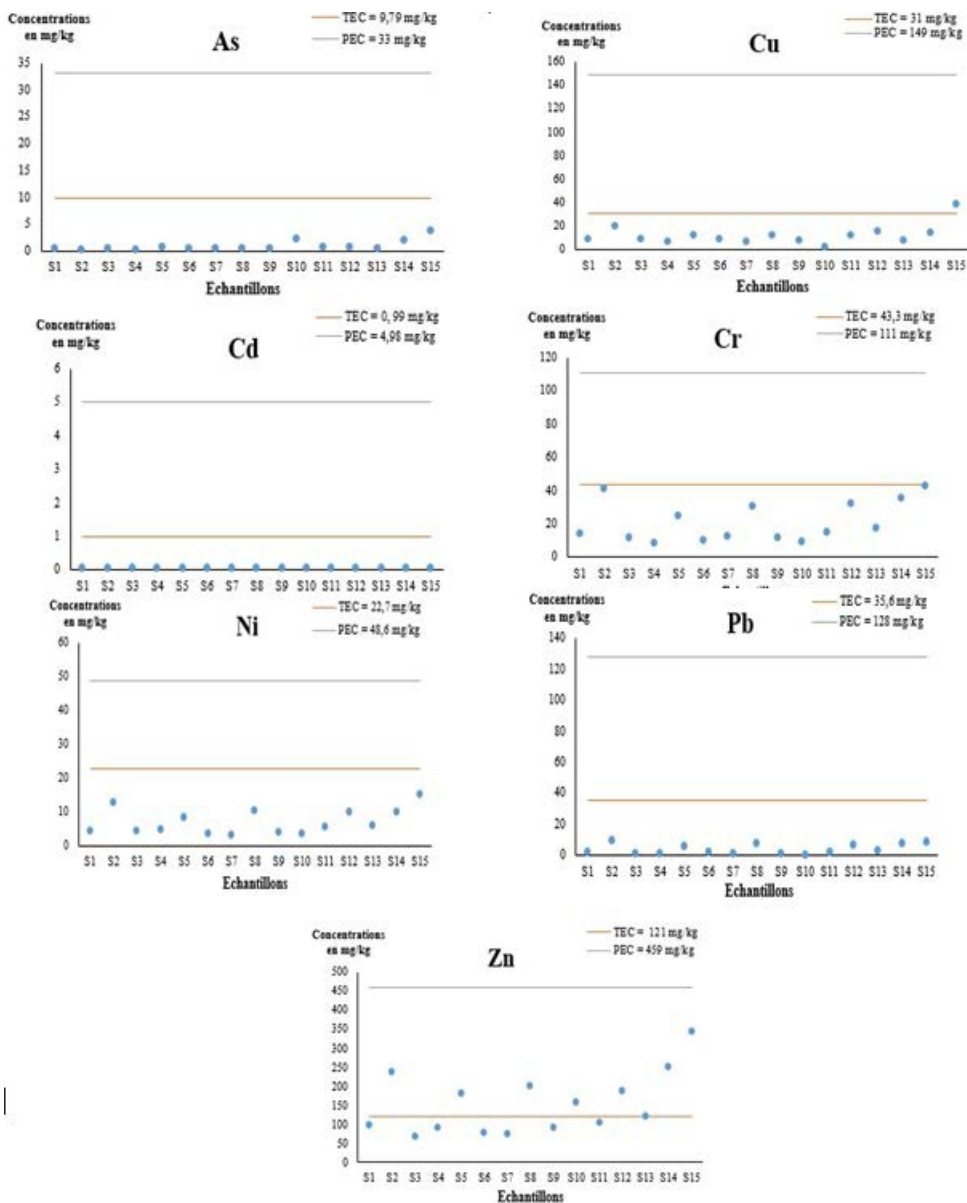
Ces résultats suggèrent deux origines possibles des ETM, à savoir l'origine naturelle terrigène et l'origine anthropique. La première origine regroupe les métaux à facteur d'enrichissement inférieur à 1. Ce sont le Pb, As, Cr, Ni, Al, Mn, K, Mg, Ca, Na, Cd et le Cu. Un tel facteur indique une absence d'enrichissement ou un enrichissement minimal en ETM. La seconde origine est caractérisée par des facteurs d'enrichissement supérieurs à 1 ( $FE > 1$ ), c'est le cas du Zn (2,12) et Sb (4,15) (Figure 3). Ces forts enrichissements, probablement issus du transport par les cours d'eau des déchets agricoles et industriels, mettent en relief un enrichissement modéré en zinc et antimoine des sédiments lagunaires. Toutefois, l'hypothèse d'un enrichissement significatif en Sb n'est pas épargnée avec son maximum d'enrichissement égale à 7,85 ( $5 < FE < 10$ ).

#### □Indice de géo accumulation

Les indices de géo accumulation des ETM dans les sédiments de la lagune Potou évoluent pour l'aluminium de -7,09 à - 4,27 avec une moyenne de -5,45. Ces indices varient respectivement pour l'arsenic entre - 4,32 et 0,30, soit une moyenne de -2,62. Pour ce qui est du calcium, l'Igéo oscille de -6,51 à -2,95, avec un taux moyen de - 4,97. L'Igéo du cadmium est constant à sa valeur de -1,58. Le chrome a un Indice de géo accumulation variant entre -2,71 et - 0,29 et en moyenne égal à -1,56. Les ETM tels que le cuivre, le fer, le potassium et le magnésium ont des variations comprises respectivement entre -2,88 et 1,01; -1,86 et 1,32 ; - 6,80 et -2,92; entre - 4,16 et -1,33 avec des moyennes de -0,88, - 0,24, -4,67 et de -2,70. L'Igéo du manganèse fluctue entre -4,03 et -0,25, avec une moyenne de -1,96. L'Igéo minimal du sodium est -15,26 et le maximum est de -3,09. La moyenne est équivalente à -5,40. D'autres ETM comme le nickel présentent un indice évoluant entre -3,25 et - 0,92 avec une moyenne de -2,21. Celui du plomb varie de -8,99 à -1,43 et en moyenne de -3,90. L'antimoine a un Igéo allant de -3,22 à 3,39 avec une moyenne de 1,40. Enfin, les valeurs de l'Igéo du zinc varient entre -0,23 et 2,14, soit une valeur moyenne égale à 0,77. Les valeurs d'Igéo négatives ( $Igéo < 0$ ) de certains métaux comme Pb, Cr, Ni, Al, K, Mn, Mg, Na, Cd, Ca, As, Cu, Fe impliquent que les sédiments étudiés ne sont pollués par ces métaux. L'Igéo moyen du zinc compris entre 0 et 1 ( $0 \leq Igéo < 1$ ) traduit une absence de pollution à une pollution modérée des sédiments par ce métal. L'Igéo de l'antimoine (1,4) oscillant entre 1 et 2 ( $1 \leq Igéo < 2$ ) montre une pollution modérée des sédiments.

### ***III.3 Qualité environnementale des sédiments***

Les résultats relatifs à la qualité environnementale des sédiments indiquent en ce qui concerne les valeurs guides TEC que 100 % des teneurs du plomb, de l'arsenic, du cadmium, du nickel, du chrome sont inférieures à la valeur référence. Il en de même que 93,33% des teneurs du cuivre. Le zinc par contre présente 46,67 % de ses concentrations en dessous du TEC référence. Concernant le PEC, les concentrations du plomb, cuivre, arsenic, cadmium, nickel, chrome et le zinc sont toutes inférieures au PEC standard. Ces résultats révèlent 0 % des teneurs du plomb, du cuivre, de l'arsenic, du cadmium, du nickel, du chrome et 53,33 % des teneurs du zinc comprises entre le TEC et le PEC. Pour le reste des métaux de la zone d'étude, la qualité environnementale n'a pu être malheureusement évaluée en raison de leurs valeurs guides TEC et PEC encore indéterminées (Tableau III et Figure 4).



**Figure 4.** Teneurs en ETM des sédiments comparées aux valeurs guides d'effets biologiques (TEC et PEC)

**Tableau III.** Proportion (mg/kg) des sédiments par rapport au TEC et PEC

	Cd	Pb	As	Cr	Cu	Zn
TEC	0,99	35,6	9,79	43,3	31	121
PEC	4,98	128	33	111	149	459
% inférieur au TEC	100	100	100	100	93,33	46,67

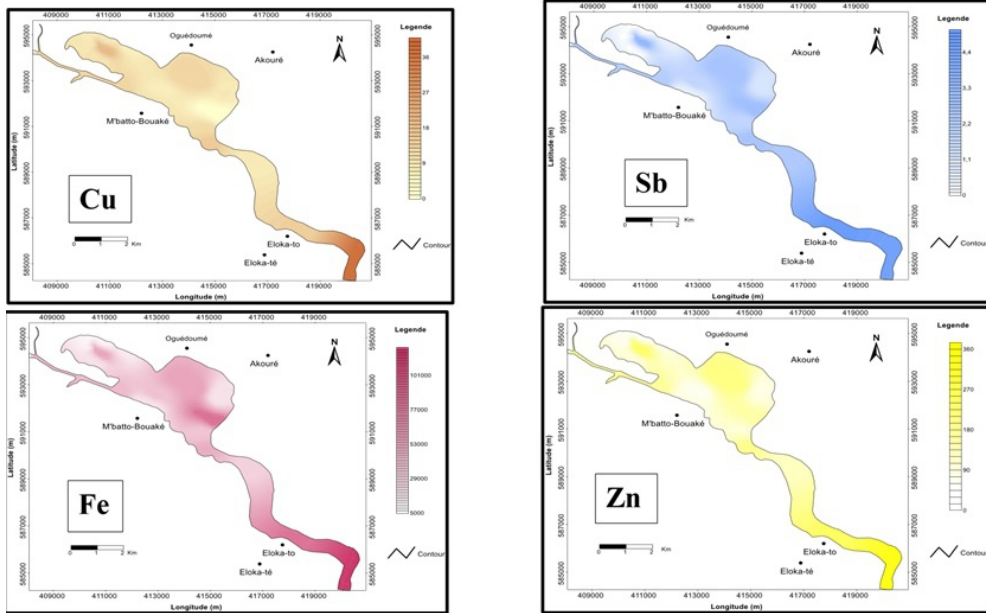
% entre TEC et PEC	0	0	0	0	0	53,33
% supérieur au PEC	0	0	0	0	0	0

### III.4 Répartition spatiale des ETM polluants

La distribution du zinc sur l'ensemble de la lagune Potou est relativement hétérogène (écart-type de 80,76). Ce métal a des concentrations n'excédant pas 500 mg/kg. Les fortes valeurs allant de 200 à 344 mg/kg rencontrées de ce métal s'observent notamment dans la partie sud du plan d'eau, plus précisément au niveau du bras lagunaire menant à la lagune Ebrié. Elles se situent également au voisinage de la localité d'Oguédoumé et dans une infime portion au nord-ouest (chenal menant à la lagune Adjin). Les plus faibles et moyennes teneurs oscillantes entre 66 et 200 mg/kg sont remarquées le long des berges au nord et dans la partie centrale proche de M'Batto-Bouaké. Le fer est le métal le plus concentré dans les sédiments étudiés. Il se repartit également de façon hétérogène. Son écart-type est de 29036,96, au sein de la zone d'étude. Cet ETM est d'une part fortement concentré au centre-est et à l'extrémité sud-est du bras lagunaire ; et d'autres part faiblement concentré au nord et le long du plan lagunaire de M'Batto- Bouaké à l'avant Eloka-to. Les concentrations du métal cuivre sont faibles tout au long de la lagune à l'exception de l'entrée du bras lagunaire en relation avec la lagune Ebrié. Dans cette partie du domaine lagunaire s'observent les valeurs maximales qui atteignent 37 mg/kg. La répartition du cuivre est donc hétérogène avec un écart-type de 8,29.

La répartition latérale de l'antimoine dans les sédiments de la lagune Potou suit la même dynamique que celle du fer avec un écart-type équivalent à 1,5. Les valeurs maximales oscillent entre 3 et 4,89 et les valeurs minimales sont comprises entre 0 et 3 mg/kg (Figure 5).

**Figure 5.** Cartes de répartition spatiale des ETM (Cu, Sb, Fe et Zn)



#### IV. Discussion

L'évaluation des teneurs moyennes des métaux de cette étude, par comparaison avec celles de la croûte continentale supérieure (UCC) de Wedepohl (1995), montre une contamination polymétallique des sédiments de la lagune Potou par Cu, As, Cr, Mn, Zn, Sb et Fe. Ces valeurs anormales pourraient être dues, selon Keumean *et al.* (2013), à la charge polluante provenant des différents rejets issus des activités agricoles, domestiques et artisanales. À ces apports s'ajoute la charge contaminante des nombreux effluents d'extractions minières et industrielles. Parmi ces contaminants, le cuivre, le fer et le zinc, qui ont des concentrations supérieures à celles recommandées pour les sédiments non pollués par Calamari et Naeve (1994), contribuent effectivement à la pollution des sédiments lagunaires. Ces métaux constituent par conséquent un danger pour l'eau, les espèces vivantes (végétales et animales) et pour la santé de l'Homme. Les teneurs en métaux ont été comparées à celles étudiées par Chouti *et al.* (2011) dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo, au sud du Bénin. Les concentrations de fer et de manganèse dans les sédiments de la lagune Potou sont les plus élevées. Elles évoluent environ entre 328 et 555 mg/kg pour Fe et entre 80 et 118 mg/kg pour Mn. Par contre, au niveau des ETM du Cr, Cd et Pb, les concentrations de la lagune Potou sont moins élevées que celles de la lagune de Porto-Novo (Cr : 91 ~210 mg/kg ; Cd : 5,39 ~7,33 mg/kg ; Pb : 3,52 ~ 60,62 mg/kg). Les teneurs en chrome, manganèse, zinc et cuivre sont différentes de celles obtenues par Soro *et al.* (2009) dans les sédiments de la lagune Ebrié (Cr : 8,2

~1618, 6 mg/kg ; Mn: 42,3 ~ 415,0 mg/kg ; Zn: 21,6~ 1081,7 mg/kg ; Cu : 4,8 ~217, 4 mg/kg). L'évolution des différentes concentrations métalliques met en évidence la présence de deux zones de contamination au sein de la zone d'étude. La première zone en amont (nord et centre) est marquée par les influences de la lagune Adjin et de la Mé. La seconde zone en aval (extrémité sud) est dominée essentiellement par les apports de la lagune Ebrié et du fleuve Comoé. La lagune Ebrié qui partage le même système lagunaire que la lagune Potou contribue de façon significative à la pollution observée. L'étude de l'enrichissement en ETM révèle que la plupart des métaux étudiés ont une variation allant d'un enrichissement nul à un enrichissement faible ( $FE < 2$ ) excepté le zinc et l'antimoine qui traduisent un enrichissement modéré ( $FE$  entre 2 et 5). Ces concentrations sont également confirmées par leurs valeurs d'Igéo respectives de 0, 77 et de 1,40 suggérant une absence de pollution à une pollution modérée. L'indice de géo accumulation négatif des autres ETM étudiés indique, selon Müller (1969), que ceux-ci ne constituent aucune menace de pollution pour les sédiments. Pour le nickel (Ni), le FE de la lagune Potou est moins élevé que celui du chenal est de la lagune Ebrié, selon Irié (2017) ( $FE$  (Ni) : 0,53 ~ 7,06). Il en est de même pour les FE de l'arsenic et du chrome au niveau de la rade portuaire d'Abidjan (Coulibaly *et al.*, 2014). Concernant l'indice de géo accumulation, les métaux tels que le zinc, le cadmium, le cuivre et le plomb sont considérés en lagune Ebrié, comme les polluants les plus importants des sédiments (Irié, 2017). Ces divergences pourraient s'expliquer par le fait que la lagune Potou est une lagune rurale, donc moins affectée par les activités industrielles ; contrairement à la lagune Ebrié qui se situe en milieu urbain. Il ressort de l'évaluation de la qualité des sédiments que la lagune Potou est essentiellement menacée par le zinc. Ce métal présente moins de 75 % de ces teneurs en dessous du TEC, et 53,33 % comprises entre le TEC et le PEC, contrairement aux autres métaux qui ont plus de 75 % des teneurs inférieures au TEC, moins de 75 % supérieures au PEC standard et 0 % comprises entre le TEC et le PEC. Cet ETM constitue donc un danger pour le milieu et en particulier pour les organismes benthiques. Selon Environnement Canada (1997), les effets biologiques engendrés comprennent une diminution de l'abondance des invertébrés benthiques et de la fécondation, un accroissement de la mortalité, la létalité, des modifications comportementales et un développement anormal dans les premiers stades de la vie des organismes benthiques. Par ailleurs, chez l'Homme cela pourrait aussi entraîner des atteintes au système nerveux, des effets myocardiques, des cancers et bien d'autres inconvénients (Charbonnier, 2014 ; INERIS, 2012). Cependant, le zinc n'est pas le seul métal en état de nuire à la qualité environnementale des sédiments. Des études menées dans les sédiments de la rade portuaire d'Abidjan par Coulibaly *et al.* (2014) et par Irié (2017) au niveau du chenal est de la lagune Ebrié, ont mis en évidence l'impact négatif

d'autres métaux tels que Cr, Ni, Cd, Pb, As et Cu en zone urbaine d'Abidjan, fortement polluée par les rejets industriels (Metongo *et al.*, 1993).

## **V. Conclusion:**

Les milieux aquatiques sont l'objet de multiples atteintes provoquées par les activités humaines, développées essentiellement le long des côtes. Ces activités génèrent des quantités remarquables de micropolluants, notamment des micropolluants métalliques. Ces polluants sont particulièrement redoutés en raison de leur persistance dans l'environnement et leurs conséquences sur la santé des êtres vivants. En Côte d'Ivoire, l'état alarmant de la situation, en particulier dans les milieux lagunaires du pays, a suscité la réalisation de cette étude. Son objectif principal était d'évaluer la pollution métallique des sédiments superficiels de la lagune Potou, située dans le Sud-Est du pays et en relation avec la lagune Ebrié sujette à la pollution urbaine et industrielle. L'approche méthodologique utilisée à cet effet a permis de mettre en évidence au terme de l'étude, une pollution des sédiments de la zone étudiée essentiellement par le cuivre, le fer, l'antimoine et le zinc. Ces métaux sont issus des rejets des activités domestiques, agricoles et industrielles existants autour de la lagune. Cette situation peut exercer un effet néfaste sur les organismes benthiques mais aussi chez l'Homme.

## **Liste Des Abréviations**

**AFNOR** : Association Française de Normalisation  
**CRE** : Centre de Recherche en Écologie  
**ETM** : Élément Trace Métallique  
**FIT** : Front Intertropical  
**GPS** : Global Positioning System  
**LMD** : Maîtrise Doctorat  
**PHE** : Potentially Harmful Elements  
**STRM** : Science de la Terre et des Ressources Minières  
**UFHB** : Université Felix Houphouët -Boigny  
**UFR** : Unité de Formation et de Recherche  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

## **References:**

1. Calamari, D. & Naeve, H. (1994). Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Document Technique du CPCA, No25. Rome, FAO, 129 p.
2. Charbonnier, E. (2014). Caractérisation et interprétation des teneurs naturelles en éléments traces métalliques et métalloïdes sur le territoire



- du SAN Ouest Provence, Mémoire de Stage, Université de Bourgogne, 46 p.
3. Coulibaly, A. S., Touré, M., Diangoné, E., Monde, S., Kouamé, A. & Blanc, G. (2014). Impacts des rejets accidentels sur la qualité environnementale des sédiments de la rade portuaire d'Abidjan (lagune Ebrié ; Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 8, N° 6, pp. 2842-2848.
  4. Chouti, W., Mama, D., Alassane, A., Changotade, O., Alapini, F., Boukari, M., Aminou, T. & Afouda, A. (2011). Caractérisation physicochimique de la lagune de Porto Novo (sud Bénin) et mise en relief de la pollution par le mercure, le cuivre et le zinc. *Journal of Applied Biosciences*, vol. 43, pp 2882 – 2890.
  5. Durand, J.R. & Skubich, M. (1982). Les lagunes ivoiriennes. *Aquaculture*, 27, pp. 211- 250.
  6. Environment Canada (1997). Canadian sediment quality guidelines for cadmium: Supporting document. Service de la conservation de l'environnement, Direction générale de la science des écosystèmes, Direction de la qualité de l'environnement et de la politique scientifique, Division des recommandations et des normes, Ottawa.
  7. Guiral, D. (1992). L'instabilité physique, facteur d'organisation et de structuration d'un écosystème tropical saumâtre peu profond : la lagune Ebrié. *Milieu de Vie*, vol. 42, N°2, pp 73-92.
  8. INERIS (2012). Manganèse et dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 81 p.
  9. Irie, B. T. J-G. (2017). Caractérisation de l'interface eau-sédiment dans un environnement lagunaire à forçage : hydrologie et évaluation environnementale du chenal est de la lagune
  10. Ebrié (côte d'ivoire). Thèse Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire), 215p.
  11. Keumean, K.N., Bamba, S.B., Soro, G., Soro, N., Metongo, B.S. & Biemi, J. (2013). Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à GrandBassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *J. Appl. Biosci.*, Vol. 61, pp 4530 – 4539.
  12. Kikouama, O.J.R., Konan, K.L., Katty, A., Bonnet, J.P., Balde, L. & Yagoubi, N. (2009). Physicochemical characterization of edible clays and release of trace elements. *Appl. Clay Sci.*, Vol.43, N°1, pp. 135-141.

13. Macdonald, D.D., Ingersoll, C.G. & Berge, T.A. (2000). Development Freshwater and Ecosystems Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for freshwater and Ecosystems. Arch. Env. Cont. Toxicol., 39, pp20-31.
14. Metongo, B.S., Kouassi, A.M. & Kaba, N. (1993). Evaluation quantitative et qualitative des effluents et de polluants ; cas de la Côte d'Ivoire et de la ville d'Abidjan. Centre de Recherche Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, 94 p.
15. Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal, Vol.2, pp. 109-118.
16. Soro, G., Soro, M.B., Soro, N., Ahoussi, K.E., Kouame, K.F., Zade, S.G.P. & Soro, T. (2009). Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune tropicale africaine : cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. Sci., Vol.3, N°6, pp. 1408-1427.
17. Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology, Vol.39, pp. 611-637.
18. Tastet, J.P. & Guiral, D. (1994). Géologie et sédimentologie. *in*: Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, tome II. Les milieux lagunaires, Edition ORSTOM, pp. 35- 58.
19. Varlet F. (1978). Le régime de la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). Traits physiques essentiels. Travaux et documents ORSTOM. N°83, 163p.
20. Wedepohl, K.H. (1995). The composition of continental crust. Goehimica and Cosmochimica Acta, Vol.59, N°7, pp. 1217-1232.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**David L. La Red Martínez,**  
**Stella M. Gerzel,**  
**Carlos E. Aguirre,**  
**Rubén A. Cáceres,**  
**José A. Berecochea Galarza,**  
Universidad Nacional del Chaco Austral, Sáenz  
Peña, Argentina

Submitted: 19 September 2020  
Accepted: 5 November 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*David L. La Red Martínez*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p88](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p88)

© Copyright 2020 Martínez et al.  
Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0  
OPEN ACCESS

Cite as:  
Martínez D,S.Gerzel.,C.Aguirre, R. Cáceres,Galarza  
J (2020). Uso de Minería de Datos Para la  
Determinación de Perfiles Socioeconómicos y  
Sanitarios en la UNCAus. *European Scientific  
Journal, ESJ, 16 (33)*, 87.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p88>

## Uso de Minería de Datos Para la Determinación de Perfiles Socioeconómicos y Sanitarios en la UNCAus

### Resume

El proyecto PI N° 91, aprobado por Res. N° 332/18 CS, se desarrolla con el fin de obtener información relevante que detecte variables relacionadas con los frecuentes problemas de salud en la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco, Argentina) y su área de influencia, relacionando los pacientes con su hábitat, ecología y salud. Para ello se trabaja con la información proveniente de las actividades curriculares de vinculación comunitaria que la carrera de Medicina de la UNCAus (Universidad Nacional del Chaco Austral) realiza en los distintos barrios de dicha ciudad y su zona de influencia; con dicha información se construye un almacén de datos (data warehouse) que es estudiado con técnicas de minería de datos (data mining), especialmente técnicas de agrupamiento (clusterización) y de árboles de decisión, a los efectos de conseguir los perfiles característicos relacionados con los distintos tipos de diagnósticos; en un principio se buscan modelos descriptivos de minería de datos, para pasar en el futuro a modelos predictivos, lo cual permitiría disponer de conocimiento que permitiría mejorar la toma de decisiones en cuanto a campañas de salud hacia la población de los barrios de la ciudad de P. R. Sáenz Peña.

**Subject:** Demographic data mining

**Palabras clave:** Minería De Datos,  
Soporte De Decisión, Perfiles  
Socioeconómicos, Perfiles Sanitarios,  
Minería Descriptiva, Minería Predictiva,  
Salud Humana

## Use of Data Mining to Determine the Socioeconomic and Health Profiles at UNCAus

*David L. La Red Martínez*

*Stella M. Gerzel,*

*Carlos E. Aguirre,*

*Rubén A. Cáceres,*

*José A. Berecochea Galarza,*

Universidad Nacional del Chaco Austral, Sáenz Peña, Argentina

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p88](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p88)

---

### Abstract

Project PI N ° 91, approved by Res. N ° 332/18 CS, was developed in order to obtain relevant information that detects variables related to frequent health problems in the city of Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco, Argentina) and its area of influence, relating patients to their habitat, ecology, and health. For this, we work with the information coming from the curricular activities based on the relationship with the community that the Medicine undergraduate degree program of the UNCAus (National University of Chaco Austral) carries out in the different neighborhoods of the said city and its area of influence. With this information, a data warehouse was built and studied with data mining techniques, especially clustering techniques and decision trees, in order to achieve the characteristic profiles related to the different types of diagnosis. Initially, descriptive data mining models was sought and moved on to predictive models in the future. This would result to knowledge that would lead to better decision-making regarding health campaigns towards the population of the neighborhoods of the city of P.R. Sáenz Peña.

---

**Keywords:** Data Mining, Decision Support, Socioeconomic Profiles, Health Profiles, Descriptive Mining, Predictive Mining, Human Health

### Introducción

Esta investigación responde a la necesidad de estructurar y generar información, a partir de datos obtenidos de las campañas de Actividades de Vinculación Comunitaria que realiza la carrera de Medicina como actividades curriculares, las cuales se llevan a cabo en los diferentes barrios y zonas de influencia de la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña.

Se cuenta con gran cantidad de datos referidos a la condición socio económica y de salud de los pacientes, pero estos datos son representados como fichas médicas en papeles. En este sentido resulta importante digitalizarlos para luego aplicar técnicas de almacenes de datos, análisis multidimensional y minería de datos descriptiva y a posteriori predictiva que permitan obtener nuevos resultados. La nueva información generada a partir del manejo de datos de esta investigación permitirá encontrar y estudiar los perfiles socioeconómicos y sanitarios de los distintos barrios de la población y sus relaciones, elaborar propuestas de intervención y fundamentar acciones de mejora.

El objetivo general del proyecto es determinar, mediante las técnicas de minería de datos, los factores que definirán las variables que causan las enfermedades crónicas frecuentes de la población, relacionando al paciente con su hábitat, ecología y salud; utilizando los determinantes sociales de la salud como variables.

Los objetivos específicos son: a) diseñar el sistema para ingresar la información en una base de datos, b) establecer las variables de estudio, c) aplicar las técnicas de minería de datos, d) analizar los resultados obtenidos, e) confeccionar informes, f) publicar los resultados obtenidos.

El proyecto es de cuatro años de duración, habiéndose completado el primero de ellos, por lo cual los resultados mostrados son parciales.

## **Materiales y métodos**

Se trabaja con los datos obtenidos en las campañas de Actividades de Vinculación Comunitaria que realiza la carrera de Medicina como actividades curriculares, las cuales se llevan a cabo en los diferentes barrios y zonas de influencia de la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina.

Estos datos se validan y cargan mediante una aplicación (programa) desarrollado al efecto en una base de datos, desde la cual son transferidos a un almacén de datos (Data Warehouse o DW), para ser analizados con técnicas de minería de datos (Data Mining o DM).

La DM es la etapa de descubrimiento en el proceso de KDD (Knowledge Discovery from Databases), es el paso consistente en el uso de algoritmos concretos que generan una enumeración de patrones a partir de los datos pre procesados (para asegurar consistencia y congruencia de estos) (Fayyad et al., 2001; Fayyad et al., 1996; Hand et al., 2000). También se la define como un conjunto de técnicas de análisis de datos que permiten extraer patrones, tendencias y regularidades para describir y comprender mejor los datos y extraer patrones y tendencias para predecir comportamientos futuros (Simon, 1997; Berson & Smith, 1997; Frawley et al., 1992; White, 2001).

Las técnicas de DM son diversas, una de las más utilizadas es la de clustering que consiste en la partición de un conjunto de individuos en subconjuntos lo más homogéneos posible, el objetivo es maximizar la similitud de los individuos del cluster y maximizar la diferencia entre clusters. El cluster demográfico es un algoritmo desarrollado por IBM, que resuelve automáticamente los problemas de definición de métricas de distancia / similitud, proporcionando criterios para definir una segmentación óptima (Grabmeier & Rudolph, 1998; Baragoïn et al., 2002; Ballard et al., 2007; Ballard et al., 2006).

La DM es también un mecanismo de explotación, consistente en la búsqueda de información valiosa en grandes volúmenes de datos. Está muy ligada a los DW ya que los mismos proporcionan la información histórica con la cual los algoritmos de minería obtienen la información necesaria para la toma de decisiones (Gutierrez, 2001; IBM Software Group, 2003).

Un DW es una colección de datos orientada a un dominio, integrada, no volátil y variante en el tiempo para ayudar a tomar decisiones (Salton, 1989; Inmon, 1992; Inmon, 1996; Berson & Smith, 1997; Trujillo et al., 2000).

Las tecnologías de DW y DM se vienen utilizando ampliamente en el ámbito de la salud. A continuación, se referencian algunos trabajos al respecto.

En (Holzinger & Jurisica, 2014) se indica la utilización de técnicas de descubrimiento de conocimiento y específicamente de DM, aplicadas a la informática biomédica.

En (Koh & Tan, 2005) y en (Tomar & Agarwal, 2013) se describe el uso de MD para la construcción de modelos predictivos aplicados al cuidado de la salud en general y a la predicción de riesgo de ataques cardíacos en particular en (Srinivas et al., 2010).

En (Mullins et al., 2006) se describe la utilización de DM y DW como soporte para aplicativos del cuidado de la salud, trabajando con datos clínicos de pacientes.

En (Soni et al., 2011) y en (Bhatla & Jyoti, 2014) de indican distintos modelos predictivos de enfermedades cardíacas usando diferentes técnicas de DM.

En (Kavakiotis et al., 2017) se describe la aplicación de DM como ayuda para la clasificación de datos médicos.

En (Easton et al., 2014) se aplican técnicas de DM para el estudio de la mortalidad debida a accidentes cerebrovasculares.

En (Colak et al., 2015) se aplican técnicas de DM para la predicción de ataques fulminantes y en (Arslan et al., 2016) para la predicción de ataques isquémicos.

En (Paramasivam et al., 2014) se presenta el uso de DM predictiva aplicada a casos de aneurismas aórticos abdominales.

En (Morais et al., 2017) se usa DM predictiva de la necesidad de maniobras de reanimación neonatales, y de cuidados intensivos en (Peixoto et al., 2017).

En (Obenshain, 2004) se utiliza DM para estudios epidemiológicos.

También se ha aplicado DM para estudios de salud en (Alinejad-Rokny et al., 2018; Kalantari et al., 2018; Falip et al., 2017; Kaur & Wasan, 2006), entre muchos otros.

El objetivo de este proyecto es explicitar en qué medida los determinantes sociales de la salud en los distintos barrios influyen en su situación sanitaria, utilizando variables relacionadas con el hábitat, la ecología y la salud, considerando como indicadores de esta las enfermedades crónicas que poseen los habitantes.

Se consideran las siguientes variables:

- Biología humana: edad, género, antecedentes biológicos y enfermedades crónicas no transmisibles.
- Medio ambiente: vivienda, agua y excretas.
- Socioeconómico: trabajo, cobertura de salud y nivel educacional alcanzado.
- Sistema de salud: embarazos, inmunizaciones y centros de salud cercanos.
- Estilo de vida: tabaquismo.
- Educación: máximo nivel educativo alcanzado.

En base a estas variables, se utilizan técnicas de clusterización, clasificación y determinación de patrones que permiten establecer perfiles y situaciones problemáticas potenciales.

## Resultados

Hasta el momento se ha completado la carga y procesamiento de la información recopilada durante el año 2019 (que totaliza 1241 registros de familias), siendo el primero de los cuatro años del proyecto, por lo cual los resultados son preliminares. La distribución por barrios es la siguiente: Ginés Benítez, 27,07%; Tiro Federal, 14,10%; Santa Mónica, 39,16%; Mitre, 12,09% y Aeroclub, 7,58%.

Las características distintivas resumidas de los habitantes por viviendas, por barrio, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características distintivas de los habitantes

<b>Ginés Benítez</b>	<b>Tiro Federal</b>	<b>Santa Mónica</b>	<b>Mitre</b>	<b>Aeroclub</b>
El 88% no tiene menores de 1 año, el 12% tiene 1.	El 86% no tiene menores de 1 año, el 14% tiene 1.	El 88% no tiene menores de 1 año, el 12% tiene 1.	El 88% no tiene menores de 1 año, el 11% tiene 1, el 1% 2.	El 88% no tiene menores de 1 año, el 10% tiene 1, el 1% 2.

El 60% no tiene niños de 1 a 5 años, el 30% tiene 1, el 9% 2, el 1% 3.	El 59% no tiene niños de 1 a 5 años, el 34% tiene 1, el 6% 2, el 1% 3.	El 61% no tiene niños de 1 a 5 años, el 27% tiene 1, el 7% 2, el 3% 3.	El 71% no tiene niños de 1 a 5 años, el 16% tiene 1, el 10% 2, el 2% 3.	El 51% no tiene niños de 1 a 5 años, el 30% tiene 1, el 16% 2, el 3% 3.
El 47% de las familias no tiene niños de 6 a 14 años de edad, en tanto que el 25% tiene 1 y el 17% tiene 2.	El 40% de las familias no tiene niños de 6 a 14 años de edad, en tanto que el 33% tiene 1 y el 17% tiene 2.	El 45% de las familias no tiene niños de 6 a 14 años de edad, en tanto que el 30% tiene 1 y el 15% tiene 2.	El 49% de las familias no tiene niños de 6 a 14 años de edad, en tanto que el 27% tiene 1 y el 17% tiene 2.	El 51% de las familias no tiene niños de 6 a 14 años de edad, en tanto que el 21% tiene 1 y el 17% tiene 2.
El 57% de las familias tienen una persona masculina entre 15 y 49 años de edad y el 21% no lo tiene, el 13% tiene 2.	El 59% de las familias tienen una persona masculina entre 15 y 49 años de edad y el 15% no lo tiene, el 18% tiene 2.	El 50% de las familias tienen una persona masculina entre 15 y 49 años de edad y el 21% no lo tiene, el 21% tiene 2.	El 46% de las familias tienen una persona masculina entre 15 y 49 años de edad y el 23% no lo tiene, el 23% tiene 2.	El 66% de las familias tienen una persona masculina entre 15 y 49 años de edad y el 23% no lo tiene, el 11% tiene 2.
El 70% no tiene personas de más de 50 años, el 17% tiene 1, el 10% 2.	El 67% no tiene personas de más de 50 años, el 20% tiene 1, el 13% 2.	El 57% no tiene personas de más de 50 años, el 27% tiene 1, el 15% 2.	El 55% no tiene personas de más de 50 años, el 28% tiene 1, el 15% 2.	El 75% no tiene personas de más de 50 años, el 14% tiene 1, el 11% 2.
El 87% no tiene jubilados, el 10% tiene 1, el 3% 2.	El 79% no tiene jubilados, el 15% tiene 1, el 6% 2.	El 88% no tiene jubilados, el 8% tiene 1, el 4% 2.	El 78% no tiene jubilados, el 17% tiene 1, el 5% 2.	El 95% no tiene jubilados, el 5% tiene 1.
El 57% tiene una persona femenina de 15 a 49 años, el 17% 2, el 5% 3, el 2% 4.	El 62% tiene una persona femenina de 15 a 49 años, el 14% 2, el 7% 3, 2% 4.	El 47% tiene una persona femenina de 15 a 49 años, el 19% 2, el 8% 3, 2% 4.	El 44% tiene una persona femenina de 15 a 49 años, el 19% 2, el 7% 3, 2% 4.	El 69% tiene una persona femenina de 15 a 49 años, el 9% 2, el 2% 3.
El 99% no tiene embarazadas menores de 17	El 99% no tiene embarazadas menores de 17	El 99% no tiene embarazadas menores de 17	El 100% no tiene embarazadas	El 99% no tiene embarazadas menores de 17



años, el 1% tiene 1.	años, el 1% tiene 1.	años, el 1% tiene 1.	menores de 17 años.	años, el 1% tiene 1.
El 99% no tiene embarazadas de 18 a 21 años, el 1% tiene 1.	El 98% no tiene embarazadas de 18 a 21 años, el 2% tiene 1.	El 99% no tiene embarazadas de 18 a 21 años, el 1% tiene 1.	El 99% no tiene embarazadas de 18 a 21 años, el 1% tiene 1.	El 97% no tiene embarazadas de 18 a 21 años, el 3% tiene 1.
El 99% no tiene embarazadas mayores de 21 años, el 1% tiene 1.	El 98% no tiene embarazadas mayores de 21 años, el 2% tiene 1.	El 99% no tiene embarazadas mayores de 21 años, el 1% tiene 1.	El 98% no tiene embarazadas mayores de 21 años, el 2% tiene 1.	El 95% no tiene embarazadas mayores de 21 años, el 5% tiene 1.
El 1% no tiene controles prenatales.	El 0% no tiene controles prenatales.	El 0% no tiene controles prenatales.	El 1% no tiene controles prenatales.	El 2% no tiene controles prenatales.
El 12% tiene 2 integrantes con controles prenatales incompletos; el 10% 1, el 3% 3.	El 12% tiene 1 integrantes con controles prenatales incompletos; el 10% 2, el 5% 4.	El 10% tiene 1 integrantes con controles prenatales incompletos; el 9% 2, el 7% 3.	El 12% tiene 1 integrantes con controles prenatales incompletos; el 11% 2, el 4% 3.	El 17% tiene 1 integrantes con controles prenatales incompletos; el 19% 2, el 6% 5.
El 2% tiene controles prenatales.	El 3% tiene controles prenatales.	El 2% tiene controles prenatales.	El 2% tiene controles prenatales.	El 6% tiene controles prenatales.
El 81% informó no tener desempleados, el 11% 1 y el 5% 2.	El 81% informó no tener desempleados, el 10% 1 y el 5% 2.	El 71% informó no tener desempleados, el 15% 1 y el 7% 2.	El 61% informó no tener desempleados, el 18% 1 y el 15% 2.	El 71% informó no tener desempleados, el 20% 1 y el 7% 2.
El 57% informó no tener ama de casa y el 41% informó tener 1.	El 59% informó no tener ama de casa y el 39% informó tener 1.	El 58% informó no tener ama de casa y el 37% informó tener 1.	El 59% informó no tener ama de casa y el 39% informó tener 1.	El 54% informó no tener ama de casa y el 45% informó tener 1.
El 76% no tiene trabajadores	El 81% no tiene trabajadores	El 79% no tiene trabajadores	El 78% no tiene trabajadores	El 82% no tiene trabajadores

por cuenta propia permanente, el 19% tiene 1, el 5% 2.	por cuenta propia permanente, el 17% tiene 1, el 2% 2.	por cuenta propia permanente, el 15% tiene 1, el 5% 2.	por cuenta propia permanente, el 13% tiene 1, el 8% 2.	por cuenta propia permanente, el 14% tiene 1, el 4% 2.
El 63% no tiene trabajadores por cuenta propia temporal, el 30% tiene 1, el 5% 2.	El 62% no tiene trabajadores por cuenta propia temporal, el 30% tiene 1, el 7% 2.	El 66% no tiene trabajadores por cuenta propia temporal, el 25% tiene 1, el 8% 2.	El 74% no tiene trabajadores por cuenta propia temporal, el 17% tiene 1, el 7% 2.	El 67% no tiene trabajadores por cuenta propia temporal, el 29% tiene 1, el 3% 2.
El 73% no tiene personas empleadas, el 18% tiene 1, el 8% 2, el 1% 3.	El 59% no tiene personas empleadas, el 29% tiene 1, el 10% 2, el 2% 3.	El 65% no tiene personas empleadas, el 26% tiene 1, el 7% 2, el 1% 3, el 1% 4.	El 65% no tiene personas empleadas, el 26% tiene 1, el 7% 2, el 2% 3.	El 61% no tiene personas empleadas, el 32% tiene 1, el 7% 2.
El 60% no tiene mutual, el 13% tiene una persona con mutual, el 7% 4, el 7% 3.	El 62% no tiene mutual, el 13% tiene una persona con mutual, el 7% 4, el 7% 2.	El 67% no tiene mutual, el 14% tiene una persona con mutual, el 7% 2, el 3% 3.	El 55% no tiene mutual, el 15% tiene una persona con mutual, el 9% 2, el 8% 3.	El 55% no tiene mutual, el 21% tiene una persona con mutual, el 7% 2, el 5% 3.
El 31% tiene 1 persona con educación primaria, el 30% 0, el 26% 2.	El 28% tiene 1 persona con educación primaria, el 26% 0, el 29% 2.	El 30% tiene 1 persona con educación primaria, el 21% 0, el 29% 2.	El 34% tiene 1 persona con educación primaria, el 25% 0, el 20% 2, el 10% 3.	El 36% tiene 1 persona con educación primaria, el 35% 0, el 19% 2, el 6% 3.
El 54% no tiene personas con educación secundaria, el 25% tiene 1, el 14% 2, el 4% 3.	El 49% no tiene personas con educación secundaria, el 33% tiene 1, el 14% 2, el 4% 3.	El 53% no tiene personas con educación secundaria, el 25% tiene 1, el 15% 2, el 3% 3.	El 48% no tiene personas con educación secundaria, el 31% tiene 1, el 13% 2, el 5% 3.	El 56% no tiene personas con educación secundaria, el 24% tiene 1, el 16% 2, el 2% 3.
El 91% no tiene personas con educación superior, el 7%	El 88% no tiene personas con educación superior, el	El 95% no tiene personas con educación superior, el 4%	El 89% no tiene personas con educación superior, el 8%	El 94% no tiene personas con educación superior, el 6% tiene 1.

tiene 1, el 2% 2.	10% tiene 1, el 1% 2, el 1% 3.	tiene 1, el 1% 2.	tiene 1, el 3% 2.	
El 90% tiene agua de red directa y el 8% por canilla comunitaria, el 2% de perforación.	El 82% tiene agua de red directa y el 15% por canilla comunitaria, el 3% de perforación.	El 71% tiene agua de red directa y el 24% por canilla comunitaria, el 4% de perforación.	El 84% tiene agua de red directa y el 11% por canilla comunitaria, el 5% de perforación.	El 8% tiene agua de red directa y el 82% por canilla comunitaria, el 10% de perforación.
El 78% tiene pozo ciego, el 14% cloaca y el 8% letrina.	El 70% tiene pozo ciego, el 25% cloaca y el 5% letrina.	El 57% tiene pozo ciego, el 34% cloaca y el 9% letrina.	El 92% tiene pozo ciego, el 1% cloaca y el 7% letrina.	El 72% tiene pozo ciego y el 28% letrina.
El 43% no tiene animales desparasitados, el 22% tiene 1, el 14% 2 y el 10% 3.	El 38% no tiene animales desparasitados, el 18% tiene 1, el 18% 2 y el 9% 3.	El 44% no tiene animales desparasitados, el 18% tiene 1, el 14% 2 y el 9% 3.	El 42% no tiene animales desparasitados, el 15% tiene 2, el 12% 1 y el 11% 3.	El 64% no tiene animales desparasitados, el 14% tiene 1, el 7% 3 y el 5% 4.
El 99% informó no tener animales para consumo.	El 99% informó no tener animales para consumo.	El 97% informó no tener animales para consumo.	El 94% informó no tener animales para consumo.	El 98% informó no tener animales para consumo.
El 89% no tiene enfermos de Chagas, el 10% tiene 1, el 1% 2.	El 91% no tiene enfermos de Chagas, el 9% tiene 1.	El 90% no tiene enfermos de Chagas, el 8% tiene 1, el 2% 2.	El 95% no tiene enfermos de Chagas, el 4% tiene 1, el 1% 2.	El 95% no tiene enfermos de Chagas, el 4% tiene 1, el 1% 2.
El 75% no tiene personas con tabaquismo, el 20% tiene 1, el 4% 2.	El 79% no tiene personas con tabaquismo, el 14% tiene 1, el 6% 2, el 1% 4.	El 81% no tiene personas con tabaquismo, el 15% tiene 1, el 3% 2, el 1% 3.	El 87% no tiene personas con tabaquismo, el 10% tiene 1, el 1% 2, el 1% 4, el 1% 5.	El 92% no tiene personas con tabaquismo, el 7% tiene 1, el 1% 2.
El 89% no tiene personas con diabetes, el 10% tiene 1, el 1% tiene 2.	El 87% no tiene personas con diabetes, el 10% tiene 1, el 3% tiene 2.	El 88% no tiene personas con diabetes, el 11% tiene 1, el 1% tiene 2.	El 90% no tiene personas con diabetes, el 10% tiene 1.	El 91% no tiene personas con diabetes, el 9% tiene 1.

El 79% no tiene personas con hipertensión, el 20% tiene 1, el 1% tiene 2.	El 78% no tiene personas con hipertensión, el 18% tiene 1, el 4% tiene 2.	El 82% no tiene personas con hipertensión, el 16% tiene 1, el 2% tiene 2.	El 75% no tiene personas con hipertensión, el 20% tiene 1, el 4% tiene 2.	El 85% no tiene personas con hipertensión, el 14% tiene 1, el 1% tiene 2.
El 1% tiene tuberculosis tratado.	El 0% tiene tuberculosis tratado.	El 0% tiene tuberculosis tratado.	El 1% tiene tuberculosis tratado.	El 3% tiene tuberculosis tratado.
El 96% de las viviendas son casas, el 3% locales comerciales, el 1% rancho.	El 99% de las viviendas son casas, el 1% locales comerciales, el 1% departamento.	El 90% de las viviendas son casas, el 5% rancho, el 4% locales comerciales, el 1% departamento.	El 85% de las viviendas son casas, el 4% rancho, el 9% locales comerciales, el 3% departamento.	El 86% de las viviendas son casas, el 10% rancho, el 3% locales comerciales, el 1% sitio baldío.
El 89% de las viviendas tiene 1 familia, el 9% 2, el 1% 3, el 1% 4.	El 91% de las viviendas tiene 1 familia, el 8% 2, el 1% 3.	El 86% de las viviendas tiene 1 familia, el 13% 2, el 1% 3.	El 85% de las viviendas tiene 1 familia, el 10% 2, el 5% 3.	El 95% de las viviendas tiene 1 familia, el 3% 2, el 2% 3.
El 23% tiene 4 convivientes, el 19% 5, el 18% 3, el 10% 6.	El 27% tiene 4 convivientes, el 24% 5, el 13% 3, el 10% 2.	El 20% tiene 5 convivientes, el 18% 4, el 15% 3, el 11% 6, el 9% 2.	El 19% tiene 5 convivientes, el 15% 4, el 15% 3, el 13% 6, el 12% 2.	El 29% tiene 3 convivientes, el 20% 4, el 15% 5, el 14% 2, el 6% 6.

Así como en la tabla precedente el estudio se ha hecho desde la perspectiva (dimensión de análisis) de los barrios, también se hará (para futuras publicaciones) desde las perspectivas educación primaria, educación secundaria, educación superior, embarazadas menores de 17 años, desempleados, mutual sí, mutual no, niños de 1 a 5 años, tabaquismo, hipertensión, diabetes, Chagas, tuberculosis tratado, tuberculosis no tratado, animales desparasitados, animales para consumo, total de convivientes, vivienda, excretas, agua, etc.

## Comentarios y discusiones

Los principales comentarios y discusiones se resumen en la Tabla 2.

**Table 2.** Principales comentarios y discusiones

Ítem considerado	B° con mayor %	B° con menor %
Menores de 1 año	Tiro Federal	

Niños de 1 a 5 años	Aeroclub	
Niños de 6 a 14 años	Tiro Federal	
Masculinos entre 15 y 49 años	Tiro Federal	
Personas de más de 50 años	Mitre	
Jubilados	Mitre	
Personas femeninas de 15 a 49 años	Tiro Federal	
Embarazadas menores de 17 años		Mitre
Embarazadas de 18 a 21 años	Aeroclub	
Embarazadas mayores de 21 años	Aeroclub	
Sin controles prenatales	Aeroclub	
Controles prenatales incompletos	Aeroclub	
Con controles prenatales	Aeroclub	
Desempleados	Mitre	
Amas de casa	Aeroclub	
Trabajadores por cuenta propia permanente	Ginés Benítez	
Trabajadores por cuenta propia temporal	Tiro Federal	
Personas empleadas	Tiro Federal	
Sin mutual	Santa Mónica	
Con educación primaria	Mitre	
Sin educación secundaria	Aeroclub	
Sin educación superior	Aeroclub	
Agua de red directa	Ginés Benítez	Aeroclub
Agua por canilla comunitaria	Aeroclub	Ginés Benítez
Agua de perforación	Aeroclub	Ginés Benítez
Pozo ciego	Mitre	Santa Mónica
Cloaca	Santa Mónica	Aeroclub
Letrina	Aeroclub	Tiro Federal
Animales no desparasitados	Aeroclub	
Animales para consumo	Mitre	
Personas con Chagas	Ginés Benítez	
Personas con tabaquismo	Ginés Benítez	
Personas con diabetes	Tiro Federal	
Personas con hipertensión	Mitre	
Personas con tuberculosis tratado	Aeroclub	
Casas	Tiro Federal	
Locales comerciales	Mitre	
Rancho	Aeroclub	
Departamento	Mitre	
Sitio baldío	Aeroclub	
Viviendas con una familia	Aeroclub	
Viviendas con 3 convivientes	Aeroclub	
Viviendas con 4 convivientes	Tiro Federal	
Viviendas con 5 convivientes	Tiro Federal	
Viviendas con 6 convivientes	Mitre	

## **Conclusiones y líneas futuras de investigación**

La metodología de trabajo propuesta ha demostrado ser de utilidad para la recolección de la información, su carga, depuración y procesamiento con técnicas de almacenes de datos y de minería de datos.

Conforme a lo planificado, se ha podido caracterizar la población y el entorno de los distintos barrios incluidos en las actividades curriculares de la carrera de Medicina de la UNCAus, como se ha mostrado en las tablas 1 y 2. Esta caracterización permite extraer las siguientes conclusiones:

- El mayor porcentaje de niños menores de 1 año corresponde al B° Tiro Federal.
- El mayor porcentaje de jubilados y personas mayores corresponde al B° Mitre.
- El menor porcentaje de embarazadas menores de 17 años corresponde al B° Mitre.
- El mayor porcentaje de embarazos sin controles prenatales o con controles prenatales incompletos corresponde al B° Aeroclub.
- El mayor porcentaje de desempleados corresponde al B° Mitre.
- Las mayores falencias en el suministro de agua potable de red se dan en el B° Aeroclub.
- Las mayores falencias en cuanto a red cloacal se dan en los B° Mitre y Aeroclub.
- El mayor porcentaje de mascotas no desparasitadas se observa en el B° Aeroclub.
- Los mayores porcentajes de mal de Chagas y de tabaquismo se detectaron en el B° Ginés Benítez.
- El mayor porcentaje de diabetes se detectó en el B° Tiro Federal.
- El mayor porcentaje de hipertensión se registró en el B° Mitre.
- El mayor porcentaje de tuberculosis corresponde al B° Aeroclub.
- El mayor porcentaje de viviendas precarias se registró en el B° Aeroclub.
- El mayor porcentaje de situaciones de hacinamiento de detectó en el B° Mitre.

Esta información característica de la población y de su realidad socioeconómica referida a varios barrios de la ciudad de Roque Sáenz Peña, que se pudo cuantificar con el estudio realizado, permitirá tomar líneas de acción específicas a las autoridades pertinentes, tales como:

- Campañas de educación sexual y planificación familiar.
- Campañas de concientización acerca de la necesidad de los controles prenatales.

- Obras de extensión de la red de agua potable y de la red cloacal.
- Planes de mejoramiento de las unidades habitacionales y reducción del hacinamiento.
- Campañas para desparasitar mascotas.
- Campañas para prevenir o tratar casos de mal de Chagas, tabaquismo, diabetes, hipertensión y tuberculosis.
- Campañas de capacitación de adultos desempleados con vistas a su inserción laboral.
- Campañas de asistencia especial a jubilados y adultos mayores.

En la Tabla 3 se indican los barrios prioritarios para las distintas acciones específicas mencionadas.

Asimismo, habiéndose demostrado la utilidad de la metodología empleada para la recolección, carga y procesamiento de la información, como así también para la obtención de conclusiones factibles de convertirse en acciones concretas de mejora para la población, se ha planificado seguir trabajando en los próximos años con la misma metodología y cubriendo otros barrios, además de realizar nuevas visitas a los ya mencionados.

**Table 3.** Barrios prioritarios para acciones específicas

Barrios prioritarios para acciones específicas	B° Tiro Federal	B° Aeroclub	B° Mitre	B° Ginés Benítez
<b>Acciones específicas</b>				
Campañas de educación sexual y planificación familiar	X			
Campañas de concientización acerca de la necesidad de los controles prenatales		X		
Obras de extensión de la red de agua potable y de la red cloacal		X		
Planes de mejoramiento de las unidades habitacionales y reducción del hacinamiento		X	X	
Campañas para desparasitar mascotas		X		
Campañas para prevenir o tratar casos de mal de Chagas y tabaquismo				X
Campañas para tratar diabetes	X			
Campañas para tratar hipertensión			X	
Campañas para tratar tuberculosis		X		
Campañas de capacitación de adultos desempleados con vistas a su inserción laboral			X	

Campañ�as de asistencia especial a jubilados y adultos mayores			X	
--	--	--	---	--

### Agradecimientos

Este trabajo es sostenido por el Proyecto de Investigación “Determinación de perfiles socioeconómicos y sanitarios de las personas atendidas en las campañas efectuadas como actividades curriculares de la carrera de Medicina de la UNCAus en su área de influencia”, PI N  91, aprobado por Res. N  332/18 CS de la Universidad Nacional del Chaco Austral (Argentina). El software ISW (InfoSphere Warehouse) de gestión de DW y de DM fue obtenido de IBM a través de la Iniciativa Académica de dicha empresa.

### References:

1. Alinejad-Rokny, H., Sadroddiny, E. & Scaria, V. (2018). Machine learning and data mining techniques for medical complex data analysis. ELSEVIER. Neurocomputing.
2. Arslan, A. K., Colak, C. & SarihanbaInonu, M. E. (2016). Different medical data mining approaches-based prediction of ischemic stroke. ELSEVIER. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 130. 87–92.
3. Ballard, CH., Beaton, A., Chiou, D., Chodagam, J., Lowry, M., Perkins, A., Phillips, R. & Rollins, J. (2006). Leveraging DB2 data warehouse edition for business intelligence. En IBM International Technical Support Organization. USA, IBM Press.
4. Ballard, CH., Rollins, J., Ramos, J., Perkins, A., Hale, R., Dorneich, A., Cas Milner, E. & Chodagam, J. (2007). Dynamic warehousing: Data mining made easy. En IBM International Technical Support Organization. USA, IBM Press.
5. Baragoin, C., Chan, R., Gottschalk, H., Meyer, G., Pereira, P. & Verhees, J. (2002). Enhance your business applications. Simple integration of advanced data mining functions. En IBM International Technical Support Organization. USA, IBM Press.
6. Berson, A. & Smith, S. J. (1997). Data warehouse, data mining & OLAP. USA. Mc Graw Hill.



7. Bhatla, N. & Jyoti, K. (2012). An Analysis of Heart Disease Prediction using Different Data Mining Techniques. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 1-8. 1-4.
8. Colak, C., Karaman, E., Gokhan TurtaybaI, M. (2015). Application of knowledge discovery process on the prediction of stroke. *ELSEVIER. Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 119. 181–185.
9. Easton, J. F., Stephens, C. R. & Angelova, M. (2014). Risk factors and prediction of very short term versus short / intermediate term post-stroke mortality: A data mining approach. *ELSEVIER. Computers in Biology and Medicine*. 54. 199–210.
10. Falip, J., Aït-Younes, A., Blanchard, F., Delemer, B., Diallo, A. & Herbin, M. (2017). Visual instance-based recommendation system for medical data mining. *ELSEVIER. Procedia Computer Science*. 112. 1747–1754.
11. Fayyad, U., Grinstein, G. & Wierse, A. (2001). *Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery*. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
12. Fayyad, U., Piatetskiy-Shapiro, G., Smith, P. & Ramasasmy, U. (1996). *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. USA: AAAI Press / MIT Press.
13. Frawley, W., Piatetsky-Shapiro, G. & Matheus, CH. (1992). Knowledge Discovery in Database an Overview. En Piatetsky-Shapiro, G Frawley, W. J (Ed) *Knowledge discovery in databases* (pp. 1-31). USA: The AAAI Press.
14. Grabmeier, J. & Rudolph, A. (1998). Techniques of cluster algorithms in data mining version 2.0. En IBM Deutschland Information System GmbH. GBIS (Global Business Intelligence Solutions). Germany. IBM Press.
15. Gutierrez, J. (2001). *Data Mining, Extracción de Conocimiento en Grandes Bases de Datos*. Ponencia o documento presentado en VII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación – V Escuela Internacional de Informática, Calafate, Argentina.
16. Hand, D., Mannila, H. & Smyth, P. (2000). *Principles of Data Mining*. USA: The MIT Press. USA.
17. Holzinger, A. & Jurisica, I. (2014). *Knowledge Discovery and Data Mining in Biomedical Informatics: The Future Is in Integrative,*

- Interactive Machine Learning Solutions. Springer-Verlag. LNCS 8401. Knowledge Discovery and Data Mining in Biomedical Informatics. 1-18.
18. IBM Software Group (2003). Enterprise Data Warehousing with DB2: The 10 Terabyte TPC-H Benchmark. IBM Press. USA.
  19. Inmon, W. (1996). Building the Data Warehouse. USA: John Wiley & Sons.
  20. Inmon, W. (1992). Data Warehouse Performance. USA: John Wiley & Sons.
  21. Kalantari, A., Kamsin, A., Shamshirband, S., Gani, A., Alinejad-Rokny, H. & Chronopoulos, A.T. (2018). Computational intelligence approaches for classification of medical data: State-of-the-art, future challenges and research directions. ELSEVIER. Neurocomputing. 276. 2–22.
  22. Kaur, H. & Wasan, S. K. (2006). Empirical Study on Applications of Data Mining Techniques in Healthcare. Science Publications. Journal of Computer Science. 2-2. 194-200.
  23. Kavakiotis, I., Tsave, O., Salifoglou, A., Maglaveras, N. Vlahavas, I. & Chouvarda, I. (2017). Machine Learning and Data Mining Methods in Diabetes Research. ELSEVIER. Computational and Structural Biotechnology Journal. 15. 104–116.
  24. Koh, H.C. & Tan, G. (2005). Data Mining Applications in Healthcare. Journal of Healthcare Information Management. 19-2. 64-72.
  25. Morais, A., Peixoto, H., Coimbra, C., Abelha, A. & Machado, J. (2017). Predicting the need of Neonatal Resuscitation using Data Mining. ELSEVIER. Procedia Computer Science. 113. 571–576.
  26. Mullins, I. M., Siadat, M. S., Lyman, J., Scully, K., Garrett, C. T., Miller, W. G., Muller, R., Robson, B., Apte, C., Weiss, S., Rigoutsos, I., Platt, D., Cohen, S. & Knaus, W.A. (2006). Data mining and clinical data repositories: Insights from a 667,000 patient data set. ELSEVIER. Computers in Biology and Medicine. 36. 1351–1377.
  27. Obenshain, M.K. (2004). Application of Data Mining Techniques to Healthcare Data. MAT. Statistics for Hospital Epidemiology. 25-8. 690-695.
  28. Paramasivam, V., Yee, T.S., Dhillon, S. K. & Sidhu, A. S. (2014). A methodological review of data mining techniques in predictive

- medicine: An application in hemodynamic prediction for abdominal aortic aneurysm disease. ELSEVIER. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 34. 139–145.
29. Peixoto, R., Ribeiro, L., Portela, F., Santos, M. F. & Rua, F. (2017). Predicting Resurgery in Intensive Care - A data Mining Approach. ELSEVIER. *Procedia Computer Science*. 113. 577–584.
  30. Salton, G. (1989). *Automatic Text Processing: The Transformation, Analysis and Retrieval of Information by Computer*. Addison, Wesley.
  31. Simon, A. (1997). *Data Warehouse, Data Mining and OLAP*. USA: John Wiley & Sons.
  32. Soni, J., Ansari, U. & Sharma, D. (2011). Predictive Data Mining for Medical Diagnosis: An Overview of Heart Disease Prediction. *International Journal of Computer Applications*. 17-8. 43–48.
  33. Srinivas, K., Kavihta Rani, B. & Govrdhan, A. (2010). Applications of Data Mining Techniques in Healthcare and Prediction of Heart Attacks. *International Journal on Computer Science and Engineering*. 2-2. 250-255.
  34. Tomar, D. & Agarwal, S. (2013). A survey on Data Mining approaches for Healthcare. SERSC. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*. 5-5. 241-266.
  35. Trujillo, J., Palomar, M. & Gomez, J. (2000). Applying Object-Oriented Conceptual Modeling Techniques to The Design of Multidimensional Data-bases and OLAP Applications. En *First International Conference On Web-Age Information Management WAIM 2000*. *Lecture Notes in Computer Science* 1846. 83-94.
  36. White, CJ. (2001). *Enterprise Analytics for the Intelligent e-Business*. USA: IBM Press.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Papa Malick Ndiaye

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

## Demba Gaye

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor, Sénégal

## Seydou Alassane Sow

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

Submitted: 19 October 2020

Accepted: 19 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Demba Gaye*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p105](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105)

 Copyright 2020 Gaye et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Ndiaye P, Demba G, Seydou S (2020).  
Caractérisation Spatiotemporelle Et Analyse De La  
Tendance Des Températures Au Sénégal. *European  
Scientific Journal, ESJ, 16 (33)*, 105.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105>

# Caractérisation Spatiotemporelle Et Analyse De La Tendance Des Températures Au Sénégal

## Resume

La connaissance de la variation spatiotemporelle des températures et l'analyse de leur tendance constituent un aspect essentiel dans la compréhension des changements climatiques et le développement de stratégies d'adaptation et de mitigation. L'objectif de ce travail est de contribuer à la connaissance de l'évolution des températures au Sénégal. De façon spécifique, il s'agit d'abord, de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures, ensuite, de déterminer les anomalies et enfin de détecter les tendances des températures au Sénégal. Pour ce faire, les données mensuelles de températures maximale et minimale de 20 stations synoptiques sont utilisées. La méthodologie adoptée consiste à cartographier les températures (maximale, minimale et moyenne) aux échelles mensuelle et annuelle, détecter les anomalies par l'application de l'indice de Lamb et d'analyser les tendances par le test de Mann Kendall et la pente de Sen. Les résultats montrent que les températures moyennes varient de 19°C à 35°C et les mois de mars et avril sont les plus chauds. Du point de vue spatial, plus on s'éloigne des côtes, plus les températures sont élevées. La détection des anomalies révèle une hausse de 0,68°C et 1,27°C des températures maximale et minimale sur la période 1960 - 2015. L'analyse de tendance montre une augmentation significative des températures maximale et minimale annuelles et saisonnières sur la période 1960 - 2015 sur la quasi-totalité du pays. Les résultats montrent aussi une augmentation plus vite des températures minimales que celles maximales. Il serait

donc important d'analyser la tendance des autres paramètres climatiques pour comprendre le pourquoi les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Il serait intéressant aussi d'étudier les impacts de la hausse des températures sur les systèmes biophysiques et socioéconomiques du Sénégal.

---

**Subject:** Géographie physique

**Mots clés :** Caractérisation spatiotemporelle, Anomalies, Tendance, Températures, Test de Mann Kendall, Sénégal

## **Spatiotemporal characterization and temperature trend analysis in Senegal**

***Papa Malick Ndiaye,***

Laboratoire Leïdi “Dynamique des Territoires et Développement”,  
Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

***Demba Gaye,***

Laboratoire de Géomatique et d’Environnement, Département de  
Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor, Sénégal

***Seydou Alassane Sow,***

Laboratoire Leïdi “Dynamique des Territoires et Développement”,  
Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p105](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105)

---

### **Abstract**

Knowledge of the spatiotemporal variation in temperatures and the analysis of their trend is an essential aspect in understanding climate change and developing adaptation and mitigation strategies. The objective of this work is to contribute to the knowledge of the evolution of temperatures in Senegal. Specifically, it is first of all to do a spatiotemporal characterization of temperatures, then to determine anomalies and finally to detect temperature trends in Senegal. For this, monthly data of maximum and minimum temperatures from 20 synoptic stations are used. The methodology adopted consists in mapping the temperatures (maximum, minimum and average) on monthly and annual scales, detecting anomalies by applying the Lamb index and analyzing the trends by the Mann Kendall test and the slope of Sen. The results show that average temperatures vary from 19 ° C to 35 ° C and the months of March and April are the hottest. From a spatial point of view, the further away from the coast the higher the temperatures. The detection of anomalies reveals an increase of 0.68 ° C and 1.27 ° C in maximum and minimum temperatures over the period 1960 - 2015. Trend analysis shows a significant increase in annual and seasonal maximum and minimum temperatures over the period 1960 – 2015 in almost the all country. period 1960 - 2015. The results also show a faster increase in minimum temperatures than maximum ones. It would therefore be important to analyze the trend of other climatic parameters to understand why minimum temperatures are increasing faster than maximum ones. It would also be interesting to study the

impacts of rising temperatures on Senegal's biophysical and socioeconomic systems.

---

**Keywords:** Spatiotemporal characterization, Anomalies, Trend, Temperatures, Mann Kendall test, Senegal

## 1. Introduction

Le changement climatique est un fait indéniable qui altère la distribution spatiotemporelle des ressources en eau affectant ainsi les systèmes sociaux, économiques et écologiques (Jun *et al.*, 2012). Ainsi, depuis plusieurs années, les spécialistes du climat n'ont cessé d'alerter sur les modes d'exploitation des ressources dont les conséquences sont néfastes aussi bien pour la nature que pour les activités humaines. L'utilisation des énergies fossiles, certaines pratiques agricoles et les dynamiques d'occupation du sol, la forte urbanisation ont engendré une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce changement climatique est engendré par une hausse des températures favorisant ainsi l'augmentation du niveau de la mer, la modification du cycle hydrologique, la fréquence des phénomènes extrêmes et l'apparition de certains types de maladies (Niang *et al.*, 2014 ; Sylla, 2016). Ces changements affectent tous les territoires à degrés divers. Ainsi, dans son cinquième rapport, le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2014) a noté que la température moyenne augmente plus vite en Afrique qu'à l'échelle du globe. Ainsi, l'Afrique de l'Ouest, en particulier, est l'une des régions du globe les plus touchées par le changement climatique en cours et projeté malgré sa faible contribution (Alies, 2018). Les prévisions du GIEC s'accordent sur une augmentation des températures annuelles de l'ordre de +1°C à +3°C d'ici 2050 et jusqu'à 4°C d'ici la fin du siècle. Cette augmentation des températures peut avoir beaucoup d'impacts sur les écosystèmes naturels, les activités économiques et sur la santé des populations (Chaouche *et al.*, 2010, Jun *et al.*, 2012 ; Tao *et al.*, 2015, Rahman *et al.*, 2018). La hausse des températures accroît la demande évaporative et le déficit de saturation de l'air et affecte, par conséquent, le développement des cultures (Amigues *et al.*, 2006). La santé des populations peut aussi être affectée par l'augmentation des températures. Les vagues de chaleur observées en Europe en Aout 2003 et qui ont occasionné environ 22 000 à 45 000 morts, constituent un exemple patent (Patz *et al.*, 2005).

Dès lors, il est important de connaître le comportement et la variation des températures afin de pouvoir prévenir certains phénomènes y afférents. L'étude de l'évolution des phénomènes climatiques se fait de différentes méthodes, mais celle la plus répandue dans la littérature est l'application des tests de tendance (Mahyou et Buhairi, 2010, Xin-e *et al.*, 2015, Stan *et al.* 2015, Peng *et al.*, 2017, Rahman, 2018). Le test le plus utilisé est celui de Man

Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975). Ce test a été recommandé par l'Organisation météorologique mondiale pour l'analyse de l'évolution des variables hydro-climatiques (OMM, 1994). Il est un test non-paramétrique parce qu'il ne se base pas sur un indice statistique et n'impose aucune distribution particulière aux données (Keltoum *et al.*, 2010). Le test de Mann Kendall est utilisé par plusieurs auteurs (Al Buhairi, 2010 ; Chaouchou *et al.*, 2010, Patz, 2012, Sharad et Kumar, 2012, Qi, 2017 ; Rahman, 2018) à travers le monde, pour analyser la tendance des variables climatiques : précipitation, température, évapotranspiration, etc.

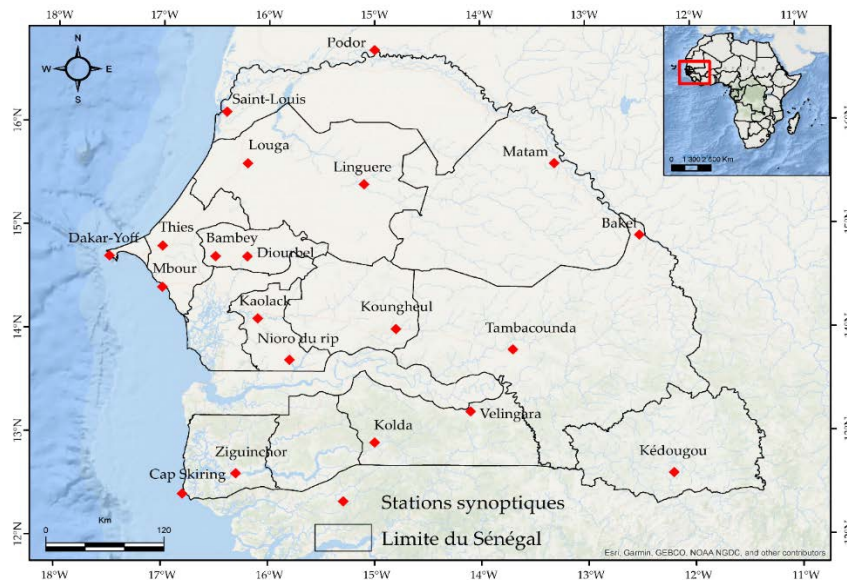
Partant de ce constant et compte tenu des effets de la hausse de la température sur les systèmes physiques et socioéconomiques, il est important de mieux comprendre l'évolution des températures afin d'anticiper sur ses potentiels impacts et de développer des stratégies de résilience. L'objet de ce travail est de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures et d'analyser leur tendance au Sénégal. De façon spécifique, il s'agit : (i) de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures (moyenne, maximale et minimale), (ii) de déterminer les anomalies de température et (iii) d'analyser ses tendances sur la période 1960 - 2015.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Zone d'étude**

Le Sénégal est un pays d'Afrique de l'Ouest situé en latitudes 12°30 et 16°30N et en longitude 11°30 et 17°30W (figure 1). La topographie est relativement basse avec un point culminant de 581 m au sud-est du pays. Il s'étend sur trois zones climatiques : la zone sahélienne au nord et au centre (Pmm < 500 mm), les zones nord-soudanienne et sud-soudanienne au sud (Pmm respectivement inférieure à 1000 mm et 1500 mm). Chacune des zones est composée de deux domaines de part et d'autre de l'isotherme 26,7° qui constitue la moyenne nationale : les domaines sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien côtiers avec des températures inférieures à la moyenne et les domaines sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien continentaux avec des températures supérieures à la moyenne. Au Sénégal, deux saisons inégalement réparties caractérisent le climat, une saison de pluie courte (maximum 3 mois au nord) à relativement courte (5 mois au sud) et une longue saison sèche soumise à la prédominance des flux d'Harmattan vent chaud et sec et parfois chargé de poussières, issu de l'Anticyclone maghrébin ou saharo-libyen.





**Figure 1 :** Localisation du Sénégal et des stations synoptiques retenues pour l'étude  
Source : Ndiaye et al., 2020

## 2.2. Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de ce travail proviennent de la base de données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et Météorologique (ANACIM) du Sénégal. Il s'agit des températures mensuelles de 20 stations réparties sur le territoire. Le choix de ces stations s'explique par la disponibilité des données sur la période retenue pour l'étude (1960 - 2015). En effet, seules les stations qui ont série supérieure ou égale à 30 ans sont maintenues pour l'étude (Tableau 1). Les quelques données manquantes de quelques stations ont été comblés par les valeurs des stations les plus proches.

**Tableau 1.** Principales caractéristiques des stations retenues

Stations	Longitude	Latitude	Période	Nombre d'années
Bambey	-16,5	14,7	1960 - 2015	56
Dakar-Yoff	-17,5	14,7	1960 - 2015	56
Diourbel	-16,2	14,7	1960 - 2015	56
Kaolack	-16,1	14,1	1960 - 2015	56
Kédougou	-12,2	12,6	1960 - 2015	56
Kolda	-15	12,9	1960 - 2015	56
Koungheul	-14,8	14	1960 - 2015	56
Louga	-16,2	15,6	1963 - 2015	53
Matam	-13,3	15,6	1960 - 2015	56
Mbour	-17	14,4	1960 - 2015	56
Podor	-15	16,7	1960 - 2015	56
Saint-Louis	-16,4	16,1	1960 - 2015	56
Tambacounda	-13,7	13,8	1960 - 2015	56

Ziguinchor	-16,3	12,6	1960 - 2015	56
Linguère	-15,1	15,4	1960 - 2015	56
Vélingara	-14,1	13,2	1984 - 2015	32
Nioro du rip	-15,8	13,7	1980 - 2015	36
Bakel	-12,5	14,9	1979 - 2015	37
Thiès	-17	14,8	1977 - 2015	39
Cap Skiring	-16,8	12,4	1978 - 2015	38

Source : Ndiaye et al., 2020

## 2.3. Méthodes

La méthodologie adoptée consiste à (i) caractériser les températures moyennes (mensuelle, saisonnière et annuelle), (ii) déterminer l'indice standardisé des températures (appelé aussi anomalies) et (iii) appliquer le test de Mann Kendall.

### 2.3.1. Caractérisation spatiotemporelle des températures

La caractérisation spatiotemporelle consiste à cartographier les températures et d'analyser leur variation à l'échelle mensuelle et annuelle. La technique d'interpolation de l'inverse des distances au carré (IDW en anglais) a été utilisée. Le choix de cette méthode se justifie par simplicité de mettre en œuvre et sa précision dans l'estimation spatiale des variables climatiques.

### 2.3.2. Détection de l'anomalies des températures

L'indice de Lamb (1982) a été utilisé pour analyser l'évolution des températures sur la période 1960 – 2015. Cet indice se base sur la moyenne de la période et l'écart-type pour définir les anomalies. Un indice positif/négative indique une augmentation/ baisse de la température. Cet indice de Lamb (1982) est fréquemment utilisé pour analyser la variabilité des phénomènes climatiques (Bodian, 2014, Faye *et al.*, 2019).

### 2.3.3. Détection de tendance des températures

Pour analyser la tendance des températures, le test de Mann Kendall a été utilisé. Ce test a été introduit par Mann (1968) puis étendu par Kendall (1975) d'où l'appellation de test de Mann Kendall (Azizzadeh *et al.*, 2015). Il est utilisé pour détecter les tendances dans les séries de données hydro-climatiques (Hamed et Rao, 1998). L'avantage de ce test est qu'il n'est pas nécessaire que les données suivent une quelconque distribution (Chu *et al.*, 2017). Le test est basé sur deux hypothèses : hypothèse nulle (notée H0) qui suppose que le test est stationnaire, pas de tendance et l'hypothèse alternative (H1) qui rejette H0 et indique l'existence d'une tendance. Le S statistique de Mann Kendall est donné par la formule suivante :

$$S = \sum_{j=1}^{j=n-1} \sum_{i=j+1}^{i=n} \text{sign}(x_i - x_j)$$

Où  $x_i$  est la valeur de la variable au temps  $i$  et  $x_j$  est la valeur de la variable  $j$ ,  $n$  est la longueur de la série et  $\text{sign}()$  est une fonction qui se calcule de la façon suivante :

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Une tendance croissante ou décroissante est donnée par le signe de la valeur  $Z$  (positif ou négatif) et le  $Z$  est obtenu à partir de la variance de  $S$  qui s'obtient par cette formule :

$$\text{Var}(s) = n(n-1)(2n+5)/18$$

Pour  $n > 10$ ,  $Z$  suit approximativement une distribution normale et peut être calculé comme suit :

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

La tendance obtenue est mesurée en fonction de son niveau de signification i.e. la probabilité associée au rejet ou non de l'hypothèse nulle. Dans cette étude, les seuils de significations retenus sont : 0,05 et 0,01. Par exemple, un niveau de signification du test de 0,01 indique qu'il ait une probabilité 1 % d'erreur de rejeter l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) alors qu'elle est vraie. Si une tendance est notée dans la série de données, son ampleur peut être déterminée par la pente de tendance (noté  $\beta$ ). La méthode de Sen (1968) est généralement utilisée pour estimer la pente de la tendance.

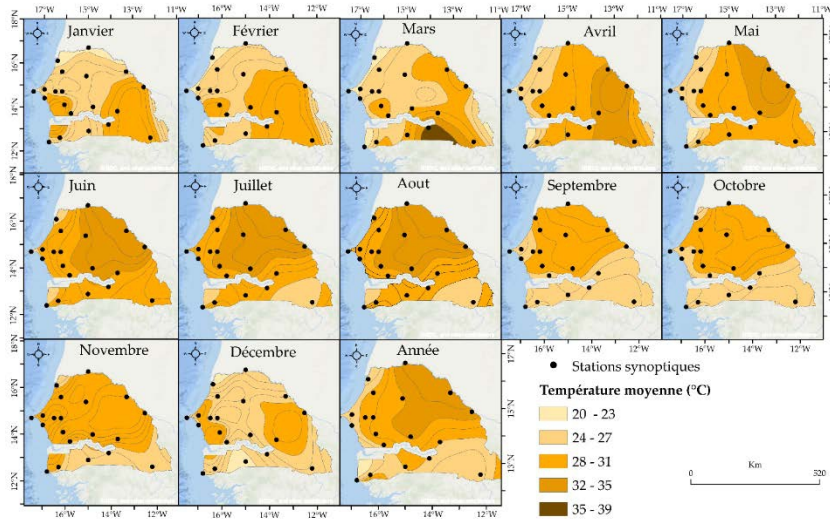
$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_i - x_j}{i - j} \right) \forall i < j$$

Où  $x_i$  et  $x_j$  sont les valeurs des données aux temps  $i$  et  $j$ , respectivement. Une valeur de  $\beta$  positive indique une tendance à la hausse et valeur négative une tendance à la baisse (Azizzadeh et Javan, 2015, Djaman *et al.*, 2018). La pente de Sen (1968) exprime l'amplitude de la tendance par unité de temps considérée ( $^{\circ}\text{C}/\text{an}$  pour cette étude).

### 3. Résultats

#### 3.1. Variation spatiotemporelle des températures moyennes mensuelles et annuelles au Sénégal

Les valeurs mensuelles et annuelles de chaque station sont utilisées pour montrer la variation spatiotemporelle des températures moyennes à l'échelle du pays. Ainsi, la figure 1 montre que les températures moyennes varient de  $19^{\circ}\text{C}$  à plus de  $35^{\circ}\text{C}$ .

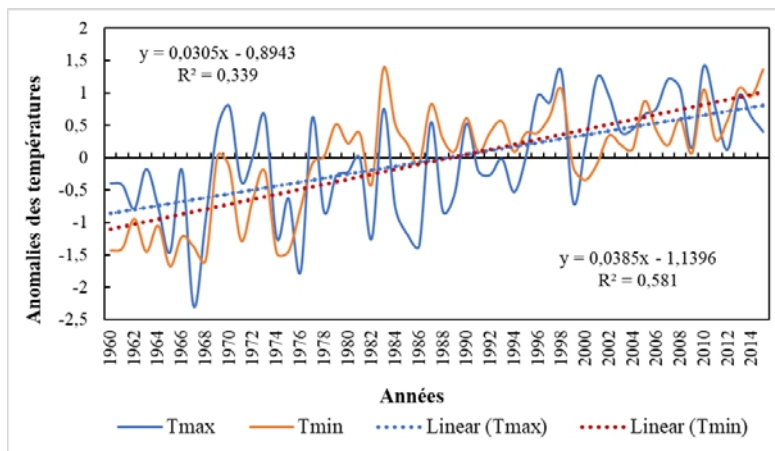


**Figure 2.** Répartition spatiale des températures moyennes au Sénégal aux échelles mensuelles et annuelles sur la période 1960-2015  
Source : Ndiaye et al., 2020

Les valeurs mensuelles montrent que les mois les plus chauds sont ceux de mars et avril et les plus froids correspondent aux mois de décembre et janvier. Les mois de juin, juillet et août enregistrent des valeurs records dépassant les 35 °C pour certaines stations. À l'échelle annuelle, les températures s'échelonnent entre 21 et moins de 35°C sur l'étendue du territoire national. Du point de vue spatial, les valeurs de température les plus faibles sont enregistrées aux stations situées en zones côtières (Dakar 21 à 27 °C, Saint-Louis 20 à 31 °C). Cette baisse des températures s'explique par l'influence des flux d'alizé maritimes issus de l'anticyclone des Açores qui entraînent un adoucissement des températures en raison de l'augmentation de l'humidité atmosphérique. Les régions intérieures, ne bénéficiant pas de l'influence maritime, sont plutôt soumises aux effets de la continentalité et enregistrent ainsi des températures élevées. Les régions situées à l'Est et au Centre du pays présentent les valeurs les plus élevées à toutes les échelles temporelles (mois, saison et année).

### 3.2. Anomalies des températures maximales et minimales

L'évolution des anomalies de température au Sénégal sur la période 1960-2015 est montrée à la figure 2. L'analyse de cette figure a permis d'identifier trois principales périodes : (i) 1960-1975, (ii) 1976-1998 et (iii) 1999-2015.

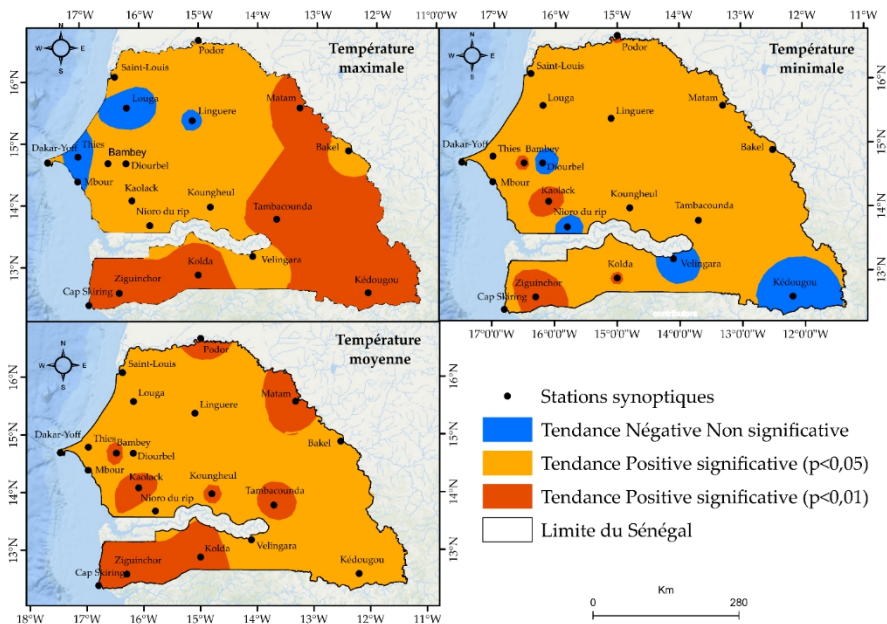


**Figure 3.** Évolution des anomalies des températures (max et min) au Sénégal sur la période 1960-2015  
Source : Ndiaye et al., 2020).

La première période est majoritairement dominée par une baisse des températures maximales et minimales qui présentent des valeurs moyennes de 34,7 et 20,2 °C. La deuxième période se caractérise par une alternance de baisse et de hausse des températures. La moyenne des Tmax et Tmin durant cette période est respectivement 34,8 et 21,3 °C soit une hausse de 0,14 et 1,07 °C par rapport à la période précédente. La dernière période de la série montre quasiment une hausse des Tmax et Tmin qui présentent des valeurs de 35,4 et 21,5 °C. Une hausse de 0,54 et 0,17 °C est donc notée par rapport à la période 1976-1998. Par rapport à la première période, une augmentation des températures maximales de 0,68 °C et de 1,24 °C pour celles minimales a été identifiée. Ces valeurs montrent globalement que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. La figure 2 corrobore ce propos en montrant un coefficient de détermination de 0,58 pour Tmin et de 0,33 pour Tmax.

### ***3.2.1. Tendence des moyennes annuelles des températures maximales et minimales***

Les valeurs de Z du test de Mann Kendall a permis de faire la cartographie de la tendance des températures maximales et minimales à l'échelle du pays. Une valeur de Z positive indique une tendance à la hausse à un certain niveau de signification (0,01, 0,05) et une valeur négative montre une tendance à la baisse. Ainsi, la figure 3 montre globalement une tendance à la hausse des températures annuelles.

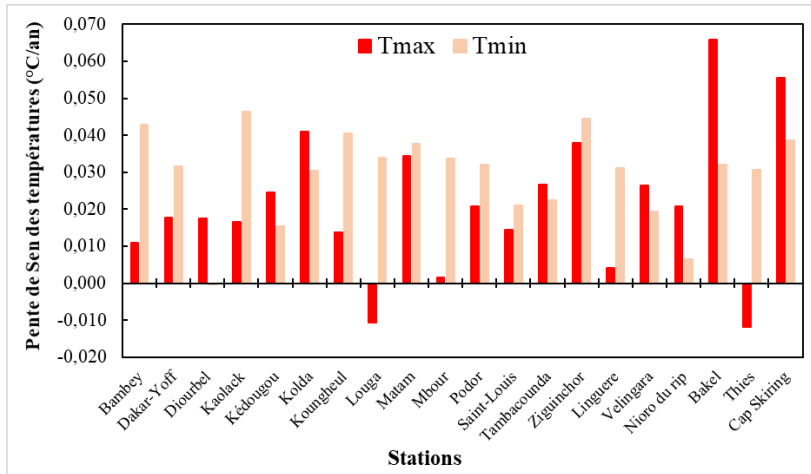


**Figure 4.** Tendence des températures maximales et minimales sur la période 1960-2015 au Sénégal.

Source : Ndiaye et al., 2020

Une tendance négative non significative est seulement notée dans quelques stations : Thiès, Louga, Linguère pour la température maximale et Bambey, Nioro du Rip, Vélingara et Kédougou pour la température minimale. Pour toutes les autres stations, les températures augmentent de façon significative. Toutes les valeurs de Z dépassent 1,96 ( $p < 0,05$ ) pour certaines stations et 2,58 ( $p < 0,1$ ) pour d'autres. La tendance à la hausse des températures maximales est plus significative que celles minimales. Les températures moyennes augmentent de façon très significative sur l'ensemble du territoire national.

L'amplitude de ces tendances observées à l'échelle annuelle est déterminée par la pente de Sen (figure 4). Ainsi, globalement, les valeurs de pente positive confirment l'augmentation des Tmax et Tmin à l'échelle annuelle. Seules les stations de Louga, Thiès (pour Tmax) et Diourbel (pour Tmin) montrent des valeurs négatives de la pente. Les valeurs de pente des Tmin sont supérieures à celles des Tmax pour la quasi-totalité des stations. Ce qui confirme que l'augmentation des températures minimales est plus significative que celles maximales.



**Figure 5.** Pente de Sen des Tmax et Tmin à l'échelle annuelle au Sénégal  
 Source : Ndiaye et al., 2020

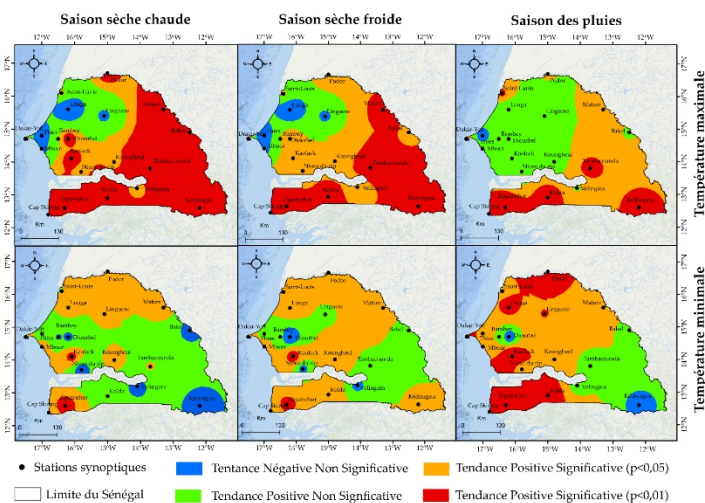
### 3.3. Tendance des températures à l'échelle saisonnière

En se basant sur la variation pluviométrique du Sénégal et le gradient des températures, trois saisons ont été identifiées : saison sèche chaude (SSC), saison sèche froide (SSF) et saison des pluies (SP). La figure 5 montre la répartition spatiale des tendances des températures maximales et minimales à l'échelle saisonnière. Ainsi, à l'image des tendances observées à l'échelle annuelle, les températures (max et min) augmentent de façon significative à l'échelle saisonnière.

Durant la saison sèche chaude (mars, avril et mai), seule la station de Louga montre une tendance à la baisse non significative pour les températures maximales. Les températures minimales montrent une tendance positive significative dans l'ensemble des stations. Les valeurs de Z du test de Mann Kendall varient de -1,57 à 4,25 pour les températures maximales et de 0,34 à 5,88 pour celles minimales. Les valeurs maximales sont observées aux stations de Ziguinchor et Kédougou et celles minimales aux stations côtières de Saint-Louis, Dakar-Yoff et Mbour. Pendant la saison sèche froide (Décembre-Février), la tendance à la hausse des températures reste significative, mais les valeurs de Z sont légèrement amorties variant de -1,57 à 4,89 pour les températures maximales et de 1,27 à 5,41 pour celles minimales. La saison des pluies présente des valeurs de Z supérieures à celles de la période sèche. Les valeurs de Z des températures maximales varient de -2,08 à 6,14 et celles des températures minimales de -1,38 à 6,62. La tendance à la hausse des températures est plus significative durant la saison des pluies. Cela pourrait être expliqué par les pics de chaleur notés surtout durant les mois de juin et de juillet généralement plus chauds. Pour toutes les saisons, la tendance positive des températures minimales est plus significative. Les mêmes tendances se



confirment et les valeurs de pente les plus élevées sont obtenues par les températures minimales.



**Figure 6.** Tendance des températures maximales et minimales à l'échelle saisonnière au Sénégal

Source : Ndiaye et al., 2020

#### 4. Discussion

L'objectif de ce travail est de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures et d'analyser leur tendance au Sénégal sur la période 1960 - 2015. Les résultats montrent qu'entre la période 1960 - 1975 et celle 1998 - 2015, les Tmax ont augmenté de 0,68 °C et les Tmin de 1,24 °C, soit une hausse moyenne de 0,96 °C. Les tendances révèlent globalement que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Ces résultats sont en phase avec ceux obtenus par Easterling *et al.*, (1997). Selon ces auteurs, à l'échelle du globe, les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Des résultats similaires ont été obtenus en Afrique de l'Ouest par Ly (2013) et au Congo Brazzaville par Samba et Nganga, (2014). Un réchauffement plus rapide des températures minimales a été également observé à Abidjan et Niamey par Ringard *et al.*, (2014). L'étude de Faye et Sané (2015) corroborent les résultats de cette étude car en utilisant la station de Ziguinchor, ils ont avancé que durant la période 1960-2012, le réchauffement des températures minimales semble plus important que celui des températures maximales. Le réchauffement plus vite des températures minimales est une réponse climatique des émissions anthropiques (Ringard *et al.*, 2014). En effet, la forte concentration des gaz à effet de serre et des aérosols dans l'atmosphère entraîne une réduction de la radiation solaire à la surface de la terre. Ce qui se traduit par une diminution des températures maximales et une hausse de celles minimales.



Les résultats de cette étude sont également en phase avec ceux d'USAID (2012) selon lesquels depuis 1975 le Sénégal a connu une hausse moyenne des températures de 0,9 °C. Sagna *et al.*, (2015) ont également confirmé que les projections du GIEC sur la hausse des températures au Sénégal sont nettes. Cette idée se confirme dans cette étude par l'application du test de Mann Kendall et la pente de Sen qui indiquent une hausse significative des températures maximales et minimales à toutes les échelles temporelles et pour la quasi-totalité des stations. Cette étude a aussi révélé que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Ce qui montre qu'il est nécessaire d'étudier la tendance des autres paramètres climatiques (radiation solaire, humidité relative, vitesse du vent et évapotranspiration) pour mieux expliciter les raisons de la décroissance des températures minimales à l'échelle du pays.

## 5. Conclusion

L'objet de cet article est de contribuer à la connaissance de la variabilité spatiotemporelle des températures au Sénégal sur la période 1960-2015. Les données de vingt stations réparties à l'échelle du pays ont été utilisées. Après une caractérisation des températures moyennes aux différentes échelles (mensuelle, saisonnière et annuelle) et une détermination des anomalies de température, le test de Mann Kendall a été utilisé pour déterminer la tendance des températures.

Les résultats obtenus montrent les températures augmentent au fur et à mesure que l'on progresse dans les régions intérieures. L'influence marine et le fort degré hygrométrique favorisent une baisse des températures dans les zones côtières. L'analyse des anomalies révèle que les températures maximales augmentent de 0,68 °C et celles minimales de 1,24 °C. Cette hausse des températures est confirmée par le test de Mann Kendall qui indique un réchauffement significatif à toutes les échelles temporelles et pour la quasi-totalité des stations. Il ressort également de cette étude que les températures minimales augmentent plus vite que celle maximales.

Les résultats de cette étude peuvent aider à mieux comprendre la tendance des températures observées à l'échelle du pays. D'autant plus que l'augmentation des températures affecte tous les systèmes physiques et socioéconomiques, leur analyse plus fine (échelle journalière) permettrait de mieux prendre en compte ce paramètre climatique dans les recherches scientifiques et dans les politiques de développement. Il serait également important d'étudier les impacts de la hausse des températures sur les systèmes biophysiques et socioéconomiques du Sénégal.

## References:

1. Ghasemi A.R. (2015), « Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran », *Atmospheric Science Letters*, 16, pp. 366-372.
2. Amigues J.P., Debaeke B., Seguin F., Tardieu A. (2006), *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau, Expertise scientifique collective*, synthèse du rapport, INRA (France), 72p.
3. Allies A. (2018), *Estimation de l'évapotranspiration par télédétection spatiale en Afrique de l'Ouest : vers une meilleure connaissance de cette variable clé pour la région*, Université Montpellier, 431p.
4. Bodian A. 2014, « Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest) », *Physio-Géo*, Vol.8, p. 297-312. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4243>
5. Mohammadreza A., Khadije J. (2015), « Analyzing trends in reference evapotranspiration in northwest part of Iran 2 », *Journal of Ecological Engineering*, 16, pp. 1-12.
6. Easterling D.R., Horton B., Jones P.D, Peterson T.C., Karl T.R., Parker D.E., Salinger M.J., Razuvayev V., Plummer N., Jamason P., Folland C.K. (1997), « Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe », *Science*, 277, 5324, pp. 364-364.
7. Faye C. Sané T. (2015), « Le changement climatique dans le bassin versant de la Casamance : évolution et tendances du climat, impacts sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation », in Descroix et al. (2015), *Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance*, pp. 95-114.
8. Samba G., Nganga D. (2014), « Minimum and Maximum Temperature Trends in Congo-Brazzaville: 1932-2010 », *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, pp. 404-430.
9. Pachauri R.K., Meyer L.A. (2014), *Changements climatiques 2014*, Rapport de synthèse, Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
10. Faye Ch., Ba D. D., Sécou O. D. 2019, « L'anomalie de la température minimale et maximale dans la partie sud-est du Sénégal », *Journal de la Recherche Scientifique* de l'université DE LOMÉ, vol. 21, pp. 1- 23.
11. Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley J.A., (2005), « Impact of regional climate change on human health », *Nature*, 438, pp. 310-317.
12. Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E, Salas D., Caballero Y. (2010), « Analyses of precipitation,

- temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change », *Surface geosciences (Hydrology–hydrogeology)*, 342, pp. 234-243.
13. Kendall M.G. (1975), “Rank Correlation Methods”; *Griffin*, London, 202p.
  14. Al Buhairi M.H. (2010), « Analysis of Monthly, Seasonal and Annual Air Temperature Variability and Trends in Taiz City Republic of Yemen », *Journal of Environmental Protection*, 1, pp. 401-409.
  15. Mann, H.B. (1945), « Nonparametric test against trend », *Econometrica* , 13, pp. 245-259.
  16. Rahman M.A., Yunsheng L., Sultana N., Ongoma V. (2018), « Analysis of reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) trends under climate change in Bangladesh using observed and CMIP5 data sets », *Meteorology and Atmospheric Physics*, pp. 1-17.
  17. Sylla M.B., Nikiema P.M., Gibba P., Kebe I., Klutse N.A.B. (2016), « Climate Change over West Africa: Recent Trends and Future Projections », in *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa*, pp. 25-40.
  18. Ly M., Traoré S.B., Alhassane A., Sarr B. (2013), « Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel », *Weather and Climate Extremes*, 1, pp.19-25.
  19. Niang I., Ruppel O.C., Abdrabo M.A., Essel A., Lennard C., Padgham J., Urquhart P. (2014), « Africa », in Barros V.R., Field C.B., Dokken D.J., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., Maccracken S., Mastrandrea P.R., White L.L., *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1199-1265.
  20. Sagna P., Ndiaye O., Diop C., Diongue Niang A., Sambou P.C. (2015), « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? », *Pollution Atmosphérique*, 227, 17p.
  21. Qi P., Zhang G., Xu Y.J., Wu Y., Gao Z., (2017), « Spatiotemporal Changes of Reference Evapotranspiration in the Highest-Latitude Region of China », *Water (MDPI)*, pp.1-17.
  22. Ringard J., Dieppois B., Rome S., Dje K.B., Konaté D., Katiellou G.L., Lazoumar R.H., Bouzou-Moussa I., Konaré A., Diawara A., Ochou A.D., Assamoi P., Camara M., Diongue A., Descroix L., Diedhiou A., (2014), « Évolution des pics de températures en Afrique de l’ouest :

- étude comparative entre Abidjan et Niamey », *27e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, "Système et Interactions"*, Dijon, France, 27, pp. 1-7.
23. Chu R., Li M., Shen S., Towfiqul Islam A.R.M.D., Cao W, Tao S., Gao P. (2017), « *Changes in Reference Evapotranspiration and Its Contributing Factors in Jiangsu, a Major Economic and Agricultural Province of Eastern China* », *Water*, 9, pp. 2-21.
  24. Sen P.K. (1968), « Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau », *J. Am. Stat. Assoc*, 63, pp. 1379-1389.
  25. Sharad K.J., Vijay K, (2012), « Trend analysis of rainfall and temperature data for India », *CURRENT SCIENCE*, 102, 1, 10, pp. 37-49.
  26. Fall S., Niyogi D., Semazzi F.H.M. (2006), « Analysis of Mean Climate Conditions in Senegal (1971–98) », *Earth Interactions*, 10, pp. 1-40.
  27. Stan F.I., Zaharia L., Neculau G., Ioana-Toroimac G., (2015), « Variabilité spatiale et temporelle de l'évaporation dans la plaine roumaine », *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, pp. 1-6.
  28. Tao X.E., Chen H., Xu C.Y., Hou Y.K., Jie M.X., (2015), « Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River China », *Water Science and Engineering*, 8, 4, pp. 273-281.
  29. United States Agency for International Development, (2012), "A Climate Trend Analysis of Senegal", USGS (science for a changing world), Famine Early Warning Systems Network-Informing Climate Change Adaptation Series, 4p.
  30. Wen J., Wang X., Guo M., Xu X. (2012), « Impact of Climate Change on Reference Crop Evapotranspiration in Chuxiong City, Yunnan Province », *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, pp. 113-119.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

### **Adama Ilboudo,**

Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement,  
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou ,  
Burkina Faso

### **Sâga Sawadogo,**

Laboratoire Géosciences Environnement Minier,  
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou,  
Burkina Faso

### **Soungalo Soulama,**

Département Productions Forestières, INERA,  
CNRST Ouagadougou , Burkina Faso

### **Edmond Hien,**

### **Zombre Prosper,**

Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement,  
Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou ,  
Burkina Faso

---

Submitted: 19 May 2020

Accepted: 26 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Adama Ilboudo*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p122](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p122)

 Copyright 2020 Ilboudo et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

---

Cite as:

Ilboudo A, S Sawadogo, S. Soulama, E. Hien, Z. Prosper (2020). Spatial Dynamics And Risks Analysis Of Lowlands Degradation Potential Around Of Nakanbé-Dem Sub-Watershed In Center-Nord Of Burkina Faso (West Africa): Through Multi-Date Study And Satellite Tele-Analysis. *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 122. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p122>

---

## **Spatial Dynamics And Risks Analysis Of Lowlands Degradation Potential Around Of Nakanbé-Dem Sub-Watershed In Center-Nord Of Burkina Faso (West Africa): Through Multi-Date Study And Satellite Tele-Analysis**

---

### **Abstract**

Watershed degradation is a key issue for environmental change in the Sahel region and causes an unprecedented threat to the lowlands watershed and the livelihood of local people. This study analyzes the spatial dynamics and degradation risks of Nakanbé-Dem sub-watershed lowlands' potential. The study combines lowlands plants species assessment and digital processing. Lowlands spatio-temporal dynamics were assayed from landsat images of 1986, 1996, 2006 and 2016. Vegetation data and soil physical and chemical parameters allowed to characterize lowlands degradation states. Lowlands degradation risk assessment is based on flora analysis and remote sensing indices (Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index, slope values and water accumulation zones). Spatio-temporal dynamics analysis between 1986 and 2016 showed a continuous degradation of Nakanbé-Dem lowlands potential. The coverage of farming land increased from 31 to 51% compared to the total lowland potential of 43320 ha. The riparian formations have decreased by 4.11% in the same period. As concerns the lowland beds, their coverage rate has continuously decreased from 24% in 1986 to 7.79% in 2016. The coverage rate of water bodies has not kept a linear evolution. It went from 2.27 to 2.62%, a slight increase of 0.35%. Soil and flora samples were taken from the three lowland geomorphological subunits: glacis, hillside and the central

zone. Soil analyze concerned the following parameters: useful water content, saturation rate, carbon, nitrogen, potassium and bulk density. Flora parameters analyzed are: woody cover, density of regeneration individuals, tree density, quadratic diameter, tree height, ligneous plants species richness, herbaceous species richness. These different measurements have been taken on the glacis, hillside and central zone. Flora and soils analysis showed difference in lowlands topographic structures. Unlike hillside and glacis, their central zone is less degraded. It is characterized by an average specific richness of woody plants about 3.43% against 3.13 % for hillsides and 2.44 % for glacis. Tree average density (129.29 in/ha), the number of trees large diameter (118.55 in/ha) and woody cover (61.79 %) are higher in the central zone than on the hillsides and glacis. From Pedological aspects, central zone is characterized by a concentration great of organic matter (1.49%) (great rate of carbon and nitrogen) against 0.89 for glacis and 0.90 for hillsides. The useful water content (19.75 %) and the saturation rate (64.85) in the central zone are great. These values are low on the glacis (9.36 and 63,77) and hillsides (12.17 and 59.66). In the current context of persistent climatic pressure, the conquering of new farms will accelerate the growth of cropped acreages and increase the degradation risk of lowlands' potential. Lowlands' dynamic apprehension can serve as a basis of development and endogenous programs implementation to restore sub-watershed lowland' potential..

---

**Subject:** Environmental and earth science

**Keywords:** Nakanbé-Dem, Sub-Watershed, Lowlands, Ecological, Degradation

## Introduction

The West African region covering approximately one-quarter of the African continent is endowed with rich watersheds whose lowlands provide ecosystem goods and services to many local communities, including farmers (Oyebande and Odunuga, 2010); (Jalloh *et al.*, 2012); (Gessner *et al.*, 2015). Among goods provided, agricultural production represents one of the predominant livelihood activities along livestock production systems related to cattle, goats, and sheep (Danso *et al.*, 2018). Ecosystem services provided by watersheds help purify groundwater, reduce erosion and control floods. They also include carbon sequestration, soil stabilization, habitats for recreational activities such as ecotourism and climate change mitigation. Wood and non-wood forest products (NTFPs) are also sources of health and cultural uses (Ola and Benjamin, 2019). Formerly reserved for pastures and farming, the plains are now the areas most coveted by farmers whose production activities are more secure (Oloukoi *et al.*); (2006, Souberou *et al.*, 2018). In the recent decade, there has been an increased use of lowland areas to the point of restrict land available to other livelihood activities around the lowland (Souberou *et al.*, 2017). One of the consequences of such uncontrolled use is that the riparian formations that characterize the lowlands are gradually destroyed (Fontès and Guinko, 1995; Mahamane *et al.*, 2007); (Khouidia *et al.*, 2014) driven by anthropogenic pressure and environmental degradation driven by climate variability (Robert, 2011); (Souberou *et al.*, 2017). Agricultural losses, recurrent food crises, water scarcity and extreme flooding around watersheds are among the common vulnerability factors affecting farmers' livelihoods in the lowlands (Ariori and Ozer, 2005). Regular monitoring and spatial surveillance of natural resources degradation in watersheds helps overcome the vulnerability factors affecting the ability of the lowlands to continue provide goods and services to local farmers. It also improving conditions and local community's livelihoods. Remote sensing tools have been used successfully to map and monitor spatio-temporal drivers of watershed resource degradation (Twumasi and Merem, 2007). The latter has used remote sensing and GIS in the analysis of the ecosystems decline along the River Niger watershed in Mali and Niger. They found that the potential of the river was declining because of several factors: inadequate policy on land and water management, bad practices agricultural, population growth and variability in climate affecting the watershed ecosystem.

Elsewhere, the progress made in cartographic techniques have contributed to acquiring precise knowledge of the factors driving land degradation in terms of : i ) the degradation process and speed by using multi-date analysis of satellite images (Souberou *et al.*, 2017), and ii) analyzing the challenges affecting the ecosystems dynamics and the driving factors of

ecosystems change by combining remote sensing with field data (Geymen and Baz, 2008).

However, use such tools is not throughout the western African countries such as Burkina Faso where policymakers lack sufficient knowledge on the dynamics of watershed degradation.

Burkina Faso covering an area of 274 000 km<sup>2</sup>, is divided into three agro-ecological zones: the Sahelian zone, the North Sudanian zone and the South Sahelian zone. The Sahelian zone, composed by the strict Sahelian zone and the sub-Sahelian zone, is endowed with rich watersheds whose lowlands provide goods and ecosystem services to many local communities, including farmers. Agriculture, livestock and fishing around the banks of lakes and wetlands are among the key livelihood activities upon which local communities depend strongly on. Such dependency has driven competition over banks of lakes and lowlands. More importantly, and over the last decades, the rooted, intermediate and immediate causes of environmental degradation have contributed to weakening lowland ecosystem functions and watersheds integrity (Biot *et al.*, 1995).

The root causes of watershed resources degradation relate to anthropogenic pressure, vulnerability factors linked to weather conditions and irregular rainfall regimes. On the contrary, the intermediate causes are linked to land tenure insecurity, unsustainable agricultural practices and overgrazing. The immediate threats are loss of soil nutrients, loss of organic carbon, unavailability of groundwater, and wind erosion

The root causes of watershed resources degradation relate to anthropogenic pressure, vulnerability factors linked to weather conditions and irregular rainfall regimes. The intermediate causes are linked to land tenure insecurity, unsustainable agricultural practices and overgrazing. The immediate threats are loss of soil nutrients, loss of organic carbon, unavailability of groundwater, and wind erosion

Responding to the rooted, intermediate, and immediate causes of watershed degradation, several initiatives related to national strategy and action plan, programs, policy and institutions on sustainable land use management (including watershed resources) have been implemented around 2000. The Burkinabé State has undertaken a policy of constructing water reservoirs to improve the availability of water resources (CR-CN, 2015). In 2003, a national strategy and action plan for integrated water resources management have been adopted and implemented to enhance watershed resources management. Another key program includes that of the Global Environmental Facility (GEF) which has approved a pilot partnership program for sustainable land management in the country. At the policy and institutional level, a watershed management policy has been established in 2001 while an agency of water resources management has been established to deal with water



management issues along with the Permanent Secretariat for Integrated Water Resources Management (SP / IWRM).

Despite the implementation of all these initiatives for lowland resources management, policymakers still lack enough knowledge on the watershed resources management and progress has remained vague, especially around the Nakanbé-Dem sub-watershed in Center-Nord of Burkina Faso (West Africa) where the issue of the decline of the watershed potential is still acute.

This study aims to assess the spatial and temporal dynamics and driving factors of lowland degradation around the Nakanbé-Dem watershed using remote sensing tools. The inventory of lowlands using remote sensing data has been the subject of several research works in recent years. Lowlands in intertropical regions are "areas of the landscape, with a flat or concave bottom, located at the head of the hydrographic network, without watercourse or with a little marked minor bed (Houngbetin, 2003). (Chabi *et al.*,2010); (Souberou *et al.* (2016) define lowlands in Benin as areas of depression located upstream of the hydrographic network and whose area is less than or equal to 25 ha. In Burkina Faso, lowlands are drainage axes and localized depressions of glaciais with hydromorphic soils, dense shrub savannah. They are landscape units spread over the alluvial plains, often elongated in shape and flooded during the rainy season (Lamourdia, 2000). The estimate of lowland potential takes into account three identification criteria including slope, NDVI and area less than or equal to 25 ha (Chabi *et al.*, 2010). However, the lowland potential of the Nakanbé-Dem includes all water accumulation areas whose slopes are less than or equal to 2% in which the water stagnates for a certain time before any infiltration or flow in the courtyards. temporary water nearby.

In Nakanbé-Dem sub-watershed, the lowland, whatever its size, is a wetland of local or regional agricultural importance. The lowland represents a means of resistance face of climatic change, in particular the current rainfall deficit. The main advantage of lowlands is to concentrate surface and subterranean flows, thus favoring varieties cultivation which require more water, such as maize and rice. The lowlands are real places of diversification of production where peasants, farmers and breeders exploited fodder, woody and fruit resources, as well as the plants used in pharmacopoeia and crafts. The lowlands are used as places of worship, fishing and watering animals in the dry season. These wetlands are strategic sites both for socio-economic development, food security and improvement of the living conditions of populations (Thiombiano, 2000).

However, serious threats risk preventing the Nakanbé-Dem lowlands to perform their socio-economic and environmental functions. Indeed, the rainfall decrease in Burkina Faso will cause a change in the health of lowland ecosystems. The strong tendency to increase the Nakanbé-Dem sub-watershed

population (DREP / CN 2017) will lead to an increase in the conquest of new production lands. The uncontrolled installation of peasants in the lowlands will constitute a significant risk of degradation given the fragility of the environment. This situation will maintain the persistence of agricultural practices such as slash-and-burn, excessive logging, overgrazing, quarries in the lowlands. Lowland soils being poor in organic matter (low nitrogen and phosphorous contents) consequently have very little developed biological activity. These soils are therefore very sensitive to these bad agricultural practices which will accelerate the degradation dynamics of the lowlands. Understanding these threats recommends better mapping of surface conditions and rigorous monitoring of environmental dynamics. Information on the process and the rate of degradation can be effectively captured by satellite remote analysis (Collado *et al.*, 2002). Nakanbé-Dem sub-watershed has been very little concerned with the use of remote sensing techniques in mapping and monitoring environmental changes.

Thus, the objectives of this study are i) to map the spatial and temporal dynamics of lowland area in the Nakanbé-Dem sub-watershed (1986-2016) in terms of water bodies, lowland beds, crop fields, woodland savannah, and riparian areas, ii) to assess the relationships between the current indicators and risks of lowlands degradation and iii) to discuss the opportunity to overturn the risks of lowlands degradation in the Nakanbé-Dem sub-watershed.

## Study Zone

The study concerns the lowland of the Nakanbé-Dem sub-watershed (Fig. 1) located between the provinces of Sanmatenga and Bam, and being administratively part of the Cente-Nord region of Burkina Faso. Covering an area of 165 029 ha, it is one of the forty (40) sub-watershed of the Nakanbé water resources management area. It is distributed between longitudes 1°26'30"W and 0 ° 57'43' 'W and latitudes 13 ° 58'58' 'N and 13 ° 31'48' N. Study area is located in the Sahelo-Sudanian transition type with rainfall between 600 and 700 mm (Fontès and Guinko, 1995). This climate is characterized by a long dry season (November to May) and a short rainy season (June to October). It is marked by strong interannual irregularities in precipitation and a general downward trend. Average annual temperatures vary between 20 to 28 ° C during the wet season and are very high in the dry season, 35 to 40 ° C, favoring the drying of water points by evaporation (Da *et al.*, 2008). According to (Ouédraogo *et al.*, 1992) the geological coverage of the sub-watershed includes two main geological formations. The ante-Birimian composed of granitic formations and the Birimian essentially of volcano-sedimentary rocks (tuffs, lavas, associated sediments, neutral to basic metavolcanites). The Birimian hills constitute the framework of the model of the study area. The geomorphological landscape is organized from the residual

reliefs to the lowland which constitute preferential zones for the accumulation of runoff descending from the hillsides of the neighboring hills.

On these geomorphological units, five soil classes are developed, namely, raw mineral soils, poorly developed soils, browned soils, soils with iron and / or manganese sesquioxides and hydromorphic soils (CPCS, 1967). These soils support degraded plant formations mainly composed of parkland savannahs in which gallery forests have almost disappeared. The riparian formations are in the form of a more or less narrow cordon of vegetation, which occurs along temporary rivers. The thin vegetated strip is mainly dominated by *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Per, *Acacia seyal* Del. and *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, for the longest flooded parts (Da *et al.*, 2008).

Over the past few decades, the Nakanbé-Dem sub-watershed has experienced a sharp decrease in rainfall, which is superimposed on anthropogenic pressures and overcrowding.

Degradation is largely due to climatic variability and degradation of the vegetation cover. The causes are both natural and anthropogenic. The main cause of degradation mentioned is drought, with high wind. Then come the excessive cutting of wood, harmful agricultural and pastoral practices (Da *et al.*, 2008). This double anthropogenic and climatic pressure has contributed to the reduction of plant cover and the extension of crop fields (Hamma *et al.*, 2000) ; (Ibrahim, 2013). To cope with the population's water needs and climatic hazards, the Burkinabé State has initiated a policy of creating water reservoirs with the help of non-governmental organizations operating in the country. This slightly increased a relative abundance of water bodies in the Center-North region (MR-CN, 2011, CR-CN, 2015). Nakanbé-Dem population is characterized by a growth of 2.6% on average between the 1996 census and 2006. It is thus estimated at 1 593 214 inhabitants in 2016 and will reach 1 787 082 in 2020. Agriculture is still extensive and dominated by manual field work. It is practiced cumulatively with animal husbandry, which constitutes the second major activity (INSD, 2009); (DREP/CN, 2017). The population of sub-watershed, is always in search of fertile land, and actively intervenes in the development of the lowlands constituting a palliative to climatic variability. Farmers are developing some adaptation initiatives. The most demanding crops are placed on geomorphologic units of good fertility such as lowlands. On silty or clayey soils, farmers cultivate millet, sesame, rice, potatoes, calabash and sorghum when the clay content is high. (DREP / CN, 2017). “Zai” and “demi-moons” techniques are also development initiatives that peasants apply on the lowlands glaciais. They combine these techniques by adding a few handfuls of manure. On the hillsides, the peasants use stone bunds or grass strips to stabilize soils against water erosion. They place earthen bunds in central lowland areas (Da *et al.*, 2008). However,

lowlands farmers are not well organized. They are not sufficiently trained on lowland protection techniques. Thus, the gullies around the lowlands are not well treated. In addition, there is a visible lack of a sustainable plan for environmental restoration. Indeed, there is no policy of fertilization and amendment of lowland soils. No tree planting action is visible so the land pressure is increasing (Bandré and Da, 2004).

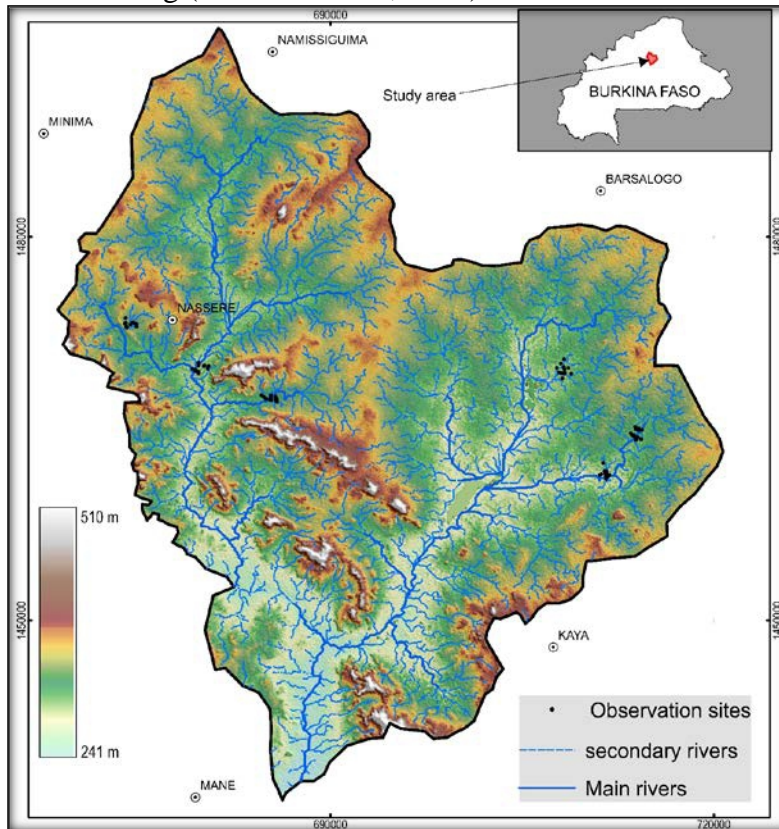


Figure 1: Location map of the Nakanbé-Dem sub-watershed area.

## Data and methods

Remote sensing tools are relevant for evaluating lowlands' potential and their dynamics degradations. Supported by soil and vegetation measurements, remote sensing can provide information on lowlands degradation risks.

## Satellite imagery

The identification of the lowland potential was based on the superimposition of the NDVI and NDWI values calculated from Landsat images (table 1) and those of the slopes and water accumulation zones extracted from the digital processing of the 30 m resolution Landsat ASTEM

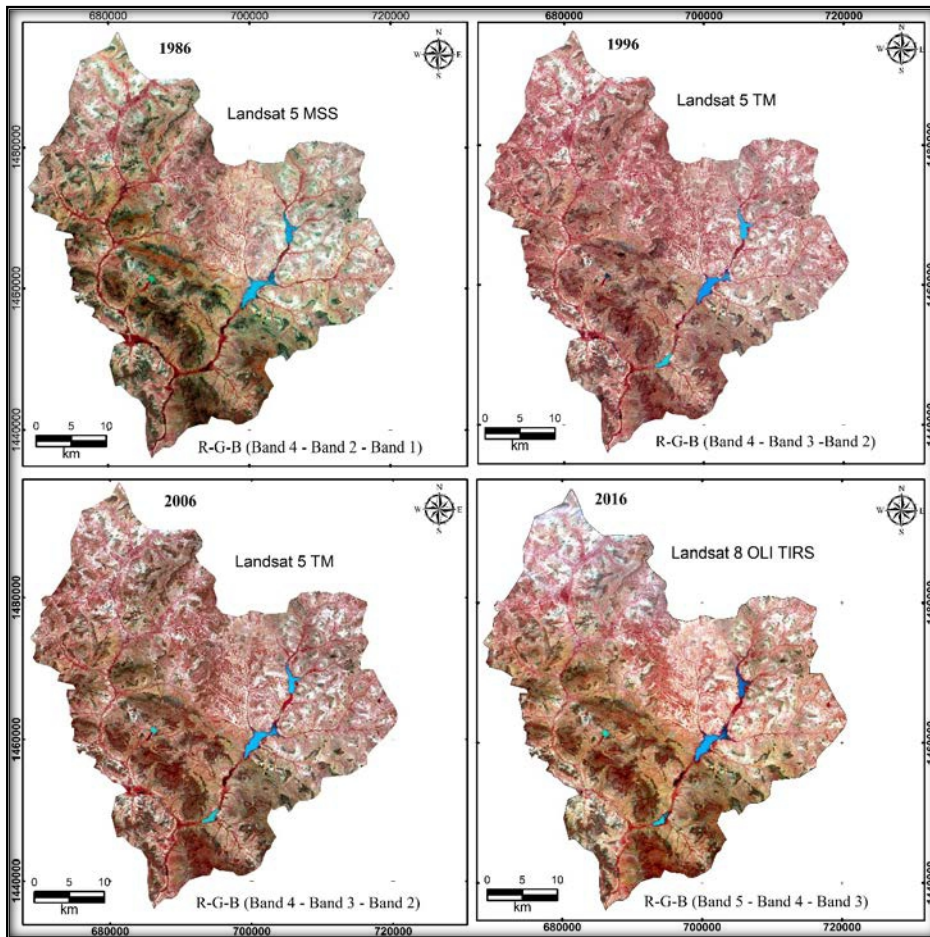
DEM image. The spectral range of TM and MSS sensors on Landsat platforms allows good identification of elements of the landscape (Salovaara *et al.*, 2005); (Oszwald *et al.*, 2007).

**Table 1: specific characteristics of the different types of Landsat images.** (Source: <http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/landsat.htm>)

Years considered	Types of sensor	Years of acquisition	Number of bands	Bands used (NDVI,NDWI)
1986	Landsat5 MSS	18/11/	1 (Blue) 2 (Green) 3 ( Red) 4 (Near-infrared)	2 et 4
1996	Landsat5 TM	29/11/	1 (Blue) 2 (Green) 3 ( Red) 4 (Near-infrared) 5 (Near-infrared 1) 6 (Thermal InfraRed) 7 (Short Wave InfraRed)	3 et 4
2006	Landsat5 TM	25/11/	1 (Blue) 2 (Green) 3 ( Red) 4 (Near-infrared) 5 (Near-infrared 1) 6 (Thermal InfraRed) 7 (Short Wave InfraRed)	3 et 4
2016	Landsat8 OLI TIRS	23/11/	1 (Blue) 2 (Green) 3 ( Red) 4 (Near-infrared) 5 (Near-infrared 1) 6 (Thermal InfraRed) 7 (Short Wave InfraRed 2) 8 (Panchromatic) 9 (Cirrus) 10 (Short Wave InfraRed) 11 (Short Wave InfraRed) 12 (BQA)	4 et 5

The applied approach combined the phases of ground observations and analog and digital processing of satellite images.

The Landsat missions evolved from 1986 to 2016; which led us to look for band equivalences for Landsat 5 MSS (1986), Landsat 5 TM (1996), Landsat 5 TM (2006), Landsat 8 OLI (2016) in order to determine the different indices (Fig. 2).



**Figure 2:** Comparative display of the three types of Landsat images used (MSS, TM and OLI -TIRS)

In order to maintain coherence in the spectral response of the different plant cover, the images were all acquired in the same month of November 1986, 1996, 2006, and 2016. At this time of the year, especially in this study area, the vegetation in the lowland contrasts with the rest of the landscape. The humidity which remains there always maintains a more flourished vegetation whose spectral response is clearly distinguished from other "anthropic" systems which were characterized at that time by a virtual absence of vegetation. Finally, the cloudiness of the images acquired during this period is greatly reduced and thus made it possible to limit atmospheric biases (Hountondji, 2008) ; (Oszwald *et al.*, 2010). Radiometric corrections were applied to increase the readability of the images and to facilitate their interpretation.

### **Realization of the DTM and calculation of the slopes**

The Digital Terrain Model (DTM) is extracted from the ASTER DEM image with a resolution of 30 m. This model made it possible to highlight the values of the slopes of the potential in the lowland of the study area. The distribution of these slopes into ten classes allowed to better define the areas of probable lowland. The ASTER DEM image is also used to identify potential areas of water accumulation, the superimposition of which with the values of the slopes made it possible to delimit the Nakanbé-Dem lowlands potential. The classification method directed using the maximum likelihood algorithm was used to classify the images according to the training areas identified by direct observation in the field. Four main units of occupation of this lowland potential have been defined to implement the classification: the riparian formation, the lowland bed, the crop fields and the water body. According to Bigot *et al.* (2005), the use of 4 to 6 land-use classes is very often sufficient to carry out a cartographic analysis of lowland ecosystems. The superposition of the values of accumulation zones to those of the slopes has allowed the extraction of lowlands' potential in the Nakanbé-Dem sub-watershed. This approach is faster than the direct field approach for characterizing lowland agro-ecosystems, which requires more mobilization of material and human resources (Andriessie *et al.*, 1994).

The lowlands potential of the Nakanbé-Dem sub-watershed was extracted from the intersection of the cartographic results of the slopes and the water accumulation areas.

### **Determination of standardized indices**

The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is a vegetation index based on a combination of reflectance's measured in red (RED) and near infrared (PIR). It is calculated according to the following formula:  $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$  where PIR corresponds to the near infrared band and R that of red (Yoshida, 2005). The value of the NDVI of lowlands' potential in Nakanbé-Dem sub-watershed is between - 0.672 and 0.791.

The projection of NDVI map showed that the value of  $NDVI < - 0.672$  corresponds to spaces without vegetation such as water bodies and soils; moderate values (0.2 to 0.3) represent crop fields, while high values (0.5 to 0.8) indicate riparian formations.

The NDWI (Normalized Difference Water Index) was used to detect soil moisture and water content in vegetation. The middle infrared spectral band is used in place of the red band.  $NDWI: (PIR - MIR) / (PIR + MIR)$  (Gao, 1996). The NDVI values and NDWI tent to analyze the spatio-temporal distribution of potential of the landscape units in lowlands (Kaplan and Avdan, 2017) ; (Souberou *et al.*, 2017).

### Ecological structure of lowlands

Soil and vegetation data were collected using stratified random sampling according to topographical stages. A total of 11 plots were established in central zones; 18 in hillsides and 7 in glacis for data collection. Woody species were measured in plots of 50 m x 20 m. Every woody species greater than 20 cm diameter at 130 cm height was identified and measured. Then sub-plots of 10 m x 10 m were used for herbaceous diversity sampling. Flora parameters analyzed were: woody cover, density of regeneration individuals, tree density, quadratic diameter, tree height, ligneous plants species richness, herbaceous species richness. These different measurements have been taken on the glacis, hillsides and Central zone. Inside each plot, soil samples were taken at depths of 0 -30 cm. The following soil parameters were analysis: useful water content, saturation rate, carbon, nitrogen, potassium and bulk density.

A canonical discriminant analysis by R software was used to discriminate the three zones of the lowlands (glacis, hillsides and central zone). This type of analysis allowed to perform a linear combination of all quantitative variables in order to discriminate between states. Canonical discriminant analysis has been used in ecological studies (Hountondji, 2008); (Soulama, 2016). Thus, the average of each parameter was calculated. Finally, taxon quantification parameters (abundance, dominance, basal area and frequency) were used to calculate the relative ecological importance of each woody species expressed by the Importance Value Index (IVI). The basal area (G) was the sum of the cross-sectional areas (in m<sup>2</sup>) of all individuals of a species with diameter at 20 cm above ground level of at least 5cm and is reported per hectare. The IVI of a species was defined as the sum of its relative dominance, relative density, and relative frequency. The values of relative dominance, relative frequency and relative density vary between 0 to 100% and the IVI of the species varies from 0 to 300%. For multi-stemmed individuals the diameter d was the quadratic sum of all the diameters of the stems of the individual measured. The diameter formula d was calculated as follows:

$$d = (ds1^2+ds2^2+ds3^2.....dsi^2)^{1/2}$$

(3)

$$\text{Basal area (G)} = D^2 20 \frac{\pi}{4} \text{ where D is the diameter of 20 cm above 5 cm}$$

(4)

$$\text{Relative dominance (DR)} = \frac{\text{Species basal area}}{\text{Total basal area of all species}} \times 100$$

(2)

$$\text{Relative density (Dr)} = \frac{\text{Species individual number}}{\text{Total individual number}} \times 100$$

(3)

$$\text{Species frequency (Fs)} = \frac{\text{Plots number containing the species}}{\text{Plot total number}} \times 100$$

(7)



$$- \text{Relative frequency (FR)} = \frac{\text{Species frequency}}{\text{Sum of all frequencies}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{IVI} = \text{DR} + \text{Dr} + \text{FR} \quad (9)$$

## Results And Discussion

### Potential In The Lowlands Of The Nakanbé-Dem Sub-Watershed

The Digital Terrain Model (DTM) showed the different topographical facets where rivers and in particular lowlands originate in the upstream part of the hydrographic network. The slopes generated in the study area varied from to more than 30%. These values showed that the study area is hilly in places. This corroborates the results of (Da *et al.*, 2008) who noted that Nakanbé-Dem relief is in the form of hills and steep slopes. These authors specified that depressions have developed on the outskirts of high reliefs between steep slopes (> 30 °) and slightly inclined glacis (1 to 5 °). The low resolution of the image (30 m) did not allow for individual mapping of the lowland, but it did allow the exhaustive potential of the lowland to be identified and listed. Covering an area of 43320 ha, the lowland potential represented 26.25% of Nakanbé-Dem watershed area 165 029 ha. It composed by all the lowlands with an area of more than 0.5 ha. Its occupation units experienced a regressive dynamic during the thirty years considered (Fig. 3).

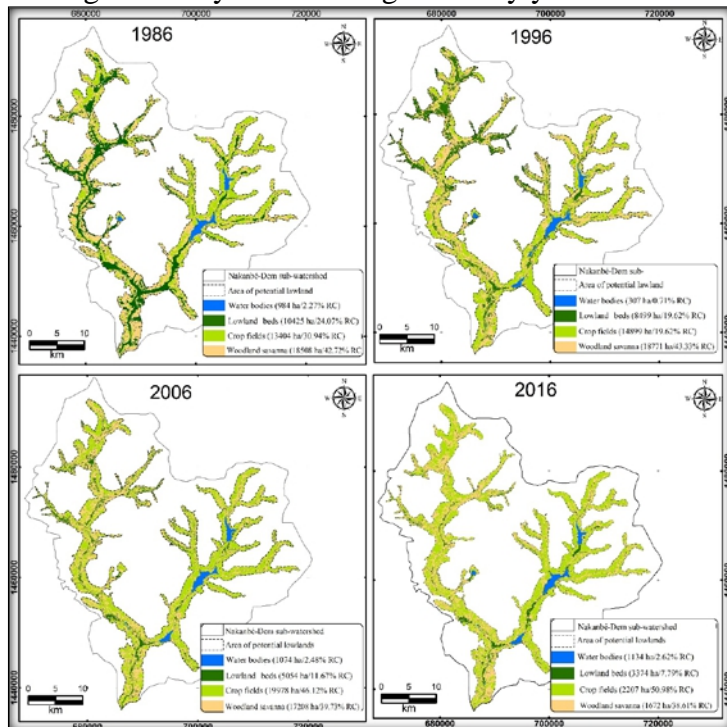


Figure 3: Dynamics of lowland potential landscape units.

*Rc*: Rate of coverage.

## **Comparative evolution of lowland potential landscape units**

### **○ *The lowland beds***

Between 1986 and 1996, the lowland beds knew a sharp decline from 24% to 20% of the total lowland potential of Nakanbé-Dem (table 2). They were severely affected by the drought periods of the 1980 that experienced in Burkina Faso (Bandré *et al.*, 2004); (MEE, 2001). Anthropogenic influence has accentuated environmental degradation and accelerated lowland areas (Ouédraogo, 2006); (Pierre, 2007). From 1996 to 2006, the regression of lowland beds continued. Its coverage rate has been reduced by 8%, from 20% to 12% (table 2). Between 2006 and 2016, the lowland beds maintained their continuous downward trend. During this period, their coverage rate decreased from 12% to 7.8%.

Over these three decades, the lowlands beds have lost more than two thirds of their area, from 10.424 % in 1986 to 3.374 % in 2016, a reduction of 7.050 hectares. These results corroborate those of (Ouédraogo *et al.*, 2010) who pointed out that in addition to anthropogenic pressure, the speed of regression in the lowlands is also due to the decrease in rainfall in Burkina Faso which caused a change in the state and appearance of ecosystems. These results confirm those of (Bambara *et al.* (2013) who also discussed the combined effects of climate adverse circumstances and intense human activities to explain the drying up of rivers, the decline of groundwater and degradation of the vegetation cover in the lowland of the Sudano-Sahelian zone. According to (Kaboré *et al.*, 2013), the pressure on these resources was so great that the cultivation of crops extends from the bank to the bed, which accentuates the silting up of shallow beds.

### **○ *Crop fields***

Crop fields increased by 3.4% between 1986 and 1996. Compared to the overall lowland potential, their coverage rate increased from 31% to 34% respectively (table 2). This extension corroborates the results of many authors (Ibrahim, 2013); (Da *et al.*, 2008); (Ouédraogo *et al.*, 2010) who were interested in the Center-North region. These authors noted that the destruction of plant cover and the loss of biodiversity have contributed to the extension of crop fields in the region. Between 1996 and 2006, the cultivated fields continued their progression passing respectively from 34% to 46% with an increase of 12%. According to (Ouédraogo *et al.*, 2010), the Center-North of Burkina Faso being particularly affected by the phenomenon of degradation, the soils there tend, under the effect of thunderstorms, to undergo surface reorganizations. Repeated droughts and unsuitable farming practices have led to the destruction of the plant cover which exposed the soil to wind and rain by accelerating its erosion (Hountondji, 2008); (Niang, 2006).

During the period from 2006 to 2016, the progression of crop fields became more remarkable. It went from 46 to 51% with a total increase of 4.9%. The

high demography that characterized the Sudano-Sahelian zone has led to pressure on agricultural land and caused soil degradation (Ouédraogo *et al.*, 2010). During the thirty years considered, the farming areas only have expanded (Fig.4). They increased from 31% in 1986 to 51% in 2016, for a total of 20% increase. The average annual progression of degraded areas was 5%. In terms of area, they increased from 13.404 to 22. 090 hectares, an increase of 8.686 hectares in 30 years.

**Table 2: Spatial evolution of potential lowland areas**

Period analysis	Riparian formations		Lowland beds		Cultivated fields		Water bodies		Coverage rate (CR)	
	Cov.(ha)	CR (%)	Cov.(ha)	CR (%)	Cov.(ha)	CR (%)	Cov.(ha)	CR (%)	Cov.(ha)	CR (%)
1986	18508	42,72	10424	24	13404	31	984	2,27	43320	100
1996	18771	43,33	8500	20	14901	34	1148	2,65	43320	100
From 1986 to 1996	263	0,61	-1924	-4	1497	3,4	164	0,38	-	-
Appreciation	Progression		Regression		Progression		Progression			
1996	18771	43,33	8500	20	14901	34	1148	2,65	43320	100
2006	17208	39,73	5055	12	19983	46	1074	2,48	43320	100
From 1996 to 2006	-1563	-3,6	-3445	-8	5082	12	-74	-0,17	-	-
Appreciation	Regression		Regression		Progression		Regression			
2006	17208	39,73	5055	12	19983	46	1074	2,48	43320	100
2016	16722	38,61	3374	7,8	22090	51	1134	2,62	43320	100
From 2006 to 2016	-486	-1,12	-1681	-4	2107	4,9	60	0,14	-	-
Appreciation	Regression		Regression		Progression		Progression			
1986	18508	42,72	10424	24	13404	31	984	2,27	43320	100
2016	16722	38,61	3374	7,8	22090	51	1134	2,62	43320	100
From 1986 to 2016	-1786	-4,11	-7050	-16	8686	20	150	0,35	-	-
Appreciation final	Regression		Regression		Progression		Progression			

o **The water bodies**

The surface area of water bodies increased slightly between 1986 and 1996. It increased respectively from 2.27% to 2.65% compared to the total lowland potential (table 2). This increase corresponded to a gradual improvement of the situation of water bodies, severely reduced during the dry period that preceded this decade. These results confirmed the analysis of (Ouédraogo *et al.*, 2010) who noted that during the drought periods of the 1970, a deficit in rainfall was recorded and the filling rates of the reservoirs were very poor in northern Burkina Faso. Between 1996 and 2006, the coverage rate of water bodies started a regressive trend. It went down from 2.65 to 2.48%, or 0.17% reduction. The main manifestations of climate change in Burkina Faso have been marked by a chronic drop in precipitation and a greater frequency of drought pockets (MEE, 2001).

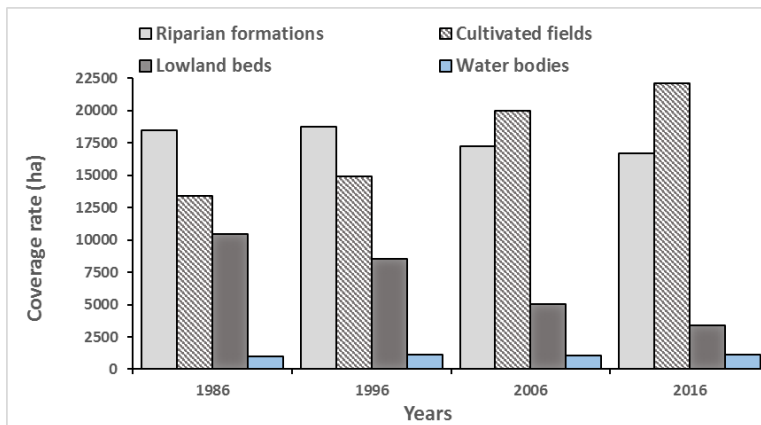
On the other hand, from 2006 to 2016 the water bodies experienced a slight increase of 0.14%, going from 2.48% to 2.62% (table 2). This increase is explained by the creation of water reservoirs in certain watersheds in the north of the country to cope with the increasing population increase (DREP/CN, 2017) and the climatic hazards (Nébié, 2018). Around 1985, the Burkinabé State began a policy of building water reservoirs with the help of non-governmental organizations operating in the country (CR-CN, 2015). This has resulted in a relative abundance of water bodies in the center-Nord region (MR-CN, 2011).

The coverage rate of water bodies between 1986 and 2016 did not keep a linear evolution, but slightly progressive overall. It went from 2.27 to 2.62%, a slight increase of 0.35%.

○ **Riparian pattern**

Riparian pattern increased by 0.61 % between 1986 and 1996. From 42.72%, its coverage rate increased to 43.33 % (table 2). This decade which followed the great periods of drought knew a slight return to good environmental conditions. From 1996 to 2006, riparian pattern declined. Its coverage rate increased from 43.33% to 39.73%. This regression is explained by the increasing land pressure (DREP/CN, 2017) which was manifested by the fact that everywhere, even the sites that were once abandoned, are starting to be cultivated.

During the period from 2006 to 2016, riparian pattern maintained its downward trend, going from 39.73% to 38.61%. From 1986 to 2016, the development of riparian pattern was regressive overall. Its coverage rate fell from 42.72 to 38.61%, for a total of 4.11% reduction. Anthropogenic factors have put pressure on lowlands ecosystems. Population growth and land degradation have led the population to make more use of lowlands. In Sahelian countries, the lowlands have undergone an anthropic pressure with climatic variability. They have suffered from degradation of the hillsides drying of the water, disappearance and degradation of the plant cover (Souberou *et al.*, 2017).



**Figure 4:** Comparative evolution of landscape units of the shallow potential

**Current indicators and risks of degradation of Nakanbé-Dem lowlands**

Figure 5 showed canonical discriminant analysis of the topographical effect on vegetation and soil parameters. This analysis showed a difference between lowland's central zone, hillsides and glaciais.

Axes 1 and 2 explained 100% of the explained variance. Axis 1 separated the central zone from the glacis and the hillsides. While axis 2 separated the glacis from the hillsides.

From Pedological aspects, central zone is characterized by a concentration great of organic matter (1.49%) (great rate of carbon and nitrogen) against 0.89 for glacis and 0.90 for hillsides. The useful water content (19.75 %) and the rate of saturation (64.85) in the central zone are great. These values are low on the glacis (9.36 and 63.77) and on the hillsides (12.17 and 59.66).

Flora and soils analysis (Fig. 5) showed differences in lowlands topographic structures. Unlike hillsides and glacis, their central zone is less degraded. It is characterized by an average specific richness of woody plants about 3.43% against 3.13 % for the hillsides and 2.44 % for the glacis. Tree average density (129.29 in/ha), the number of trees large diameter (118.55 in/ha) and woody cover (61.79 %) are higher in the central zone than on the hillsides and glacis. The fairly long presence of water explained the good behavior of plants in this compartment. In this central zone, the organic matter content was great because water drains soil nutrients and granulometric elements. Plants that took advantage of this fertility grew well (Sambaré *et al.*, 2010). Rate saturation was particularly great because the fine grain size of the clay and silt that accumulate in this part of the lowlands (Bamory *et al.*, 2007) ; (Pfeffer, 2011). As for the useful water content, it characterized the central zone due to the dominance of clay and fine silt which tend to retain water (Durand, 2003).¶ The glacis and hillsides were in difficult soil conditions than the central zone. Organic matter and mineral elements were carried away by the water towards the central zone (Sambaré *et al.*, 2010). The bulk density of soils was great on hillsides and glacis due to insufficient organic matter. Organic matter influences soil structure and texture (Hassine *et al.*, 2008) ; (Pallo *et al.*, 2009). Glacis and hillsides were cereal crops farms which enriched the soil with potassium. While, the central zone was used for rice fields, the straws of which are less rich in potassium (Ben Hassine, 2006). Finally, the great number of regenerating seedlings in glacis and hillsides, is due to zoochory. The animals that frequented the lowlands deposited the seeds of the plants. However, due to the difficult climatic conditions in this area, these seedlings cannot survive (Soulama, 2016).

Importance Value Index (IVI) assessed Ecological significance of the species (table 3). It provided a better understanding of the importance of species in a community. In the glacis, three species belonging to Fabaceae-Mimosoideae family, represented 83.3% of the total IVI. These were *Balanithes aegyptica*, *Acacia senegal* and *Faidherbia albida*. In the hillsides, four species were remarkable with a total IVI equal to 37.84%. There were *Balanithes aegyptica*, *Acacia senegal* ; *Acacia nilotica* and *Faidherbia*

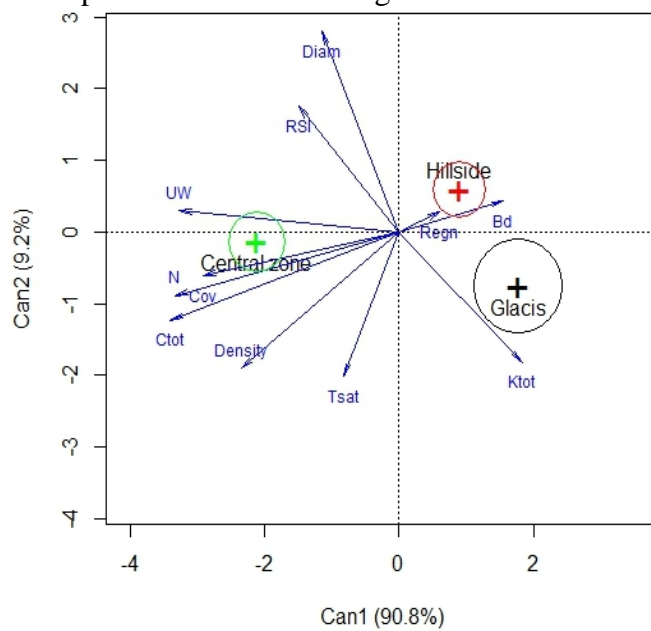
*albida* . These dry environment species (Mahamane *et al.*, 2007) characterized lowlands glacis and hillsides. Therefore, hillsides had relative ecological characteristics close to glacis. Finally, in the central zones, the ecological dominant species were *Acacia polyacantha*, *Mitragyna inermis*, *Diospyros mespiliformis* and *Anogeiossus leocarpa* . These wetland species (Mahamane *et al.*, 2007) ;(Sambaré *et al.*, 2010) ; (Kaboré *et al.*, 2013) represented 59.32% of the total of IVI.

According to the Ramsar Convention, wetlands include areas of marsh, permanent or temporary water, including their adjacent shores (Ramsar, 2013). Wetlands vegetation includes semi-deciduous forests, woodlands and savannas located at the banks of rivers, streams, and semi-permanent water points. In the Sahelo-sudanian region, species that are commonly identified as being characteristic of wetlands were *Anogeiossus leiocarpa*, *Diospyros mespiliformis* ; *Mitragyna inermis* ; *Acacia polyacantha* Willd ., *Crateva adansonii* DC and *Terminalia macroptera* (Konaté, 2000); (Kaboré *et al.*, 2013). Thus, the central zone of Nakanbé-Dem lowlands showed a relative floristic balance compared to the adjacent zones. The dominant families in hillsides and glacis strata were zygophyllaceae and Fabaceae-Mimozoidae. These plants were characterized by a higher degree of sclerophyllia (plants whose leaves turn into thorns to limit water loss due to drought). The abundance of these species was explained by their adaptability to degraded soils and climatic conditions and by low use by populations (Khouidia *et al.*, 2014). The low representation of Rubiaceae and Caesalpiniaceae families in hillsides and glacis strata reflected the temporary nature of the moisture in these sites (Sambaré *et al.*, 2010) ; ( Kaboré *et al.* 2013). In addition, the high number of herbaceous species in glacis and hillsides than central zone which was rich in woody species, was another indicator of degradation of these first two units. Previous studies have shown a correlation between the degradation of sites and their specific enrichment (Soulama *et al.*, 2015) ;(Soulama, 2016). Given the Sahelo-sudanian context where the pressure of livestock on wetlands was high, these biological indicators suggested that grazing pressure was one of the major factors in lowland's degradation. Indeed, grazing caused specific enrichment by importing seeds of herbs or primed woody species (Soulama *et al.*, 2015).

Plant communities located in hillsides and glacis losed wetland specific flora and were more degraded than the ones located in central zone. In these strata flood duration was shorter than lowlands central zone (Sambaré *et al.*, 2010) ;(Sambaré *et al.*, 2011).

The natural regeneration of Sahelian glacis was highly dependent on soil surface conditions, microtopography and various anthropogenic activities (Kröpfl *et al.*, 2013). Lowlands plants were affected by the combined effects of stress and disturbance due to climatic hazards and

overgrazing. These factors have had significant negative effects on species growth and development on the Sahelian glacis.



**Figure 5: canonical discriminant analysis of the effect of topography on vegetation and soil parameters**

*Legend: **Cov** = Woody cover; **Regn** = Density of regeneratin individuals; **Density** = tree density; **Diam** = Quadratic diameter; **RSI** = Ligneous plants species richness; **RSh** = Herbaceous species richness; **PF** = Useful water contents; **Tsat** = Saturation rate; **pHe** = potential Hydrogen in water; **Pass** = assimilable phosphorus; **Ctot** = Total Carbon; **N** = Nitrogen; **Ktot** = Total potassium; **Bd** = Bulk density.*

**Table 3:** Ecological importance of Nakanbé-Dem lowlands species

Species	Importance value Index (IVI)			Family
	Glacis	Hillsides	Central zone	
<i>Acacia laeta</i> R. Br. ex Benth.	8,00	-	-	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex. Del.	-	22,16	-	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia polyacantha</i> Willd	-	-	48,44	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	46,41	24,21	-	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia senegalensis</i> (L.) Willd	-	14,53	-	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia seyal</i> Del.	16,17	13,66	17,74	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Acacia sieberiana</i> DC.	-	-	13,18	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Adansonia digitata</i> L.	-	18,25	-	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. et Perr.	-	14,17	25,48	Poaceae
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	15,32	18,95	11,61	Meliaceae
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	176,41	36,15	8,14	Zygophyllaceae
<i>Bombax costatum</i> Pellegr. et Vuillet.	11,5	7,98	-	Malvaceae
<i>Boscia angustifolia</i> A. Rich.	-	6,96	-	Capparaceae
<i>Combretum micranthum</i> G. Don.	-	4,6	8,16	Combretaceae
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. DC.	-	16,49	36,34	Ebenaceae
<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A.Chev.	26,19	21,01	4,04	Fabaceae-Mimosoideae
<i>Ficus sycamorus</i> L.	-	-	6,88	Malvaceae
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	-	2,99	9,73	Meliaceae
<i>Lannea microcarpa</i> Engl. et K. Krause	-	5,4	4,17	Anacardiaceae
<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	-	16,19	67,72	Rubiaceae
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	-	5,27	14,68	Fabaceae-Caesalpinioideae
<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst	-	18,47	3,01	Anacardiaceae
<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	-	2,53	-	Bignoniaceae
<i>Tamarindus indica</i> L.	-	4,93	3,65	Fabaceae-Caesalpinioideae
<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. f.	-	20,17	17,03	Sapotaceae
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	-	4,92	-	Rhamnaceae
TOTAL	300	300	300	

The Nakanbé-Dem watershed has shown precipitation decrease in and anthropogenic pressures over the past decades (Thiombiano, 2000). The analysis of spatio-temporal dynamics allowed to perceive that the evolution of the socio-economic and biophysical factors of Nakanbé-Dem expose the lowlands potential to the accelerated degradation risks. The strong trend of population increase in the Center-Nord region (DREP / CN, 2017) will lead, over the next decades, to an intensification of the conquest of new productive lands. This growing demographic pressure often combined with inappropriate agricultural practices, including slash-and-burn, logging of trees for charcoal and obtaining firewood (Oloukoi *et al.*, 2006). Such a context increases the deterioration risk of lowlands potential. In the coming decades, if the demographic and climatic factors continue in Nakanbé-Dem, the rate of decline in riparian formation could increase and lead to their disappearance. The lowland beds will experience the same tendency to spatial reduction. This, in view of the grazing persistence and agricultural land clearing, which has accelerate the degradation of low-land (Thiombiano, 2000). This deterioration of the lowland beds will be accompanied by an extension of the areas of crop fields (Ibrahim, 2013). In view of the strong growing land pressure in Nakanbé-Dem (DREP/CN, 2017), this extension rate of farming could be higher in the coming years. Above all, when the



persistence of bad climatic conditions in the Sahelian zone of Africa is expected to worsen in the coming decades (Pana, 2003). Correlatively therefore to the climatic deterioration, the filling rates of the reservoirs will be poor. The spatio-temporal variability of the climate, the improper management of the soil will continue to accentuate the risk of weakening of the lowlands potential in the Nakanbé-Dem. To mitigate this risk in the coming years, it will be necessary to:

- build the capacity of lowland farmers in techniques of restoring lowland ecosystems;
- set up lowland management units involving operators, technical services of the State, NGOs and associations;
- develop and implement a manual of driest and techniques for the protection of the Sudano-Sahelian lowland.

### **Conclusion**

Lowlands' potential listed represents 43320 ha or 26.25% of the Nakanbé-Dem sub-watershed (165029 ha). It composed by all the lowlands with an area more than 0.5 ha and whose slope was less than or equal to 2%. Occupation units of lowlands' potential in the Nakanbé -Dem knew a spatial dynamic of degradation between 1986 and 2016. In addition, ecological and pedological indicators indicated that degradation is less pronounced in the central areas of the lowlands that on glacis and hillsides. The persistence of poor rainfall, the increase in the population and the bad soil management risk accelerating the degradation dynamics of the lowlands' potential in the Nakanbé-Dem. The results of the ecological and pedological analysis will guide the implementation of restoration actions which will be better adapted to the topography and to occupation units of lowland' potential. The lowland potential map produced is an instrument to help the geographic location of areas with high agricultural potential. Understanding the spatial dynamics of the lowland' potential will allow to take this into account in the development and implementation of programs to protect degraded ecosystems in the Nakanbé-Dem lowlands.

### **Aknowledgements**

Nakanbé Water Agency (NWA) and the Permanent Secretariat for Integrated Water Resources Management (SP / IWRM) are gratefully thanks for their contributions to this work.

### **References:**

1. AL-Awadhi, O, S.. & R.F., M. (2004). Land degradation indicators in Kuwait. *Land degradation & Development*, 16, 163-176.

2. Andriessse, W., Fresco, L., Duivenboode, N., Windmeijer, P. (1994). Multi-scale characterization of inland valley agro-ecosystems in West Africa. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 159–179.
3. Anyamba, A. & Tucker, C.J. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63, 596–614.
4. Ariori, S.L. & Ozer, P. (2005). Evolution des ressources forestières en Afrique de l’Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années Trends in Soudano-Sahelian West African extent of forest during the second half of the 20th century. *Geo-Eco-Trop*, 29, 61–68.
5. Bambara, D., Bilgo, A., Hien, E., Masse, D., Thiombiano, A., Hien, V. (2013). Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio environnementales à Tougou et Donsin, climats sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 74, 16.
6. Bamory, K., Luc, S., Guillaume, F., Jean-Luc, S., Marc, D., Pascal, A. (2007). Processus et bilan des flux hydriques d’un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin (Donga, haut Ouémé). *ScienceDirect*, 339, 418–429.
7. Bandré, E. & Da, D.E.C. (2004). Impact de la dynamique du couvert végétal sur l’ensablement du lac Dem au Burkina Faso. *Priorités et pratiques du développement rural en Afrique subsaharienne*, 135–148.
8. Bigot, S., Isabelle, Z., Diedhiou, A. (2005). Apport de données de HRV de SPOT pour l’étude des variations phénologiques dans le bassin de l’Ouémé (Bénin). *Téledétection*, 4, 339–353.
9. Chabi, A., Oloukoi, J., Mama, V.J., Kiepe, P. (2010). Inventaire par télédétection des agro-écosystèmes de bas-fonds dans le centre du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 19, 446–453.
10. CPCS. (1967). Commission de pédologie et de cartographie des sols. Paris: Ensa- Grignon.
11. Collado, A.D., Chuvieco, E. Camarasa, A. (2002). Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 52, 121–133.
12. CR-CN. (2015). Plan régional de développement du Centre-Nord 2015-2019.

13. Da, D., Yacouba, H., Yonkeu, S. (2008). Unités morphopédologiques et gestion de la fertilité des sols dans le Centre-Nord du Burkina Faso par les populations locales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2, 306–315.
14. Diouf, A. & Lambin, E.F. (2001). Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48, 129–148.
15. Dlamini, P., Chivenge, P., Manson, A., Haplot, V. (2014). Land degradation impact on soil organic carbon and nitrogen stocks of sub-tropical humid grasslands in South Africa. *Geoderma*, 372–381, 235–236.
16. DREP/CN. (2017). Profil régional 2017 du centre-Nord. Kaya.
17. Durand, M.C. (2003). Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial. Origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques. Thèse de doctorat. Université de Poitiers.
18. Fontès, J. & Guinko, S. (1995). Carte de végétation et de l'occupation d'un sol du Burkina Faso. Notice explicative. Université de Ouagadougou., 67, (881-3101).
19. Gao, B. (1996). NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote sens. Environ.*, 266, 257–266.
20. Geymen, A. & Baz, I. (2008). Monitoring urban growth and detecting land-cover changes on the Istanbul metropolitan area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 449–459.
21. Hamma, Y., Dapola Evariste, D., Samuel, Y. (2000). Caractérisation du ruissellement et de l'érosion hydrique dans le bassin supérieur du Nakambe (Burkina Faso). *Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Équipement Rural, Envirowale*, 8.
22. Hassine, H. Ben. (2006). Nature minéralogique et rôle nutritionnel des argiles de sols céréaliers en région subhumide à semi-aride (Tunisie). *Comptes Rendus - Geoscience*, 338, 329–340.
23. Hassine, H., Aloui, T., Gallali, T., Bouzid, T., Amri, S.E.L., Ben, R. (2008). Évaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolutions*, 19, 2.

24. Hountondji, Y.-C. (2008). Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l’Afrique de l’Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l’Environnement.
25. Ibrahim, B. (2013). Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé.
26. INSD. (2009). Projections démographiques de 2007 à 20120. Ouagadougou.
27. Kaboré, E., Sambaré, O., Ouédraogo, A. & Thiombiano, A. (2013). Diversité et structure des cordons ripicoles le long de la sirba ( Nord-Est du Burkina Faso ). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7, 1929–1950.
28. Kaplan, G. & Avdan, U. (2017). European Journal of Remote Sensing Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50, 137–143.
29. Khoudia, N., Ndiaye, O., Diallo, A., Guisse, A. (2014). Flore et structure de la végétation ligneuse le long de la Grande Muraille Verte au Ferlo , Nord Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 79, 6938 – 6946. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v79i1.15>.
30. Konaté, L. (2000). Les bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie. Thèse. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Département de Géographie.
31. Kröpfl, A., Cecchi, G.A., Villasuso, N., Distel, R.. (2013). Degradation and recovery processes in semi-arid patchy rangelands of northern patagonia, Argentina. *Land Degradation & Development*, 24, 393–399.
32. Mahamane, A., Mahamane, S., Yacouba, B., Issaka, A., Ichaou, A., Saley, K. (2007). Analyse diachronique de l’occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 18, 296–304. DOI: 10.1684/sec.2007.0105.
33. MEE. (2001). État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Burkina Faso.
34. MR-CN. (2011). Enquête nationale sur l’accès des ménages aux ouvrages d’assainissement familial - 2010.

35. Nébié, O. (2018). Les aménagements hydro-agricoles au Burkina Faso : Analyse et bilan critiques. Travaux de l'Institut Géographique de Reims, 123–140.
36. Niang, D. (2006). Fonctionnement hydrique de différents placages sableux dans le Sahel Burkinabe.
37. Oloukoi, J., Mama, V.J., Fulbert, E., Agbo, B. (2006). Modélisation de la dynamique d'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. Télédétection, 6, 305–323. <https://www.researchgate.net/publication/279851907>.
38. Oszwald, J., Antoine, L., Arnauld de Sartre, X., Marcello, T., Gond, V., others. (2010). Analyse des directions de changement des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier Maçaranduba(PARA, BRÉSIL) ENTRE 1997 ET 2006. Revue Télédétection, 9, 97–111.
39. Oszwald, J., Kouacou Atta, J.-M., Kergomard, C., Robin, M. (2007). Représenter l'espace pour structurer le temps : Approche des dynamiques de changements forestiers dans le sud-est de la Côte d'Ivoire par télédétection. Revue Télédétection, vol. 7, n° 1-2-3-4, 271-282.
40. Ouédraogo, A. (2006). Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat. Université de Ouagadougou.
41. Ouédraogo, F. & Hottin, G. (1992). Carte géologique du Burkina Faso. Echelle 1 : 1 000 000 + notice explicative. Ouagadougou.
42. Ouédraogo, M., Youssouf, D., Somé, L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. Sécheresse, 21, 169–78.
43. Pana. (2003). Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso.
44. Pfeffer, J. (2011). Etude du cycle de l'eau en Afrique sahélienne : Approche multidisciplinaire et apport de la gravimétrie terrestre et spatiale. Thèse de doctorat. Université de Strasbourg.
45. Pierre, D. (2007). Interrelations Climat-Homme-Environnement dans le Sahel Burkinabé : impacts sur les états de surface et la modélisation hydrologique .
46. Ramsar. (2013). Le manuel de la Convention de Ramsar, 6ème édition.

47. Robert, E. (2011). Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée. Thèse de Doctorat. Université Michel de Montaigne -Bordeaux3.
48. Salovaara, K.J., Thessler, S., Malik, R.N., Tuomisto, H. (2005). Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 39–51.
49. Sambaré, O., Bognounou, F., Wittig, R., Thiombiano, A. (2011). Woody species composition, diversity and structure of riparian forests of four watercourses types in Burkina Faso. *Journal of Forestry Research*, 22, 145–158.
50. Sambaré, O., Ouédraogo, O., Wittig, R., Thiombiano, A. (2010). Diversité et écologie des groupements ligneux des cordons ripicoles du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Int J Biol Chem Sc*, 4, 1782–1800.
51. Souberou, K., Agbossou, K.E., Ogouwale, E. (2017). Inventaire et caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin à l'aide des images Landsat et ASTER DEM. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2, 1601–1623. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20>.
52. Souberou, K., Oloukoi, J., Amoussou, E. (2016). Cartographie du potentiel en bas-fonds aménageables de la commune de Matéri au Bénin. *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO*, 2, 1–27.
53. Souberou, K.T., Barre, I.O., Yabi, I., Ogouwale, E. (2018). Fondements géographiques de la valorisation agricole des bas-fonds au Sud du bassin versant de l'Oti (Bénin). *European Scientific Journal, ESJ*, 14, 1601–1623.
54. Soulama, S. (2016). Types d'utilisation des terres et indicateurs de dégradation de la biodiversité dans les réserves de Pama et les agrosystèmes ( Sud-est du Burkina Faso). Université Joseph KI - ZERBO.
55. Soulama, S., Kadeba, A., Nacoulma, B., Traore, S., Bachmann, Y., Thiombiano, A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de

- variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87, 8047. DOI: <http://www.globalscienceresearchjournals.org/>
56. SP/CONEDD. (2003). Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso. Ouagadougou.
  57. Thiombiano, L. (2000). Etude de l'importance des facteurs édaphiques et pédopaysagiques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Ouagadougou.
  58. Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., M., S., A., T., A., M., G., N. (2015). Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, 330–338.
  59. Yoshida, H. (2005). Observation of riparian vegetation in western Namibia by using NDVI and NDWI derived from. *Departmental Bulletin Paper/ Kyoto university*, 153–163.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Bouzou Moussa Ibrahim,**

Université Abdou Moumouni de Niamey. Niamey (Niger)

**Malam Abdou Moussa,**

Université de Zinder Niger

**Ingatan Warzagan Aghali,**

**Boubacar Na-Allah Abdoulaye ,**

**Bahari Ibrahim Mahamadou,**

**Faran Maiga Oumarou,**

Université Abdou Moumouni de Niamey Niger

**Mamadou Ibrahim,**

**Abba Bachir,**

Université de Zinder Niger

**Descroix Luc,**

IRD, UMR 208 PALOC MNHN/IRD, Patrimoines Locaux et Gouvernance, Paris cedex

**Le Breton Eric,**

Laboratoire de Géographie Physique, Meudon Cedex France.

**Vandervaere Jean-Pierre,**

Université de Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble France

**Dynamique Hydro-Erosive Actuelle Des Bassins Versants Endoreiques De La Region De Niamey (Sud-Ouest Du Niger)**

**Résumé**

La généralisation du ravinement et la baisse de la productivité des terres sont quelques-unes des principales contraintes qui assaillent l'utilisation des sols au Sahel. Pour gérer efficacement ces sols, une évaluation des processus hydro-érosifs est nécessaire. Ce travail a ainsi pour objectif d'analyser la dynamique hydro-érosive sur un site expérimental installé depuis 2004 dans la région de Niamey (Niger). Sur ce site, le dispositif de mesure est composé de huit parcelles de mesures de ruissellement et d'érosion, des stations hydrométriques à l'exutoire des deux bassins versants endoreiques et de plusieurs piquets destinés aux suivis morpho-dynamiques des ravines. Après une décennie d'observation, les ruissellements mesurés sur les parcelles se caractérisent par une dynamique saisonnière croissante sur les surfaces encroûtées (croûtes biologique et d'érosion) et décroissante sur les surfaces cultivées. Le coefficient de ruissellement varie de 5 % sur la surface cultivée à 58 % sur la croûte d'érosion. Au cours des 10 années de mesure, ce coefficient a connu une forte croissance en particulier sur la jachère (+ 80 %) et sur la surface cultivée (+ 300 %), traduisant ainsi la dégradation des sols. A l'échelle des bassins versants, l'augmentation du coefficient de ruissellement s'accompagne d'une érosion aréolaire qui décape le sol à une vitesse moyenne de 5 mm/an et d'une érosion linéaire active, de l'ordre de 4 m<sup>3</sup>/an au niveau des ravines suivies. Les transferts sédimentaires qui en résultent agissent sur le fonctionnement morpho-sédimentaire des cours d'eau. Des aménagements antiérosifs sont nécessaires pour dissiper les processus

Submitted: 25 July 2020

Accepted: 30 September 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Moussa Malam Abdou*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p149](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149)



Copyright 2020 Pradhan et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

Cite as:

Ibrahim B, Moussa M, Aghali, I, Abdoulaye B, Mahamadou B, Oumarou F, Ibrahim M, Bachir A, Descroix L, Eric L, Vandervaere J, (2020).

Dynamique Hydro-Erosive Actuelle Des Bassins Versants Endoreiques De La Region De Niamey (Sud-Ouest Du Niger). *European Scientific Journal, ESJ, 16 (33)*, 149.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149>



hydro-érosifs et préserver les services  
écosystémiques des sols des bassins.

---

**Subject:** Physical geography

**Mots clés :** Processus Hydro-Érosifs,  
Ravinement, Érosion Aréolaire, Tondi  
Kiboro, Sahel

## **Current Hydro-Erosive Dynamics Of The Endoreic Watersheds Of The Niamey Region (In The South-Western Region Of Niger Republic)**

***Bouzou Moussa Ibrahim,***

Université Abdou Moumouni De Niamey, Niger

***Malam Abdou Moussa,***

Université De Zinder (Niger)

***Ingatan Warzagan Aghali,***

Université Abdou Moumouni De Niamey Niger

***Boubacar Na-Allah Abdoulaye,***

***Bahari Ibrahim Mahamadou,***

***Faran Maiga Oumarou,***

Université Abdou Moumouni De Niamey Niger

***Mamadou Ibrahim,***

***Abba Bachir,***

Université De Zinder (Niger)

***Descroix Luc,***

Ird, Umr 208 Paloc Mnhn/Ird, Patrimoines Locaux Et Gouvernance,

***Le Breton Eric,***

Laboratoire De Géographie Physique, Meudon Cedex France.

***Vandervaere Jean-Pierre,***

Université De Grenoble Alpes, Cnrs, Ird, Grenoble Inp, Ige, Grenoble France

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p149](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p149)

---

### **Abstract**

Widespread gullying and the declining land productivity are some of the main constraints plaguing land use in the Sahel. In order to effectively manage these soils, it has become necessary to assess the hydro-erosive processes. The current study, thus, aims at analyzing the hydro-erosion dynamics on an experimental site installed since 2004 in the Niamey region (Niger Republic). On this site, the measurement device is made up of eight runoff and erosion measurement plots, hydrometric stations at the outlet of the two endorheic watersheds and several stakes intended for morpho-dynamic monitoring of the gullies. After a decade of observation, the runoff measured

on the plots is characterized by an increasing seasonal dynamic on encrusted surfaces (biological and erosion crusts) and a decreasing one on cultivated surfaces. The runoff coefficient varies from 5% on the cultivated area to 58% on the erosion crust. Over the 10 years of measurement, this coefficient has greatly increased, especially on the fallow (+ 80%) and on cultivated area (+ 300%); this increase consequently reflects soil degradation. At the watershed scale, the increase in the runoff coefficient is accompanied by area erosion (or the erosion of the area out of the basin) which strikes the soil at an average speed of 5 mm/year and active linear erosion measuring 4 m<sup>3</sup>/year as observed at the monitored (the ongoing investigated) gullies. The resulting sediment transfers act on the morpho-sedimentary functioning of rivers. Anti-erosion facilities are necessary to dissipate the hydro-erosive processes and preserve the ecosystem services of the soil in the basins

---

**Keywords:** Hydro-Erosive Process, Gullying, Area Erosion, Tondi Kiboro, The Sahel

## 1. Introduction

Depuis le début de la décennie 1970, le Sahel subit de profonds changements environnementaux qui se traduisent entre autres par le processus de désertification (Hountondji, 2008 ; Ozer et al., 2010) et une accélération des dynamiques hydro-érosives (Roose & Noni, 2004 ; Bouzou Moussa, 2006). Ces changements, liés à l'anthropisation et au changement climatique, se caractérisent par une diminution globale des couvertures végétales et par l'exposition des sols aux vents et aux pluies intenses, caractéristiques des zones sahéliennes (Panthou et al., 2014 ; Descroix et al., 2015). La dégradation des sols qui a résulté est marquée par le changement des propriétés physico-chimiques des sols (Ribolzi et al., 2000 ; Avakoudjo et al., 2015) et par l'accélération de ravinement (Valentin et al., 2005 ; Mamadou, 2012 ; Kombo-Kissangou et al., 2018). Les travaux effectués dans l'Ouest du Niger ont, par exemple, mis en évidence une multiplication du ravinement d'un facteur de 2 à plus de 5 en moins d'une génération (Leblanc et al., 2008 ; Bouzou Moussa et al., 2009 ; Malam Abdou, 2016) et des pertes de terre agricole de 2 à plus de 50 t/ha/an selon les états de surface (Ousseini, 2002 ; Bouzou Moussa et al., 2011 ; Abba, 2012 ; Collinet et al., 2013). L'augmentation du ravinement et de l'érosion des sols résultent de la dégradation physique des sols et de l'érosivité croissante des pluies depuis la décennie 1990. En effet, l'encroûtement superficiel (croûte d'érosion singulièrement) des sols amenuise progressivement les espaces agricoles (Leblanc et al., 2008 ; Malam Issa et al., 2009 ; Amogu et al., 2015) dans un contexte de forte demande en terre cultivable engendrée par la pression démographique. Certains auteurs parlent même de « crise érosive » dont la tendance est assez bien corrélée à

celle de l'évolution de l'occupation des sols (Bouzou Moussa et al., 2009 ; Souley Yero, 2012 ; Bahari Ibrahim, 2013). Cette étude est de ce fait réalisée afin d'analyser la dynamique hydro-érosive actuelle des petits bassins versants endoréiques de l'Ouest nigérien. Elle est conduite dans le cadre de l'Observatoire AMMA-CATCH (Analyse Multidisciplinaire de la Moussoon Africaine – Couplage Atmosphère Tropicale et Cycle hydrologique) dans la perspective de l'amélioration des connaissances sur les dynamiques hydrologiques et érosives du milieu sahélien.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Site de l'étude

Ce travail est réalisé sur le site expérimental de Tondi Kiboro, situé à environ 70 km à l'Est de Niamey. Ce site est composé de deux bassins versants expérimentaux (Figure 1) représentatifs des caractéristiques géomorphologiques de l'Ouest du Niger. Les grès argileux du Continental terminal et les dunes quaternaires qui les recouvrent superficiellement constituent les principales formations géologiques. On y distingue cinq unités paysagères. Les revers de plateaux et buttes recouverts d'une cuirasse ferrugineuse démantelée, les talus d'éboulis recouverts de broussailles, les jupes sableuses ou placages éoliens des versants, les glacis sablo-limoneux, portant des champs de mil et des jachères et enfin le bas-fond.

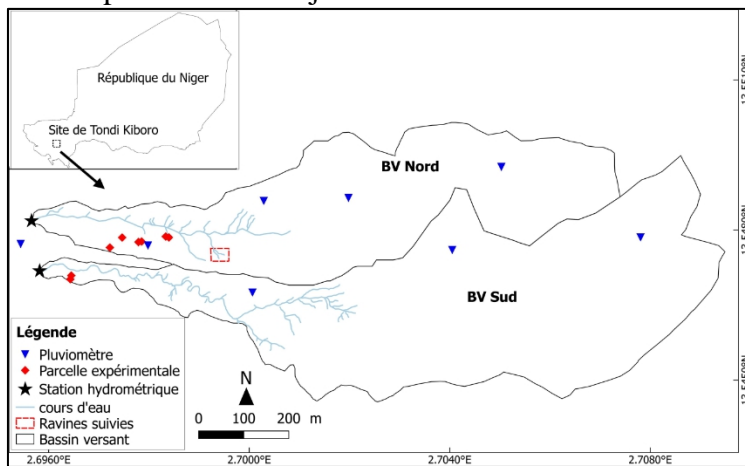
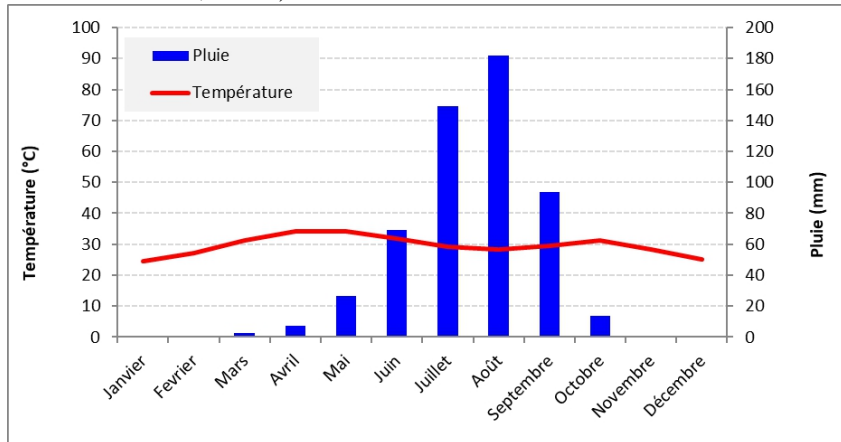


Figure 1. Situation et dispositif expérimental du site d'étude

Le climat est de type sahélien semi-aride caractérisé par une courte saison pluvieuse allant de mai-juin à octobre (Figure 2). La dynamique hydro-érosive s'observe intégralement durant cette période. Le reste de l'année est sec et dominé par des morphogenèses éoliennes causées par le vent. Entre 1960-2015 la pluviosité moyenne ( $540 \pm 129$  mm) a été fortement variable. En effet, l'application du test de Pettitt a décelé une rupture significative (au seuil de 5 %) qui est intervenue en 1968. Cette rupture, négative, marque le

début des sécheresses et se traduit par une baisse de l'ordre de 150 mm du cumul annuel total des pluies, par rapport à la moyenne de la période humide précédente. A partir de la décennie 1990, on assiste à une nouvelle tendance caractérisée par l'alternance rapprochée d'années humides et d'années sèches (Malam Abdou et al., 2016).



**Figure 2.** Diagramme ombrothermique de Niamey  
 Les pluies et températures correspondent aux moyennes de la période de 1960-2015.

L'étude de la dynamique hydro-érosive a été réalisée à l'aide d'un dispositif expérimental. Les observations ont débuté en 2004 et ont été effectuées à deux échelles spatiales : surface élémentaire et bassin versant.

## 2.2. Mesures du ruissellement et de l'érosion à l'échelle élémentaire

Le dispositif de mesure du ruissellement et de l'érosion en nappe composé de quatre paires de parcelles de dix mètres carrés (5m\*2m) chacune a été mis en place sur deux états de surface et deux types d'occupation des sols caractérisant le site d'étude. Ces types de surface sont : la croûte biologique (Biol), la croûte d'érosion (ERO), la jachère (Jac) et la surface cultivée (Cult.). Les parcelles de mesure sont munies en aval des tonneaux (200 litres) qui permettent de collecter les eaux ruisselées et donc de déterminer le coefficient de ruissellement (Kr) par (Equation 1) :

$$Kr = \frac{Lr}{P} \quad [1]$$

où Lr (mm) est la lame ruisselée moyenne des deux parcelles d'un état de surface sur l'ensemble de la période d'étude et P (mm), la hauteur de la pluie correspondante. Celle-ci est déterminée grâce à un réseau de huit (8) pluviomètres à lecture directe installés sur le site.

Pour déterminer l'érosion spécifique, on prélève deux échantillons par événement pluvieux et par parcelle afin de déterminer concentration de la charge sédimentaire après séchage à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Le

taux d'érosion par parcelle s'obtient en intégrant la concentration de sédiments sur le volume d'eau ruisselé.

### 2.3. Mesures du ruissellement et de l'érosion régressive

La dynamique est déterminée par l'instrumentation des deux bassins versants dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1. Les exutoires de ces bassins sont équipés de stations hydrométriques qui fournissent les hauteurs d'eau qui transitent par unité de temps lors des événements pluvieux. Ces hauteurs d'eau sont ensuite converties en débit grâce aux courbes de tarage respectives des stations (Malam Abdou, 2014). Les volumes ruisselés sont obtenus par l'intégration des débits sur la durée des écoulements.

**Tableau 1.** Mesure et caractéristiques morpho-métriques des bassins étudiés

<b>Variable</b>	<b>BV Nord</b>	<b>BV Sud</b>
Périmètre (m)	3080	3860
Surface (ha)	23.4	34.7
Pente moyenne (%)	2.6	1.5
Indice de compacité de Gravelius	1.8	1.8
Densité de drainage (km/km <sup>2</sup> )	7.8	5.1
Nombre de pluies suivies	315	162

Sur le versant, la dynamique érosive est appréhendée par l'étude de l'érosion régressive. Deux ravines d'ordre 1 (Figure 1), situées sur le versant ont été suivies à l'aide des piquets repères durant trois années (2006 à 2008). L'érosion régressive est mesurée après chaque pluie.

## 3. Résultats

### 3.1. Dynamique hydro-érosive des types de surface

Le Tableau 2 récapitule le nombre d'événements échantillonnés et les coefficients de ruissellement moyens obtenus pour la période 2005 - 2014.

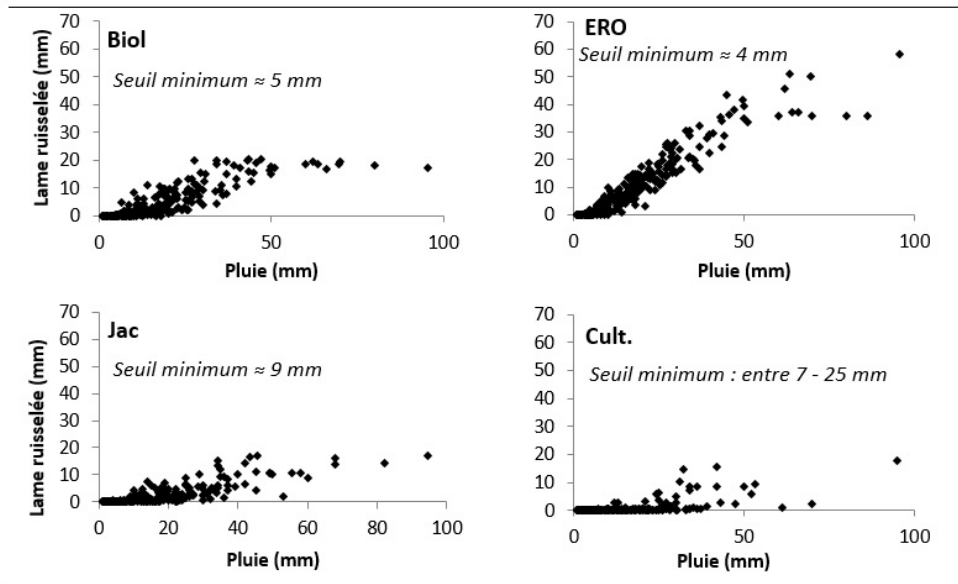
**Tableau 2.** Coefficients de ruissellement moyen et maximum par type de surface

<b>Type de surface</b>	<b>Nombre d'événements</b>	<b>Coefficient de ruissellement moyen</b>	<b>Coefficient de ruissellement maximum événementiel</b>
Biol	233	0.26 ( $\pm$ 0.01)	0.83
ERO	253	0.58 ( $\pm$ 0.03)	0.99
Jac	232	0.14 ( $\pm$ 0.01)	0.54
Cult	219	0.05 ( $\pm$ 0.01)	0.46

*NB. Le nombre entre parenthèse indique l'écart type entre les parcelles d'un même état de surface.*

Les faibles valeurs d'écart type traduisent la faible variation spatiale du coefficient de ruissellement pour un état de surface donné.

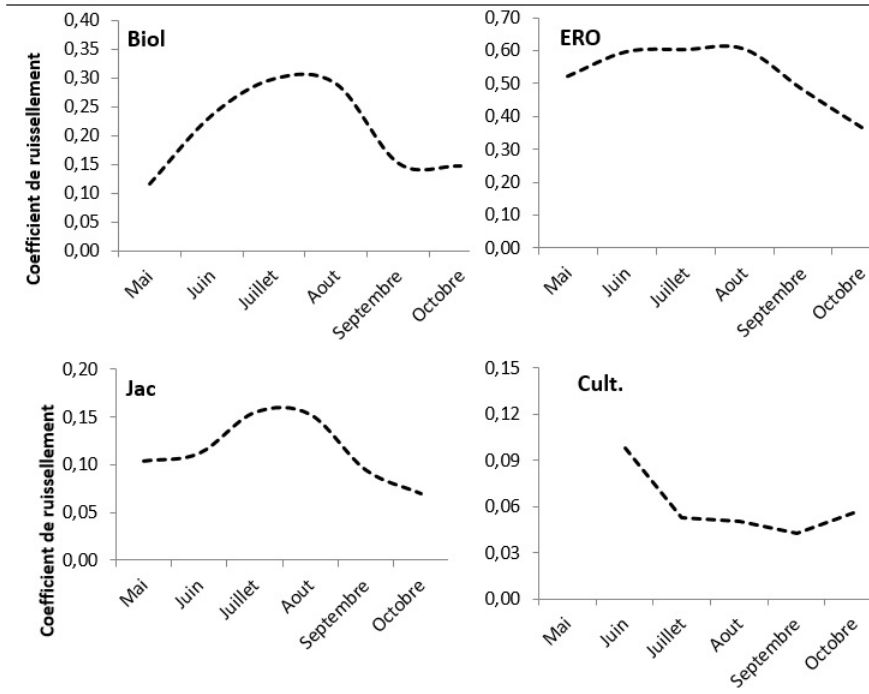
L'analyse des données événementielles (Figure 3) fait ressortir un effet de seuil. En effet, le ruissellement ne se déclenche pas à la même



hauteur de pluie sur toutes les surfaces. Les nombreux points alignés sur l'axe des abscisses, nettement observés sur les surfaces en jachère (Jac) et cultivée, indiquent l'absence de ruissellement.

**Figure 3.** Distribution des pluies et lames ruisselées par état de surface

Le seuil de déclenchement de ruissellement va de 4 mm sur la croûte ERO à plus de 20 mm sur la surface cultivée. Ces seuils ont été déterminés en discriminant les lames ruisselées en fonction des pluies. Ils correspondent à la hauteur des pluies minimales ayant généré du ruissellement. Sur la surface cultivée, la large gamme du seuil de production de ruissellement s'explique par l'effet du sarclage qui inhibe le ruissellement lorsqu'il est fraîchement réalisé. Mais cet effet s'estompe progressivement quand la surface sarclée reçoit des pluies. Par ailleurs, la dispersion des points est plus importante sur les surfaces Biol, en jachère et cultivée. Donc, à hauteur de pluie égale, le ruissellement produit varie d'un événement à l'autre pour des raisons plus ou moins spécifiques à chaque surface (développement de la couverture herbacée sur la parcelle, sarclage...). La dispersion est moins importante sur la croûte ERO dont l'état varie très peu dans le temps. Sur celle-ci, la variation de la production est davantage liée aux caractéristiques des pluies (hauteur, intensité) ou de l'humidité initiale que de l'état de la croûte elle-même. L'analyse des coefficients mensuels de ruissellement met en évidence deux types de dynamiques (Figure 4).



**Figure 4.** Dynamique saisonnière de ruissellement par état de surface

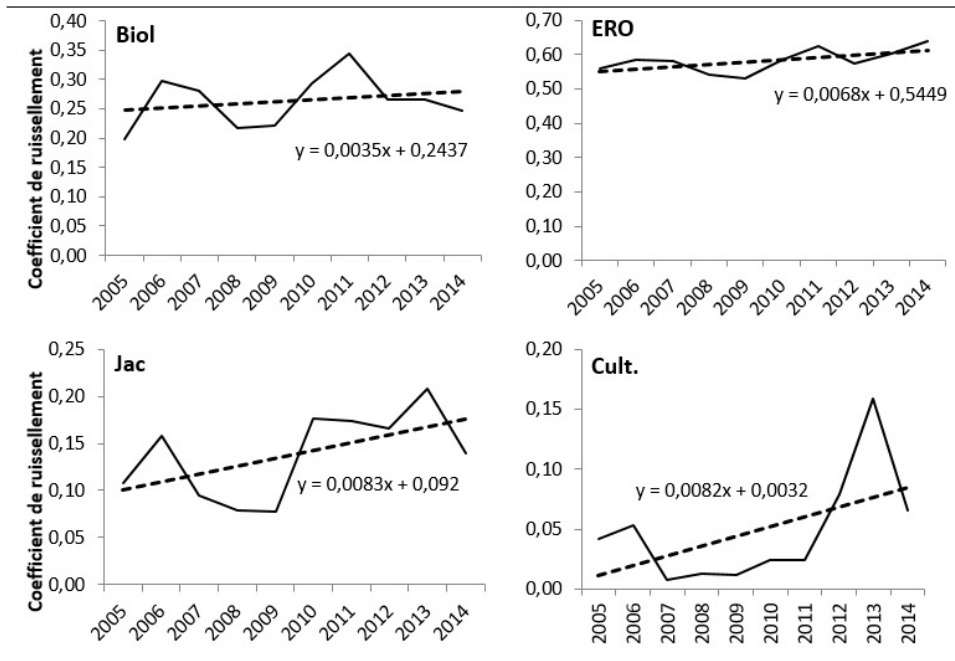
Le premier type décrit une croissance du coefficient de ruissellement entre les mois de mai et août, puis une décroissance au cours des autres mois de la saison. Cette dynamique est très caractéristique des surfaces biologiques et de la jachère sur lesquelles les premières pluies de la saison génèrent peu de ruissellement. L'encroûtement progressif des dépôts sableux par des pluies intenses successives engendre l'accroissement du ruissellement qui atteint son maximum en juillet ou août. Inversement, l'abondance des pluies au cours de ces derniers mois entraînent le développement d'un tapis herbacé important dont l'influence sur le ruissellement s'observe en septembre et octobre, qui se caractérise par une baisse de celui-ci. Ce type de dynamique s'observe aussi sur la croûte d'érosion mais à moindre mesure puisque le coefficient de ruissellement reste plutôt constant durant les trois principaux mois de la saison des pluies.

Le deuxième type se caractérise quant à lui par une décroissance de ruissellement du mai à août puis par une croissance en septembre. Elle est typique des surfaces cultivées. Les plus faibles valeurs de ruissellement s'observent en milieu de saison et s'expliquent par les opérations de sarclages qui interviennent généralement en juillet et en août. Sur le site d'étude, le 1<sup>er</sup> sarclage est souvent (huit années sur les dix suivies) réalisé au cours de la deuxième quinzaine de juillet tandis que le 2<sup>ème</sup> sarclage intervient en août. Les opérations de sarclages consistent à remanier la surface du sol sur une



dizaine de cm. Elles permettent ainsi de casser les croûtes superficielles et d'accroître l'infiltration de l'eau. Les pluies qui interviennent après le sarclage génèrent relativement peu de ruissellement.

A l'échelle interannuelle, le coefficient de ruissellement est très variable mais tend globalement à croître au cours des dix années d'observation (Figure 5). Sur les surfaces encroûtées, les coefficients de ruissellement ont varié de 20 à 34 % sur Biol et de 53 à 64 % sur ERO. L'augmentation est plus spectaculaire sur la jachère et la surface cultivée comme les montrent les coefficients directeurs de leurs droites de régression. Cette augmentation traduit l'intensité de dégradation de ces surfaces par encroûtement.



**Figure 5.** Evolution interannuelle du coefficient de ruissellement mesuré sur les parcelles

Par ailleurs, le processus de ruissellement s'accompagne de décapage et transfert des matériaux. Ainsi, sur chaque parcelle, l'épaisseur moyenne de sol décapé renseigne sur le transfert sédimentaire qui y est observé. La vitesse moyenne d'ablation (Tableau 3) est plus élevée sur la croûte d'érosion où chaque année, plus d'un centimètre de sol est perdu par décapage. Sur le versant, l'érosion transfère alors de dizaines de tonnes de sédiment vers l'aval où ils contribuent à l'ensablement dans les bas-fonds.

**Tableau 3.** Vitesse moyenne de l'érosion à l'échelle des parcelles durant la période d'étude

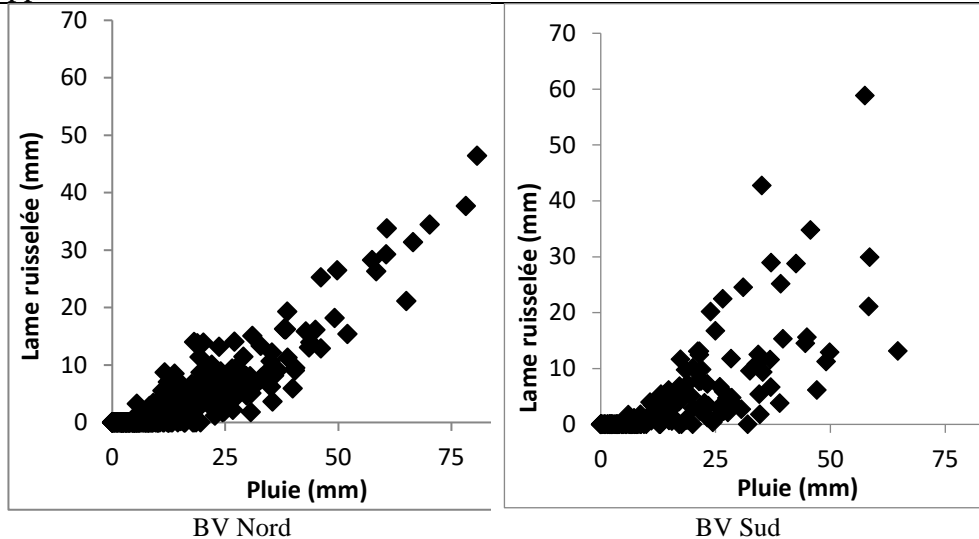
	Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Erosion (kg/m <sup>2</sup> )	Vitesse moyenne de décapage (mm/an)
<b>Biol</b>	1.74	5.5	3.2
<b>ERO</b>	1.74	25.5	14.7

<b>Jac</b>	1.69	2.4	1.4
<b>Cult</b>	1.62	0.8	0.5

### 3.2. Dynamique hydro-érosive à l'échelle de versants et des bassins versants

La distribution pluie-lame ruisselée (Figure 6) permet d'appréhender l'effet de seuil de production de ruissellement à cette échelle également. Ce seuil est d'environ 13 mm dans les deux bassins. Mais il arrive que des pluies de l'ordre de 20 mm ne déclenchent pas le ruissellement soit du fait des caractéristiques de la pluie (faible intensité par exemple) soit de l'état du sol (développement de la couverture herbacée par exemple). Ces caractéristiques justifient par ailleurs la dispersion des valeurs et particulièrement dans le bassin Sud.

Les coefficients de ruissellement moyens sont respectivement de 0.25 pour le bassin Nord et de 0.30 pour le bassin Sud. Le coefficient est plus élevé sur ce dernier du fait de ses surfaces contributives plus importantes. Il est en effet constitué à 73 % par le revers de plateau (contre 49 % pour le bassin Nord) couvert par un écosystème particulier, la brousse tigrée. Celle-ci est composée alternativement par des bandes nues et des bandes boisées disposées perpendiculairement au sens de l'écoulement. Les effets combinés des actions climatiques et anthropiques de ces quarante dernières années ont significativement réduit la proportion des bandes boisées au profit des surfaces nues et encroûtées (D'Herbès & Valentin, 1997), d'où l'importance des apports de ruissellement dans ce bassin.



**Figure 6.** Distribution des pluies et lames ruisselées par bassin versant

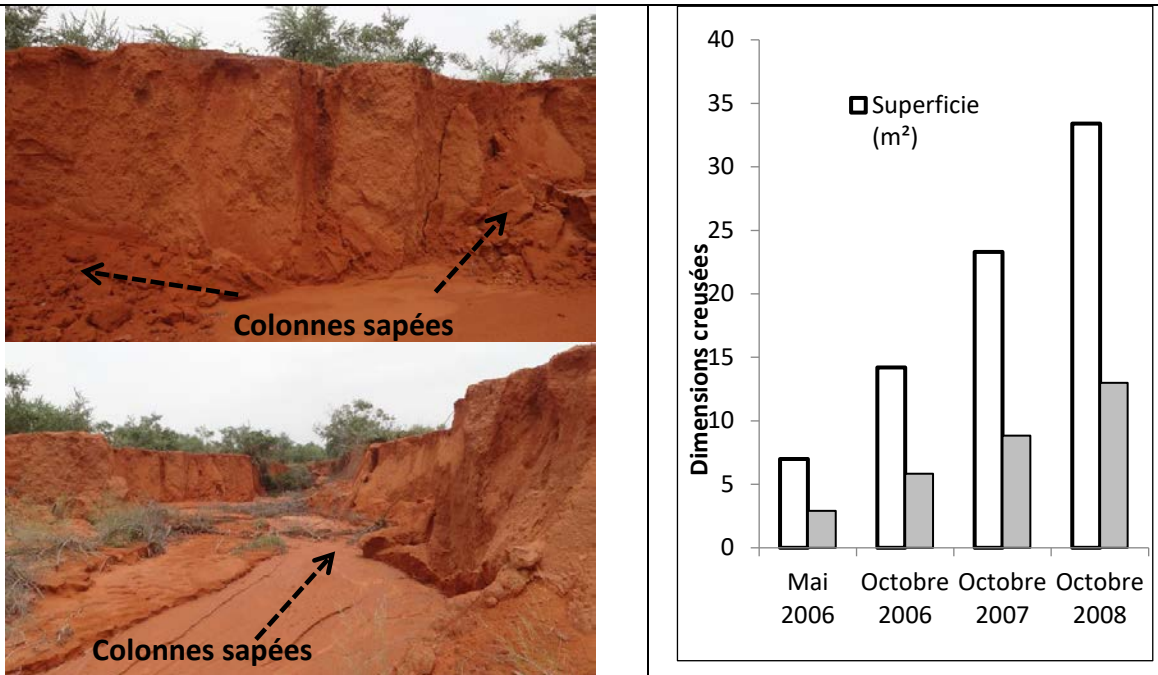
Les coefficients de ruissellement moyens annuels sont très variables (Tableau 4). En plus des caractéristiques des bassins, la variabilité peut être liée aux effets d'aménagements antiérosifs réalisés localement dans les bassins (Ingatan Warzagan et al., 2019). L'évolution interannuelle est plutôt variable.

**Tableau 4.** Evolution interannuelle du coefficient de ruissellement

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>BV Nord</b>	0.37	0.16	0.24	0.24	0.32	0.22	0.19	0.25	0.23	0.22	0.38
<b>BV Sud</b>						0.46	0.50	0.37	0.15	0.21	0.23

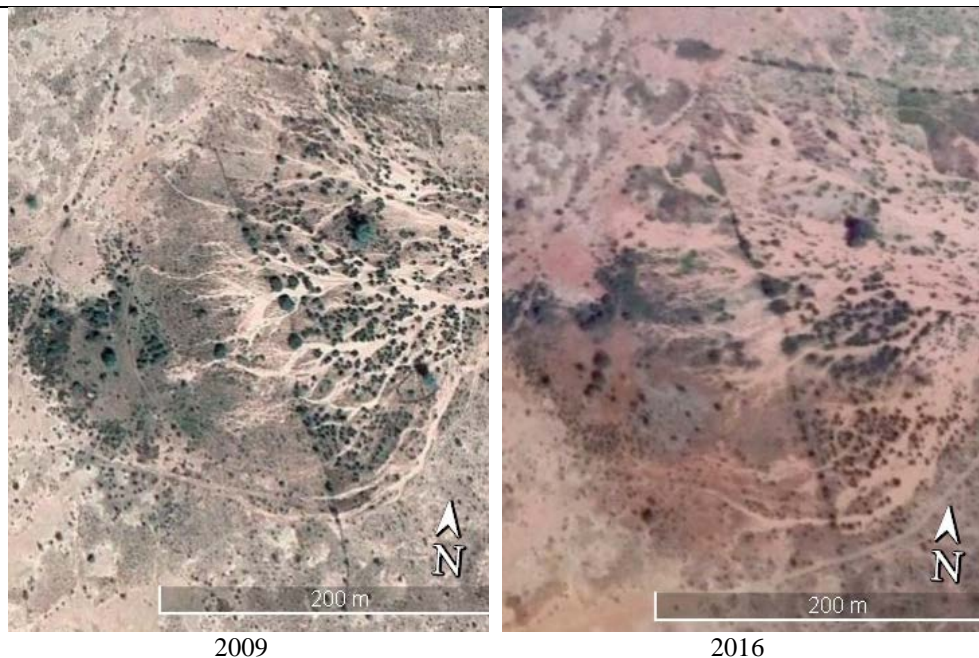
Source : travaux de terrain

A l'échelle de versant, l'analyse de l'érosion régressive montre une forte tendance à la dégradation. En effet, entre 2006 et 2008, chacune des deux ravines suivies s'est allongée de près de 12 m, soit une vitesse moyenne d'allongement de 4 m/an. L'extension du ravinement, par arborescence, constitue ainsi l'une des préoccupations actuelles de gestion de terres des versants cultivés. Ces derniers sont de plus en plus disséqués par des ravines d'ordre 1 ou par l'agrandissement des ravines d'ordre supérieur, ce qui a pour conséquence une diminution des terres cultivables. Outre l'allongement, le suivi dimensionnel des ravines a permis de déterminer respectivement la superficie et le volume creusés. La Figure 7 représente ces dimensions pour les deux ravines cumulées.



**Figure 7.** Effondrement de berges et évolution dimensionnelle (surface et volume) de deux ravines suivies entre 2006 et 2008

Par rapport à la situation de référence de mai 2006, la surface creusée a progressé de plus de 26 m<sup>2</sup>. Cette superficie correspond alors à la perte en terre agricole causée par ces deux ravines en trois ans, soit plus de 8 m<sup>2</sup> par an. Quant au volume creusé, il est passé de 2.9 m<sup>3</sup> à 13 m<sup>3</sup>, soit un transfert sédimentaire de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>. L'apport sédimentaire est davantage accentué par des sapements occasionnels des berges sableuses des ravines comme les montrent les photos de la Figure (7). Les colonnes décapées alimentent ainsi les flux sédimentaires qui sont transportés par les eaux courantes vers l'exutoire du bassin. L'accumulation de ces sédiments forme un cône d'épandage qui s'élargit au fil des années (Figure 8) contribuant ainsi à la morphogenèse du versant et du bas-fond. Sur l'image de 2009 (Figure 8), on observe des lits de ravines anastomosés qui débouchent dans une dépression boisée représentant la zone d'accumulation. Sur l'image de 2016 en revanche, les lits sableux sont unifiés et prennent nettement la forme du cône d'épandage. Ce processus de formation de cône est très caractéristique des dynamiques hydro-érosives de la zone d'étude et décrit à lui seul l'intensité des changements observés dans l'augmentation du ruissellement et des taux d'érosion.

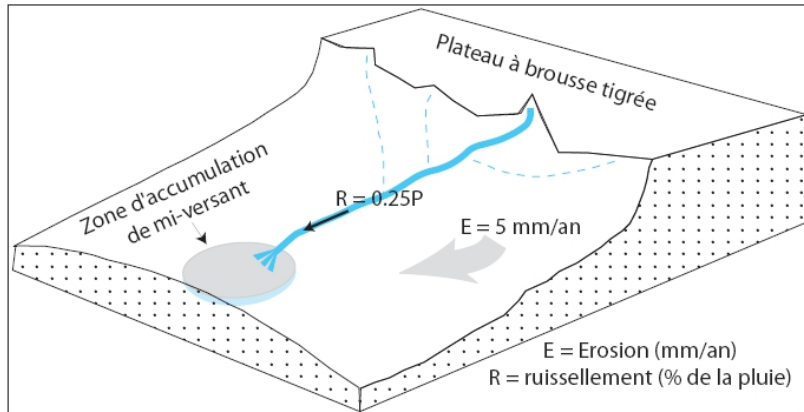


**Figure 8.** Formation du cône d'épandage à l'exutoire des bassins étudiés (images Google Earth)

#### 4. Discussion

L'érosion hydrique est l'une des principales causes de dégradation des sols cultivés. Son impact sur l'environnement et sur la productivité des sols

est devenu l'une des préoccupations majeures (Auzet et al., 2002). Les résultats obtenus dans ce travail mettent en évidence une intense dynamique hydro-érosive résultant de l'augmentation des ruissellements tant à l'échelle des parcelles qu'à celle du bassin versant, ce qui est précédemment rapporté par plusieurs auteurs (Bouzou Moussa et al., 2009 ; Descroix et al., 2013 ; Amogu et al., 2015). Elle est consécutive à la modification des propriétés du sol engendrée par la disparition de la végétation durant les sécheresses sahéliennes des années 1970 à 1990 et qui est ensuite accélérée par le défrichement et la mise en culture des sols. Sur le versant étudié (Figure 9), la vitesse moyenne d'érosion (moyenne des vitesses d'ablation mesurée sur les parcelles des différents états de surface) est d'environ 5 mm/an, ce qui dépasse largement la moyenne mondiale d'ablation de 8 mm/1000 ans (Brabant, 2008). A cette vitesse, l'horizon humifère du sol peut être décapé en une génération comme l'ont si bien rapporté les travaux de FAO-PNUE (2000), Roose & Noni (2004). Cette ablation est par ailleurs accentuée par l'érosion linéaire qui sectionne le versant et entraîne la perte des surfaces agricoles. Le volume de sédiments qui s'accumulent à l'exutoire du bassin n'a pas fait l'objet de quantification dans cette étude. Néanmoins, son importance est qualitativement appréhendée par l'évolution du cône d'épandage qu'ils forment. Aussi, l'estimation de l'érosion par la méthode topographique faite par Gendre et al. (2011) sur le bassin de Wankama (situé à une dizaine de km au Nord des bassins d'étude) renseigne sur l'accumulation sédimentaire en bas de versant. Ces auteurs l'ont évalué à 186 tonnes/ha/an, soit une épaisseur d'accumulation d'environ 1cm/an dans l'exutoire du bassin. Cette valeur est plutôt moindre comparée au taux de 4cm/an obtenu par la datation radiocarbone d'un charbon issu d'une carotte extraite d'un bas-fond péri-urbain de Niamey (Abdourahamane Toure et al., 2010). Ainsi, la disproportion entre le taux de l'érosion et de celui de la formation de sol par altération conduit vers un déséquilibre (Brabant, 2008) dont les indicateurs manifestes sont la généralisation du ravinement (Leblanc et al., 2008 ; Mamadou, 2012) et de l'encroûtement (Graef & Stahr, 2000, Valentin *et al.*, 2004, Valentin, 2005).



**Figure 9.** Bloc diagramme montrant les processus du ruissellement et de l'érosion sur le versant du bassin Nord

Si le décapage des sols constitue une contrainte, l'accumulation de ces derniers dans les exutoires situés à mi-versant peut présenter des externalités positives, qualifiées de bonnes érosions (Rossi, 1998), notamment l'épandage et l'infiltration des eaux qu'elles impliquent. Descroix et al. (2012) ont montré que l'épandage dissipe le ruissellement, ce qui entraîne du coup l'infiltration des eaux qui progresse à une vitesse de 1.3 m/h vers la nappe. Selon les années, le volume d'eau qui s'infiltré dans ces zones d'accumulation de mi-versant représente entre 5 et 16 % du volume de ruissellement annuel, soit entre 1000 et 25000 m<sup>3</sup> (Massuel et al., 2006). Ce volume contribue très probablement à la recharge de la nappe phréatique, et donc à la constitution des réserves en eau souterraine.

Cependant, l'accumulation des sédiments entraîne la disparition des cuvettes de mi-versant qui sont remplacées progressivement par des cônes d'épandage. Lors des averses, ces cônes, qualifiés de signaux de connectivité (Cossart, Lissak, & Viel, 2017) peuvent désynchroniser le continuum hydro-sédimentaire en divers points des bassins en envahissant le lit des cours d'eau et en entravant les écoulements longitudinaux des principaux systèmes hydrographiques (Taous et al., 2004). C'est ce qui explique l'intensité des dynamiques morphogéniques et l'instabilité spatiale du lit des cours d'eau dans le secteur d'étude.

## Conclusion

L'évaluation des processus hydro-érosifs et de leurs évolutions au cours des dix dernières années met en évidence une augmentation du ruissellement sur tous les états de surface de la zone d'étude. Cependant, les hausses les plus significatives ont été enregistrées sur les surfaces cultivées et en jachère. Ceci traduit leur dégradation par encroûtement et repose ainsi la problématique de gestion durable des terres cultivées eu égard à la croissance

démographique de la zone d'étude. A ce type de dégradation, s'adjoint par ailleurs l'érosion aréolaire qui décape le sol à une vitesse moyenne de 5 mm/an. Si des mesures correctives ne sont pas prises, les 20 premiers cm du sol se seront décapés en une génération. Ce temps serait encore moindre en tenant compte de l'érosion linéaire qui fait perdre au moins 8 m<sup>2</sup> de terres agricoles chaque année rien que par les deux ravines secondaire d'ordre 1 suivies. L'intensité de la dynamique hydro-érosive démontrée ici justifie l'urgence d'aménagement des bassins. Des techniques CES/DRS sont en expérimentation en vue de définir les mesures adéquates de protection et de restauration des sols des bassins.

### Remerciements

Les données analysées dans cet article ont été collectées grâce au soutien du programme AMMA-CATCH (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine – Couplage Atmosphère Tropical et Cycle Hydrologique) que nous remercions vivement.

### References:

1. Abba, B. (2012). *Changements d'usage des sols et érosion dans l'aire « ayi noma » à la périphérie du parc national du W du Niger*. Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey.
2. Abdourahamane Toure, A., Guillon, R., Garba, Z., Rajot, J. L., Petit, C., Bichet, V., Sebag, D. (2010). Evolution des paysages Sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroutement de surface des sols. *Pangea*, (47/48), 35-40.
3. Amogu, O., Esteves, M., Vandervaere, J.-P., Abdou, M. M., Panthou, G., Rajot, J.-L., Descroix, L. (2015). Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 60(1), 78-95. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.885654>
4. Auzet, A. V., Poesen, J., & Valentin, C. (Éds). (2002). Soil pattern as a key controlling factor of water erosion. *Catena*, 46(2-3), 85-220. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00159-X](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00159-X)
5. Avakoudjo, J., Kouelo, A. F., Kindomihou, V., Ambouta, K., & Sinsin, B. (2015). Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physicochimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin. *Agronomie Africaine*, 27(2), 127-143.
6. Bahari Ibrahim, M. (2013). *Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka, centre sud Niger*. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey.

7. Bouzou Moussa, I. (2006). Impacts irréversibles sur l'environnement des pluies exceptionnelles au Niger. *Annales de l'université Abdou Moumouni de Niamey*, VIII(B), 81-93.
8. Bouzou Moussa, I., Descroix, L., Faran Maiga, O., Gautier, E., Adamou, M. M., Esteves, M., ... Abba, B. (2011). Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahélien. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 22(1), 13-24. <https://doi.org/10.1684/sec.2011.0297>
9. Bouzou Moussa, I., Faran Maiga, O., Karimou Ambouta, J., Sarr, B., Descroix, L., & Adamou, M. M. (2009). Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Sécheresse*, 20(1), 145-152. <https://doi.org/10.1684/sec.2009.0163>
10. Brabant, P. (2008). *Activités humaines et dégradation des terres*. Paris : IRD. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010045188>
11. Collinet, J., Leprun, J.-C., & Asseline, J. (2013). Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols d'un transect ouest-africain : synthèse sur des données issues de la simulation de pluies. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 19(3), 311-334. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10319>
12. Cossart, E., Lissak, C., & Viel, V. (2017). La géomorphologie des bassins-versants sous l'angle de la connectivité : est-ce réinventer la roue ou changer de paradigme ? *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 23(vol. 23-n° 4), 281-287.
13. Descroix, L., Bouzou Moussa, I., Genthon, P., Sighomnou, D., Mahé, G., Mamadou, I., ... Olivry, J. C. (2013). Impact of drought and land - use changes on surface - water quality and quantity : the sahelian paradox. Dans P. M. Bradley (Éd.), *Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability* (pp. 243-271). Rijeka : Intech. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010058371>
14. Descroix, L., Diongue Niang, A., Panthou, G., Bodian, A., Sané, Y., Dacosta, H., ... Quantin, G. (2015). Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et Bassin du Niger Moyen. *Climatologie*, 12, 25-43.
15. Descroix, L., Laurent, J.-P., Vauclin, M., Amogu, O., Boubkraoui, S., Ibrahim, B., ... Boulain, N. (2012). Experimental evidence of deep infiltration under sandy flats and gullies in the Sahel. *Journal of Hydrology*, 424-425, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.019>



16. D'Herbès, J., & Valentin, C. (1997). Land surface conditions of the Niamey region: ecological and hydrological implications. *Journal of Hydrology*, 188–189, 18-42. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03153-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03153-8)
17. FAO-PNUE. (2000). *Our land, our future : a new approach to land use planning and management*. [Rome]: Food and Agriculture Organization of the United Nations : United Nations Environment Programme. (Cover title."Text: Denis Sims/G. Thomas"--P. 48.).
18. Gendre, T., Ferhat, G., Hinderer, J., Favreau, G., Cappelaere, B., & Le Breton, E. (2011). Evaluation de l'érosion du site de Wankama (Niger) par comparaison de différents MNT. *Revue XYZ*, 129. Repéré à <https://univoak.eu/islandora/object/islandora%3A36358/>
19. Graef, F., & Stahr, K. (2000). Incidence of soil surface crust types in semi-arid Niger. *Soil and Tillage Research*, 55(3), 213-218. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00117-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00117-3)
20. Hountondji, Y. C. (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Université de Liège, Liège (Belgique).
21. Ingatan Warzagan, A., Bouzou Moussa, I., Vandervaere, J., Malam Abdou, M., & Faran Maiga, O. (2019). Reducing runoff by increasing landscaped areas. *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal*, 3(1), 36-46.
22. Kombo-Kissangou, R.-J., Sitou, L., & M'Bouka Milandou, I. (2018). Dynamique de l'érosion hydrique dans les quartiers Mansimou et Mayanga au sud de Brazzaville (Congo) : analyse de la perméabilité et de la texture des sols, cubage et cartographie des ravinements. *Revue Marocaine de Géomorphologie*, 0(2). Repéré à <https://revues.imist.ma/index.php?journal=Remageom&page=article&op=view&path%5B%5D=12923>
23. Leblanc, M. J., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S. O., Loireau, M., & Cappelaere, B. (2008). Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61(3–4), 135-150. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.08.011>
24. Le-Breton, E. (2012). *Réponses hydrologiques et géomorphologiques aux changements environnementaux au Sahel nigérien*. Thèse de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey.
25. Malam Abdou, M. (2014). *Etats de surface et fonctionnement hydrodynamique multi-échelles des bassins sahéliens ; Etudes expérimentales en zones cristalline et sédimentaires*. Thèse de

- l'Université de Niamey et de l'Université de Grenoble. 268 pages + annexes.
26. Malam Abdou, M. (2016). Hausse des écoulements sur le bassin versant de Dargol : entre facteurs anthropiques et climatiques. *Revue de géographie de L'université de Ouagadougou (RGO)*, 2(5), 19-44.
  27. Malam Issa, O., Défarge, C., Trichet, J., Valentin, C., & Rajot, J. L. (2009). Microbiotic soil crusts in the Sahel of Western Niger and their influence on soil porosity and water dynamics. *CATENA*, 77(1), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.12.013>
  28. Mamadou, I. (2012). *La dynamique accélérée des koris de la région de Niamey et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger*. Thèse de l'Université de Niamey et de l'Université Paris 1, Niamey-Niger.
  29. Massuel, S., Favreau, G., Descloitres, M., Le Troquer, Y., Albouy, Y., & Cappelaere, B. (2006). Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling. *CATENA*, 67(2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.02.009>
  30. Ousseini, I. (2002). Erosion et conservation des sols dans la vallée du Moyen Niger (République du Niger): interprétations préliminaires de mesures en parcelles et d'observations à l'échelle des petits et moyens bassins versants, pp. 38-70.
  31. Ozer, P., Hountondji, Y., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel: Historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54. Repéré à <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/10347>
  32. Panthou, G., Vischel, T., & Lebel, T. (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, 34, 3998-4006. <https://doi.org/10.1002/joc.3984>
  33. Ribolzi, O., Auque, L., Bariac, T., Casenave, A., Delhoume, J.-P., Gathelier, R., & Pot, V. (2000). Écoulements hypodermiques et transferts de solutés dans les placages éoliens du Sahel : étude par traçage isotopique et chimique sous pluies simulées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 330(1), 53-60. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(00\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(00)00101-4)
  34. Roose, É., & Noni, G. D. (2004). Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 15(1), 121-129.
  35. Rossi, G. (1998). Une relecture de l'érosion en milieu tropical. *Annales de Géographie*, 107(601), 318-329.

36. Souley Yero, K. (2012). *Evolution de l'occupation des sols dans l'Ouest du Niger : Influence sur le cycle de l'eau*. Thèse de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble.
37. Taous, A., Tribak, A., Laouane, M., & Akdim, B. (2004). Impacts des cônes latéraux sur le fonctionnement hydrodynamique et morphosédimentaire actuel des fonds de vallées préifaines : cas de l'Oued Larbâa (Maroc) / Impact of lateral fans on the current hydrodynamic and morphosedimentary characteristics of valley bottoms : the case of the Larbâa wadi (Morocco). *Revue de Géographie Alpine*, 92(1), 17-28. <https://doi.org/10.3406/rga.2004.2273>
38. Valentin, C. (2005). Surface crusts of semi-arid sandy soils : types, functions and management. Dans C. Hartmann, N. Chinabut, & Symposium on Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture : Session 4. Physical Properties of Tropical Sandy Soils, 1., Khon Kaen (THA), 2005/11/27-2005/12/02 (Éds), *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture : a holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics : proceedings* (pp. 182-188). Bangkok : FAO. Repéré à <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010066551>
39. Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3 Special Iss.), 132-153. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>
40. Valentin, C., Rajot, J.-L., & Mitja, D. (2004). Responses of soil crusting, runoff and erosion to fallowing in the sub-humid and semi-arid regions of West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(2), 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.035>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Gnamba Franck Maxime,  
Kpan Oulai Jean Gautier,**

Département de Géosciences, UFR des Sciences  
Biologiques

Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo,  
Côte d'Ivoire

**Yapi Assa Fabrice,**

**Oga Yeï Marie Solange,**

Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et  
environnement (LSTEE)

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources  
Minière

Université Felix Houphouët d'Abidjan, Côte  
d'Ivoire

---

Submitted: 23 September 2020

Accepted: 24 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Franck Maxime Gnamba*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p169](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p169)

 Copyright 2020 Gnamba et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

---

Cite as:

Gnamba F, Gautier K, Y Fabrice, Solange Y  
(2020). Variabilité Pluviométrique Dans La Région  
De Katiola Au Nord De La Côte D'ivoire (Afrique  
De L'Ouest). *European Scientific Journal, ESJ*, 16  
(33), 169.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p169>

---

## Variabilité Pluviométrique Dans La Région De Katiola Au Nord De La Côte D'ivoire (Afrique De l'Ouest)

---

### Résumé

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence, la variabilité dans les séries pluviométriques de la région de Katiola, située au nord de la Côte d'Ivoire. Pour ce faire, des données de pluviométrie couvrant la période de 1949 à 2013 ont été utilisées. La méthodologie adoptée est basée sur le calcul de l'indice pluviométrique de Nicholson, et des tests statistiques de détection des ruptures et tendance (test de Pettitt, test de tendance de Mann-Kendall). Les résultats obtenus indiquent que sur la période déterminée, les hauteurs pluviométriques annuelles oscillent entre 550 et 2000 mm avec une valeur moyenne annuelle d'environ 1107 mm. L'analyse du graphe de variation de l'indice pluviométrique de Nicholson, met en évidence l'existence de deux sous-périodes. D'une part, une sous-période humide de 1949 à 1968 avec un excédent pluviométrique de 13,16% par rapport à la moyenne et d'autre part, une sous-période sèche de 1969 à 2013, marquée par les indices pluviométriques les plus négatifs avec un déficit de 7,13%. La Méthode du test statistique de Pettitt appliquée à la série chronologique révèle une rupture à partir de l'année 1968. Les résultats obtenus confirment donc l'existence de variabilité et de rupture dans les séries pluviométriques de la région de Katiola depuis la fin des années 1960.

---

**Subject:** Hydrologie/Sciences de la Nature

**Mots clés :** Variabilité, Rupture, Série pluviométrique, Katiola, Côte d'Ivoire

## **Rainfall Variability From Katiola Region In The North Of Côte d'Ivoire (West Africa)**

***Gnamba Franck Maxime,  
Kpan Oulai Jean Gautier,***

Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques  
Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire

***Yapi Assa Fabrice,  
Oga Yeï Marie Solange,***

Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et environnement (LSTEE)  
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minière  
Université Felix Houphouët d'Abidjan, Côte d'Ivoire

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p169](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p169)

---

### **Abstract**

The aim of this study is to highlight variability and breaks in the rainfall series from Katiola region located in the North part of Côte d'Ivoire. For the purposes of this study, rainfall data during 1946 to 2013 period were used. The methodology is based on the calculation of Nicholson's rainfall index and statistical tests of breaks detected and for trend (Pettitt's test and Mann Kendall's test). The results obtained indicate that annual rainfall height varied between 550 and 2000 mm with a mean value of 1107 mm. Analysis of the variation curve of the pluviometry index shows two sub-periods, a wet sub-period from 1949 to 1968 with a rainfall excess of 13.16% compared to the average, and a dry sub-period from 1969 to 2013 with most negative rainfall index and a deficit 7.13%. Pettitt statistical tests applied to rainfall time series reveals a break from the year 1968 onwards. The results obtained confirm the existence of variability and break in rainfall series from Katiola region, since the end of 1960s year.

---

**Keywords:** Variability, Break, Rainfall Series, Katiola, Côte d'Ivoire

### **Introduction**

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changements et de variabilités climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde (Amani et al.

2010). Ainsi, en Afrique de l'Ouest de façon générale et en Côte d'Ivoire en particulier, la variabilité des conditions climatiques est abondamment documentée (Paturel *et al.* 1996 ; Servat *et al.* 1999 ; Kouassi *et al.* 2010 ; Amani *et al.* 2010 ; Kaboré *et al.* (2017) ; Oueslati *et al.* 2017 ; Bambara *et al.* 2019)

La plupart des travaux sur l'analyse de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest portent sur les précipitations en raison de leur importance dans le climat pour les populations et les écosystèmes (Bodian *et al.* 2011 ; Bodian, 2014 ; Yapo *et al.* 2020). Par ailleurs, certains auteurs estiment que, le régime des précipitations est le facteur principal de la productivité alimentaire et conditionne dans une certaine mesure les disponibilités en eau (Sarr *et al.* 2013).

Ces études révèlent que depuis la fin des années 1960 ou le début des années 1970, une baisse importante des totaux pluviométriques annuels s'est produite (Bodian, 2014). Cette récession des précipitations, selon plusieurs auteurs a eu globalement des répercussions directe sur les ressources en eau en eau de surface et les écoulements souterrains (Abrate *et al.* 2013 ; Fossou *et al.* 2014 ; Fossou *et al.* 2015 ; N'guessan *et al.* (2015) ; Faye, 2015 ; Adiaffi *et al.*, 2016 ; Soro *et al.* 2017 ; Agbanou *et al.* 2018). Partant de cela, les travaux de Yao *et al.* 2012 concluent que, les volumes d'eau mobilisés par les aquifères présentent une évolution liée à celle des précipitations. En outre, ces variations climatiques ont également entraîné la modification des écosystèmes naturels (Liéno, 2007), et des déséquilibres écologiques importants (Assemian *et al.* 2013).

En Côte d'Ivoire, cette variabilité des conditions climatiques a d'abord affecté le Nord, puis progressivement s'est étendue vers le centre et enfin sur le littoral. Ces anomalies pluviométriques constatées depuis près de quatre décennies ont connu une résonance exceptionnelle dans les régions nord et centre du pays. Selon Savané (1997), dans la région Nord de la Côte d'Ivoire, l'effet de ces récessions pluviométriques a une répercussion sur les conditions de vie économique et sociale des populations. Cependant, au-delà des régions Nord et centre, c'est pratiquement, la totalité du territoire ivoirien qui présente une vulnérabilité importante face aux déficits pluviométriques (Amani *et al.* 2010).

En définitive, cette perturbation dans le régime des pluies, comme des écoulements, a des conséquences non négligeables voire tragiques sur les projets de développement liés à l'agriculture et sur le bon fonctionnement des aménagements réalisés antérieurement à ces changements climatiques (Paturel *et al.* 1995).

Dans ce contexte, caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement (Amani *et al.* 2010).

Cette étude s'inscrit dans cette optique. Elle a pour objectif de caractériser la variabilité et la rupture dans les séries pluviométriques de la région de Katiola, entre 1949 et 2013. La caractérisation de la variabilité climatique se fonde sur l'analyse statistique de séries chronologiques de précipitation sur une longue période possible, et la détection de ruptures sur quelques tests statistiques utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques.

## 1. Cadre d'étude et contexte climatique

### 1.1. Cadre Géographique

La zone d'étude est située au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire et à environ 50 km de Bouaké. Elle est le chef-lieu de la région du Hambol qui compte trois départements (Katiola, Dabakala, Niakaradougou), et est comprise entre les longitudes 4°75 et 5°75 Ouest et les latitudes 7°95 et 9°45 Nord (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 9452 km<sup>2</sup> soit environ 3% de la superficie totale du territoire. Le dernier recensement de 2014 indique une population estimée à 429 977 habitants (RGPH, 2014). La région est drainée par deux principaux fleuves et leurs affluents qui constituent des limites naturelles du département, le Bandama et ses affluents (Bou, Naramou, Nabion, etc) à l'Ouest et le N'Zi et ses affluents (Loho, Kiohan, etc) à l'Est (Figure 2).

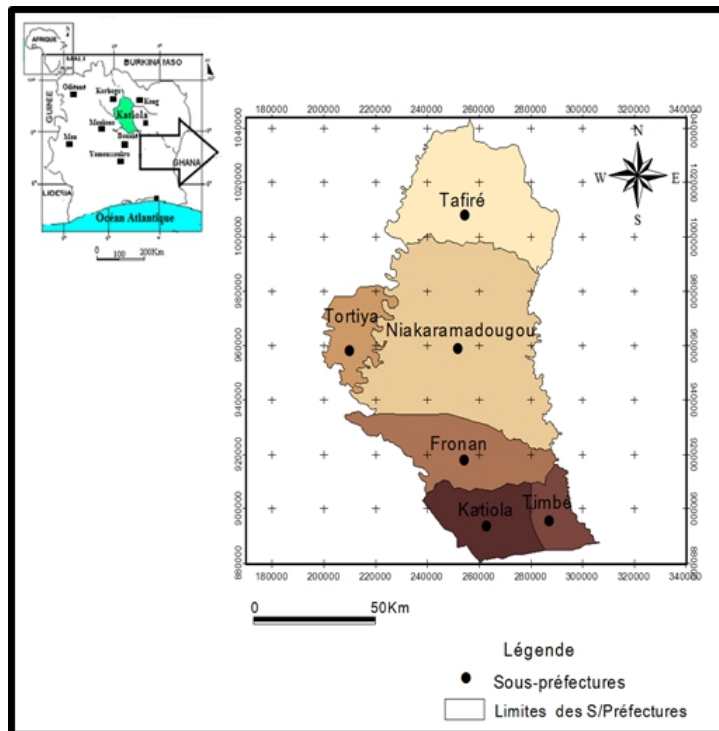


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

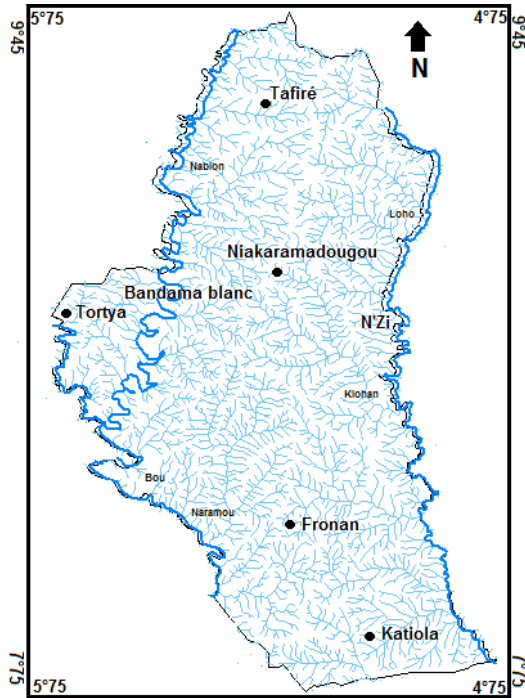


Figure 2 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude

## 1.2. Caractères généraux du climat

Le contexte climatique de la région dérive de l'interface entre climat soudanien et guinéen. La température moyenne de l'air varie très peu (23 à 27°C). L'amplitude journalière est assez faible en saison des pluies (7°C), mais elle devient importante en période d'harmattan (15°C). La pluviométrie mensuelle de la région est caractérisée par deux grandes saisons (Figure 3) :

- d'avril à octobre qui correspond à la saison des pluies avec le maximum de pluies en septembre (193 mm). Au mois de juillet, on a une légère baisse des précipitations (112 mm) ;
- de novembre à mars, c'est la saison sèche caractérisée par une très forte baisse de la pluviosité. Les mois de décembre et janvier sont les mois les plus secs avec respectivement 20 mm et 10 mm de pluies.

La période pluvieuse est donc répartie sur 7 mois et est beaucoup plus importante que celle des régions situées plus au nord (Poss, 1982).



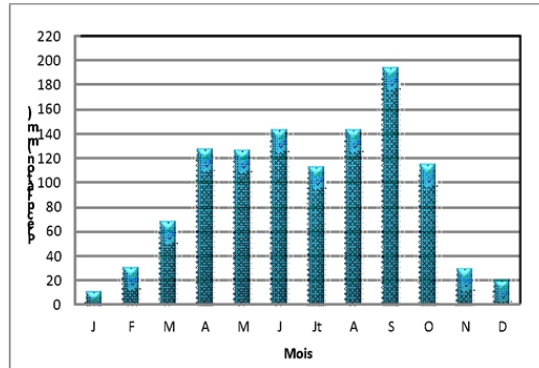


Figure 3: Pluviométrie moyenne mensuelle de la région de Katiola

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Données

Les données climatiques utilisées ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Elles proviennent de la station pluviométrique de Katiola visible à la figure 4. La chronique des précipitations en mm couvre la période 1949 à 2013 et correspond à des données mensuelles.

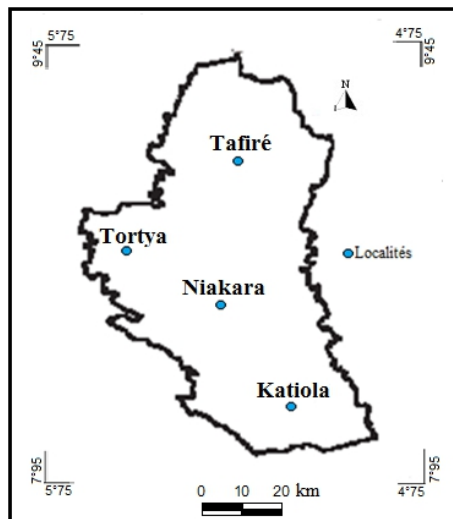


Figure 4 : Répartition des stations pluviométriques de la région de Katiola

### 2.2. Méthodes

#### 2.2.1. Calcul de l'indice pluviométrique annuel par la méthode de Nicholson

La méthode de calcul de l'indice pluviométrique moyen a permis d'analyser la variabilité temporelle des précipitations de Katiola. Elle donne des informations sur les principales périodes excédentaires (humides) ou

déficitaires (sèches). L'indice pluviométrique moyen est donné par la formule de Nicholson (1980) :

$$I_p = \frac{P_i - P_m}{\sigma} \quad \text{Éq. 1}$$

$I_p$  : représente l'indice pluviométrique

$P_m$  : représente le module pluviométrique interannuel pendant la période d'enregistrement exprimée en millimètre (mm) ;

$P_i$  : est la hauteur totale de pluie au cours de l'année  $i$  exprimée en millimètre (mm)

$\sigma$  : est l'écart-type de la pluviométrie annuelle.

### 2.2.2. Détection de rupture dans le régime pluviométrique (Test de Pettitt 1979)

C'est un test statistique beaucoup utilisé en hydroclimatologie. Son application consiste à diviser la série étudiée en deux sous-échantillons respectivement de taille  $M$  et  $N$ . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. La somme des rangs des éléments de chaque sous-échantillon dans l'échantillon total est calculée. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous-échantillons à la même population. L'absence de rupture dans la série ( $X_i$ ) de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle (Pettitt, 1979).

La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , les séries chronologiques ( $X_i$ ) pour  $i=1$  à  $t$  et  $t+1$  à  $N$  appartiennent à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable  $U(t, N)$  définie par l'équation :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{ij} \quad \text{Éq. 2}$$

avec  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - Y_j)$  ;

tel que  $(Z) = 1$  si  $Z > 0$  ;  $0$  si  $Z = 0$  et  $-1$  si  $Z < 0$

Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t, N$ . Le test de Pettitt détermine la rupture principale c'est-à-dire, la plus significative au sein d'une série chronologique de données hydroclimatiques.

### 2.2.3. Test statistique de tendance de Mann-Kendall (Kendall, 1975)

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall permet d'étudier la présence ou l'absence de tendance dans une série chronologique donnée. Soit la série  $X_t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , la normale standard multivariable  $U_{MK}$  se définit comme suit :

$$U_{MK} = \frac{s}{\sqrt{\text{Var}(s)}}$$

Éq. 3

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

Éq. 4

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

Éq. 5

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5)}{18}$$

Éq. 6

Où S désigne la relation entre le nombre de paires d'observation, et n est le nombre total d'échantillons. Dans ce test l'hypothèse nulle H0 « absence de tendance » est acceptée si la P.value est supérieur à 5%. Le sens de la tendance est défini par le coefficient statistique "U<sub>MK</sub>". Si U est positif, la tendance est à la hausse, mais si U est négatif, la tendance est à la baisse.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Résultats

##### 3.1.1. Variation interannuelle de la pluviométrie

Les hauteurs pluviométriques annuelles (Figure 5) oscillent entre 550 et 2000 mm avec une valeur moyenne annuelle d'environ 1107,1 mm. L'année la plus déficitaire est 2001, où il est tombé 557,27 mm de pluies. Contrairement l'année la plus humide de la chronique est 1963, au cours de laquelle il est tombé près de 1925,6 mm de pluies. On a pu également enregistrer sur la période étudiée de fortes valeurs de pluviométrie largement au-dessus de la moyenne annuelle à certaines années. Il s'agit des années 1952, 1957, 1966, 1968 et 2012, avec respectivement 1686, 1515, 1593, 1620 et 1503 mm de pluies. On note aussi que 32 années ont des valeurs au-dessus de la moyenne, tandis que 33 années ont des valeurs en dessous de la moyenne annuelle qui est de 1107,1 mm.

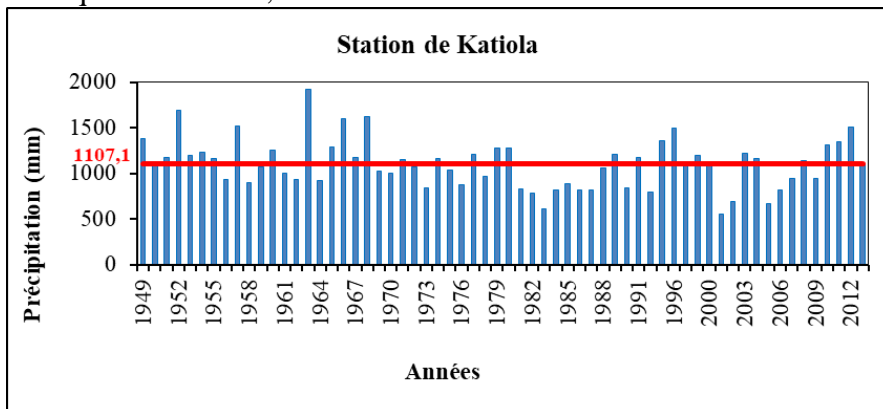


Figure 5 : Variations interannuelles de la pluviosité à la station de Katiola (1949-2013)

### 3.1.2. Analyse de la variation des indices pluviométriques annuels (IP)

L'analyse de l'histogramme de la variation interannuelle des indices pluviométriques met en évidence l'existence de deux grandes sous-périodes (Figure 6) :

- la sous-période de 1949 à 1968 (19 ans) correspond à une période relativement très humide avec des valeurs d'indice pluviométrique globalement positives. Des années extrêmement humides se distinguent de la série avec des valeurs d'indice supérieures à 2, il s'agit de 1952 (2,19) et 1963 (3,03). Cette sous-période se caractérise aussi par une pluviométrie annuelle supérieure à la valeur moyenne de toute la période étudiée (1949-2013). La séquence 1963-1968 est la plus arrosée.
- la sous-période de 1969 à 2013 (44 ans) correspond quant à elle, à une période modérément sèche avec des indices  $I_p$  présentant de façon continue des valeurs négatives proches de -1 ou inférieurs. Des années extrêmement sèches se distinguent avec des valeurs d'indices proches de -2 et moins, il s'agit de 1983 (-1,83) et 2001 (-2,03). La séquence 1981-1988 est tranche la plus sèche.

Une courte séquence intermédiaire est identifiable entre les deux tranches. Elle s'étale de 1969 à 1978 et est caractérisée par une alternance régulière d'années sèches et humides. La tendance correspondrait à une période équilibrée où les valeurs des indices sont proches de 0.

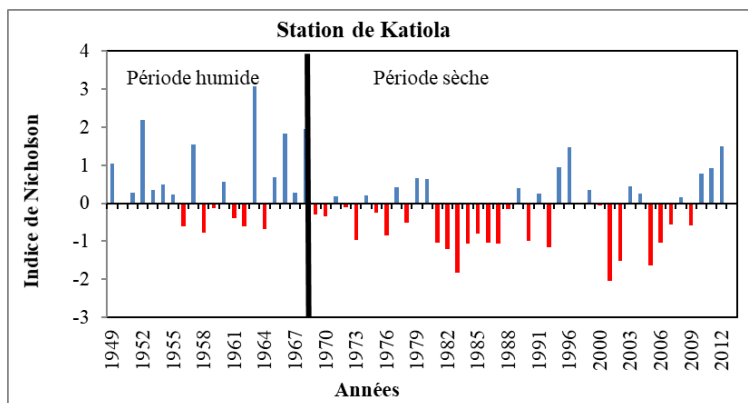


Figure 6 : Indices pluviométriques annuelles de Nicholson à la station de Katiola (1949-2013)

### 3.1.3. Variation des pluies moyennes décennales

Le graphe de la figure 7 présente la variation des moyennes annuelles des pluies par classe de 10 ans sur la période de 1950 à 2009. L'examen du graphe indique que la plus forte valeur décennale des moyennes annuelles des pluies (1272 mm) correspond à la décennie 1960-1969. C'est la décennie la plus arrosée de la chronique. Elle est suivie de la décennie 1950-1959 avec

environ 1198 mm de pluies. Par contre, la plus faible valeur décennale (911 mm) est obtenue durant la période 1980-1989. Cette décennie correspond à la période, la plus sèche de la chronique. Elle est suivie de la décennie 2000-2009 avec une moyenne annuelle décennale de 924 mm. L'écart entre la valeur décennale la plus élevée et la plus faible correspond à déficit pluviométrique de 361 mm. La tendance générale qui se dégage est une baisse des précipitations depuis la fin des années 1960.

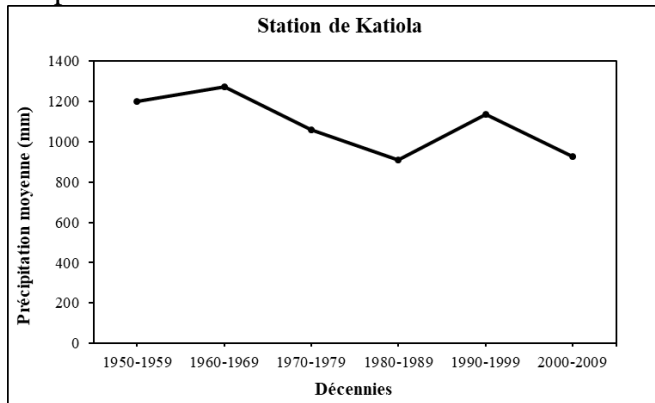
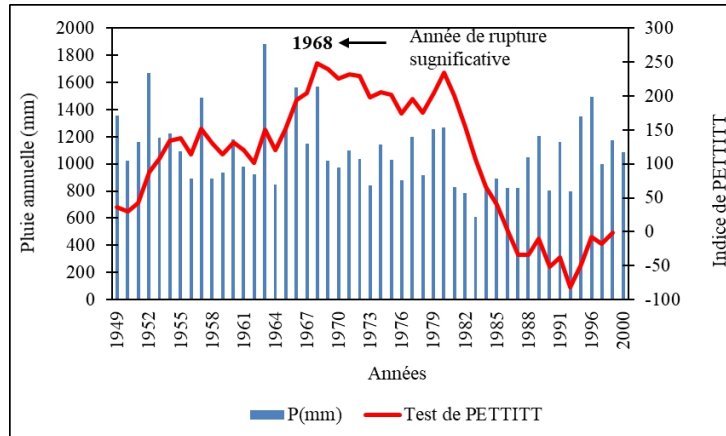


Figure 7 : Moyenne mensuelles des pluies par classes de 10 ans (1950-2009)

### 3.1.4. Mise en évidence des ruptures dans la série pluviométrique (Test de Pettitt)

Les fluctuations de la variable U du test de Pettitt, calculées pour chaque année de la chronique 1949-2013 au niveau de la station de Katiola sont illustrées par la figure 8. La rupture déterminée à un degré de signifiante égal à 1% par le test de Pettitt, est très significative en 1968. Ainsi, de 1949 à 1968, la pluviométrie moyenne annuelle est de 1253 mm. Cette sous-période est donc la plus pluvieuse avec une forte occurrence des valeurs élevées comme 1952 (1686 mm), 1963 (1926 mm) et 1968 (1620 mm).

A contrario, la sous-période 1969 à 2013 (post rupture) avec une moyenne annuelle de 1028,1 mm, est caractérisée par l'occurrence des années déficitaires comme 1983 (613 mm), 1986 (822 mm), 1987 (819 mm) et 2001 (557 mm). Elle caractérisée donc par une tendance à la baisse de la pluviométrie que nous confirmerons par un test de tendance.



**Figure 8 :** Résultat du test de Pettitt couplé aux données pluviométriques de la station de Katiola (1949-2013)

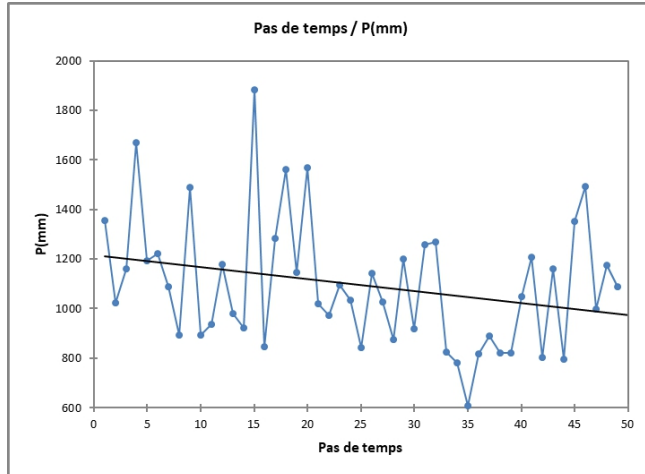
### 3.1.5. Résultats du Test statistique de tendance de Mann–Kendall

Les résultats du test statistique de tendance de Mann–Kendall sont consignés dans le tableau I ci-dessous. Les résultats confirment ceux du test d’homogénéité de Pettitt. En effet, l’analyse du tableau indique une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle à la station de Katiola.

**Tableau I :** Résultat du test statistique de tendance de la pluviométrie de Mann–Kendall

Test de Mann–Kendall				
Station	P. value	H0 : absence de tendance	U.MK	Sens de la tendance
Katiola	<b>0,044 (4%)</b>	Non	<b>-4,22</b>	Baisse

La valeur de la pente de tendance annuelle (pente de Sen) de la série pluviométrique étudiée (1949 à 2013) est de -4,22, et l’hypothèse nulle  $H_0$  « absence de tendance » est rejetée car la valeur de P. value (0,044) est inférieur à 5%. Le graphe de la figure 9 du pas de temps en rapport avec la pluviométrie, montre bien cette tendance à la baisse de la pluviométrie après application du test de Mann-Kendall.



**Figure 9 :** Illustration de la tendance pluviométrique dans la région de Katiola après application du test de Mann-Kendall

### 3.2 Discussion

Les représentations graphiques et les méthodes statistiques (indices de Nicholson, test de Pettitt, Segmentation de Hubert, etc.) indiquent une tendance à la baisse de la pluviométrie dans la région de Katiola. Cette baisse de la pluviométrie est mise en évidence par les indices de Nicholson et le test d'homogénéité de Pettitt à partir de 1969 (période sèche 1969-2013). Les études menées dans le Sud par Brou (2005), Ahoussi (2008), Saley et *al.* (2009), Aké (2010), Assoma (2013), Oga et *al.* (2016) et Kpan (2017) ont également abouti à la même conclusion à savoir, un déficit pluviométrique. Il est estimé à près de 7,13% contre par exemple, 10 à 31 % dans la région d'Abidjan-Agboville (Ahoussi, 2008) et 24,7 à 44,2 % dans la région de Bonoua (Aké, 2010). Cette tendance à la baisse pluviométrique est générale en Côte d'Ivoire car, outre la région du Sud-Est, d'autres régions ont fait l'objet d'analyses hydroclimatologiques. C'est le cas du Nord où les travaux de Soro et *al.* (2013 a et b) et Soro (2014) ont mis en exergue une raréfaction des précipitations après les années 1960. À l'Ouest, c'est la décennie 1961-1970 qui a été identifiée par Saley (1998), Savané et *al.* (2001), Kouassi (2007) et Kouamé (2011) comme le début de la baisse pluviométrique. Les amplitudes des hauteurs de pluies ont également régressé de 1400 mm à 1150 mm de 1970 à 1990 à l'Est selon Kouakou (2011). Quant aux régions du Sud-Ouest, du Centre et du Centre-Ouest, les années 1960 à 1970 ont enregistré des déficits pluviométriques très importants (Coulibaly, 1997 ; Soro, 2002; Soro et *al.* 2006; Kouassi, 2007 ; Kouassi et *al.* 2010 ; Soro, 2010 ; Diomandé, 2013). Cela confirme les observations faites en Afrique de l'Ouest et du Centre en général par certains auteurs comme Nicholson (1993), Hulme, (1996a), Paturol et *al.* (1996), Servat et *al.* (1999), Ouédraogo (2001), Ardoin-Bardin

(2004), Vissin (2007), Bodian et *al.* (2011), Bodian (2014), Faye et *al.* (2015), etc. Ces auteurs situent le début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest aux alentours de 1969-1970. Celle-ci se manifeste par le raccourcissement de la saison des pluies. Au Sénégal, le quinquennat 1980-1984 s'est illustré à 39,3% par une sécheresse modérée et à 51,5% par une sécheresse forte, caractérisée par une raréfaction intense des pluies (Faye et *al.* 2015). Au Cameroun, on a enregistré une baisse globale des précipitations de 40,16%, soit une diminution des précipitations moyennes de 6,69% par décennie au cours de ces six dernières décennies (Tchindjang et *al.* 2012). Ces précipitations n'ont fait que baisser dans la région de l'Afrique centrale depuis 1973. Cette baisse a été associée aux vents saisonniers du Sahara qui apportent de grandes quantités de sable qui sédimentent dans le lac, provoquant l'apparition de nouvelles îles, et donc l'amenuisement de ce lac. Tout comme les autres régions de l'Afrique, les pays d'Afrique du Nord n'échappent pas non plus à cette variabilité climatique. En Algérie, les travaux de Meddi et Meddi (2007) montrent une baisse des précipitations annuelles qui dépasse 36% dans la région de Mascara et dans l'extrême Ouest. De façon générale, il apparaît de ces différents travaux que la sécheresse est apparue en Afrique et en particulier en Côte d'Ivoire à partir de la fin des années 1960. Au niveau de la station de Katiola, les fluctuations interannuelles de la pluviométrie régionale sont très importantes. Elles traduisent nettement la manifestation de la variabilité climatique.

Les périodes déficitaires ou sèches sont généralement précédées d'une date de rupture. L'année de rupture, déterminée avec la méthode de Pettitt durant les 64 années d'observation de la station de Katiola se situent en 1968. Notons que le test de Pettitt a identifié la rupture significative au seuil de confiance de 1%. Cette rupture s'est opérée dans le sens de la diminution des précipitations au cours de la chronique d'observations, confirmant cette tendance à la baisse déjà annoncée par l'analyse des indices de Nicholson. La rupture montre bien que la région s'intègre à la fluctuation du régime pluviométrique observée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et centrale sahélienne comme non sahélienne (Asseman et *al.* 2013). Cela a pour origine le dérèglement climatique, lié à l'influence défavorable de certains facteurs à caractère synoptique et/ou environnemental, sur le mécanisme de migration du front intertropical (FIT) qui détermine le climat en Afrique de l'Ouest (Péné et Assa, 2003 ; Sultan, 2011). Quant à l'Afrique de l'Est et du Sud, c'est le phénomène d'El Niño qui gouverne les fluctuations des saisons. En effet, les épisodes d'El Niño modifient l'emplacement des ondes troposphériques observées autour du globe. Or, celles-ci ont un impact majeur sur le temps d'une région donnée, et il peut s'en suivre alors des modifications du temps dans de nombreuses parties du globe. Ces modifications engendrent des conséquences, sur la circulation générale atmosphérique, le réchauffement océanique dans le Pacifique tropical. Celle-



ci s'en trouve suffisamment modifiée pour que des changements significatifs du temps sur de nombreuses régions du globe aussi éloignées que l'Afrique soient observés. Selon Goula et *al.* (2006a), les principaux facteurs impliqués dans la genèse des anomalies pluviométriques sont à l'échelle régionale ou globale, traduisant ainsi les notions de variabilité et de changement climatique. Les activités humaines ont très certainement contribué à accroître ce phénomène de sécheresse. En effet, ces dernières décennies, la déforestation y a pris une ampleur considérable qui même si elle ne peut être considérée comme la principale cause de cette sécheresse, ne saurait être étrangère à l'affaiblissement de la pluviométrie annuelle (Aké, 2010). Certes au cours des deux décennies, 1970-1979 et 1980-1989, le caractère déficitaire des précipitations amorcé a pris progressivement de l'ampleur, cependant, elles ont fait place à une reprise de la pluviométrie dans la période 1990-1999 et 2010-2012. Cependant, dans les faits, les périodes d'inversion des précipitations diffèrent d'une région à une autre.

## **Conclusion**

Cette étude avait pour objectif de caractériser la variabilité et la rupture dans les séries pluviométrique de la région de Katiola entre 1949 et 2013. Les résultats obtenus indiquent que sur la période analysée, les hauteurs pluviométriques annuelles dans la région de Katiola oscillent entre 550 et 2000 mm avec une valeur moyenne annuelle d'environ 1107 mm de pluie. L'analyse des histogrammes de variation de l'indice pluviométrique de Nicholson met en évidence l'existence de deux grandes sous-périodes. Une sous-période humide de 1949 à 1968 avec un excédent pluviométrique de 13,16% par rapport à la moyenne, et une période sèche de 1969 à 2013 marquée par les indices pluviométriques les plus négatifs avec un déficit de 7,13%. La décennie de 1981-1989 est la plus sèche de cette période. L'application des tests statistiques, notamment du test de Pettitt et de Mann-Kendall à la série chronologique, révèle une rupture à partir de l'année 1968 et, une tendance à la baisse dans l'évolution de la pluviométrie de la région. Ces résultats confirment donc que la rupture et la tendance à la baisse dans les régimes pluviométriques, constatée en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte d'Ivoire vers la fin des années 1960, ont été effectivement marqués dans la région de Katiola.

## **References:**

1. Abrate, T., Hubert, P. et Sighomnou, D. (2013). A study on hydrological series of the Niger River. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 58, N° 2, pp. 1-9.
2. Adiaffi, B., Wango, T. E., Gnamba, F. M., Kpan, O. J. G. et Baka D. (2016). Analyse de la relation pluie-débit dans un contexte de

- variabilité climatique dans la région de Katiola. *IJESI*, Vol 5 (12), pp. 38-45.
3. Agbanou, T. B., Abdoulaye, D., Sabi Orou Bogo, G. A., Paegelow, M. et Tente, B. (2018). Variabilité pluviométrique et son impact sur le couvert végétal dans le secteur Natitingou-Boukombé au nord-ouest du Bénin. *Afrique Science*, Vol. 14, N° 3, pp. 182-191.
  4. Ahoussi, K. E. (2008). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 270 p.
  5. Aké, G. E. (2010). Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 191 p.
  6. Amani, M. K., Koffi, F. K., Yao, B. K., Kouakou, B. D., Jean, E. P. et Sekouba, O. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest ; cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage*, document 513, décembre 2010.
  7. Ardoin-Bardin, S. (2004). Variabilité hydroclimatique et impact sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II (France), 440 p.
  8. Assemian, E. A., Kouamé, F. K., Djagoua, E. V., Affian, K., Jourda, J. P. R., Adja, M., Lasm, T. et Biemi, J. (2013). Étude de l'impact des variabilités climatiques sur les ressources hydriques d'un milieu tropical humide : Cas du département de Bongouanou (Est de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 26, N°3, pp. 247-261.
  9. Assoma, T. V. (2013). Variabilité hydroclimatique et évaluation des ressources en eau du bassin côtier de l'Agnéby au Sud-Est de la Côte d'Ivoire : apport des outils statistiques, de la modélisation et de la télédétection optique et radar. Thèse de Doctorat de l'Université Felix Houphouët-Boigny de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), 224 p.
  10. Bambara, D., Sawadogo, J., Kaboré, O. et Bilgo, A. (2019). Variabilité de certains paramètres climatiques et impacts sur la durée des périodes humides de développement végétal dans une station au centre et une autre au nord du Burkina Faso. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Vol. 19, N°1, Mars 2019.

11. Bodian, A., Dacosta, H. et Dezetter, A. (2011). Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo*, Vol. 5, pp. 116-133.
12. Bodian, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo*, Vol. 8, pp. 297-312.
13. Brou, Y. T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 212 p.
14. Coulibaly, K. M. (1997). Évaluation du bilan hydrologique, de la variabilité climatique et du tarissement des cours d'eau par l'application de méthodes mathématiques dans le bassin versant du fleuve Sassandra (région de Buyo en Côte d'Ivoire). Mémoire de DEA, Université d'Abobo- Adjamé, Côte d'Ivoire, 74 p.
15. Diomandé, M. (2013). Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricoles en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 190 p.
16. Faye, C. Sow, A. A. et Ndong, J. B. (2015). Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo*, Vol. 9, N°1, pp. 17-35.
17. Fossou, R. M. N., Soro, N., Traoré, V. B., Lasm, T., Sambou, S., Soro, T., Orou, R. K., Cissé, M. T. et Kané A. (2014). Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. *Afrique SCIENCE* Vol. 10, N°4, pp. 118 – 134.
18. Fossou, R. M. N., Lasm, T., Soro, N., Soro, T., Soro G., De Lasm, O. Z., BAKA, D., Onetie, O. Z. et Orou, R. (2015). Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Larhyss Journal*, N°21, pp. 97-120.
19. Goula, B. T. A., Kouassi, V. J. et Savané, I. (2006a). Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du Bandama en Côte d'Ivoire. *Revue Agronomie Africaine*, Vol. 18, N° 1, pp. 1-11.
20. Hubert, P., Servat, E., Paturel, J.E., Kouame, B., Bendjoudi, H., Carbonnel, J. P. et Lubes-Niel H. (1998). La procédure de segmentation, dix ans après. Proceedings of the Abidjan'98 conférence on the Water Resources variability in Africa during the XXth Century. *IAHS Publ. n° 252*, pp. 267-273.

21. Hulme M. (1996a). Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical research Letters*, Vol. 23, N°1, pp. 61-64.
22. Kaboré, P. N., Ouédraogo, A., Sanon, M., Yaka P. et Somé, L. (2017). Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, N° 14, pp. 82-95.
23. Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlations methods*, 4th Ed. Charles griffin, London.
24. Kouakou, K. E. (2011). Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Comoé. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), 204 p.
25. Kouamé, K. F. (2011). Influences de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'Zo dans la région guinéenne humide et semi-montagneuse de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des Systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles. Université de Cocody. (Abidjan-Côte d'Ivoire), 374 p.
26. Kouassi, A. M. (2007). Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), 210 p.
27. Kouassi, A. M., Kouamé, K. F., Koffi, Y. B., Djê, K. B., Paturel, J. E. et Oularé, S. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergéo: European Journal of Geography, Environment, Nature, Paysage*, N° 513, 29 p.
28. Kpan, O. J. G. (2017). Incidence de la variabilité climatique sur les ressources en eau, le développement agricole et la santé des populations dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire et perspectives : cas de la zone littorale d'Abidjan à Aboisso. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan, 225 p.
29. Meddi H. et Meddi, M. (2007). Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *Geographia Technica*, Vol. 2, pp. 49-55.
30. Nicholson, S. E. (1980). The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa. *Monthly Weather Review*, Vol.108, N°4, pp. 473-487.

31. Nicholson, S. E. (1993). An overview of African's rainfall fluctuation of the last decade. *International Journal of Climatology*, vol.6, pp.1463-1466.
32. N'guessan, J.A., Kouadio, Y. B., et N'daoulé, R. (2015). La variabilité pluviométrique et ses impacts sur l'alimentation en eau des milieux ruraux du département de Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal*, Vol. 3511, pp. 36-57.
33. Oga, Y.M.S., Adja, M., Yapi, A.F., Kpan, J.G., Baka, D., Yao, K. T. et Biemi, J. (2016). Projection de la variabilité climatique à l'horizon 2050 dans la zone côtière au Sud-Est de la Côte d'Ivoire (d'Abidjan à Aboisso). *Larhyss Journal*, N°25, pp. 67-81.
34. Ouédraogo, M. (2001). Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II (France), 257 p.
35. Oueslati, B., Camberlin, P., Zoungrana, J., Roucou, P. et Diallo, S. (2017). Variability and trends of wet season temperature in the Sudano-Sahelian zone and relationships with precipitation. *Clim Dyn*, pp. 1-24.
36. Paturel, J. E., Morell, M., Kouamé, B., Boyer, J.F., Lubes-Niel, H. et Masson, J. M. (1996). Procédures d'identification de ruptures dans des séries chronologiques; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. *Hydrologie tropicale: Géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris)*, LAHS publication, N° 238, pp. 99-110.
37. Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, B. et Boyer, J. F. (1995). Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. *Bulletin Sécheresse*, Vol. 6, N°1, pp. 95-102.
38. Péné, B.G. et Assa, D. A. (2003). Variations interannuelles de la pluviométrie et de l'alimentation hydrique de la canne à sucre en Côte d'Ivoire. *Sécheresse*, Vol.14, pp. 143-152.
39. Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28 (2), pp. 126-135.
40. Poss, R. (1982). Etude morpho-pédologique de Katiola (Côte d'Ivoire) Notice explicative N° 94, ORSTOM (Paris), 142 p.
41. RGPH. (2014). Recensement Générale de la population et de l'Habitat 2014, Résultats Globaux, 22 p.
42. Saley, M. B. (1998). Estimation du bilan hydrologique et simulation d'écoulement dans la région de Man : cas du bassin versant de Ko

- (Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire de DEA. Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 71 p.
43. Saley, M. B., Tanoh, R., Kouamé, K. F., Oga, M. S., Kouadio, B. H., Djagoua, E. V., Oularé, S., Youan, T. M., Affian, K., Jourda, J. P., Savané, I. et Biemi, J. (2009). Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire), 18 p.
  44. Sarr, M.A., Zorome, M., Seidou, O., Bryant, C. R. et Gachon P. (2013) - Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal - A changepoint approach. *Journal of Hydrology*, vol. 505, pp. 326-334.
  45. Savané, I. (1997). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Apports de la télédétection et d'un Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale. Thèse d'État, Univ. Abidjan, Côte d'Ivoire, 386 p.
  46. Savané, I., Coulibaly, K. M. et Gioan, P. (2001). Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. *Revue Sciences et changement planétaire-sécheresse*, Vol. 12, N°4, pp. 231-237.
  47. Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, N. H., Kouamé, B., Masson, J. M., Travaglio, M. et Marieu, B. (1999). De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol.12, n°2, pp.363-387.
  48. Soro, G. (2010). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines dans la région des lacs (centre de la côte d'ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 301 p.
  49. Soro, G., Yao, A., Kouame, Y. et Bi, Tié. (2017) *Climate Change and Its Impacts on Water Resources in the Bandama Basin, Côte D'ivoire*. *Hydrology*, Vol 4, 18p.
  50. Soro, N. (2002). Hydrochimie et Géochimie Isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 261 p.
  51. Soro, N., Lasm, T., Kouadio, B. H., Soro, G. et Ahoussi, K. E. (2006). Variabilité du régime pluviométrique du Sud de la Côte d'Ivoire et son impact sur l'alimentation de la nappe d'Abidjan. *Revue Sud Sciences et Technologies*, N°12, pp. 30-40.
  52. Soro, T. (2014). Évolution des ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un contexte

- de variabilité et de changement climatiques : impacts hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques. Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, 250 p.
53. Soro, T. D., Djè, K. B., Ahoussi, K. E., Soro, G., Kouassi, A. M., Kouadio, K. E., Oga, Y. M. S., Soro, N. (2013a). Climate variability impact on groundwater resources in the Highest Bandama Watershed at Tortiya (Northern Côte d'Ivoire). *American Journal of Environmental Protection*. Vol 2, N° 4, pp. 103-112.
  54. Soro, T. D., Djè, K. B., Ahoussi, K. E., Soro, G., Kouassi, A. M., Kouadio, K. E., Oga, Y.M. S. et Soro, N. (2013b). Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol 13, N°3. <http://vertigo.revues.org/14468>.
  55. Sultan, B. (2011). L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales. Thèse d'habilitation à diriger les recherches, Université Pierre et Marie Curie, France, 137 p.
  56. Tchindjang, M., Amougou, J.A., Abossolo, S.A. et Bessoh, B. S. (2012). Challenges of climate change, landscape dynamics and environmental risks in Cameroon. In Runge J (Ed): *Landscape evolution, neotectonics and quaternary environmental change in Southern Cameroon. Palaeoecology of Africa*, Vol 31, chap. 5, pp. 237-286.
  57. Tyson, P. D., Dyer, T. D. J., and Mametsa, M. N. (1975). Secular changes in South African rainfall: 1880 to 1972. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101, pp. 817-833.
  58. Vissin, E. W. (2007). Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, France, 280 p.
  59. Yapo, A. L. M., Diawara, A., Kouassi, B. K., Yoroba, F., Sylla, M. B., Kouadio, K., Tiémoko, D. T., Koné, D. I., Akobé, E. Y. et Yao, K. P. A. T. (2020). Projected changes in extreme precipitation intensity and dry spell length in Côte d'Ivoire under future climates. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI: [10.1007/s00704-020-03124-4](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03124-4).



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

### **Hajar Lamrhari,**

Applied Botany Laboratory, Department of  
Biology, Faculty of Science, University of Abdel  
Malek Essaadi, Tetouan-Morocco

### **Mariam Ben-Said,**

Applied Biology and Pathology Laboratory,  
Department of Biology, Faculty of Science,  
University of Abdel Malek Essaadi, Tetouan-  
Morocco

### **Zineb Jalal,**

Physiology Pharmacology and Environmental  
Health Laboratory, Department of Biology, Faculty  
of Sciences Dhar El Mehraz, University of Sidi  
Mohamed Ben Abdellah., Atlas, Fez –  
Morocco

### **Taoufik Aadel,**

Bureau of Forest Health, Forest Climate Risk  
Management Center. Department of Water and  
Forests. Agdal. Rabat

### **Hassan Bouziane,**

Applied Botany Laboratory, Department of  
Biology, Faculty of Science, University of Abdel  
Malek Essaadi, Tetouan-Morocco

---

Submitted: 29 September 2020

Accepted: 13 October 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Hajar Lamrhari*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p189](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p189)

 Copyright 2020 Lambrahi et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:

Lamrhari H, Ben-Said M, Jalal Z, Mehraz D,  
Bouziane H (2020). Morphological and Anatomical  
Characteristics of Moroccan Fir Needles in  
Talassemantane National Park, North-Western Rif  
Region, Morocco *European Scientific Journal, ESJ*,  
16 (33), 189.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p189>

---

## **Morphological and Anatomical Characteristics of Moroccan Fir**

## **Needles in Talassemantane National Park, North-Western Rif Region, Morocco**

---

### **Abstract**

Moroccan fir, *Abies maroccana* Trab. forms a unique forest community in the Mediterranean basin and has a great ecological and biological values in Moroccan Rif Mountains. However, morphological and anatomical characters of the needles are poorly investigated for *A. maroccana*. This research examined the morphological and anatomical characters of Moroccan fir needles in order to determine the phenotypic needles traits of *Abies maroccana*. The study was carried out in the National Park of Talassemantane, Western Rif, Morocco. Data was collected from two-year-old needles in six stands. In each site, seven trees were selected, and 60 needles were collected from each tree. Five morphological and one anatomical characters of the needles were examined. The variance analysis (ANOVA) of quantitative needles variables revealed significant inter-tree morphological variability of needles of *A. maroccana*. Based on the morphological characters studied, the multivariate analysis (PCA) separated all trees of Moroccan fir into four groups: (A) long, thin and large; (B) long, thin and narrow; (C) short, large and thick; and finally (D) short and thick needles. As demonstrated here, the fir needles were mainly characterized by: 2 types of apex (obtuse–acute and acute needles), a broad base and the marginal resin canals. This diversity can be attributed to genetic variation and / or influence of ecological conditions.

---

**Subject:** Sciences du sol et Agriculture

**Keywords:** *Abies Maroccana*, Needles, Phenotypic Traits, Anatomy, Talassemantane National Park



## Introduction

The Moroccan fir, *Abies maroccana* Trab., called “chouhh” in Arabic, is an endemic coniferous species of Morocco located in the mountains of Talassemtane National Park (TNP) around Chefchaouen province in the north-western Rif. *Abies marocana* is a relict species of the Tertiary (Linares, 2011) located in a refuge of exceptional moisture at its southern limit. It is listed in the IUCN Red List as Endangered species (Alaoui et al., 2011).

Currently, Moroccan fir forest covers an area of around 3760 ha whose 2988.16 ha are mixed stands (DREFLCD, 2012). The main forest species which codominate mixed stands with *A. maroccana* are represented by Atlas cedar *Cedrus atlantica* (Endl.) carrier in the upper limit of its area, Maghreb maritime pine *Pinus pinaster* var. *Maghrebiana* Huguet del Villar at the lower part with holm oak *Quercus rotundifolia* Lam., as well as Black pine *Pinus nigra* Arnold subsp. *mauretanica* (Maire & Peyer, n.d.) Heywood is also found at the lower limit of the fir forest (Benabid, 1985; M'hirit, 1990; Aafi, 2000).

The importance of this unique ecosystem is no more to be demonstrated from biological, ecological, aesthetic or cultural point of view and a great care is taken to preserve it. Several classifications have been established for *Abies* species based primarily on morphological and anatomical characteristics. *A. maroccana* belong to the Mediterranean firs which are characterized by very prickly needles and included ovuliferous bract (Gausson, 1960). From a systematic point of view, Emberger and Maire (1928) considered *A. maroccana* as a variety of the Spanish fir *Abies pinsapo* Boiss. Gausson (1952) highlighted that Moroccan fir is clearly distinguished from *A. pinsapo* by its marginal resin canals of leaves that are always flattened, while the leaves of *A. pinsapo* has marginal resin canals that are always thick. In a morphometric study of morphological diversity and structure of Moroccan and Spanish fir species, Sękiewicz et al. (2013) noted an important morphological difference between these two taxa. Moreover, recent molecular studies (Terrab et al., 2007; Dering et al., 2014) showed that Moroccan and Spanish firs have very remarkable genetic differences due to a strong influence of the Gibraltar Strait. Cosar (1946) considered Tazoat fir as a distinct species *Abies tazaotana* Cosar. However, many authors showed that the difference between the populations of Talassemtane and Tazoat is mainly due to the favorable ecological conditions in Tazoat (Benabid, 1982; Esteban & Palacios, 2007).

In Morocco, a few numbers of studies have investigated *A. maroccana*. They mainly focused, on the following aspects: Dendrochronology (Ibrahima, 2012), phytoecology (Benabid, 1982; Aafi, 2000), regeneration (Melhaoui, 1990), human disturbance impacts (Linares et al., 2011). However, researches concerning the phenotypic characterization of Moroccan fir needles are scarce (but see Sękiewicz et al., 2013). Various morpho-metric searches have

reported to be very effective in taxonomic description as well as taxa determination within species complexes (Cook & Ladiges, 1991; Passioura & Ash, 1993).

The morphological (lengths, widths, thicknesses) and anatomical (position of the resin canals in the needles, number of stomata, etc.) characters of the leaves and needles were often used as morphological markers in species description, systematics and taxonomy. (Abassi *et al.*, 2012). Many authors showed significant intra-population variability of *Pinus nigra* in Djurdjura based on needles, pollen and ovuliferous characteristics (Aidrous & Adjoud, 1992; Asmani, 1993; Abdelli, 2002).

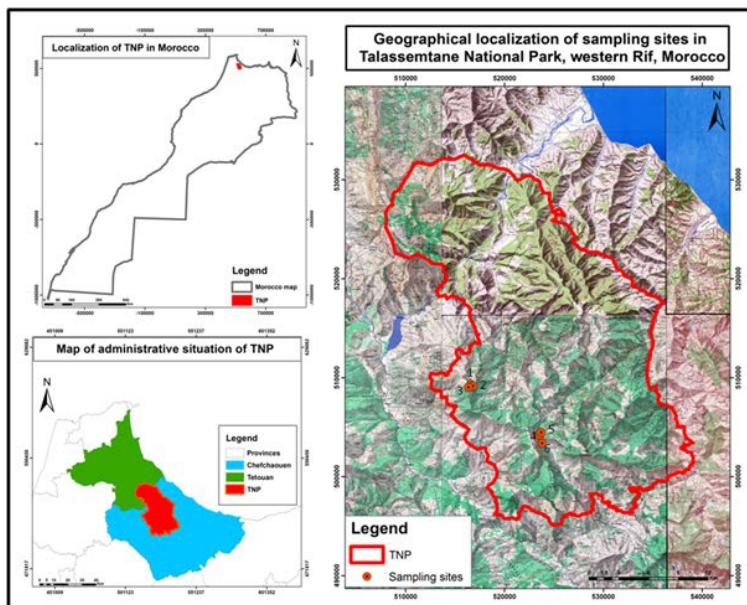
The aim of the present paper was the determination of morphological characteristics and the position of resin canals of *A. maroccana* needles.

## **Materials and methods**

### ***Study area:***

The study was carried out in *Abies maroccana* forest at the National Park of Talassemtane located in the western Rif Mountain, Chefchaouen province, Morocco (Fig.1). The Moroccan fir forest is restricted to the limestone substratum of western Rif, generally encountered between 1500 and 2000 m in Mediterranean humid and perhumid bioclimates. Actually, there are two blocs of Moroccan fir forest in the Rif. The bloc of Jbel Tazaot occupies around 300 ha, and appears on its northern slope. Located south of the Tazaot, the Talassemtane bloc extends over approximately 3760 ha where Moroccan fir always remains dominant, on the northern, eastern and western slopes.

In the upper limit of its area, fir forest is progressively replaced by Atlas cedar, while the Maghreb maritime pine dominates the lower part with the holm oak. Black pine is also found at the lower limit of the fir in small patches (Benabid, 1985; M'hirit, 1990; Aafi, 2000). Substratum dominated by limestone and dolomite. The soil is classified as Alfisols in association with Mollisols (Benjelloun, 1993). The annual rainfall varies between 500 mm in the eastern valleys and can exceed 1500 mm on the high mountain peaks (Lakrâa 2156 m). The snow is less important (Benabid, 2000). In the Moroccan fir forest, the mean temperature is around of 12-14 °C, the averages of the maxima temperatures of the hottest month (August) did not exceed 33 °C. The averages of the minima temperature of the coldest month are of the order of 0 °C and can reach - 3 °C at high altitude (Ghallab & Taiqui, 2015).



**Figure 1.** Geographical localization of sampling sites in Talassemtane National Park, western Rif, Morocco.

**Data collection:**

In this study, we sampled six sites in the Talassemtane National Park (Tab. 1), within each site we randomly selected seven Moroccan fir trees (a total of 42 individuals).

**Table 1.** Characteristics of the six studied *A. marocana* stands

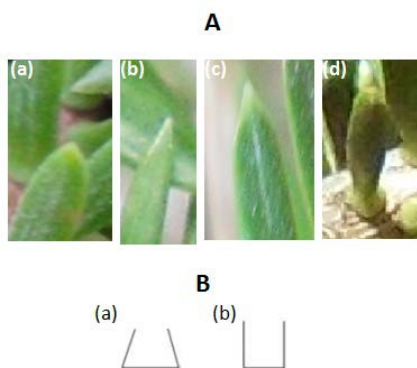
Sites	Species	Elevation (m a.s.l.)	Latitude (N), Longitude (W)	Precipitation (mm)	Temperature (°C)	
					Max	Min
1	<i>Abies marocana</i>	1748	35°11'7.52"N, 05°13'2.29"W	630,29	22,78	13,25
2		1754	35°11'3.91"N,05°12'51.73"W		22,87	
3		1658	35°11'22.37"N,05°13'15.80W		22,64	
4		1717	35°8'23.77"N, 05°8'23.36"W		22,78	
5		1789	35°8'2.17"N, 05°8'22.06"W			
6		1713	35°8'33.46"N, 05°8'15.83"W			

Max: maximal; Min: minimal.

From each tree, sixteen two-year-old needles were collected from northern parts of the crowns at a same height of 1.30 m. All plant material was put in bags bearing tree number and kept cool and transported to the

laboratory. A total of 2520 needles were measured and characterized. The sampling was carried out during the vegetative period of 2018.

Three Morphological traits (length (L), width (W) and thickness (T)) were measured using sliding caliper. The width (W) and thickness traits were measured from the central part of the needle (e.g., 25–75% of the needle length). In addition, the ratios (length to the width ratio (L/W) and width to the thickness ratio (W/T) were calculated. The type of needle apex (obtuse-acute (a); acute (b); apiculate (c); obtuse (d)), the base of the needle (broad (a) , straight (b)) (Fig. 2) and the position of the resin canals (marginal (a); median (b)) were determined.



**Figure 2.** Type of needle apex **A:** obtuse-acute (a); acute (b); apiculate (c); obtuse (d) and **B:** type of needle base (broad (a) and straight (b)) of *Abies maroccana*.

The anatomical sections were obtained by depositing each needle between two polyester blocks and making fine cross sections at the level of the middle part of needles (25- 75% of its length) using a razor blade, then the obtained sections were colored by safranin and fast green (double staining).

The sections were finally mounted between slides and plates in a drop of water, three to four sections were taken perslide and observed under an optical microscope (Olympus).

### ***Data analysis:***

The Kolmogorov Smirnov test was used to verify the normality of the data. The basic statistics (mean, standard deviation, minimum and maximum values and variation coefficient) for trees were calculated. To assess the variation of the needles morphological characters among individuals, one-way analysis of variance (ANOVA) was used. The Pearson's correlation coefficient was used to assess the bilateral dependencies existing between the different quantitative variables of the needles. In order to establish the relationships between trees, multivariable statistical analysis was used, namely principal component analysis (PCA). For this purpose, the following variables

were included: length (L), width (W), thickness (T), the length to the width ratio (L/W) and the width to the thickness ratio (W/T).

All statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics 20.0 <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-20>.

## Results

### *Biometric analysis:*

The average length (L) of needles varied between 1.22 mm and 19.52 mm with an average of 10.18 mm for all sites (Tab. 2). The average value of the needles width (W) was 1.88 mm (range 0.38 - 2.95 mm). The thickness (T) of needles varied between 0.21 and 2 mm with an average of 0.54 mm. Moreover, for the L/W ratio, the minimum and the maximum values were 0.55 and 25.24 mm, respectively, with an average of 5.52 mm. The W/T ratio varied between 0.21mm and 36.33 mm with an average of 3.73 mm. Finally, the coefficient of variation of all sites characters varied widely between sites particularly for the width character, indicating a high variability inter-sites (Tab. 2). Variance analysis of the studied quantitative variables of *A. maroccana* needles showed high significant differences among trees (Tab. 2).

**Table 2.** Statistical description of the five characters studied.

Character	Statistics	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Mean
<b>L (mm)</b>	Mean	9.91±2.	9.71±1.	9.85±1.	11.12±2	11.73±2	8.78±1.	10.18±2
	± SD	14	65	42	.22	.90	42	.25
	Min-	4.52-	5.90-	6.39-	1.29-	5.69-	1.22-	1.22-
	Max	15.91	13.68	13.84	16.48	19.52	12.48	19.52
	CV	21.59	16.99	14.42	19.96	24.72	16.17	22.07
	F- test	107.26*	47.86**	72.3***	104.35*	208.11*	68.31**	128.08*
		**	*		**	**	*	**
<b>W (mm)</b>	Mean	0.87±0.	1.71±0.	2,25±0,	1,87±0.	1,91±0.	1,70±0.	1,88±0.
	± SD	21	25	21	95	27	13	28
	Min-	0.3-2.47	0.46-	1.58-	1,18-	1,12-	1,23-	0,38-
	Max	24.14	2.23	2.95	17.9	2.92	2.03	2.95
	CV	27.62**	14.62	9.33	50.8	14.14	7.65	15.03
	F- teste	*	23.81**	44.27**	2.48***	123.13*	27.23**	112.13*
		*	*		**	*	**	
<b>T (mm)</b>	Mean	0.54±0.	0.49±0.	0.76±0.	0.44±0.	0.5±0.1	0.52±0.	0.54±0.
	± SD	13	14	16	15	3	1	17
	Min-	0.29-	0.21-	0.43-	0,22-2	0.24-	0.35-0.9	0.21-2
	Max	1.01	1.06	1.24	34.09	1.05	19.23	31.65
	CV	24.07	28.57	21.05	54.7***	26	30.03**	110.18*
	F- test	30.44**	61.4***	62.313*		118.33*	*	**
	*		**		**			

<b>L/W (mm)</b>	Mean	5.36±1.	5.84±1.	4.42±0.	6.20±1.	6.17±1.	5.15±0.	5.52±1.
	± SD	47	70	83	38	41	80	45
	Min-	2.77-	3.14-	2.53-	0.79-	3.27-	0.55-	0.55-
	Max	25.18	25.24	7.41	10.21	12.11	7.67	25.24
	CV	27.43	29.11	18.78	22.26	22.85	15.53	26.26
	F- test	24.59**	22.09**	81.10**	61.8***	97.41**	25.4***	58.56**
		*	*	*		*	*	
<b>W/T (mm)</b>	Mean	3.71±1.	3.70±0.	3.09±0.	4.45±1.	4±0.86	3.45±1.	3.73±1.
	± SD	39	90	64	19	1.97-	73	25
	Min-	0.21-	0.98-	1.82-	0.77-	8.14	1.86-	0.21-
	Max	25.44	6.60	4.89	8.73	21.50	36.33	36.33
	CV	37.47	24.32	20.71	26.74	50.6***	50.14	33.43
	F- test	7.82***	37.15**	54.13**	119.98*		5.41***	30.8***
		*	*	**				

SD: standard deviation; Min: minimum; Max: maximum; CV: Coefficient of Variation;  
Statistical significance: \*\*\*:  $p < 0.001$ .

### **Statistical analyses:**

The results of correlation analyses showed that needle length was positively correlated ( $p < 0,01$ ) to the W/T ratios, while it was negatively correlated to thickness (Tab. 3). Furthermore, the needling width was positively correlated to the thickness ( $p < 0.01$ ).

**Table 3.** Correlation matrix of the quantitative needles variables (length (L), width (W), thickness (T), length to the width ratio (L/W) and width to the thickness ratio (W/T) according to Pearson's correlation coefficient.

*,	Variables	L	W	T	L/W	W/T
	L	1				
	W	0.287	1			
	T	-0.327*	0.650**	1		
	L/W	0.802**	-0.312*	-0.737**	1	
	W/T	0.606**	-0.193	-0.837**	0.760**	1

correlation is significant at the  $p < 0.05$  level; \*\*, correlation is significant at the  $p < 0.01$  level.

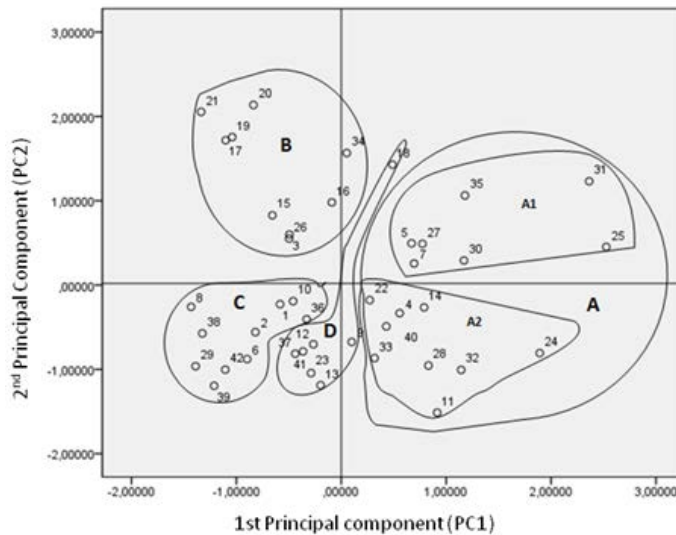
Table 4 showed the eigen values and loading factors of the first PCA axes. PCA axes 1 and 2 explained 56.83% and 34.97% of the total variance (Tab. 4). On the first component axis, the main structuring characters were the length, the L/W ratio and the W/T ratio in the positive direction and thickness in the negative direction. On the second component axis, the discriminates characters were width and thickness.

The ordination of the 42 trees measured according to the first two PCA axes is shown in figure 3.

**Table 4.** Loading factors and eigen values of the first two PCA axes  
 Performed for needless quantitative variables.

Quantitative needles variables	PC1	PC2
<b>Length</b>	<b>0.918</b>	0.330
<b>Width</b>	0.019	<b>0.969</b>
<b>Thickness</b>	<b>-0.650</b>	<b>0.730</b>
<b>Length/Width</b>	<b>0.914</b>	-0.270
<b>Width/Thickness</b>	<b>0.861</b>	-0.308
<b>Eigen values</b>	2.84	1.75
<b>Explained variance (cumulative %)</b>	56.83	91.80

The quantitative variables with the largest participation in each component are distinguished in bold.

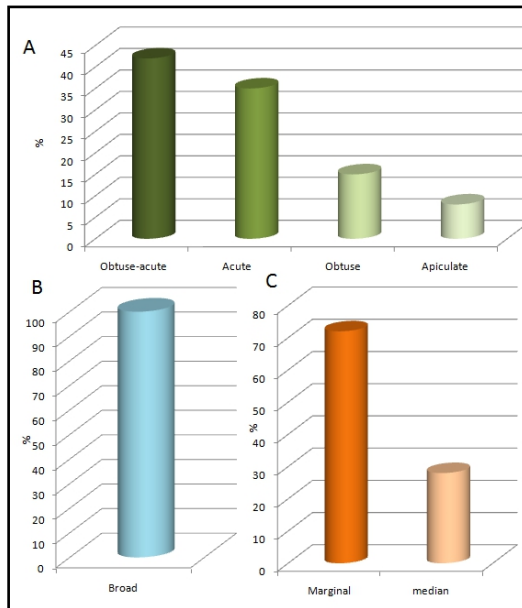


**Figure 3.** Scatter plot of the 42 trees of *A. maroccana* based on the two first PCA axes.

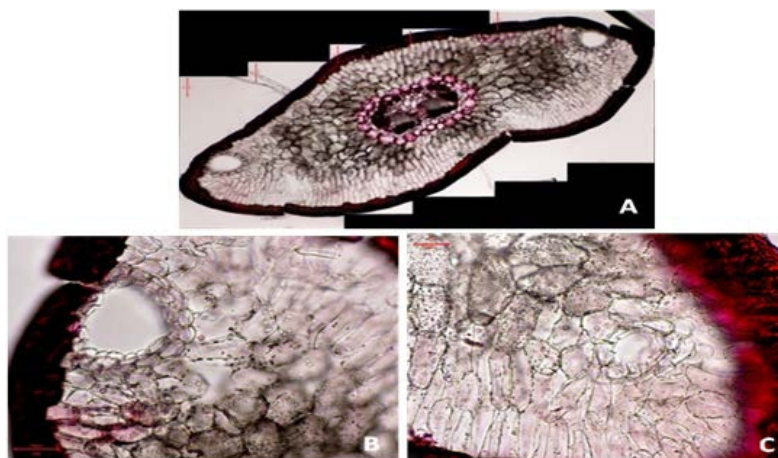
The PCA performed for all trees allowed the separation of the 42 *A. maroccana* trees in 4 groups according to their needles morphological characters (Fig.3). Group A appeared close to the positive direction of the PC1 and characterized by long and thin needles as well as by high length to width ratio and width to thickness ratio. Furthermore, group A was subdivided in two subgroups (A1 and A2) according to tree needle width, where trees of subgroup A1 had wide needles whereas those of subgroup A2 had narrow needles. Group B was distinguished by wide and thick needles. Conversely to the subgroup A1, we identified a group C characterized by trees with short and

thick needles, as well as by low L/Wand W/T ratios. Finally, Group D appeared to be intermediate between A, B, and C groups (Fig. 3).

In terms of the types of apex, *A. maroccana* trees presented mainly obtuse–acute (42 %) and acute needles (35 %) (Fig. 4A). The resin canals were almost marginal (72%) and located in the mesophyll, adjacent to the epidermis, sometimes, they are in the mesophyll in the median part of the needle (28%) (Fig. 4C, 5).For the overall trees examined in this study, Moroccan fir needles showed exclusively a base broad and not straight (Fig.4B).



**Figure 4.** Percentages of the type of needle apex A, type of needle base B and position of resin canals C of *Abies maroccana*.



**Figure 5.** A. Anatomical needle section of *Abies maroccana*. B. marginal position of resin canals. C. median position of resin canals



## Discussion

The present study aimed to characterize different phenotypes of *Abies maroccana* needles in the National Park of Talassemtane through the examination of morphological traits and position of resin canals.

Melhaoui (1990) reported that the length of *A. maroccana* needles ranged from 5 to 15 mm and their width from 2 to 2.5 mm. However, our biometrical analysis showed slight differences. We found that needles length of the studied fir trees varied between 1.22 and 19.52 mm, width 0.38 and 2.95 and thickness 0.21 and 2 mm. The coefficient of variation indicated that the majority of the morphological traits showed significant inter-sites variability.

The variance analyses showed highly significant differences among the studied trees suggesting a high degree of heterogeneity. Several authors have reported similar results in several *Pinaceae* species (Arbez & Millier, 1970; Aussenac, 1973 – 1990; Destremau, 1976; Calamassi & Falusi, 1990; Illoul & Moualek, 1991; Aidrous, 1992; Satour, 1992; Abdelli, 2002; Dangasuk & Panetsos, 2004; Ait said et al., 2005; Allilou et al., 2006; Wahid, 2006; Liesche et al., 2010; Bilton et al., 2010; Kenichi, 2010; Abassi et al., 2012; Diop et al., 2013). Morphological differences observed between individuals belonging to the same species reflect different responses to environmental conditions (Lodé, 1998).

The results of correlation analyses showed that needle length was negatively correlated to thickness, whereas needle width was positively correlated to thickness. Bouzina (2016) found that long needles are frequently wide but not necessarily thick in *Abies numidica* from Algeria. The author reported that the thick needles had an importance mesophyll.

The result of Principal Component Analysis grouped the overall trees of *A. maroccana* in four groups (A, B, C, and D) according to the similarity of their morphological needles characters (length, width, thickness, length to width ratio and width to thickness ratio). Trees within each group appear to share a similar morphological variation, which is probably related to their common gene-pool and/or to the fact that they are subjected to the same local environmental conditions. Indeed, Aussenac et al., (1990) reported that the dimensions of needle trees vary according to their position towards the light. Trees belonging to the subgroup A1 and group B had long, wide and thick needles, respectively. The needles of those trees have been collected from the lighted branches. The lighted branches have longer, wider and thicker needles than the shadow branches in *Abies nebrodensis* trees, suggesting that light conditions influenced needle characters (Bottacci et al., 1990). Indeed, Alilou et al., (2006) observed under pollution stress some changes in the length, width and density of stomata of Argan leaves from Morocco. However, as our study area occurs in high mountains there is no source of any kinds of pollution.

Most of trees constituted group B belong to the stand 3 located at 1658 m and had slight needles morphological variability compared to the remaining stands (1, 2, 4, 5, 6) situated between 1713 and 1789 m. Various topographic and climatic factors are reported to influence morphological traits of trees. Altitude, minimum temperature and aridity influenced the morphological variability of many provenances of *Pistacia atlantica* (Belhadj et al., 2008; Ait Said, 2011), *Eucalyptus* (Franks et al., 2009) and some species of *Banksia* genus (Drake et al., 2013). As stated by Hafsi et al., (2017), environmental factors, mainly continental gradient and winter thermal stress, relative to the moderating effect of altitude, affected the phenotypic variation of *Juniperus oxycedrus* from Algeria. However, ecological conditions may not be sufficient to cause significant variation for all individuals in a population (Aussenac, 1973). Kaced and Aimen (1998) who studied the morphological characters of needles and twigs of *Cedrus atlantica* from Algeria showed that the length of the needles, the horny part of the apex and the mesoblast varied among trees within the same site.

Sekiewicz et al., (2013) stated that all types of needle apex (obtuse-acute; acute; apiculate; obtuse) were present in *A. maroccana* with a similar contribution. However, our result showed that the *A. Moroccan* trees were characterized mainly by obtuse-acute and acute needles. Moreover, Sekiewicz et al., (2013) showed that *A. maroccana* needles were characterized by two types of base (broad and straight), whereas we found only broad base for all trees.

Several authors reported that Morocco fir is characterized by the marginal position of the resin canal (Liu, 1971; Vidaković, 1991; Farjon, 1990). Our results based on anatomical sections of *A. maroccana* needle indicated that the resin canals were almost located in marginal position (72%), and in a lesser extent, in median position. These results support those of previous studies. In the case of thick needles, the distance between resin canals and epidermis was larger while fine needles had mostly resin canals in contact with their walls, this may be explained by the importance of mesophyll in the thick needles (Bouzina, 2016).

An earlier study which examined the variation in the position of resin canals in the needles of *Abies* species (from Spain, USA, Turkey) and provenances, revealed intra-population variability from the same geographical area and even within the same sample site (Panetsos, 1992). This variability depends on the position of the shoots from which the needles were collected. In the present study, the needles were taken from very similar parts of the crown so that the differences observed were not random. The variability in the position of the resin canals appears to be under genetic control and not as much affected by ecological factors (Roller, 1966).

Moroccan fir trees grow in a dolomitic limestone substratum, either in deep or superficial soils, under humid and perhumid bioclimates, with cold, exceptionally cool or very cold variants (Aafi, 1995). This ecological variability could be responsible for the morphological traits heterogeneity of *A. maroccana* needles. The influence of certain local environmental conditions, or genetic variation, or a combination of these two factors, could be responsible for the observed morphological variability within and among populations (Willan, 1985).

### **Conclusion**

The present morphometric study has revealed significant inter-trees variability of *Abies maroccana* needles. Indeed, results showed that the needles of studied *A. maroccana* trees had various forms: (i) long, thin and large; (ii) long, thin and narrow; (iii) short, large and thick; and (iv) short and thick needles. Moreover, the thick needles found to have a very developed mesophyll layer. Moroccan fir needles have characterized mainly by 2 types of apex: obtuse–acute and acute needles, with broad base and marginal resin canals. This variability can be explained by the influence of some ecological conditions, or a genetic variation, or a combination of these two factors.

### **Acknowledgements**

The authors thank La Direction Provinciale des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification de Chefchaouen and Le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification du Rabat. We also want to thank very particularly the support of Abdelaziz DOUIER, (director of HCEFLCD Chefchaouen) at the time of the development of the research, and Mohamed JABRAN, (director of Talassemrane National Park Chefchaouen), Ahmed DAOUDIA, Chief of Centre de Conservation et de Développement des Ressources Forestières Chefchaouen), who provided guided access to the forests of Sidi Abdelhamid and Talassemrane. We also thank Dr. Jalal KASSOUT for his precious laboratory assistance. We would like to express our deepest appreciation to Mr. Mohamed Ater professor in the Faculty of Science of Tetouan, Abdelmalek Essaadi University, for allowing us to carry out our work in his Applied Botanical Laboratory.

### **References:**

1. Aafi, A.(2000). Floristic diversity of Morocco's fir ecosystem (*Abies maroccana* Trab.) in the Talassemrane National Park. *Wildlife & Nature*,16(1), 15-23.
2. Abassi, M., Mguis, K., Nja, R.B., Albouchi, A., Boujneb, D., & Bejaoui, Z. (2012). Adaptation micro morphologiques foliaires développées par le peuplier blanc (*Populus alba* L.) face à la salinité.

- Acta Botanica Gallina Botany Letters,1(1), 59-15. <https://doi.org/10.1080/12538078.2012.671627>
3. Abdelli, D. (2002). Etude de la variabilité morphologique et anatomique de quelques provenances du Pin noir de la méditerranée occidentale (*Pinus nigra* Arn.). Mémoire de Magistère. Institut Agronomique, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
  4. Aidrou, S N., Adjaoud, D. (1992). Contribution à l'étude biosystématique du Pin noir du Djurdjura (*Pinus nigra* Subs *Mauretanica* Maire et Peyer). Mémoire d'ingénierie. Institut Agronomique, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
  5. Ait said, S., Smail-saadoun, N., & Kadi-bennane, L. (2005). Etude comparative de trois populations de *Pistacia atlantica* Desf. (Ain Oussara-Messad-Tamanrasset) par le biais des dimensions stomatiques. *Options Méditerranéennes*,(63), 365-368.
  6. Alaoui, M. L., Knees, S., & Gardner M. (2011). *Abies pinsapo* var. *marocana*, Moroccan Fir. . The IUCN Red List of Threatened Species,E.T34126A9841418, 1-9. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T34126A9841418.en>
  7. Allilou, H., Rouhi, R., & Idrissi Hassani, L.M. (2006). Effet de la pollution minière sur les paramètres stomatiques chez *Argania spinosa* (L.) Skeels. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 5(2), 41-45.
  8. Arbez, M., & Millier, C. (1970). Comparaison de deux générations successives de sapin (*Abies alba* Mill.). Structure génétique de populations , hypothèse sur l'action de la sélection naturelle. *Annals of Forest Science*,27(3), 287-301. <https://doi.org/10.1051/forest/19700304>
  9. Asmani, A. (1993). Exploration de la variabilité chez le Pin noir de la forêt de Tigounatine (Djurdjura) en comparaison avec quelques provenances de Pins noirs méditerranéens. Mémoire de magistère. Institut Agronomique, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
  10. Aussenac, G. (1973). Effet des conditions microclimatiques différentes sur la morphologie et la structure anatomiques des aiguilles de quelques résineux. *Annals of Forest Science*,30(4), 376-391.
  11. Aussenac, G., Choisnel, E., Jacq, V., & Guehl, JM. (1990). Simulation de la variabilité de la photosynthèse hivernale du douglas ( *Pseudotsuga menziesii* Mirb ) dans les conditions climatiques françaises. *Annals of Forest Science*, 47(5), 495-508.
  12. Benabid, A. (1982). Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du rif occidental (Maroc): problèmes posés par la reforestation et l'aménagement des

- peuplements forestiers actuels. Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille 3.
13. Benabid, A. (1985). Les écosystèmes forestiers pré forestiers et prestépiques du Maroc diversité, répartition biogéographique et problèmes posés par leur aménagement. forêt méditerranéenne,(1), 53-64.
  14. Benjelloun, H. (1993). Soil genesis, classification, and nitrogen cycling in forest ecosystems of the Northwestern Rif region of Morocco. Doctoral thesis. Oregon State University.
  15. Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C., & Gauquelin, T. (2008). Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany*,86(5), 520-532.
  16. Bilton, M.C., Whitelok, R., Grime, J.P., Marion, G., & Pakeman, R.J. (2010). Intraspecific trait variation in grassland plant species reveals fine scale strategy trade offs and size differentiation that under pins performance in ecological communities. *Botanique*, 88(12), 1045-1056.
  17. Bottacci, A., Gellini, R., & Grossoni, P. (1990). Morphological and anatomical aspects of *Abies nebrodensis* (Lojac) Mattei. Pp 117 – 124 Proceedings of International EEC Work- shop on Mediterranean Firs. 11- 15 Jun 1990, Avignon.
  18. Bouzina, M. (2016). Foresterie Variabilité morpho-anatomique, diversité génétique , potentiel de régénération et efficacité de la production grainière du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lannoy) en plantation (cas de Serraidi (Annaba)). Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
  19. Calamassi, R., & Falusi, M. (1990). Bud dormancy in beech (*Fagus sylvatica* L.). Effect of chilling and photoperiod on dormancy release of beech seedlings. *Tree Physiology*, 6,429-438.
  20. Cook, I.O., & Ladiges, P.Y. (1991). Morphological variation within *Eucalyptus nitens* S.I. and recognition of a new species, *E.denticulata*. *Australian Systematic Botany*,4,375-390.
  21. Dangasuk, O.G., & Panetsos, K.D. (2004). Altitudinal and longitudinal variation in *Pinus brutia* Ten of Crete. *New Forest*,27, 269-284.
  22. Dering, C., Konig, I. R., Ramsey, L. B., Relling, M. V., Yang, W., & Ziegler, A. (2014). A comprehensive evaluation of collapsing methods using simulated and real data: excellent annotation of functionality and large sample sizes required. *Frontiers in Genetics*,(5), 1-8.
  23. Destremau, D.X., Jolly H., & Thari, T. (1976). Contribution à la connaissance des provenances de *Pinus pinaster*. *Ann. Rech. For. Maroc*, 16, 101-153.

24. Diop, E.H.M., Coundoul, M., & Akpo, L.E. (2013). Caractéristiques morpho-anatomiques des feuilles de *Maerua crassifolia* Forssk. *Secheresse*,23,31-37.
25. Direction regionale des eaux et forets et de la lutte contre la desertification du rif, (2012). Etude d'aménagement de la Sapiniere de la Forêt de Talassemrane : Plan de Gestion.Chefchaouen.
26. Drake, L.P., Froend, R.H., & Franks, P.J. (2013). Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *Journal of Experimental Botany*,64(2), 495-505.
27. Emberger, L., & Maire, R. (1928). *Spicilegium Rifanum*. Mémoires de la Société des sciences naturelles du Maroc 17: 45-46.
28. Esteban L. G., & Palacios, P. DE. (2007). Pinsapo forests: past, present and future. *Bois Et Forêts Des Tropiques*, 292, 39-47.10.1093/jxb/ers347
29. Farjon, A. (1990). Pinaceae: Drawings and descriptions of the Genera *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix* and *Picea*. In Koeltz Scientific Books, eds. Königstein: Libraries Australia. Trove, pp. 9–29. ISBN 3874292983
30. Franks, P.J., Drake, P.L., & Beerling, D.J. (2009). Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: An analysis using *Eucalyptus globulus*. *Plant Cell & Environment*,(32), 1737-1748. 10.1111/j.1365-3040.2009.02031.x
31. Gaussen, H. (1952). Les résineux d'Afrique du nord, Ecologie, reboisement. *JATBA* : 505-532.
32. Gaussen, H. (1960). Les gymnospermes actuelles et fossiles. Paris [FRA]: Armand Colin. Bibliothèques en ligne à l'inr : 321-480. <https://doi.org/10.1002/tax.562012>
33. Ghallab, A., & Taïqui, L. (2015). Modélisation de la distribution spatiale des paramètres bioclimatiques dans la région Tanger- Tétouan (Rif occidental). *European Scientific Journal*,11, 1857–7881.
34. Hafsi Belhadj, S., Derridj, A., Mevy, J.P., Notonnier, R., Tonetto, A., & Gauquelin, T. (2017). Étude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L., le genévrier oxycèdre, au sein de sept populations d'Algérie. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*,72(4), 353–373.
35. Ibrahima, S. (2012). Etude de la structure et la dynamique de la sapinière: approche dendrochronologique (cas du parc national de Talassemrane).Mémoire de 3<sup>ème</sup>cycle. Ecole forestière nationale d'ingénieurs Salé.
36. Illoul, M., & Moualek, O. (1991). Exploration de la variabilité morphologique et germination des graines du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus*

- atlantica M.) de provenances algériennes. Mémoire d'ingénierie. Institut Agronomique, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
37. Kaced, Z., & Aïmen, F. (1998). Etude de la variabilité morphologique (aiguilles et rameaux), phénologique et biochimique du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) à Tala-Guilef (Djurdjura Nord occidental). Mémoire Ingénierie. Institut Agronomique, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
  38. Kenichi, Y. (2010). Spatial distribution and morphology of shoots in the variant crown form of *Rhododendron reticulatum*. *Botanique*, 88(11), 995-1005. <https://doi.org/10.1139/B10-071>
  39. Liesche, J., Martens, H.J., & Schulz, A. (2010). Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves. *Protoplasma*, 248(1), 181–190. [10.1007/s00709-010-0239-0](https://doi.org/10.1007/s00709-010-0239-0)
  40. Linares, J. C. (2011). Biogeography and evolution of *Abies* (Pinaceae) in the Mediterranean Basin: The roles of long-term climatic change and glacial refugia. *Journal of Biogeography*, 38, 619–630. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02458.x>
  41. Linares, J.C., Carreira, J.A., & Ochoa, V. (2011). Human impacts drive forest structure and diversity. Insights from Mediterranean mountain for dominated by *Abies pinsapo* (Boiss.). *European Journal. Forest. Research*, 130(4), 533–542.
  42. Liu, T. (1971). monograph of the genus *Abies*. In Taipei: Department of Forestry College of Agriculture, National Taiwan University. pp. 608
  43. Lodé, T. (1998). Cours de génétique des populations. in Ellipses, eds. Science de la vie et de la terre. Ellipses, pp. 128
  44. Melhaoui, Y. (1990). Etude phytoécologique, productivité et classes de croissance du sapin du Maroc. Problématique de la régénération naturelle des peuplements de la sapinière Marocaine. PhD thesis. Université d'Aix – Marseille III.
  45. M'hirit, O. (1990). Eléments pour un projet régional : Sélection et amélioration génétique du cèdre. Comité Silva Méditerranéen, Réseau sylviculture des espèces le cèdre. FAO. Rome.
  46. Passioura, J.A., & Ash, J.E. (1993). Phenotypic, genetic and ecological variation in the *Eucalyptus saligna*-*E. botryoides* complex. *Australian Journal of Botany*, 41, 393-412.
  47. Panetsos, Kp. (1992). Variation in the position of resin canals in the needles of *Abies* species and provenances. *Annals of Forest Science*, 49, 253-260.
  48. Roller, JD. (1966). Resin canal position in the needles of balsam, alpine and Fraser firs. *Forest Science*, 12, 348-355. <https://doi.org/10.1093/forestscience/12.3.348>

49. Sator, A. (1992). Contribution à l'étude biosystématique du sapin de Numidie (*Abies numidica* De Lann). Mémoire Ingénierie. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
50. Sekiewicz, K., Sękiewicz, M., Jasińska, A. K., Boratyńska, K., Iszkuło, G., Romo, A., & Boratyński, A. (2013). Morphological diversity and structure of West Mediterranean *Abies* species. *Plant Biosystems*, 147(1), 125–134.
51. Terrab, A., Talavera, S., Arista, M., Paun, O., Stuessy, TF., & Tremetberger, K. (2007). Genetic (diversity at chloroplast microsatellites (cpSSRs) and geographic structure in endangered West Mediterranean firs (*Abies* spp., Pinaceae). *Taxon*, 56(2), 409–416. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2012.753130>
52. Vidaković, M. (1991). Plant descriptions of the genera: *Abies*. in IAWA Journal, eds. Conifers - Morphology and Variation. Croatia: BRILL, pp. 775
53. Willan, R. L. (1985). A guide to forest seed handling. FAO Forestry Paper 20/2. Rome, FAO.





ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Abdelwahed Chaou,**  
**Mohamed Chikhaoui,**  
**Mustapha Naimi,**

Department of Natural Resources and Environment,  
Hassan II Agronomic and Veterinary Institute,  
Rabat, Morocco

**Aissa Kerkour El Miad,**

Department of Mathematics and Computer Science  
Mohammed Premier University, Oujda, Morocco

**Aiman Achemrk,**

OCP Group  
Casablanca, Morocco

---

Submitted: 28 September 2020

Accepted: 27 October 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Mohamed Chikhaoui*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p206](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p206)



Copyright 2020 Chikhaoui et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:

Chaou A, Chikhaoui M, Naimi M, El Miad A, Achemrk A (2020). Cartographie Du Risque De Salinité Des Sols À L'aide De L'approche Des Indices Et Des Données Multi-Sources : Cas De La Plaine De Tadla Au Maroc *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 206.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p206>

---

## **Cartographie Du Risque De Salinité Des Sols À L'aide De L'approche Des Indices Et Des Données Multi-Sources: Cas De La Plaine De Tadla Au Maroc**

---

### **Résumé:**

La salinisation est l'une des formes de dégradation des sols qui connaît une extension spectaculaire et qui révèle des aspects de plus en plus inquiétants. Elle contribue à la diminution de la production agricole dans la plupart des zones irriguées du monde, notamment celles soumises à un climat aride ou semi-aride. Ce phénomène résulte des effets synergiques du climat, de la roche mère, de l'agressivité des conditions naturelles et des activités anthropiques. Dans ce contexte, la présente étude se fixe comme objectif de cartographier le risque de salinité des sols de la plaine de Tadla. Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté l'approche de l'Indice de Risque de Salinisation des Sols (IRSS) calculé à l'aide des données multi-sources (pédologiques, climatiques, hydrologiques et de salinité). La superposition des variables mises en jeu (la conductivité électrique de l'eau de nappe, la conductivité électrique de l'eau d'irrigation, la conductivité électrique du sol, la profondeur de la nappe, l'indice d'aridité, le type de climat, la pente, la texture et l'efficacité géologique) et leur pondération ont été réalisées à l'aide des SIG. Cette opération a permis de calculer l'indice IRSS et d'élaborer la carte de risque de salinité des sols de la zone d'étude. Cette approche basée sur l'IRSS a montré la présence de trois classes de risque de salinisation : léger, modéré et sévère. La classe de risque modéré domine avec une couverture de 76% de la superficie totale. Les résultats obtenus

montrent l'intérêt de cette approche pour déterminer les zones à risque de salinisation afin de mieux gérer le risque de la salinisation des sols et réduire les effets de celle-ci sur la production agricole.

---

**Subject:** Sciences du sol et Agriculture

**Mots-clés :** Dégradation du sol, Salinité du sol, Indice de risque de salinisation, Plaine de Tadla, Maroc

## **Soil salinity risk mapping using the index approach and multi-source data: Case of the Tadla Plain in Morocco**

*Abdelwahed Chaaou,  
Mohamed Chikhaoui,  
Mustapha Naimi,*

Department of Natural Resources and Environment,  
Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Rabat, Morocco

*Aissa Kerkour El Miad,*

Department of Mathematics and Computer Science  
Mohammed Premier University, Oujda, Morocco

*Aiman Achemrk,*

OCP Group, Casablanca, Morocco

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p206](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p206)

---

### **Abstract:**

Salinization is one of the forms of soil degradation that is expanding dramatically and is revealing increasingly worrying aspects. It contributes to the decline in agricultural production in most of the world's irrigated areas, especially those subject to arid or semi-arid climate. This phenomenon is the result of the synergistic effects of climate, bedrock, the aggressiveness of natural conditions and anthropogenic activities. In this context, the present study focuses on the mapping of salinity risk in the soils of Tadla Plain. To achieve this objective, we adopted the approach of the Soil Salinity Risk Index (SSRI) calculated using data from multiple sources (pedological, climatic, hydrological and salinity). The necessary variables (electrical conductivity of groundwater, electrical conductivity of irrigation water, electrical conductivity of soil, depth to groundwater, aridity index, climate type, slope, texture and geological efficiency) were overlaid and weighted using GIS. This operation allowed to calculate the SSRI and develop the soil salinity risk map of the study area. The use of the SSRI-based approach indicates the presence of three risk classes: light, moderate and severe. The moderate risk class dominates with a coverage representing 76% of the total area. The results obtained show the prospect of this approach to delineate areas of salinization risk to manage soil salinization and reduce its effects on agricultural production.

---

**Keywords:** Soil Degradation, Soil Salinity, Risk Index, Tadla Plain, Morocco

### **Introduction :**

La salinisation pose un problème sérieux dans le développement de l'agriculture moderne ainsi que dans la préservation de l'environnement. L'étendue globale des sols affectés par la salinisation primaire dans le monde est d'environ 955 millions hectares, tandis que la salinisation secondaire touche près de 77 millions hectares, avec 58% dans les zones irriguées (Bakacsi et al., 2019, Metternicht et Zinck, 2003). Près de 20% des terres irriguées sont affectées par le sel, et cette proportion tend à augmenter en dépit des efforts considérables consacrés à la remise en état des terres (Metternicht et Zinck, 2003). La salinisation secondaire résulte des effets synergiques de l'aridité du climat, de l'utilisation des eaux d'irrigation chargées en sels solubles, du mauvais drainage associé à la remontée capillaire, et dans une moindre mesure de l'utilisation abusive des engrais chimiques (Asfaw et al., 2016 ; El Gallal et al., 2016 ; Florinsky et al., 2009 ; Badraoui, 2006).

Au Maroc, depuis l'équipement et la mise en service des périmètres irrigués, la superficie des terres agricoles touchées par la salinité ne cesse d'augmenter (Chikhaoui et al., 2018 ; Sadiqui et al., 2016). Selon Badraoui (2003), environ 16 % des terres irriguées étaient affectées par la salinisation secondaire. Confronté à l'extension de ce fléau, le Maroc doit multiplier ses interventions pour évaluer les conséquences de la salinisation des sols, et aussi pour mettre au point des programmes de conservation appropriés. Dans ce contexte, plusieurs études ont été menées afin d'élaborer une stratégie globale de développement durable des périmètres irrigués. Pour analyser l'état de dégradation des sols par la salinité et en évaluer les risques d'extension et d'aggravation, plusieurs approches de suivi spatiotemporel ont été élaborées et appliquées à travers le monde. L'utilisation des modèles permet le contrôle de la salinité par la connaissance de sa distribution spatiale et de son évolution dans le temps (Bouaziz et al., 2018 ; Lahlou, 1998). Cependant, le suivi du processus et la cartographie de la salinité des sols ne sont pas réalisés avec fiabilité suffisante, sans l'intégration de plusieurs facteurs (Aswaf et al., 2016 ; Nosetto et al., 2013). Vu la complexité des processus contrôlant le phénomène de salinité, l'utilisation d'une approche multicritère permet d'identifier les zones à fort risque de salinité et d'assurer le suivi spatiotemporel de la dégradation chimique des sols (Triki et al., 2017 ; Bolinder et al., 2000). Il s'avère ainsi nécessaire de développer une approche permettant de cartographier ce phénomène en se basant sur plusieurs facteurs (Beauchemin et al., 2003 ; Sims et al., 1998). Dans ce contexte, Masoudi et al. (2006) ont élaboré un outil de cartographie des risques de salinité des sols, sous forme d'indice basé sur l'utilisation de plusieurs facteurs : types de sols et de

matériaux parentaux, climat et niveau de la nappe. Cette approche permet d'élaborer une carte de risque de salinité des sols qui peut servir comme outil d'aide à la prise de décision pour gérer la qualité des sols. Malgré son usage extensif à l'échelle mondiale, cette approche n'a jamais été mise en œuvre en région méditerranéenne, et plus particulièrement au Maroc.

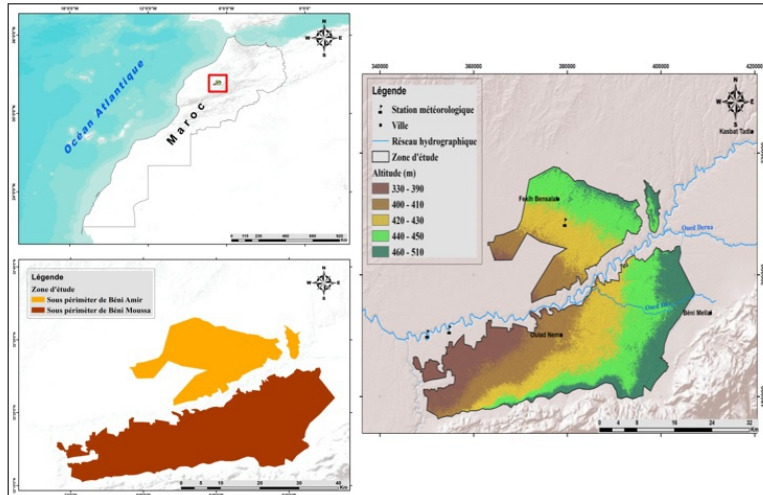
L'objectif principal de cette recherche est de caractériser l'état de dégradation des sols par la salinité et de valider la pertinence de l'approche basée sur les indices de risque de salinité des sols.

## **Matériel et Méthodes :**

### **Zone d'étude :**

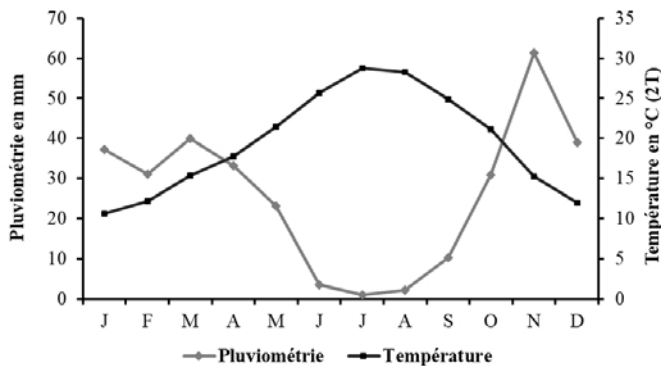
Cette étude a été effectuée dans le périmètre irrigué du Tadla, situé à 200 km au Sud-Est de la ville de Casablanca au Maroc (Figure 1). Le périmètre irrigué du Tadla s'étend sur une large surface, estimée à 3 600 km<sup>2</sup>. Il est traversé par le cours de l'Oum R'bia sur environ 160 Km. Ce dernier le divise en sous périmètres irrigués aux caractères hydrauliques différents : Béni Amir au Nord (35 600 ha) et Béni Moussa (69 500 ha) au Sud (Figure 1). Le sous périmètre des Béni Moussa est irrigué par les eaux du barrage de Bin El Ouidane, dont la salinité moyenne à la sortie de l'hiver avoisine 0.3 g/l. Alors que le sous périmètre des Béni Amir est irrigué par les eaux de la rivière d'Oum R'bia, caractérisée par une salinité moyenne à la sortie de l'hiver de 1.3g/l (El Harti et al., 2016).

Géologiquement, le périmètre du Tadla est caractérisé par une vaste dépression synclinale en subsidence remplie de dépôts du Néogène (miocène et pliocène) et du quaternaire (Étienne et Guessab, 1975). Sur le socle paléozoïque (Ordovicien), on rencontre des grès et des marnes rouges rapportés à moitié au Trias et à moitié à l'infra Cénomanién (Missante, 1963). Les études pédologiques réalisées au niveau de la zone d'étude montrent la prédominance des sols isohumiques favorables à la mise en valeur sous irrigation en raison de leur profondeur et leur texture équilibrée.



**Figure 1 :** Situation géographique de la zone d'étude

Le périmètre du Tadla est soumis à un climat très variable et à une activité anthropique intense. Caractérisé par des précipitations faibles, des températures élevées et une saison humide de cinq mois (Figure 2), le climat est de type méditerranéen aride à hiver tempéré. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 150 à 450 mm avec un coefficient de variation interannuel de 20 % (Chikhaoui et al., 2018). Le mois le plus pluvieux est novembre (61,3 mm) et un maximum secondaire est enregistré en mars (39,8 mm). Les températures montrent des variations saisonnières importantes, avec un maximum de 28,7 °C en juillet et un minimum de 10,6 °C en janvier (Figure 2).



**Figure 2 :** Diagramme ombrothermique

### Présentation de l'Indice de Risque de Salinisation des Sols (IRSS)

L'approche d'indice de risque de salinisation des sols (IRSS) de Masoudi et al. (2006) est méthode additive. Elle est constituée de dix composantes regroupées en trois catégories (Tableau 1). La première catégorie

comprend la qualité des eaux d'irrigation, qui comprend la conductivité électrique de l'eau de nappe et sa profondeur et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation. La seconde catégorie, qui caractérise le climat, globe les précipitations et le pouvoir évaporant (indice d'aridité). La troisième catégorie, édaphique comprend la pente, la texture, la conductivité électrique du sol et l'efficacité géologique.

Le calcul de l'IRSS est basé sur une matrice de 5 X 9 (Tableau 1) avec une pondération à deux niveaux (1 ou 2) : Les poids des facteurs en lignes et les cinq indices de classes de risque en colonnes. Les classes de risque possèdent chacune un indice et selon le risque croissant de salinisation associée à ces classes, les indices varient de 1 à 5. Pour calculer l'IRSS, l'indice de classe de risque est multiplié par son poids respectif pour tous les facteurs. De cette opération découle des valeurs pondérées pour chaque facteur qui, une fois additionnées donnent l'IRSS. Ce dernier varie entre 10 « très léger » à 50 « très élevé » en fonction des classes de risque (Tableau 2).

**Tableau 1** : Facteurs utilisés pour le calcul de l'IRSS (Masoudi et al., 2006)

Facteurs VCri	Poids (Wi)	Classes de risque				
		Aucune (1)	Légère (2)	Modérée (3)	Sévère (4)	Très sévère (5)
Profondeur de la nappe phréatique (m)	1	>5	3 - 5	1 - 3	0,5 - 1	<0,5
Texture du sol	1	Très grossière	Grossière	Modérément fine	Fine	Très fine
Pente en %	1	30+	15 - 30	5 - 15	1 - 5	<1
CE (dS/m) de l'eau d'irrigation (eau de surface)	1	<0.25	0.25 - 0.75	0.75 - 2.25	2.25 - 5	5+
CE (dS/m) de l'eau de nappe	1	<0.25	0.25 - 0.75	0.75 - 2.25	2.25 - 5	5+
Efficacité de la surface géologique	1	<0.1	0.1 - 0.39	0.39 - 0.65	0.65 - 1	1+
Climat	1	Subhumide et humide	Légèrement semi-aride	Semi-aride	Aride	Très aride
Indice d'aridité (P/ETP)	1	0.60+	0.40 - 0.60	0.20 - 0.40	0.05 - 0.20	<0.05
CE (dS/m) du sol	2	<4	4 - 8	8 - 16	16 - 32	>32
<b>IRSS = (état de salinité du sol x 2) + (qualité de l'eau d'irrigation + profondeur de la nappe + qualité des eaux souterraines + texture du sol + climat + indice d'aridité + pente + efficacité de la surface géologique) x 1</b>						



**Tableau 2 :** Classes de sévérité du risque de salinité ( Masoudi et al., 2006)

Classe	Très léger	Léger	Modérée	Sévère	Très sévère
Score de risque	10-15	16-25	26-35	36-45	46-50

### Présentation des données utilisées :

Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont été collectées au niveau des réseaux de suivi et de surveillance de la qualité des sols et des eaux. Les données de qualité des eaux souterraines correspondent à des mesures faites à une fréquence de 6 fois par an sur un réseau de 100 points d'observations. Ces mesures qui caractérisent la qualité des eaux souterraines et de surface sont : la conductivité électrique (CE) et le niveau piézométrique (NP). Les données (conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée et de la matière organique (MO)) de la qualité des sols sont collectées sur deux à trois profondeurs par tranche de 20 cm, à une fréquence de deux fois par an, au niveau d'un réseau de 40 sites. Enfin, la carte pédologique de la plaine de Tadla (Jaminet, 1953 ; SCET-Maroc, 1976) a été utilisée pour caractériser les sols. Le Tableau 3 présente l'ensemble des données utilisées et leurs fréquences.

Tableau 3 : Données utilisées et leurs formats

Types de données	Format	Echelle
Profondeur de la nappe	Tabulaire	Points de suivi des réseaux
Conductivité électrique (CE) de l'eau de nappe		
Conductivité électrique (CE) des sols		
Conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation (eau du barrage)		
Pluviométrie	Tabulaire	Journalière (station climatique)
Evapotranspiration (ET0) (Penman and Monteith)	Tabulaire	Journalière (station climatique)
Carte texturale	Vecteur	1/50 000
Courbes de niveau	Vecteur	1/50 000
Carte géologique	Raster	1/100 000

### Analyse et traitement des données :

Avant d'élaborer la carte du risque de salinité des sols, nous avons procédé à une analyse des données collectées pour réaliser une interpolation qui soit la plus représentative possible du phénomène étudié (Figure 3). L'analyse de la variabilité et de la structure spatiale de ces différentes données en particulier a été réalisée sous Arc Gis (Spatial Analyst). Ce module qui intègre la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) offre la possibilité d'analyser le comportement spatial des données. Dans le cadre de cette étude, cette méthode a été utilisée pour interpoler les données de la campagne (2015-2016) relatives à la côte piézométrique, la conductivité

électrique de l'eau de nappe, la conductivité électrique des sols afin d'élaborer les cartes thématiques respectives. Il est important de noter que cette méthode est recommandée par plusieurs études, car elle permet d'avoir des résultats fiables quand la distribution des points de données échantillonnés est régulière (ESRI, 1992). Pour le facteur pente, nous avons généré le modèle numérique du terrain (MNT), à partir de la numérisation des courbes de niveau de la carte topographique du Tadla (1/50 000, 10 m d'équidistance).. Enfin les cartes thématiques produites ont été ajustées à une même échelle dans un SIG dans le but de déterminer la carte de l'indice IRSS.

Il convient de souligner que le choix de la campagne (2015-2016) a été basé sur la disponibilité des données nécessaires pour l'application de l'approche adoptée.

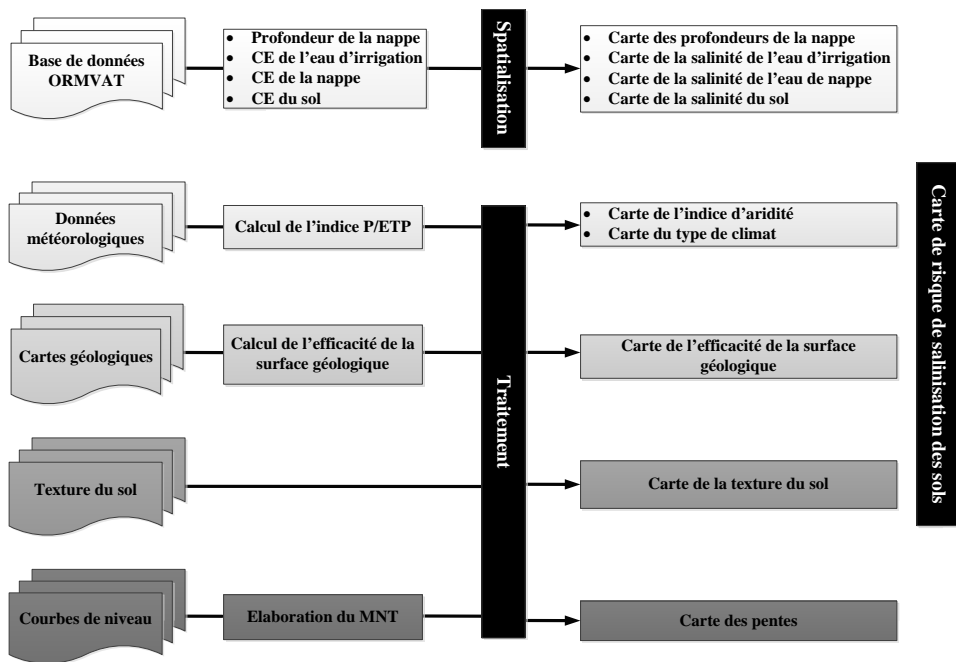


Figure 3 : Démarche pour l'élaboration de la carte de risque de salinisation des sols

### Résultats et Discussion :

Il apparaît évident que l'évaluation du risque de salinisation des sols passe en premier lieu par l'étude de la variabilité spatiale des différents facteurs régissant ce phénomène et qui rentre dans le calcul de l'IRSS.

### Variabilité spatiale de la conductivité électrique des sols :

L'analyse des données relatives à la salinité du sol, exprimée en CE de l'extrait de la pâte saturée, montre une grande variabilité spatio-temporelle celle-ci dans le périmètre irrigué du Tadla. Cette analyse révèle aussi que les

teneurs en sels des sols du sous-périmètre de Béni Amir sont plus élevées que ceux du sous-périmètre de Béni Moussa. Les plus touchés par ce phénomène sont concentrés dans l'aval hydraulique du périmètre (Figure 4). Ce constat pourrait être expliqué par l'utilisation des eaux de la nappe phréatique et le recyclage des eaux de drainage pour l'irrigation. Cette tendance a été constatée aussi par les travaux de Badraoui (2003).

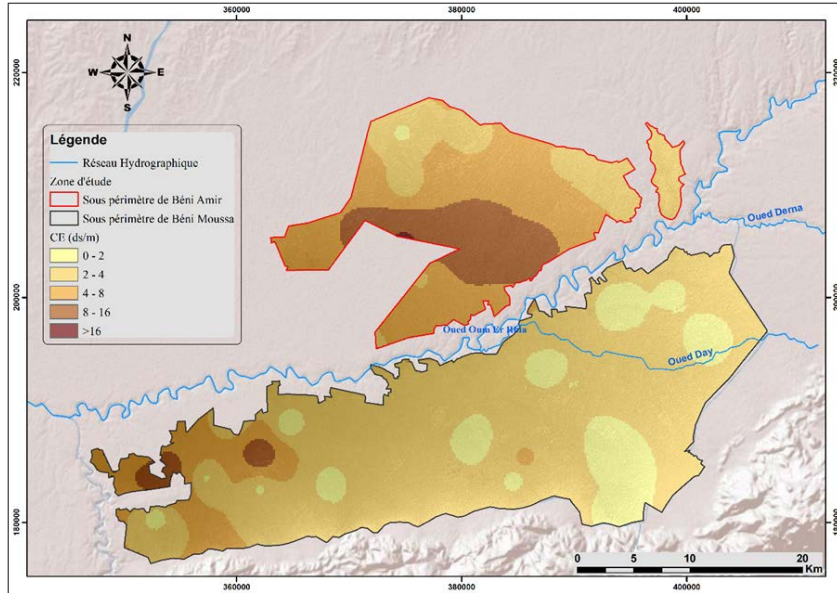


Figure 4 : Carte de salinité des sols (2015 - 2016)

La salinité des sols du périmètre du Tadla varie aussi selon la saison (Figure 5). En effet, nous avons constaté que la superficie occupée par la classe de salinité des sols (8 et 16 dS/m) est plus grande en février 2016 qu'en septembre 2015. Ce constat s'explique par la particularité de la campagne agricole 2016 qui était une année de sécheresse.

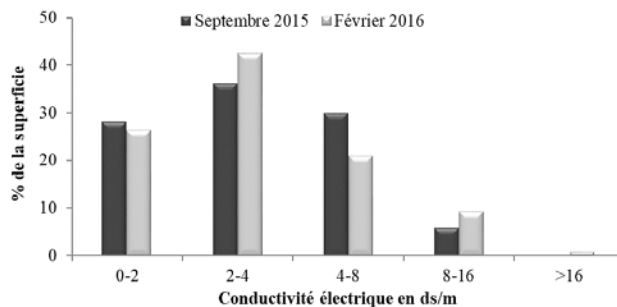
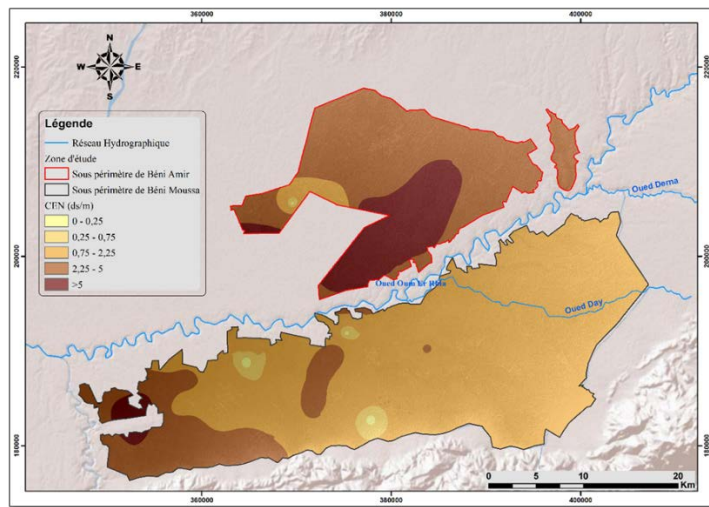


Figure 5 : Variation saisonnière de la salinité des sols entre septembre 2015 et février 2016

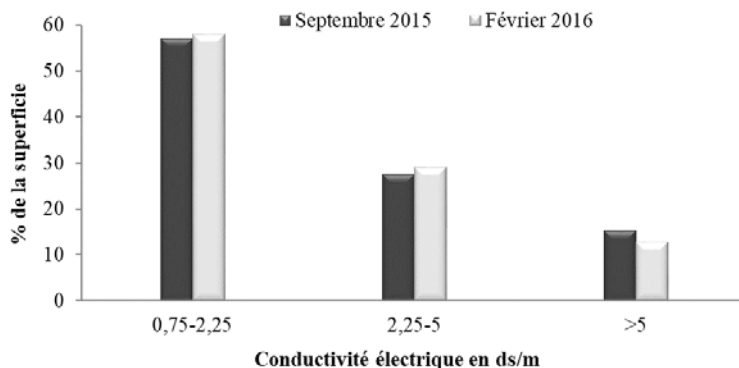
## Variabilité spatiale de la conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique :

Le périmètre irrigué du Tadla est caractérisé par un gradient de salinité qui augmente de l'amont à l'aval hydraulique. L'analyse de la carte de salinité de nappe phréatique montre une différence de salinité entre les deux sous-périmètres. En effet la concentration des sels hydrosolubles est plus appréciable dans la nappe de Béni Amir. Au contraire, cette concentration devient plus faible au niveau du secteur Est de la nappe de Béni Moussa, mais elle augmente progressivement en allant vers le secteur Ouest où elle atteint son maximum en aval. Soulignons que les travaux de Kuper et al. (2003) ont montré que, la nappe de Béni Amir est excessivement affectée par le problème de salinité.



**Figure 6 :** Carte de salinité de la nappe phréatique (2015 - 2016).

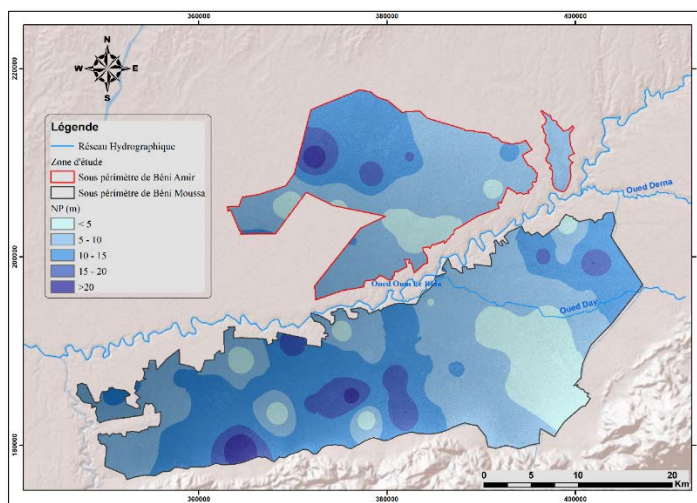
La variation saisonnière de la répartition des classes de salinité des sols est bien illustrée par la Figure 7. La classe de salinité très sévère (>5ds/m) des eaux de la nappe phréatique est plus étendue en début de saison (fin été - début automne) qu'à la fin (fin d'hiver). Cette différence s'explique par la diminution des précipitations et par l'intensification des cultures (céréales, betterave sucrière, maraîchage, fourrage et arboriculture fruitière), en particulier l'utilisation excessive des engrais.



**Figure 7 :** Variation saisonnière de la salinité de la nappe phréatique entre septembre 2015 et février 2016

### Variabilité de la profondeur de la nappe phréatique :

La figure 8 montre une variabilité spatiale de la profondeur de la nappe phréatique. Cette profondeur dépasse 10 m dans la partie nord du sous-périmètre de Béni Amir. La nappe est plus profonde au sud du sous-périmètre de Béni Moussa, et sa profondeur dépasse 20 m. Le suivi de la variation de la profondeur de la nappe phréatique a permis également de noter que le niveau piézométrique se rapproche de la surface en hiver et s'éloigne en été. Cette variation saisonnière est contrôlée essentiellement par le régime pluviométrique méditerranéen. Aussi il convient de souligner qu'après la mise en œuvre de la politique de désengagement et de libéralisation des assolements, les agriculteurs ont exercé une pression énorme sur les ressources en eau souterraines, induisant une baisse significative du niveau de la nappe (Kuper et al., 2003 ; Faouzi et al., 2001).



**Figure 8 :** Carte de la profondeur de la nappe phréatique (2015 - 2016)

## Variabilité de la texture des sols :

L'analyse texturale des sols du périmètre a permis d'identifier trois classes majeures de texture : modérément fine (limono-argileuse), fine (argilo-limoneuse) et très fine (argileuse). Les sols de texture modérément fine, à risque modéré, dominent avec 64 % de la superficie totale (Figure 9). Les sols à texture fine, à risque sévère, n'occupent qu'une faible portion faible au sud du sous-périmètre de Béni Moussa Est. Les sols à texture très fine donc à risque de salinisation très sévère représentent 28% de la superficie et n'existent que dans le sous-périmètre de Béni Moussa. Cependant, l'analyse de la répartition spatiale de la conductivité électrique des sols et le niveau de risque de salinité a permis de conclure que d'autres facteurs, autre que la texture, peuvent contrôler ce phénomène.

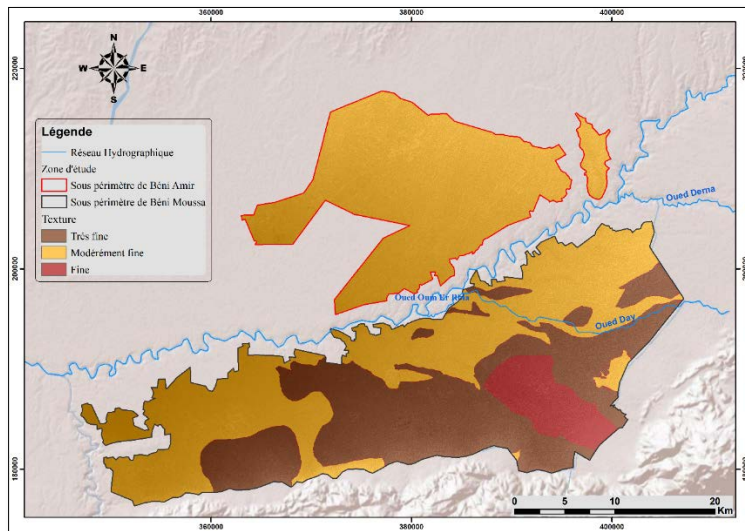


Figure 9 : Carte de texture des sols du périmètre de Tadla

## Variabilité de la topographie :

La figure 10 présente la distribution spatiale des classes de pente de la zone d'étude. L'analyse de cette carte montre que 85 % de la superficie du périmètre se caractérise par des classes de pente de 0 à 1 %, alors que le reste, soit 13% du périmètre, est caractérisé par une pente de 1 à 5. L'analyse, du risque de salinisation lié à la topographie montre que plus faible est la classe de pente plus grand est le risque de salinisation associé, car le drainage externe est déficient.



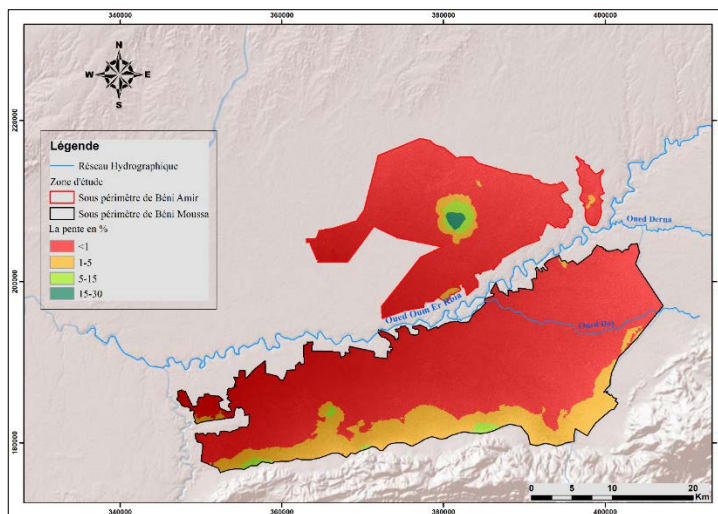


Figure 10 : Carte des pentes du périmètre de Tadla

### Variabilité spatiale de l'efficacité de la surface géologique :

Du point de vue géologique, le substrat de base de la plaine du Tadla est dépourvu de dômes de sels et d'évaporites, donc le risque de salinité dû à ce facteur est faible. Dans ce contexte, nous avons considéré que la géologie n'a pas d'impact sur la teneur en sels des sols du périmètre irrigué du Tadla. Toutefois, la nature géologique salifère en amont influence de manière indirecte la salinisation des sols en dégradant la qualité des eaux de l'Oued Oum R'bia qui draine ces surfaces. En effet, ces eaux sont utilisées pour l'irrigation des sols du sous-périmètre de Béni Amir.

### Variabilité de l'indice d'aridité du climat :

Pour caractériser le climat qui règne dans le périmètre du Tadla, l'indice d'aridité est l'une des méthodes utilisées (Demartone, 1923). Selon la classification de l'UNEP (1997) qui se base sur le calcul de l'indice d'aridité, la plaine du Tadla se trouve dans un milieu aride avec un risque sévère. Ainsi, pour intégrer ce paramètre dans le calcul de l'IRSS, tous les pixels du périmètre sont codés en classe 4 (Tableau 4).

Tableau 4 : Indice d'aridité et climat du périmètre du Tadla

Station météorologique	Indice d'aridité P/ETP	Climat	Classe de risque
Béni Amir	0,194	Aride	4
Béni Moussa (Ouled Gnaou)	0,198		
Béni Moussa Ouest	0,186		

### Variabilité de la conductivité électrique des eaux d'irrigation :

Le Tableau 5 récapitule les données collectées au niveau du réseau de suivi de la qualité des eaux de surface. En se basant sur ces chiffres, nous

constatons que les deux sources d'eau (Barrage Bin El Ouidane et Oued Oum R'bia) ont des qualités assez différentes, codées respectivement 2 et 3 selon leurs degrés de Risk. Dans ce contexte, nous avons attribué à tous les pixels du sous-périmètre de Béni Moussa la classe de risque léger (2). Au contraire, la classe de risque modéré (3) a été attribuée à tous les pixels du sous-périmètre de Béni Amir.

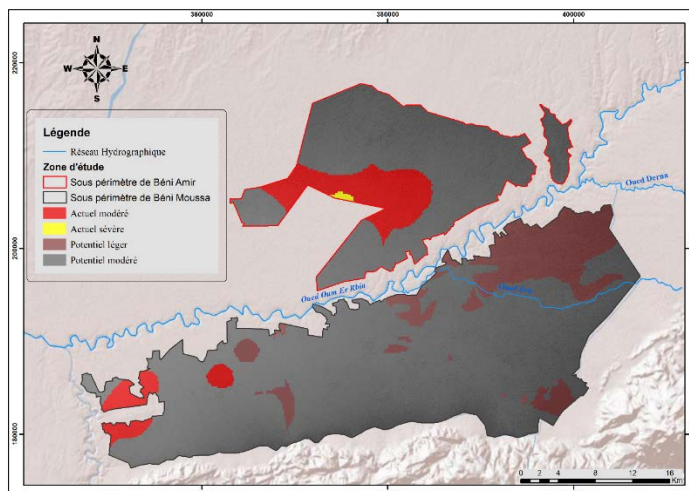
**Tableau 5** : Conductivité électrique des eaux d'Oum R'bia et de Bin El Ouidane

Campagne	Saison	CE des eaux d'Oum R'bia (dS/m)	Classe de risque	CE des eaux de Bin El Ouidane (dS/m)	Classe de risque
2015-2016	Sept-15	1,79	3	0,48	2
	Mai-16	2,20	3	0,51	2

### Élaboration de la carte de risque de salinisation des sols :

La figure 11 représente la carte de risques de salinisation des sols du périmètre du Tadla obtenue par l'approche de l'IRSS. Celle-ci comporte 4 classes : risque potentiel modéré, risque potentiel léger, risque actuel modéré et risque actuel sévère. L'analyse de la répartition spatiale des classes de risque de dégradation des sols par la salinité a permis de conclure que l'indice IRSS est pertinent pour la détermination des classes de risque de salinisation des sols (actuel et potentiel) avec une dominance de celle de risque potentiel modéré avec une couverture spatiale de 76 %. On constate aussi que les zones à risque potentiel correspondent aux sols qui montrent une forte sensibilité à la salinité. Il en ressort que la classe de risque sévère se situe dans les zones où la salinité de l'eau de nappe et des sols est élevée. La figure 11 permet également de visualiser les zones à risque actuel sévère qui ne représentent que 0,1 % de la superficie totale du périmètre irrigué du Tadla. Ce risque est plus élevé durant la saison sèche. Cela démontre, d'une part, l'intérêt de cette approche et, d'autre part, l'apport des données multi-sources dans l'étude et la modélisation de la dégradation des sols par le phénomène de salinité. Par ailleurs, nous tenons à signaler que la corrélation entre la conductivité électrique de l'eau de nappe et la conductivité électrique du sol est relativement forte. Ce même constat a été aussi révélé par une étude réalisée par Badraoui (2003). En effet, la conductivité électrique de l'eau de nappe explique 40% de la variabilité de la conductivité électrique des sols. De même, la profondeur de la nappe explique 28% de la variabilité de la salinité des sols dans le Tadla. Dans notre cas, l'analyse des résultats obtenus montre que la variabilité spatiale faible de la pente n'est pas suffisante pour expliquer la dynamique spatiale de la salinité des sols du périmètre de Tadla. Cependant, il convient de souligner que l'utilisation actuelle des terres et les pratiques culturales adoptées semble contrôler le phénomène de salinisation des sols. De même, le système d'irrigation et son efficacité peuvent vraisemblablement influencer le processus de salinisation.





**Figure 11** : Carte de risque de salinisation des sols (campagne agricole 2015-2016)

### **Conclusion :**

À la lumière des résultats obtenus, nous avons montré l'intérêt de l'utilisation de l'approche de l'IRSS et de l'intégration de données multi-sources pour la caractérisation du risque de dégradation des sols par le phénomène de salinité à l'échelle d'un périmètre irrigué au centre du Maroc. L'approche présentée a permis de valoriser la base de données (climat, topographie, type de sols, qualité des sols et des eaux) disponible à l'Office de Mise en Valeur Agricole du Tadla (ORMVAT). L'utilisation de cette approche se justifie également par sa simplicité et sa mise en œuvre facile dans un environnement SIG. L'IRSS a permis de mettre en évidence la présence de trois classes de risque : léger, modéré et sévère. La classe de risque léger, largement représentée dans le sous-périmètre de Béni Moussa, est due à la faible concentration de sels des eaux d'irrigation utilisées. Alors que la grande majorité du sous-périmètre de Béni Amir est soumise à un risque de salinisation modéré. La classe de salinisation sévère est perçue essentiellement à l'aval du périmètre. La surveillance de la dynamique spatio-temporelle de la salinité des sols est la base pour comprendre les effets des précipitations, de l'irrigation et des pratiques agricoles sur l'évolution de la salinité des sols. Par conséquent, les utilisateurs et les gestionnaires des terres agricoles en s'appuyant sur l'IRSS peuvent être dotés d'éléments d'intervention clés pour réduire les effets de la salinisation des sols sur la production agricole.

À la lumière de ces résultats, nous suggérons d'améliorer cette étude en combinant l'IRSS avec d'autres variables, telles que l'occupation des sols et le système d'irrigation.

## Remerciements :

Nous remercions le Centre National de la Recherche Scientifique et Technique, l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (Projet GISEC) pour leur soutien multiforme. Nous remercions également l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tadla pour leur collaboration.

## References:

1. Asfaw, S., Di Battista, F., and Lipper, L. (2016). Agricultural technology adoption under climate change in the Sahel: Micro-evidence from Niger. *Journal of African Economies*, 25(5), 637-669.
2. Badraoui, M. (2006). Connaissance et utilisation des ressources en sol au Maroc. Rapport général 50 ans de développement humain et perspectives, 2025, 91-117.
3. Badraoui, M. (2003). Etat actuel de la salinité des eaux et des sols dans le Tadla. [www.fsagx.ac.be/mf/Agriecoconseil/EFCA/badraoui.pdf](http://www.fsagx.ac.be/mf/Agriecoconseil/EFCA/badraoui.pdf).
4. Bakacsi, Z., Toth, T., Mako, A., Barnag., Laboczi, A., Szabo, J., Szatmari, G. and Pasztor, P. (2019). National level assessment of soil salinization and structural degradation risks under irrigation. *Hungarian Geographical Bulletin*, Vol 68-(2), P. 141–156.
5. Bakacsi Z., Tóth T., Makó, A., Barna G., Laborczi A., Szabó J., Szatmári G., and Pásztor L. (2019). National level assessment of soil salinization and structural degradation risks under irrigation. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(2), 141-156.
6. Bolinder, M.A., Simard, R.R., Beauchemin, S., and MacDonald, K.B. (2000). Indicator of risk of water contamination by P for soil landscape of Canada polygons. *Canadian Journal of Soil Science*, 80(1), 153-163.
7. Bouaziz, M., Chtourou, M.Y., Triki, I., Mezner, S., Bouaziz, S. (2018). Prediction of Soil Salinity Using Multivariate Statistical Techniques and Remote Sensing Tools. *Advances in Remote Sensing*, Vol. 7, 313-326.
8. Chikhaoui, M., Naimi, M., and Chaaou, A. (2018). Développement d'un indice de risque de salinité des sols à l'aide du capteur Sentinel-2 et des données multi-sources : Cas de la plaine de Tadla au Maroc (2018). *International Workshops sur l'apport des images Sentinel pour le développement*, 6-7 mars 2018, CRTS-Rabat, Maroc.
9. De Martonne E (1923). Aridité et indices d'aridité. *Académie des Sciences. Comptes Rendus*, 182(23) : 1935–1938.
10. El Harti, A., Lhissou, R., Chokmani, K., Ouzemou, J. E., Hassouna, M., Bachaoui, E. M., and El Ghmari, A. (2016). Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using

- satellite spectral indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 64-73.
11. Étienne, H. et Guessab, D. (1975). Ressources du Maroc, Tome. 2 : Plaines et bassins du Maroc atlantique. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, n° 231, p. 299-365.
  12. ESRI. (1992). *ARC/INFO user's guide: cell-based modelling with GRID. Analysis, display and management*, 2nd ed.
  13. El Gallal, M., Fletcher, L. and Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management* 177. 419–431.
  14. Etienne, H., Guessab, D., and Archambault, C. (1975). The Tadla plain. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 231, 299-364.
  15. Faouzi, M., et Larabi, A. (2001). Problématique de la remontée, de la salinité et de la pollution par les nitrates des eaux de la nappe phréatique des Beni-Amir (Tadla, Maroc).
  16. Florinsky, I.V., R.G. Eilers, B.H. Wiebe et M.M. Fitzgerald. (2009). Dynamics of soil salinity in the Canadian Prairies: Application of singular spectrum analysis, *Environmental Modelling and Software*, vol. 24, p. 1182-1195.
  17. Hamzeh, S., Naseri, A. A., Alavipanah, S. K., Mojaradi, B., Bartholomeus, H. M., Clevers, J.G., and Behzad, M. (2013). Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne hyperspectral vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 282-290.
  18. Jaminet, R. (1953). Aperçu sur les sols et l'irrigation du périmètre des Béni Amir. - In *Etudes des Sols du périmètre irrigable des Béni Amir - Béni Moussa*. SRAE, Rabat, pp. 3-10
  19. Kuper, M., Hammani, A., Zemzam, S., Bouarfa, S., and Thomas, V. (2003). Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraine pour l'irrigation : le cas du périmètre irrigué du Tadla au Maroc. Actes du séminaire Pcsi, Gestion intégrée au sein d'un bassin versant.
  20. Lahlou, M., Badraoui, M., Soudi, B., Goumari, A., and Tessier, D. (2002). Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 19-p). Cirad-IRD-Cemagref.
  21. Masoudi, M., Patwardhan, A. M., and Gore, S. D. (2006). A new methodology for producing of risk maps of soil salinity, case study: Payab Basin, Iran. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 10(3), 9-13.

22. Metternicht, G.I., and Zinck, J.A., (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20.
23. Missante, G., (1963). Les sols du Tadla et leur répartition schématique au 1/500 000e. *Al Awamia* 9, 155–190 <http://webagris.inra.org.ma/doc/awamia/00910.pdf>.
24. Nawar, S. Buddenbaum, H. Hill, J. and Kozak, J. (2014). Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and Landsat data using two quantitative methods (PLSR & MARS). *Remote Sens.* 6, 10813-10834; doi: 10.3390/rs61110813.
25. Nosoetto, M. D., Acosta, A. M., Jayawickreme, D. H., Ballesteros, S. I., Jackson, R. B., and Jobbágy, E. G. (2013). Land-use and topography shape soil and groundwater salinity in central Argentina. *Agricultural Water Management*, 129, 120-129.
26. Sadiki, M., Markhi, A., Elbelrhiti, H., Mrabet, H. (2016). Cartographie de la Salinité à la surface du sol dans une zone du Préfif : Cas de la région de l'Ouergha, *European Scientific Journal*. Vol.12, 1857 – 7881
27. SCET-Maroc (1976). Etude pédologique au 1/100 000 des sols de la plaine de Tadla. 128p
28. Sims, J.T., Simard, R.R., and Joern, B.C. (1998). Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of environmental quality*, 27(2), 277-293.
29. Triki, F.H., Bouaziz, M., Benzina, M., and Bouaziz, S. (2017). Modeling of Soil Salinity within a Semi-Arid Region Using Spectral Analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 11175-11182.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Dr. Kouamé Bi Gooré Roland,**

UFR Criminologie de l'Université Félix Houphouët  
Boigny, Abidjan

---

Submitted: 03 March 2020

Accepted: 23 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Kouamé Bi Gooré Roland*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p226](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p226)



Copyright 2020 Gooré Roland  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

---

Cite as:

Roland G, (2020). Conditions de Travail des Filles-mères Rejetées par les Parents et les Partenaires en Milieu Urbain Ivoirien : Cas de la Commune de Yopougon *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 226.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p226>

---

## Conditions de Travail des Filles-mères Rejetées par les Parents et les Partenaires en Milieu Urbain Ivoirien : Cas de la Commune de Yopougon

---

### Résumé

Cet article se propose d'analyser les conditions de vie et de travail des filles-mères délaissées par leurs parents et leurs partenaires. L'hypothèse stipule qu'abandonnées, étant sans soutien, ces adolescentes, pour entretenir leur grossesse, leurs enfants et pour subvenir à leurs propres besoins, décident de travailler, alors qu'elles n'ont pas encore 16 ans, l'âge minimum d'admission au travail ou à l'emploi. Cette décision procède de choix, poursuit des buts et est une tentative d'adaptation ou de solution aux problèmes engendrés par le délaissement de ces jeunes filles par leurs proches. La théorie de référence est la théorie stratégique du crime. Au plan méthodologique, pendant 7 mois, l'observation et les entretiens semi-directifs ont permis de recueillir des données auprès de l'échantillon d'enquête composé de 181 individus. Cette étude a recouru aux analyses qualitatives et quantitatives. En termes de résultats, les données recueillies indiquent que ces adolescentes sont poussées sur le marché du travail par divers facteurs comme la perte de soutien de la part de leur famille et partenaire, leur volonté de se revaloriser, leur statut d'active d'avant grossesse. Par ailleurs, leur force de travail est « achetée » par les employeurs pour plusieurs raisons qui sont, entre autres, leur supposée conscience professionnelle et leur productivité du fait de leur statut de mère, le fait qu'elles soient corvéables et taillables à souhait, le fait qu'elles soient déjà nanties d'expérience et de compétences dans certains métiers. Elles vivent dans des conditions défavorisées et

sont astreintes à des activités qui, de par leur nature et leurs conditions d'exécution, peuvent être assimilées aux pires formes de travail des enfants.

---

**Subject:** criminology

**Mots-clés :** Filles-Mères, Travail Des Enfants, Violence Basée Sur Le Genre, Droits Des Enfants, Adolescence, Abandon Des Enfants

# **Working Conditions of Young Mothers Rejected by Parents and Partners in an Ivorian Urban Environment: The Case of the Municipality of Yopougon**

*Dr. Kouamé Bi Gooré Roland*

UFR Criminologie de l'Université Félix Houphouët Boigny  
Abidjan

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p226](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p226)

---

## **Abstract:**

This paper focuses on analyzing the living and working conditions of girl mothers. The hypothesis states that these teenagers were abandoned by parents and partners without any support to maintain their pregnancy, their offspring, and to support themselves. As a result, they decided to work when they are not yet 16 years old, which is the minimum age to work or gain an employment. This decision is based on the choice to pursue their goals and is an attempt to adapt or solve the problems caused by the neglect of these girls by their relatives. The reference theory of this study is therefore the strategic theory of crime. In doing this at the methodological level within a period of 7 months, the observation and the semi-directive interviews made it possible to collect data from the survey sample composed of 181 individuals. This study employs a qualitative and quantitative approach. In terms of results, the data collected indicate that these adolescent girls are being pushed into the labor market due to various reasons : loss of support from their family and partner, their desire to reassess themselves, and their pre-pregnancy status. In addition, their labor force is "bought" by the employers for several reasons which include their supposed conscientiousness and productivity because of their mother's status, the fact that they are manageable and tailor-made, and the fact that they already have experience and skills in certain trades. They live in disadvantaged conditions and are subjected to activities which, as a result of their nature and their conditions of execution, can be assimilated to the worst forms of child labor.

---

**Keywords:** Child-Mothers, Child Labor, Gender Based Violence, Children's Rights, Adolescence, Children Abandonment

## **I. Introduction :**

### **Quelques données théoriques sur l'implication des filles dans le travail**

Selon les estimations mondiales de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) sur le travail des enfants publiées en 2017, 152 millions d'individus âgés de 0 à 17 ans sont soumis à cette catégorie de travail dans le monde. 64 millions d'entre eux, soit 42% sont de sexe féminin contre 58% de garçons. Dans le travail dangereux, on trouve 44,774 millions de garçons et 27,774 millions de filles (OIT, 2017). En Côte d'Ivoire, sur 1 424 996 enfants de 0 à 17 ans astreints à des travaux à abolir, on compte 772 219 filles, soit 54,2% du groupe (ENSETTE, 2013).

Des recherches ont montré que ces statistiques sous-estiment le travail des filles relativement à celui des garçons. Une première raison de cette sous-estimation est le fait que les calculs se fondent sur les enfants « économiquement actifs ». Dans ce cadre, sont insuffisamment prises en compte, les activités ménagères non rémunérées effectuées par les filles au sein des maisons où elles vivent. En plus, accomplissant généralement leurs tâches derrière des portes closes des logis privés, l'astreinte au travail des gamines a peu de visibilité sociale, donc sous-reportée (IPEC, 2009 ; OIT, 2017 ; AIDS-Free World, 2015). Enfin, la mise au travail des adolescentes mariées précocement ne rentre pas dans les calculs de l'Organisation Internationale du Travail (AIDS-Free World, 2015).

Au-delà des statistiques, plusieurs études montrent que le travail des enfants comme le travail des adultes est plus ou moins structuré par les relations du genre. S'agissant des catégories de travaux accomplis par les enfants, des études révèlent que les filles constituent la plus grande partie des enfants exploités dans la prostitution et la pornographie (Direction générale des politiques internes du Parlement européen, 2014). En plus du travail prostitutionnel ou pornographique, les filles se spécialisent dans les tâches ménagères. En 2012, dans le monde, on dénombrait 32,9 % de garçons et 67,1 % de filles âgés de 5 à 17 ans dans le travail domestiques (IPEC, 2013). Dans ce domaine, la charge de travail des filles est plus lourde et étendue que celle des garçons (IPEC, 2009). Ceci est corroboré par une enquête réalisée dans 83 pays et régions du monde révélée par le Conseil économique et social de l'ONU (2017). Cette enquête montre que les femmes et les filles consacrent en moyenne plus de trois fois plus de temps que les individus de sexe masculin aux soins et aux travaux non rémunérés.

Dans le métier des armes, on trouve de nombreuses filles parmi les enfants soldats. En 2014, 40% des 250 000 enfants soldats dans le monde étaient des filles (DFAE, 2014). Si la majorité des garçons étaient des combattants, les filles ont été recrutées ou enrôlées de force dans les groupes



armés ou organisations terroristes (Boko Haram, AQMI, Ansar Eddine, le MNLA, le MUJAO, etc.) pour jouer des rôles d'appui, pour servir, dans leur forte proportion d'esclaves sexuelles, de cuisinières, de sentinelles, d'éclaireurs, d'infirmières, de kamikazes, etc. (ONU, 2016). A part l'exploitation sexuelle, l'embrigadement et le travail ménager, dans les autres occupations économiques, c'est-à-dire, celles qui sont génératrices de revenus, il y a, en général, une faible différence entre l'implication des garçons et celle des filles (IPEC, 2009).

Les facteurs d'offre et de demande de la main d'œuvre infantile diffèrent également un peu en fonction du genre. En effet, en plus de la pauvreté, des réalités socio-culturelles victimisant ou marginalisant les enfants, de l'imperfection du système éducatif, de l'insuffisante application des lois protectrices des enfants, de la faiblesse du système de protection, de nombreuses recherches mentionnent la discrimination subie par les filles dans plusieurs sociétés comme l'un des importants déterminismes de leur enrôlement précoce dans les travaux (IPEC, 2009 ; Conseil économique et social de l'ONU, 2017). Concernant les raisons à la base de la demande et l'offre du travail domestique qui consomme la grande part de la force du travail des filles, le BIT (2009) cite la pauvreté, le manque de perspectives d'emploi dans les pays en voie de développement, l'intégration massive des femmes dans la population active et leur discrimination sur le marché du travail, etc.

Au niveau de la valeur sociale accordée aux occupations infantiles, on note que les travaux effectués par les filles, moins que ceux accomplis par les garçons, sont appréhendés comme des activités à très faible valeur ajoutée et associées à un statut défavorable. C'est le cas des tâches domestiques qui ne sont ni perçues, ni reconnues comme un travail réel, dans plusieurs sociétés, dans la loi comme dans la pratique (BIT, 2009 ; BIT, 2013). Il en va de même de la prostitution qui est également vue comme une pratique déshonorante (Jovelin, 2011).

Cette différenciation par sexe se perçoit en outre au sujet de l'étendue des responsabilités assumées par les enfants astreints au travail. Comparativement aux garçons, les filles sont plus susceptibles d'être fortement responsabilisées. Elles portent le plus souvent le « double burden » ou le double fardeau en matière de travail des enfants. En effet, elles ont à la fois à leur charge, les activités domestiques non rémunérées à la maison et l'emploi exercé en vue d'obtenir un gain financier ou matériel (IPEC, 2009 ; OIT, 2017).

Si ces études permettent de saisir plusieurs aspects de l'implication des filles dans le travail, à notre connaissance, très peu se sont intéressées au cas spécifique des filles-mères âgées de 13 à 15 ans. Ces adolescentes ont un statut singulier : étant elles-mêmes des enfants, elles ont à leur charge des

bébés. Souvent rejetées par leurs parents et/ou partenaires ou étant pauvres, elles doivent travailler pour assumer leurs responsabilités de mères alors que les normes internationales et la loi ivoirienne les excluent de toute occupation rémunérée à cause de leur immaturité sociale, psychique et biologique supposée. Pour mieux appréhender le phénomène du travail des enfants, il importe donc d'étudier l'implication de cette catégorie sociale dans les activités génératrices de revenus.

La présente recherche a pour objectif d'analyser les conditions de vie et de travail des adolescentes-mères. L'hypothèse stipule qu'abandonnée par les parents et partenaires, étant sans soutien, la fille-mère, pour entretenir sa grossesse, sa progéniture et pour subvenir à ses propres besoins, décide de travailler, alors qu'elle n'a pas encore 16 ans, l'âge minimum d'admission au travail ou à l'emploi. Comme on le constate, cette décision procède de choix, poursuit des buts et est une tentative d'adaptation ou de solution aux problèmes engendrés par le délaissement de la jeune fille. La théorie de référence de cette étude est donc la théorie stratégique du crime. Cette théorie, comme la théorie économique du crime de Becker, la théorie du processus de l'acte délictueux de Gassin, la théorie situationnelle de Clarke, s'inscrit dans la criminologie de l'acte et du choix rationnel (Koudou, 2007 : 85-57).

## **II. Méthodologie**

### **2.1. Site et participants à l'enquête**

#### **2.1.1. Site**

Le champ d'étude est la commune de Yopougon, l'une des 13 communes du district d'Abidjan. Elle a été érigée en une municipalité par la loi N°78-07 du 09 janvier 1978 portant création des communes de plein exercice en Côte d'Ivoire et organisée par la loi N°80-61182 du 17 octobre 1980. Elle est située à l'Ouest de la ville d'Abidjan, délimitée au Nord par la commune d'Abobo et la ville d'Anyama, au Sud par le port d'Abidjan et l'Océan Atlantique, à l'Est par la commune d'Attécoubé et à l'Ouest par Songon (Kra Kouadio, 2014). Essentiellement, une cité dortoir, elle est l'une des plus grandes communes de la Côte d'Ivoire en termes de superficie et de population. Elle compte 1 071 543 habitants et a une étendue de 153,06 Km<sup>2</sup> soit 7,4% de la superficie du District d'Abidjan (2079 Km<sup>2</sup>). 48,90% de sa population, soit 523 952 personnes, sont de sexe masculin et 51,10% de sexe féminin représentant 547 591 individus. On y dénombre 94 218 étrangers constituant 8,79% des habitants. Les individus de moins de 18 ans sont au nombre de 381 878, soit 35,63 % de la population. Dans la commune de Yopougon, les activités des hommes et des femmes sont surtout concentrées dans le secteur informel. On y rencontre de nombreux artisans (menuisiers, cordonniers, couturiers, pâtisseries, etc.). Le secteur commercial est en plein essor : la commune compte plus de 15 marchés. A côté de ces grands espaces de commerce, s'ajoute un

nombre important de maquis et de bars. Dans ces différentes activités, on trouve de nombreux enfants travailleurs (officiellement, Abidjan compte 154 437 enfants impliqués dans le travail des enfants). Pour toutes ces raisons, Yopougon se présente comme un champ non négligeable d'étude du phénomène de l'exploitation économique des mineurs. Pour avoir une représentativité géographique suffisante du phénomène étudié, nous avons mené l'enquête dans dix quartiers choisis arbitrairement. Ces quartiers se dispersent sur le territoire communal : Ananeraie, Niangon Nord, Wassakara, Kouté, PK 17, Gesco, Sicogi 3, Andokoua, Banco 2, Toit-Rouge. Cette enquête a duré 7 mois, du 12 mars au 14 octobre 2017.

### **2.1.2. Participants à l'enquête**

Nous avons enquêté auprès de 181 individus choisis de manière arbitraire. Parmi eux, il y a 50 filles-mères travailleuses. Nous les avons choisies 5 par quartier en vue d'avoir une plus grande représentativité spatiale du phénomène. Elles sont les individus les plus impliqués dans le phénomène étudié. Elles détiennent donc des informations qui ont une plus grande valeur ajoutée dans l'élucidation de notre objet d'étude. Ceci explique leur surreprésentation. A elles, s'ajoutent 35 individus qui les emploient. Ces derniers, étant leurs patrons, ils sont à même de nous éclairer sur les raisons qui les poussent à les engager, sur le degré de motivation de ces adolescentes au travail, sur leur rentabilité et leur productivité et sur les conditions dans lesquelles elles exécutent leurs tâches. En plus, parmi les participants à l'enquête, il y a 30 parents de filles-mères et 20 partenaires de ces adolescentes. Les réactions face à la grossesse et à la maternité précoces de ces différentes catégories sociales sont déterminantes dans la compréhension de la mise au travail de ces filles. En sus, nous avons interrogé 10 femmes ayant été filles-mères dans leur jeunesse. Elles nous ont fait part de leur expérience, ceci nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les adolescentes prématurément engrossées et sur les mobiles de leur présence sur le marché du travail. A elles, s'ajoutent 25 consommateurs des biens et services produits par les filles-mères. Ces consommateurs sont en contact avec ces adolescentes sur leur lieu de travail, ils sont leurs clients ; leurs avis sont donc nécessaires pour mieux appréhender les types de travail que ces filles exécutent et les circonstances dans lesquelles elles accomplissent leurs tâches. Notre échantillon comprend également des responsables d'organisations professionnelles tels que l'Association des Enfants et Jeunes Travailleurs de Côte d'Ivoire (AEJTCI) et le Syndicat des Travailleuses Domestiques de Côte d'Ivoire. Nous nous sommes entretenus avec un responsable de chacun de ces groupements pour avoir leur avis sur l'exploitation économique et sur les violations des droits des filles-mères travailleuses et pour comprendre

comment ils s'y prennent pour défendre les droits de ces mineurs. Enfin, nous avons jugé nécessaires de recueillir les avis des agents de contrôle social du travail des enfants pour comprendre l'ampleur du phénomène, les dispositifs mis en place pour l'éradiquer et pour la prise en charge des enfants victimes. A ce titre, nous avons enquêté 2 inspecteurs de travail et des affaires sociales, un responsable de chacune des institutions étatiques, onusiennes et non-gouvernementales suivantes : le Comité Interministériel de lutte contre la traite, l'exploitation et le travail des enfants (CIM), le Comité National de Surveillance des actions de lutte contre la traite, l'exploitation et le travail des enfants (CNS), la Sous-direction de la Lutte contre le Trafic des Enfants et la Délinquance Juvénile (SDLTEDJ) de la Direction de la Police Criminelle, les Fonds des Nations-Unies pour l'Enfance (UNICEF), le Bureau International du Travail (BIT), l'ONG Save The Children international et le Bureau International Catholique de l'Enfance (BICE).

## **2.2. Techniques de recueil de données**

Les données ont été recueillies à l'aide de l'observation et de l'entretien semi-directif.

### **2.2.1. Observation**

Elle nous a permis de percevoir, d'appréhender, de noter les comportements, les faits, les réactions et les gestes des jeunes mères travailleuses et de leurs employeurs sur les lieux de travail, dans leur cadre de vie.

### **2.2.2. Entretien**

Cet entretien a été réalisé d'une manière individuelle et semi-directive. Il a permis à chacun des enquêtés (filles-mères, parents et partenaires de filles-mères, les employeurs de ces adolescentes, les femmes ayant fait l'expérience de fille-mère, les consommateurs des biens et services produits par les filles-mères, etc.) de développer leurs pensées, de s'exprimer avec un plus grand degré de liberté et de profondeur suivant la grille d'entretien que nous avons conçue. Celle-ci comportait les thèmes suivants ; les caractéristiques socio-économiques des filles-mères, les effets de la maternité précoce et célibataire sur les jeunes mères, les déterminants de l'offre et de la demande de la force de travail de ces adolescentes, les impacts du travail précoce sur elles-mêmes et sur leur progéniture, les mesures pour réduire les phénomènes de maternité précoce et la prémartiale et de travail des enfants.

## **2.3. Méthodes d'analyse de données**

Les méthodes d'analyses adoptées dans ce travail sont l'analyse qualitative et l'analyse quantitative.

### 2.3.1. Analyse qualitative

Elle a permis d'analyser les données descriptives telles que les discours, les comportements des individus de notre échantillon (filles-mères travailleuses, leurs employeurs, leurs parents et partenaires). Avec cette méthode, nous nous sommes intéressés aux significations que ces acteurs attribuent à la mise au travail des filles-mères, à leur exploitation économique, à la violation de leurs droits, etc.

### 2.3.2. Analyse quantitative

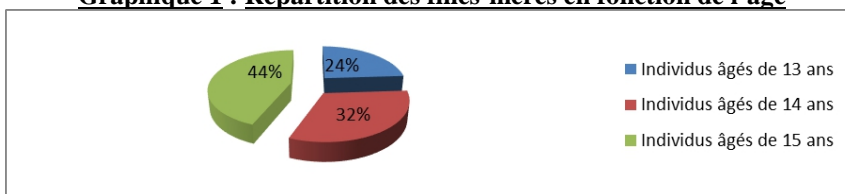
Elle nous a permis de faire ressortir, de comprendre et d'expliquer les données numériques, mesurables, les informations pouvant être converties en chiffres.

## III. Résultats

### 3.1. Caractéristiques des filles-mères travailleuses

-**Age** : les mères adolescentes ont entre 13 et 15 ans. Aucune de ces filles n'a encore atteint l'âge minimum d'admission au travail qui est fixé à 16 ans. Le graphique 1 répartit ces jeunes mères en fonction de l'âge.

**Graphique 1 : Répartition des filles-mères en fonction de l'âge**



-**Niveau d'études** : dans l'ensemble, les filles-mères ont un faible niveau d'instruction comme l'indique le graphique 2. Par ailleurs, les investigations révèlent que 30% d'entre elles ont connu le décrochage scolaire avant de tomber enceinte et 52% ont abandonné l'école à partir de leur grossesse. Moins d'1/5 du groupe (18%) n'a jamais été scolarisé.

**Graphique 2 : Répartition des filles-mères en fonction du niveau d'études**

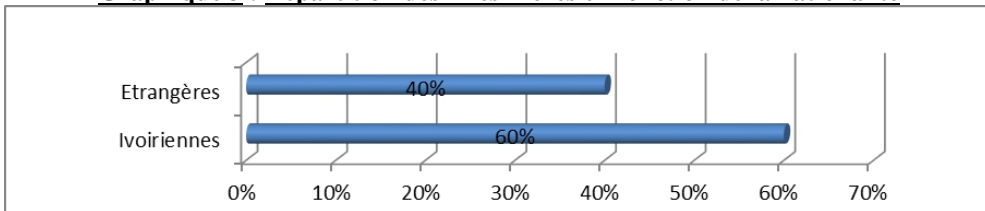


-**Occupations avant de tomber enceinte** : en matière d'occupations d'avant grossesse, les jeunes mères se répartissent en quatre sous-groupes. Le premier est composé uniquement d'élèves du secondaire. Il concerne 52% des mères

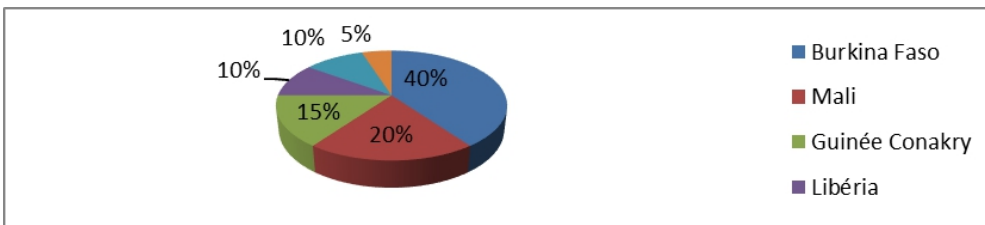
adolescentes de notre échantillon. Le deuxième, représentant 12% de cet échantillon, est constitué de filles qui apprenaient un métier. Elles apprenaient les métiers comme la couture, la coiffure et la pâtisserie. Ensuite, le troisième sous-groupe renferme les employées, c'est-à-dire, les filles qui exerçaient des activités rémunérées. Ce sous-groupe est constitué de 20% des jeunes mères. Ces jeunes mamans étaient des domestiques à 50% gagnant par mois entre 15 000 et 25 000 FCFA ; 30% étaient des serveuses dans les débits de boisson alcoolisée ayant un salaire mensuel de 10 000 à 20 000 FCFA ; 20% faisaient la vaisselle dans les restaurants où elles recevaient environ 15 000 FCFA comme salaire mensuel. Enfin, le dernier sous-groupe, fort de 16% des jeunes mères, est composé d'adolescentes uniquement occupées à des travaux ménagers non rémunérés. Il faut souligner qu'en plus de leurs principales occupations, les élèves, les apprenties et les employées s'acquittaient elles aussi des charges domestiques comme le nettoyage, la lessive, la blanchisserie, la cuisine, le jardinage, la collecte d'eau, la surveillance des enfants, etc. dont la durée variait d'une catégorie de filles à une autre.

**-Nationalité :** d'après le graphique 3, 3 filles-mères sur 5 sont originaires de la Côte d'Ivoire. Les étrangères viennent des pays limitrophes comme l'indique le graphique 4. Dans leur majorité, les ivoiriennes sont issues des groupes Akan et Mandé, conformément au graphique 5.

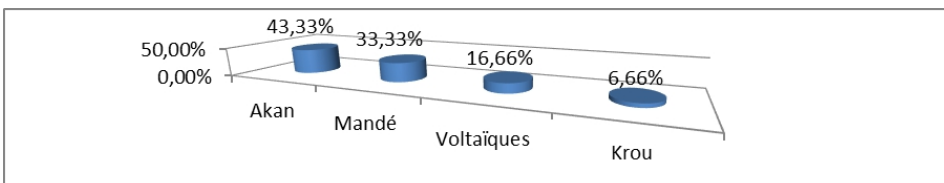
**Graphique 3 : Répartition des filles-mères en fonction de la nationalité**



**Graphique 4 : Répartition des filles-mères étrangères en fonction du pays d'origine**

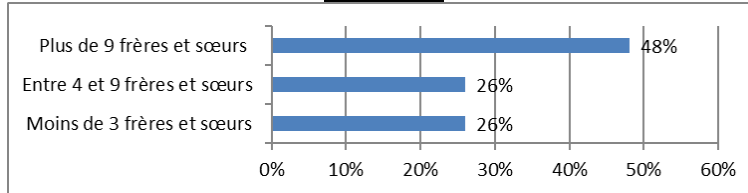


**Graphique 5 : Répartition des filles-mères ivoiriennes en fonction du groupe ethnique d'appartenance**



**-Taille de la fratrie dont ces filles sont issues :** dans l'ensemble, ces filles viennent de familles nombreuses comme l'indique le graphique 6.

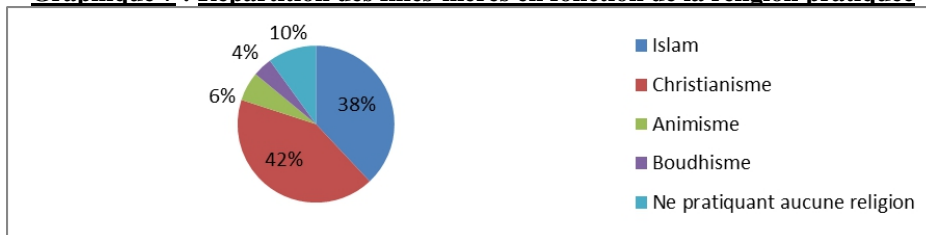
**Graphique 6 : Répartition des filles-mères en fonction de la taille de la fratrie dont elles sont issues**



**-Situation socio-économique des parents :** la plupart des jeunes mères sont issues de ménages modestes. Environ 2/3 d'entre elles (64%) ont des pères qui sont soit des retraités, soit des sans emploi ou des individus exerçant des métiers dans le secteur informel, des métiers peu rémunérés : agriculteurs, petits commerçants, artisans (forgerons, ferronniers, menuisiers, etc.). La majorité de ces parents ont un faible niveau d'études : 25% sont analphabètes, 35% ont le niveau primaire, 30% le niveau secondaire et 10% ont fait le cycle supérieur. 40% des mères de ces filles sont illettrées, 35% ont au plus le CEPE et 25% ont été lycéennes ou collégiennes. Ces mères sont des paysannes, ménagères, commerçantes, sages-femmes, institutrices, agents de police, etc. Par contre, 36% des filles-mères ont des géniteurs qui sont soit des cadres moyens ou des cadres supérieurs, qui ont un niveau d'études relativement élevé : 33,33% ont des diplômes universitaires quand 66,66% ont arrêté les cours au lycée ou au collège. Les mères de ces filles ont également un niveau d'études non négligeable : la plupart ont au moins un diplôme secondaire. Elles sont dans la fonction publique en qualité de cadres moyennes ou supérieures.

**-Religion :** dans leur forte majorité les filles-mères sont adeptes des religions monothéistes (islam, christianisme) comme l'indique le graphique 7.

**Graphique 7 : Répartition des filles-mères en fonction de la religion pratiquée**



**-Utilisation de méthodes contraceptives :** sur les 50 filles enquêtées, 10 qui représentent 20% du groupe ont une très faible connaissance des méthodes contraceptives. Si les autres (80%) ont des informations plus ou moins consistantes sur ces méthodes (préservatifs, stérilet, pilule, abstinence, coït

interrompu, etc.) force est de constater que la prévenance contraceptive chez ces adolescentes est faible. A la base de cette réalité, elles évoquent des raisons religieuses, des démangeaisons après les rapports, les céphalées après l'administration des pilules, le coût élevé de ces méthodes, le refus des partenaires, etc.

**-Sexualité :** elles ont débuté très précocement les activités sexuelles. Les 2/3 environ (64%) ont connu leurs premiers rapports sexuels entre 10 et 12 ans. Plus du tiers (36%) ont découvert ces rapports entre 12 et 13 ans. L'âge moyen des premiers rapports est de 11,80 ans. Evidemment, ces adolescentes ont connu une maternité précoce : une moitié du groupe a enfanté pour la première fois à l'âge de 12 ans, l'autre moitié a été primipare entre 13 et 15 ans. L'âge moyen de la première maternité est de 12,52 ans. Chez toutes ces filles, cette maternité est issue de relations sexuelles « clandestines », illégitimes au regard de la coutume comme au regard de la loi. La quasi-totalité de leurs partenaires ne sont pas connus ou reconnus par leurs parents. Les liens qui les unissent à eux ne sont pas sanctionnés par le versement d'aucune dot, ni scellés par le « côcôcô » (une cérémonie qui précède la célébration du mariage proprement dit et qui marque le début d'officialisation du lien matrimonial). Les enfants nés de ces relations légères sont des enfants non désirés, issus des grossesses accidentelles, imprévues, non programmées, non planifiées. Dans leur forte majorité (86%), les jeunes mères ont un seul enfant. Par contre, une proportion non négligeable d'entre elles (14%) a déjà mis au monde 2 enfants. En tout, le nombre d'enfants mis au monde par ces 50 jeunes mères est de 57. Tous ces rejetons sont en vie. 23 d'entre eux, soit 40,35% ont entre 0 et 6 mois ; 18 de ces enfants représentant, 31,57%, ont entre 7 et 12 mois et 16 d'entre eux (28,07%) sont âgés de 13 à 18 mois. Ils sont de sexe masculin à 36,84% et de sexe féminin à 63,15%. Ces enfants, dans leur forte majorité (84,21%), sont reconnus par leurs géniteurs. Mais, 9 d'entre eux, soit 15,79%, ont une paternité rejetée par les présumés auteurs de leur grossesse ; ils sont considérés comme des enfants « sans père ». Concernant les géniteurs et les présumés géniteurs de l'ensemble de ces 57 enfants, les informations recueillies révèlent que dans leur majorité, ils ont une condition socio-économique précaire. Plus de 75% d'entre eux sont des élèves, des étudiants, des retraités, des gérants de cabine de téléphone cellulaire et de cybercafé, de petits commerçants, des sans emploi. Le reste du groupe est constitué d'instituteurs, de professeurs de lycée et de collège, de policiers et d'autres cadres moyens de l'administration. En fonction de l'âge, ces pères et présumés pères se subdivisent en deux classes : les mineurs (17 ou 18 ans) représentant 25,92% et les majeurs (plus de 18 ans) constituant 74,08% du groupe. A la différence des pères qui ont un âge en dessous de 18 ans, les 3/4 des pères majeurs sont en union et ont déjà à leur charge un nombre considérable d'enfants.



**Facteurs de la précocité sexuelle** : ils sont nombreux. Entre autres, il y a l'influence des pairs ; l'emprise des media (télévision, journaux et internet) qui diffusent et rendent accessibles aux mineurs les photographies, les textes, les émissions et films érotiques ; la facilité de rentrer en contact avec les garçons par le biais du téléphone portable et de l'internet ; la curiosité de découvrir ce que font les adultes ; le manque d'éducation sexuelle adéquate de la part des parents et des enseignants à cause du caractère tabou du sexe ; l'ignorance des conséquences de l'acte sexuel ; le désir de paraître, d'être à la mode ; le fait d'avoir été victime d'abus sexuel ; l'indigence économique des parents, etc.

**Réaction des partenaires et des parents face à la grossesse de la jeune fille** : dans la quasi-totalité des cas, la grossesse chez la gamine est source de conflits, une pomme de discorde. Elle met à mal les relations qui ont demeuré jusque là plus ou moins solides et stables. Une première relation secouée par l'état gravidique de la jeune fille est le lien avec son partenaire, le présumé auteur de sa grossesse. Généralement, celui-ci, tout comme la jeune fille, est surpris par la survenue inopinée de cet état. Mis devant le fait accompli, n'ayant point préparé une telle éventualité, ayant une situation socio-économique précaire ou étant marié et déjà père de plusieurs enfants, le partenaire jette la faute sur l'adolescente. A ce propos, voici quelques extraits des discours des filles-mères : « ...Il m'a accusé d'être responsable du ventre que j'ai pris, parce que selon lui, je ne suivais pas convenablement mon cycle menstruel » ; « Il m'a traitée de pute, d'irresponsable, d'imprudente lorsque je lui ai appris que j'étais enceinte... » ; « Il m'a dit : " tu t'es arrangée à prendre ventre, c'est ça ? Pourquoi n'as-tu pas pris des précautions pour éviter cela comme le font les autres filles ? Tu es trop bête !" Alors qu'il sort avec moi sans capote » ; « Le père de mon enfant a dit que c'est mon comportement qui a entraîné la grossesse parce que j'étais tout temps chez lui ». Cette culpabilisation de l'adolescente conduit dans la majorité des cas à son rejet par son amant. Ce rejet se traduit, par le refus de l'amant de la recevoir là où il vit, de décrocher le téléphone lorsqu'elle appelle, de lui donner de l'argent de poche et d'autres avantages qu'elle recevait de lui, etc. 56% de filles ont subi ce sort. Le reste (44%) a bénéficié de l'attention, de la « solidarité » de la part de son partenaire qui partageait ses souffrances et l'épaulait psychologiquement et matériellement.

Du côté des parents, le comportement des filles a été réprouvé dans la totalité des cas. En effet, dans la plupart des groupes ethniques dont les jeunes mères sont issues, la maternité précoce est déshonorante et compromettante. C'est un honneur pour les parents lorsque leur fille arrive au mariage en état de virginité. Ceci prouve qu'elle a été bien éduquée et que les parents se sont acquittés de leurs tâches éducatives comme il se doit. La virginité est

également vue comme une garantie de fidélité et un passeport pour contracter un mariage sérieux, valorisant. La défloration prémaritale est donc appréhendée comme signe flagrant de frivolité, de mauvaise éducation reçue par l'enfant et un vice dirimant en matière de conjugalité (Felakembo, 2006). Pour ces raisons, dans tous les cas enquêtés, les parents ont désapprouvé la conduite de leur fille. Cette désapprobation a donné lieu à trois formes de punitions : une punition légère, une punition moyenne et une punition dure et sévère. La première est faite uniquement de réprimandes verbales, « de mise dans le fauteuil blanc ». Dans la deuxième, ces réprimandes conduisent aux sévices corporels. Dans la forme la plus sévère, en plus des injures et violences physiques exercées sur la fille fautive, interviennent les privations de nourritures, d'argent, de refus de faire face aux frais de scolarité et l'éviction manu militari de la maison familiale. 20%, 48% et 32% des filles-mères ont subi, respectivement, la première, la deuxième et la troisième forme de punitions précitées.

### **3.2. Conditions de vie**

Avant de tomber enceinte, 80% des filles-mères étaient des élèves, des apprenties ou s'adonnaient à des activités ménagères non rémunérées. Elles étaient toutes assistées ou prises en charge par leurs parents, tuteurs et/ou partenaires. Leurs besoins de nourriture, de vêtements, de logement, de santé, de beauté, leurs frais de scolarité, d'apprentissage, de transport, de loisirs étaient à la charge de ces derniers. Les 20% qui étaient employées étaient également appuyées financièrement et matériellement par leurs parents et partenaires. Sur les 50 filles-mères de notre échantillon, 29, soit 58%, se disaient satisfaites de leurs conditions de vie. En effet, elles mangeaient à leur faim, avaient une garde-robe relativement fournie, allaient à l'école et au lieu d'apprentissage comme il se doit, étaient en de bons termes avec leurs parents et tuteurs, étaient convenablement soignées lorsqu'elles tombaient malades, n'avaient pas de problèmes sociaux, sanitaires et psychologiques particuliers. Par contre, chez 42% du groupe, la vie était relativement précaire et difficile. Vivant dans des ménages défavorisés, nombreux de leurs besoins restaient insatisfaits (besoins éducatifs, sanitaires, alimentaires, vestimentaires, esthétiques, etc.). Chez beaucoup d'entre elles, ces difficultés se sont greffées à certains facteurs vus plus haut pour déterminer leurs comportements sexuels avant maturité.

Après leur grossesse, en fonction du rejet subi de la part des parents et/ou de la défection du partenaire, les filles-mères se répartissent en quatre catégories :

Catégorie A : elle est constituée de filles qui, malgré leur inconduite, n'ont pas perdu ni le soutien de leurs parents, ni celui de leur partenaire. Ces filles ont une proportion de 28% du groupe ;

Catégorie B : elle renferme les adolescentes qui, du fait de leur « bévue », sont rejetées par leur famille mais bénéficiant toujours du soutien affectif et/ou matériel de leur partenaire. Elles constituent 12% du groupe ;

Catégorie C : elle comprend les adolescentes qui sont abandonnées par leur partenaire mais ayant toujours le soutien parental. Elles représentent 40% de l'effectif des jeunes mères ;

Catégorie D : elle renferme celles qui sont doublement abandonnées : à la fois par leurs parents et par leur partenaire. Il s'agit de 28% des filles-mères.

Les individus de la catégorie A ont généralement écopé de légères punitions de la part de leur famille. Dans l'ensemble, les filles de cette catégorie sont satisfaites de leur actuelle situation socio-économique. Celle-ci s'est d'ailleurs peu dégradée après leur grossesse et la naissance de leurs enfants. Par contre, les individus des catégories B, C et D, représentant 72% du groupe, soit 36 filles-mères sur 50, ont perdu le soutien de leurs parents et/ou celui de leur partenaire. Ceci a porté un coup à leur situation socio-économique. Environ 2/3 de ces filles (63,88%) ont soutenu que leur maternité précoce a rendu cette situation très précaire. A ce propos, voici quelques extraits de leurs discours : E.M., 13 ans, mère d'un garçon de 11 mois : « A cause du bébé que j'ai fait à l'âge de 13 ans, mes parents m'ont chassée. Je ne vais plus à l'école, je suis une enfant délaissée. Etant devenue un poulet sans propriétaire, je me suis retrouvée chez une tante. Elle est célibataire, elle se débrouille au marché de Sicogi où elle vend des tomates. Elle n'a pas de grands moyens. Nous vivons difficilement. Chez nous, tout manque : la nourriture, l'eau, le courant et l'argent. Alors que j'ai un bébé en main. Ce n'est pas facile ! ».

P.J., 15 ans, mère d'une fillette de 12 mois : « Je vivais bien chez mes parents ; j'étais heureuse. J'allais à l'école comme les filles de mon âge. Je mangeais à ma faim. Quand je suis tombée enceinte, papa m'a mise à la porte. Mon petit ami m'a tourné le dos. J'ai été recueillie par la famille de notre servante. Cette famille est gentille. Mais elle manque d'argent et beaucoup de choses. Elle fait ce qu'elle peut pour nous rendre heureuses, ma petite et moi. Mais l'ensemble de nos besoins restent très insatisfaits. »

Un autre indicateur de la dégradation des conditions de vie des filles-mères à la suite de leur état de grossesse est le décrochage scolaire de la majorité d'entre elles. Comme nous l'avons vu plus haut, 52% des filles-mères ont abandonné l'école à partir de cet événement.

### **3.3. Facteurs de la mise au travail des filles-mères**

#### **3.3.1. Facteurs de l'offre de la main d'œuvre des filles-mères**

##### **3.3.1.1. Perte du soutien des parents et partenaires**

Avant qu'elle ne tombe enceinte, la fille-mère est dans une dépendance totale de ses parents ou de son/ses partenaires. Ce sont ces derniers qui

subviennent à son besoin de nourriture, de vêtements, de logement et qui se chargent des frais de sa scolarisation et de sa formation professionnelle. Mais, dès qu'elle prend grossesse ou dès qu'elle accouche, pour diverses raisons, ces individus lui retirent totalement ou en partie ces avantages. Ayant peu de soutien, pour entretenir sa grossesse, son ou ses enfants et pour subvenir à ses propres besoins, elle décide de travailler.

### **3.3.1.2. Activité avant de tomber enceinte**

Le fait d'être déjà actives avant de tomber enceinte influence la mise au travail des filles-mères. En effet, comme nous l'avons vu plus haut, avant de tomber enceinte, les adolescentes étaient, dans une proportion estimable, déjà actives. Elles exerçaient déjà divers métiers. Dans ce contexte, une fois délaissées par les parents et les partenaires, n'ayant plus de soutien, elles recourent à cette force du travail pour subvenir à leurs besoins et à ceux de leur progéniture.

### **3.3.1.3. Volonté de se re(valoriser)**

Le fait de tomber enceinte et de faire un enfant en étant si jeune et en n'étant pas dans un foyer sous la responsabilité d'un mari, dévalorise la jeune fille. Elle est mal vue dans son entourage ; elle perd le prestige qu'elle avait à cause de cette précocité. Cette situation s'aggrave surtout lorsqu'aucun de ses amants ne revendique la paternité de son enfant. En effet, faire un enfant « bâtard » rabaisse la jeune mère au rang de prostituée, de dévergondée, de traînée. Pour reconquérir son prestige, sa valeur perdus ou décrus, pour se relancer dans la vie, elle décide de se faire de l'argent par le biais d'un boulot. Dans cette veine voici un extrait de discours d'une fille-mère, âgée de 15 ans et ayant un garçon de 10 mois : « Mon enfant n'a pas de père. Celui qui m'a enceinte a été irresponsable ; il n'a pas reconnu la grossesse. Ceci a jeté la honte sur moi. J'ai été déshonorée, mon bébé aussi. Mon père et certains membres de ma famille m'ont chassée parce qu'ils ne pouvaient pas supporter cette honte. Je me suis retrouvée chez notre aînée. Aujourd'hui, si tu as de l'argent on te respecte. J'ai donc décidé d'avoir de l'argent. Et je me suis mise dans la vente de médicaments. Ça marche très bien, je gagne ma vie. Mes proches qui m'avaient rejetée commencent à me considérer. Papa m'a demandé pardon. De temps en temps, il vient ici prendre un peu d'argent avec moi. Je ne suis plus vue comme une Djantra (prostituée) mais comme une fille intelligente ».

### **3.3.2. Facteurs de demande de la main d'œuvre des filles-mères**

#### **3.3.2.1. Conscience professionnelle et productivité de ces adolescentes du fait de leur qualité de parent**

Aux yeux des employeurs, une fille qui est mère a déjà accédé à une certaine maturité physique, psychologique et sociale. Elle n'est plus une enfant ; elle est déjà une adulte. Elle a des charges à assumer ; elle doit entretenir sa progéniture et satisfaire à ses propres besoins. Ceci fait qu'elle n'a plus la tête en air. Elle a donc tendance à prendre au sérieux le travail qu'elle fait, à s'y investir pleinement et à être plus productive. Ces considérations poussent les employeurs à s'attacher les services de la jeune mère. Dans ce cadre, voici un extrait du discours d'un propriétaire de boîte de nuit qui emploie une adolescente de 15 ans, mère d'une fille de 12 mois : « J'ai accepté de la prendre comme serveuse parce qu'elle a déjà un enfant. Généralement, les filles qui ont une telle responsabilité ne jouent pas avec le travail. Elles se donnent à fond pour conserver leur poste ; pour nourrir leur enfant ».

#### **3.3.2.2. Le fait que les filles soient vulnérables, taillables et corvéables à souhait**

Lorsque les filles tombent enceinte, dans plusieurs cas, elles sont rejetées par leurs parents et leurs partenaires. Ceci renforce leur vulnérabilité. Sans défense, elles sont plus dociles. Certaines sont même analphabètes. Tous ces handicaps font qu'elles acceptent les conditions de travail les moins avantageuses, dénoncent peu les abus qu'elles subissent, ignorant leurs droits ou étant incapables de les revendiquer. Taillables et corvéables à souhait, les employeurs portent souvent leur choix sur elles.

#### **3.3.2.3. Expériences et compétences professionnelles**

Avant de tomber enceinte, les jeunes filles étaient déjà actives. Elles ont un passé d'enfants travailleurs. Ceci leur a fait acquérir de l'expérience et de la compétence, chose qui a le potentiel de les rendre plus productives et rentables. Ces atouts convainquent les employeurs de les employer.

### **3.4. Conditions de travail**

**Âge d'admission au travail** : ayant entre 13 et 15 ans, la totalité de ces filles n'a pas l'âge légal d'admission au travail fixé à 16 ans par le code du travail ivoirien. En principe, elles devraient être à l'école selon la loi n°2015-635 du 17 septembre 2015 qui a rendu obligatoire la scolarisation de tous les enfants des deux sexes âgés de 6 à 16 ans. Ces fillettes âgées de 13 à 15 ans, ne devraient accomplir que des travaux légers et socialisants dévolus aux enfants ayant entre 13 et 16 ans. Un travail des enfants est dit léger s'il :  
a) n'est pas de nature à porter préjudice à l'enfant, à sa santé ou son

développement et b) n'est pas préjudiciable à son assiduité scolaire, à sa participation à des programmes d'orientation ou de formation professionnelle approuvée par l'autorité compétente ou à son aptitude à bénéficier de l'instruction reçue (article 2 de l'arrêté n°2017-016 MEPS/CAB du 02 juin 2017). Une occupation socialisante est toute tâche non rémunérée effectuée par un adolescent de 13 à 16 ans, sous la supervision du représentant légal, à des fins d'éducation et d'insertion sociale et qui n'est pas susceptible de porter préjudice : a) à la santé ou au développement physique, mental, moral ou social de l'enfant ; b) à son assiduité scolaire ou à sa formation professionnelle et à son repos hebdomadaire (article 4 de l'arrêté n°2017-016 MEPS/CAB du 02 juin 2017).

Ayant moins de 18 ans, aucune d'entre elles n'est habilitée à effectuer les travaux ou emplois dangereux, c'est-à-dire, des activités qui :

- exposent les enfants à des sévices physiques, psychologiques ou sexuels ;
- s'effectuent avec des machines, du matériel ou des outils dangereux ou impliquent la manipulation ou le port de lourdes charges ;
- ont lieu dans un milieu malsain pouvant, par exemple, exposer des enfants à des substances, des agents ou des procédés dangereux, ou à des conditions de température, de bruit ou de vibrations préjudiciables à leur santé ;
- s'effectuent dans des conditions particulièrement difficiles, par exemple pendant de longues heures, ou la nuit, etc. (Recommandation n°190 de l'OIT).

Aucune de ces adolescentes ne doit également exécuter les pires formes de travail des enfants (PFTE), c'est-à-dire des activités portant, avec un degré plus élevé, des préjudices à l'enfant, à sa santé, à sa sécurité, à son développement, à son bien-être social, physique, psychique et moral. Par exemple, nous avons : toutes les formes d'esclavage ou pratiques analogues, telles la vente et la traite des enfants, la servitude pour dette et le servage ainsi que le travail forcé ou obligatoire, l'utilisation, le recrutement ou l'offre d'un enfant à des fins de prostitution, de production de matériel pornographique ou de spectacles pornographiques ; l'utilisation, le recrutement ou l'offre d'un enfant aux fins d'activités illicites, etc. (article 3 de la convention n°182 de l'OIT).

**Travaux accomplis :** avant de tomber enceinte, en matière d'occupations, les filles-mères se scindaient en deux classes :

Classe 1 : elle comprenait les économiquement occupées. 20% du groupe en faisaient partie ;

Classe 2 : elle est constituée des non économiquement occupées. Elle a une proportion de 80% du groupe. Cette classe comprenait les élèves, les apprenties et les filles occupées à des travaux ménagers non rémunérés.

La maternité précoce a entraîné de profondes mutations au niveau des occupations :

-les filles qui étaient élèves ont quitté l'école et sont devenues travailleuses. C'est l'exemple de K.P., 13 ans, mère d'un bébé de 4 mois. Précédemment élève en classe de 6<sup>e</sup> au Lycée Pierre Gadié de Yopougon, elle devient vendeuse de fruits. Dans ce même cadre se trouvent les filles qui n'accomplissaient que des tâches domestiques non rémunérées. La naissance de leurs enfants les a rendues économiquement actives ;

-certaines adolescentes qui étaient apprenties, sans achever leur apprentissage, ont été obligées de s'installer à leur propre compte. C'est le cas de F.G., 14 ans, mère d'un bébé de 5 mois. Elle était apprentie couturière. Après la naissance de son enfant, elle pratique désormais ce métier au domicile de ses parents. D'autres apprenties ont quitté le secteur d'activité où elles suivaient leur formation pour embrasser d'autres boulots qu'elles jugent plus rentables et dont l'exercice ne nécessite pas un long apprentissage. Dans ce cas se trouve H.O., 15 ans, mère d'une fillette de 10 mois. Elle était une apprentie-pâtissière. Après la naissance de son enfant, elle s'est reconvertie en vendeuse de cigarettes ;

-les filles qui étaient économiquement actives avant leur maternité présentent deux cas de figure en matière de travail après la naissance de leur enfant. Les unes ont connu une mobilité professionnelle. De leurs activités initiales, elles se sont retrouvées dans des boulots qu'elles jugent plus rémunérés. Les autres ont continué à exercer leur activité première. Dans le premier cas de figure se trouve Y.N., 15 ans, mère d'une petite fille de 12 mois. Faisant précédemment la vaisselle dans un restaurant, elle est devenue une serveuse dans un bar. Dans le second cas de figure, on a l'exemple de Z.M., 14 ans, mère d'un garçon de 7 mois. Elle était domestique. Après la venue au monde de son bébé, elle a continué à être fille de ménage.

Dans l'ensemble, les filles-mères travailleuses se répartissent en deux subdivisions : celles qui sont employées, c'est-à-dire, qui vendent leur force de travail à une tierce personne et celles qui exercent des activités indépendantes. La première subdivision renferme 70% du groupe et est composée de domestiques, de serveuses dans les bars, de gérantes de cabine téléphonique, de démarchées pour les magasins de pagnes. Dans la seconde subdivision qui comprend 30% du groupe, nous avons les vendeuses de médicaments de rue, de cigarettes, de fruits, de légumes, des couturières, des tresseuses. En plus, l'ensemble de ces filles assument deux autres catégories de responsabilités : elles accomplissent les tâches ménagères non rémunérées et elles s'occupent de leurs propres enfants. Ceci fait qu'elles portent un triple fardeau, à la différence des filles travailleuses non mères qui sont généralement confrontées au « double burden ».

**Contrat de travail** : le contrat de travail qui lie les filles travailleuses à leur employeurs n'est que verbal. Il ne comprend pas toutes les clauses nécessaires pour assurer leur pleine protection. En sus, les points d'accords ne

sont pas tous respectés par les patrons. C'est par exemple le cas des salaires qui ne sont pas versés à temps et en totalité comme convenu. C'est également le cas des heures supplémentaires non incluses dans le contrat mais qui viennent gonfler le temps de travail alors qu'elles ne sont pas payées. Enfin, les filles exécutent des tâches n'ont prévues. Par exemple, les démarchieuses dans les magasins de pagnes sont obligées d'accomplir des activités ménagères chez leurs patronnes alors que ceci ne fait pas partie de leur boulot.

**Temps de travail :** dans l'ensemble, le temps consacré quotidiennement aux tâches est excessivement long. Par exemple, certaines domestiques commencent à travailler à 4 heures du matin pour se coucher à 22 heures ou à minuit, soit entre 16 heures et 19 heures de labeur par jour. Pour les gérantes de cabine téléphonique, le travail débute entre 7 heures et 8 heures pour s'achever à 21 heures ou 22 heures, soit entre 14 heures et 15 heures d'activité par jour. Les vendeuses de fruits passent entre 11 heures et 16 heures du temps derrière leurs étals. Les week-ends et à l'approche des fêtes, à cause de la forte demande, les tresseuses veillent en tressant. Pour celles qui sont employées, le temps de travail est fixé par les patrons sans généralement tenir compte de la qualité de mère des filles. Ce temps est peu flexible, n'est pas réparti en vue d'équilibrer vie professionnelle, vie privée et responsabilités maternelles.

**Travail de nuit :** la plupart des domestiques se mettent à la tâche avant le lever du jour entre 4 heures et 6 heures du matin et poursuivent leurs activités tard la nuit entre 22 et 24 heures. Lors des week-ends (vendredi, samedi et dimanche) et les jours fériés, la plupart des serveuses dans les bars sont de service toute la nuit (entre 18 heures et 6 heures).

**Pénibilité au travail :** concernant les contraintes physiques marquées, nous avons d'abord la manutention manuelle des charges. Les servantes sont plus exposées à cette pénibilité. Lors des recharges des bouteilles de gaz butane dont la masse se situe entre 6 et 12 kg, elles sont obligées de les faire descendre des immeubles (du 4<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> étage) pour aller les recharger dans des dépôts situés entre 10 et 200 m de la maison. Sont également dans ce cas, les vendeuses de fruits qui portent de lourds sacs remplis de fruits du marché à leur domicile. De surcroît, ces jeunes travailleuses sont confrontées à des postures pénibles. Par exemple, les serveuses restent sur pied, en train de faire des va-et-vient toute la nuit. Les gérantes de cabine téléphonique, les couturières, les tresseuses, les vendeuses de fruits et de légumes restent assises durant des heures. Les domestiques restent constamment courbées en train de faire la lessive ou la vaisselle. Les filles-mères travaillent, en plus, dans des environnements physiques agressifs. Les serveuses, par exemple, travaillent dans des boîtes de nuit où la puissance acoustique reste élevée au dessus de la moyenne. Pour désinfecter, nettoyer les objets et les espaces, les domestiques utilisent et manipulent des produits chimiques. Elles utilisent également du fer



à repasser pour blanchir les vêtements. Lors de la cuisson des aliments, elles sont à proximité des fourneaux, des poêles, des marmites brûlants, remplis d'huile ou d'eau chauffée à plusieurs degrés Celsius. Pour tailler les fruits, les vendeuses de fruits manipulent de petits couteaux tranchants. Enfin, ces adolescentes sont confrontées à l'isolement. Dans la plupart des cas, elles sont obligées de s'éloigner de leur progéniture, de vivre couper du monde, des proches pendant des heures ou des jours. Elles ont peu de loisirs, peu de récréation, peu de repos malgré le fait qu'elles sont encore des gamines.

**Assurance sociale** : aucune des filles-mères travailleuses n'en bénéficie. Lorsqu'elles ont des accidents de travail (brûlures, blessures, fractures, maladies, etc.), elles se soignent à leurs propres frais ou bénéficient d'une sommaire assistance financière ou matérielle de la part du patron.

**Sécurité de l'emploi** : l'emploi des filles-mères n'est ni garanti, ni sécurisé. Il est précaire. A tout moment, il peut être perdu, sans préavis, sans que la fille ne reçoive des dommages et intérêts.

**Participation sur le lieu de travail** (faire entendre sa voix) : dans la majorité des cas, ce droit est dénié aux filles. Elles subissent les exactions sans broncher. Toute revendication ou protestation est punie par des injures, des coups ou par un renvoi pur et simple.

**Violences subies au travail** : les filles-mères travailleuses sont confrontées à trois types de violences. Le premier est constitué d'injures, de traitements humiliants et dégradants. Leurs patrons les traitent, dans la majorité des cas, de bonnes à rien, de sauvages, de paresseuses, etc. Certains employeurs vont loin en les taxant d'être des sorcières et d'être à la base de leurs malheurs. Le deuxième type de violence qu'elles subissent comprend les sévices corporels. On rencontre, généralement, ces sévices chez les domestiques, les serveuses. Elles sont fréquemment battues par leur patron lorsqu'elles commettent des fautes, par exemple, casser des verres, des assiettes, faire perdre de l'argent ou autres objets précieux, oublier de faire des commissions, faire brûler des vêtements lors du blanchissement, ne pas être au boulot à l'heure, etc. Enfin, nous avons la violence sexuelle. Dans les bars, les serveuses sont constamment confrontées à ce type de violence. Certains clients ou parfois leurs patrons les violent ou tentent de les violer sous l'effet de l'alcool ou de la drogue. Les domestiques subissent également de la part de leurs patrons, des jeunes hommes de la maison ou des maisons voisines ce genre de brutalités. Dans ce cadre, voici des extraits de discours des jeunes mères :

-D.F., 15 ans, domestique, mère de deux petites filles âgées, respectivement, de 9 mois et 18 mois : « J'ai quitté mon premier patron, parce qu'il a pris l'habitude de coucher avec moi tout temps. Il n'était pas marié. C'est avec moi qu'il se soulageait ».

-Z.U., 14 ans, serveuse dans une boîte de nuit, mère d'un garçon de 11 mois : « Certaines serveuses comme moi sont obligées par leur patron de coucher avec des clients pour qu'ils restent fidèles à la boîte et n'aillent pas voir ailleurs. De fois, en pleine nuit, entre 2 heures et 3 heures du matin, des clients ivres, excités, se jettent sur toi dans les toilettes et cherchent à coucher avec toi ».

**Salaire et revenus** : généralement, les filles-mères travaillant à leur propre compte se disent satisfaites de ce qu'elles gagnent. Leurs revenus mensuels vont de 60 000 à 150 000 FCFA. Par contre, les adolescentes qui sont employées trouvent que leurs salaires sont maigres : en moyenne, elles reçoivent entre 15 000 et 30 000 FCFA. Ces salaires sont souvent payés avec des retards et en monnaies de singe. Ceci fait que ces filles-mères assument insuffisamment leurs responsabilités parentales et n'arrivent pas à subvenir à leurs propres besoins.

#### **IV. Discussion et conclusion**

Les résultats de cette recherche confirment notre hypothèse qui stipule qu'abandonnées par les parents et partenaires, étant sans soutien, les filles-mères, pour entretenir leur grossesse, leur progéniture et pour subvenir à leurs propres besoins, décident de travailler, alors qu'elles n'ont pas l'âge minimum d'admission au travail ou à l'emploi. Ces résultats confirment également les analyses de plusieurs chercheurs qui ont identifié l'abandon parental comme l'un des déterminismes de l'entrée des enfants sur le marché du travail. Parmi ces chercheurs, il y a Hodan (2005) qui a trouvé que les enfants pratiquant la prostitution pour subvenir à leurs besoins sont ceux qui ne bénéficient pas suffisamment de protection familiale ou sociale. En outre, Kom (2009) a montré que chez les peuls du Nord-Cameroun, conformément à la tradition et dans l'optique de les aguerrir et les préparer à leurs futurs rôles de père et d'époux, les garçons sont graduellement expulsés de l'espace familial, généralement avant l'âge de 14 ans. De ce fait, se trouvant très jeune, sans protection parentale directe, ces garçons sont placés auprès des commerçants qui les exploitent et les transforment en main-d'œuvre gratuite. De son côté, à travers plusieurs illustrations portant sur bon nombre de pays (Togo, Lesotho, Madagascar, Mali, etc.), Derrien (2008) a montré que les dysfonctionnements des rapports enfant-famille contribuent à produire le travail des enfants. Parmi ces dysfonctionnements, il y a la dislocation familiale par décès ou divorce, la fuite de responsabilité des parents, l'abandon des enfants, etc.

#### **References:**

1. Aids-Free World (2015). Child marriage is child labour. *The disappearance of girls from child labour statistics*. New York : Aids-Free World.Amnesty International (2012)

2. BIT (2009). Rapport IV(1), Travail décent pour les travailleurs domestiques. Consulté le 30 octobre 2016. [www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_norm/@relconf/documents/meetingdocument/wcms\\_104701.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@relconf/documents/meetingdocument/wcms_104701.pdf).
3. BIT (2013). Eliminer le travail des enfants dans le travail domestique et protéger les jeunes travailleurs contre les conditions de travail abusives. Consulté le 30 octobre 2016. <http://www.ilo.org/ipecinfo/product/download.do?type=document&id=21537>.
4. Conseil économique et social de l'ONU (2017). Point annuel sur les objectifs du développement durable, Rapport du Secrétaire général. Consulté le 15 septembre 2018. <http://undocs.org/fr/E/2017/66>
5. Derrien, J.M. (2008). Le travail des enfants en question(s) ? Paris : L'Harmattan.
6. DFAE (2014). Plan d'action du DFAE pour la protection des enfants associés aux forces ou groupes armés dans les conflits armés. Consulté le 05 novembre 2018. [https://www.eda.admin.ch/dam/eda/fr/documents/publications/Friedenspolitik/Strategie\\_Kindersoldaten\\_141007\\_FR.pdf](https://www.eda.admin.ch/dam/eda/fr/documents/publications/Friedenspolitik/Strategie_Kindersoldaten_141007_FR.pdf)
7. Direction générale des politiques internes du Parlement européen (2014). L'exploitation sexuelle et la prostitution et leurs conséquences sur l'égalité entre les femmes et les hommes. Consulté le 2 août 2018. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2014/493040/IPOL-FEMM\\_ET\(2014\)493040\\_FR.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2014/493040/IPOL-FEMM_ET(2014)493040_FR.pdf)
8. Filakembo, C.M. (2006). Filles mères et conflits familiaux dans les ménages de Kinshasa. Une enquête menée dans la commune de Bumbu. Mémoire de licence en sociologie, mémoire non publié.
9. Hodan F. (2006). Enfants dans le commerce du sexe. Etat des lieux. Etat d'urgence. Paris: L'Harmattan.
10. IPEC (2009). Give girls a chance. Tackling child labour, a key to the future. Geneva : ILO.
11. IPEC (2013). Travail domestiques des enfants : estimations mondiales 2012. Genève : BIT
12. Jovelin, E. (2011). De la prostitution aux clients de la prostitution. Pensée Plurielle, 2011/2 (n° 27), 75-92. Consulté le 16 septembre 2018. <https://www.cairn.info/revue-pensee-plurielle-2011-2-page-75.htm>
13. Kom, D. (2009). Scolarisation, mariage et travail des enfants au Nord-Cameroun. Alternatives Sud, Vol. 16-2009. Consulté le 4 novembre 2018. <https://www.cetri.be/IMG/pdf/ASud-travaildesenfants-5.pdf>
14. Koudou Opadou (2007). Histoire de la criminologie. Abidjan : PUA.

15. Kra Kouadio, E. (2014). Elections et développement local, de l'espoir à l'illusion : l'exemple des quartiers précaires de Yopougon. Consulté le 8 octobre 2018. [http://www.revues-ufhb-ci.org/fichiers/FICHIR\\_ARTICLE\\_945.pdf](http://www.revues-ufhb-ci.org/fichiers/FICHIR_ARTICLE_945.pdf)
16. Ministère d'Etat, Ministère du Plan et du Développement (2014). Enquête Nationale sur la Situation de l'Emploi et du Travail des Enfants (ENSETTE 2013). Rapport descriptif sur la situation d'emploi.
17. OIT (2017). Estimations mondiales du travail des enfants : résultats et tendances 2012-2016. Résumé analytique. Consulté le 7 août 2018. [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_norm/@ipecc/documents/publication/wcms\\_596480.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@ipecc/documents/publication/wcms_596480.pdf)
18. ONU (2016). Le sort des enfants en temps de conflit armé. Rapport du Secrétaire général. Consulté le 8 août 2018. [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/70/836&Lang=F](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/836&Lang=F)



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Yetongnon Judith Eric Georges,

Chargé de recherche, Laboratoire Pierre Pagny  
Climat, Eau, Ecosystème et Développement  
Université d'Abomey-Calavi République du Bénin

---

Submitted: 06 August 2020  
Accepted: 06 October 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Yetongnon Judith Eric Georges*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p250](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p250)

 Copyright 2020 Georgesn  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

---

Cite as:  
Georges E, (2020). La Gestion Durable Des  
Adductions D'eau Villageoises Dans Le  
Departement Du Couffo Du Benin : Quelle  
Gouvernance ? *European Scientific Journal, ESJ*,  
16 (33), 250.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p250>

---

## La Gestion Durable Des Adductions D'eau Villageoises Dans Le Departement Du Couffo Du Benin : Quelle Gouvernance ?

---

### Résumé

La présente recherche vise à déterminer la gouvernance qui pérennise la gestion durable des adductions d'eau villageoises (A.E.V) dans le Département du Couffo. Cette étude a été faite à partir de la recherche documentaire, des enquêtes auprès de 381 ménages et de 61 gestionnaires des AEV. Les outils d'analyse des indicateurs de performance de la gestion et de l'efficacité de la délégation de la gestion des adductions d'eau villageoises sur la période de 2010 à 2014 ont été calculés ainsi que les capacités institutionnelles actuelles de la gouvernance analysées.

Les résultats obtenus à l'issue des enquêtes de terrain indiquent que le Département du Couffo dispose des fondements institutionnel et juridique favorables à la gouvernance durable des AEV. Seulement, le problème se pose dans leur application. De même, deux modes de gestion sont développés à savoir l'affermage et la gestion déléguée. La délégation de la gestion des AEV aux opérateurs privés est efficace à plus de 90 % dans ledit département.

---

**Subject:**L'Environnementet\_Aménagement de L'Espace

**Mots-clés :** Département Du Couffo, Gouvernance, Gestion Durable, Pérenne, Adductions d'Eau Villageoises.

# **Sustainable Management Of Village Water Adductions In The Couffo Department Of Benin: What Governance?**

***Yetongnon Judith Eric Georges,***

Chargé de recherche, Laboratoire Pierre Pagney 'Climat, Eau, Ecosystème et Développement' (LACEEDE),  
Université d'Abomey-Calavi République du Bénin

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p250](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p250)

---

## **Abstract:**

This research aims to determine the governance that perpetuates the sustainable management of Village Water Supply in the Department of Couffo. This study was made from documentary research, surveys of 381 households and 61 managers of AEV. The tools for analyzing performance indicators for the management and the efficiency of the delegation of the management of Village Water Supply over the period from 2010 to 2014 were calculated as well as the current institutional governance capacities analyzed.

The results obtained from the field surveys indicate that the Couffo Department has the institutional and legal foundations favorable to the sustainable governance of AEVs. But that the problem arises in their application. Likewise, two management methods are being developed, namely leasing and delegated management. The delegation of the management of AEVs to private operators is more than 90% effective in the said department.

---

**Keywords:** Department of Couffo, governance, sustainable management, Village Water Supply.

## **1. Introduction**

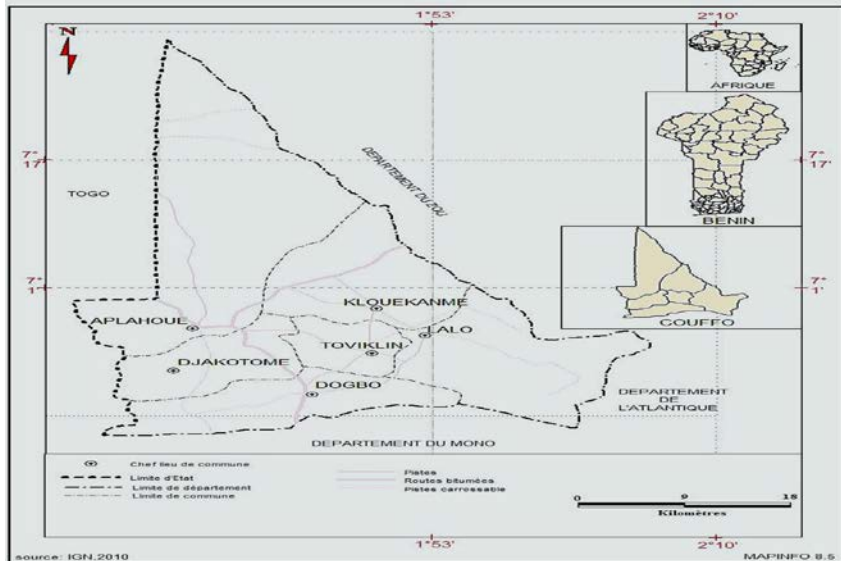
L'eau est une source indispensable aussi bien à la vie des hommes qu'à celle des plantes et celle des animaux (B. Avounsokpo, 2010, p 97). La ressource en eau, malgré son existence en termes de quantité constitue une source de problèmes aux communautés locales. Aussi, la pérennisation des ressources en eau est devenue un sujet d'intérêt national, dans le cadre du développement durable et de la gestion intégrée des ressources en eau au Bénin (Y. W. Boko, 2009, p 62). De même, A. Hamath Dia (2006, p 15), note le dysfonctionnement des comités mis en place et leur mauvaise gestion, toute chose qui compromet

l'accès durable à l'eau potable des communautés rurales. L'accès aux ressources en eau et la bonne gouvernance de ces ressources sont des facteurs déterminants du développement économique, social et local (CARE International, 2007, p 16). Les dernières lois sur l'eau adoptées dans plusieurs pays méditerranéens se fixent des objectifs de gestion durable et de gouvernance locale, qui seraient permises par une gestion plus locale, favorisant la concertation et le développement communautaire (J. Fateha, 2010, p 104).

Au Bénin, le rapport de synthèses de la vision nationale de l'eau en l'an 2025 présente le Bénin comme un pays assez arrosé dans son ensemble. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 700 mm et 1400 mm. Les ressources en eau de la surface sont évaluées à 14 milliards de mètres cubes d'eau et les capacités annuelles de la recharge de la nappe sont estimées à 1,87 milliards de mètres cubes (PNEB, 2007, p 19). Malgré cette potentialité en ressource en eau du pays, le problème de l'eau se pose depuis des décennies en termes de quantité et de qualité, surtout dans les milieux ruraux. Une bonne partie de la population du pays continue à s'alimenter en eau de surface et en eau de pluie collectée à partir des toits de maisons (Direction Générale de l'Eau, 2009, p 25). Par ailleurs, avec la décentralisation, la collectivité locale prend en charge la gouvernance des ressources en eau. C'est au niveau local que s'organisent donc la mise en œuvre et la gouvernance des ressources en eau. Pour ce faire, les autorités locales ont la responsabilité de répondre aux attentes de leur population, en associant tous les acteurs à la gestion de l'eau (M. Amadou, 2009, p 89). Tout ceci montre que les ressources en eau du pays quoique inégalement réparties sur l'ensemble du territoire sont de nature à mettre les populations actuelles à l'abri de toute pénurie d'eau potable. Il se pose alors un problème de gestion. C'est ainsi que la recherche de la durabilité des équipements hydrauliques a conduit le Bénin à adopter en 1992 une approche fondée sur l'organisation et l'implication des communautés bénéficiaires dans une logique d'appropriation des ouvrages hydrauliques et de leur gestion. Malgré cette approche, la gestion des ouvrages hydrauliques n'est pas efficiente dans la majorité des départements du Bénin dont le Département du Couffo. En effet, dans le Département du Couffo, les populations utilisent l'eau dans diverses activités telles que l'utilisation domestique, l'approvisionnement en eau potable, les besoins des petites unités de transformation et l'irrigation des cultures. Les difficultés rencontrées en matière de réalisation, de maintenance et de gestion des infrastructures hydrauliques, ainsi que l'inefficacité des structures de gestion de ces ouvrages hydrauliques, la mauvaise gouvernance de l'eau sont des problèmes que vit la population du Département du Couffo. D'où le choix du titre de cet article.

## **2. Cadre d'étude**

Le secteur d'étude est localisé dans le Département du Couffo. Il est situé entre  $1^{\circ} 54'$  et  $2^{\circ} 10'$  de longitude est et entre  $7^{\circ} 10'$  et  $7^{\circ} 17'$  de latitude nord. Situé au Sud-ouest de la République du Bénin, le département du Couffo couvre une superficie de 2404 km<sup>2</sup> et regroupe six communes (Aplahoué, Djakotomey, Dogbo, Klouékanmè, Lalo et Toviklin) qui totalisent 367 villages (INSAE, 2002, p 16). Il est limité dans sa partie Sud par le département du Mono, au Nord par celui du Zou, à l'Est par le département de l'Atlantique et à l'Ouest par la République Togolaise (Figure 1).



**Figure 1 :** Situations géographiques et subdivisions administratives du Département du Couffo

Le Département du Couffo dispose des infrastructures d'adductions d'eau villageoises. Ces infrastructures sont réparties dans les différents villages de notre zone d'étude.

### 3. Méthodologie

La méthode de l'étude a consisté en deux étapes : la collecte des données (données bibliographiques, travaux de terrain), le traitement et l'analyse des données.

Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire et d'un guide d'entretien adressés aux acteurs de la gestion des adductions d'eau villageoises. Les outils d'analyse des indicateurs de performance de la gestion et de l'efficacité de la délégation de la gestion des adductions d'eau villageoises sur la période de 2010 à 2014 ainsi que les capacités institutionnelles actuelles de la gouvernance sont faites après un bref rappel du cadre institutionnel et juridique de cette gouvernance.

#### ➤ Echantillonnage



L'échantillon est déterminé par la méthode probabiliste et la technique de choix aléatoire et proportionnellement à la taille des ménages sur la base d'un certain nombre de critères. En effet, les personnes interrogées sont âgées de quinze (15) ans à soixante (60) ans. Les groupes cibles sont constitués des ménages ciblés dans le département, des personnes âgées, des sages et notables, des personnes ressources impliquées dans la gouvernance des infrastructures hydrauliques dans le Département (Techniciens et Ingénieurs de la DG-Eau, de la Direction Départementale de l'Eau Mono-Couffo, les ONG intervenant dans le domaine, les fermiers et les fontainiers).

L'échantillon est déterminé à partir de l'effectif de chaque commune, notamment de chaque ménage. La taille de l'échantillon est déterminée suivant la méthode de D. Schwartz (1995, p 13).

$$N = Z\alpha^2 \cdot P Q / d^2$$

Avec :

N= taille de l'échantillon par arrondissement

Z $\alpha$  = écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 %

P = nombre de ménages de l'arrondissement / nombre de ménages du département

$$Q = 1 - P$$

d = marge d'erreur qui est égale à 5 %

Le tableau I présente la répartition des personnes retenues pour l'enquête par commune.

*Tableau I : Répartition des ménages retenus pour l'enquête par commune*

COMMUNES	Population 2012	Taille des ménages 2002	Nombre de ménages en 2012	Nombre de ménages retenus pour l'enquête	Nombre de gestionnaires retenus pour l'enquête
APLAHOUE	161 826	5,9	27 428	89	10
DJAKOTOMEY	133 806	6,7	19 971	65	10
DOGBO	106 438	6,3	16 895	55	14
KLOUEKANME	129 092	5,6	23 052	75	11
LALO	110 226	6,2	17 778	57	10
TOVIKLIN	84 255	6,8	12 390	40	06
COUFFO	725 644	6,25	117 515	381	61

*Source : Traitement des données de l'INSAE, Juillet 2018*

Trois cent quatre-vingt un (381) ménages ont été interrogés sur une population de 725644 que comptent les six (06) communes du Département du Couffo soit 5 % du nombre de ménages total du Département du Couffo. Le nombre de gestionnaire d'AEV retenus pour l'enquête dans le Département du Couffo est de 61 avec des nuances intercommunales.

#### 4. Résultats

#### **4.1. Cadre institutionnel de gestion des ouvrages hydrauliques (AEV)**

Le Bénin en général et le Département du Couffo en particulier se caractérisent par l'existence d'un grand nombre d'acteurs qui interviennent directement, ou indirectement sur les différents modes de gestion et d'utilisation de la ressource eau. La loi portant gestion de l'eau en République du Bénin stipule en son article 27 que le cadre institutionnel de gestion de l'eau est composé de : (i) l'Etat et les Collectivités locales ; (ii) l'Administration Centrale ; (iii) le Conseil National de l'Eau ; (iv) les Institutions de bassins et (v) les organes de gestion locale de l'eau. A travers ces composantes, plusieurs structures et institutions interviennent dans le secteur de l'eau en milieu rural. Ces organes se répartissent en administration centrale (les Ministères et Directions Générales) et déconcentrée (Collectivités locales, structures non étatiques et partenaires techniques et financiers).

#### **4.2. Cadre juridique de gestion des ouvrages hydrauliques (AEV)**

La bonne gouvernance de la ressource eau passe au préalable par le développement et la mise en application d'un cadre juridique adéquat et propice à la promotion de la transparence et de la gestion participative. Au Bénin, le cadre juridique de la protection et de la sauvegarde des ressources naturelles, y compris les ressources en eau, est important et diversifié (H. Onibon et *al*, 2006, p 86). Le Département du Couffo n'échappe pas à cette réalité où la gestion des AEV est régie par des actes juridiques et des textes réglementaires. En effet, les instruments juridiques ont été régulièrement renforcés par des dispositions adaptées aux engagements internationaux pris par le pays et à l'évolution du cadre socio-économique et culturel. Ainsi, plusieurs lois et décrets ont été adoptés ou sont en cours d'élaboration ou d'adoption. Au plan national, les plus importants lois et décrets sont :

- la loi 87-015 du 21 septembre 1987 portant gestion de l'eau en République du Bénin ;
- la loi n°87-016 du 21 septembre 1987 portant gestion de l'eau en République du Bénin ;
- la loi n°2010-44 du 24 novembre 2010 portant gestion de l'eau en République du Bénin ;
- loi n°98-030 du 12 février 1999, portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin ;
- la loi n°97-029 du 15 janvier 1999 portant organisation des communes en République du Bénin.

#### **4.3. Analyse des capacités institutionnelles actuelles**

Pour assurer une bonne gouvernance de l'eau, il est important d'établir une chaîne de causalité entre l'amélioration du bien-être des populations et la gestion rationnelle des ressources en eau d'une part, et les acteurs et les circuits

techniques, administratifs et financiers régissant leur fonctionnement, d'autre part. C'est en cela que l'analyse des capacités des institutions en charge de gérer le secteur eau dans le Département du Couffo est nécessaire. Les institutions en charge de la gouvernance de l'eau dans le Département du Couffo ont des capacités d'action assez limitées qui se traduisent par :

- l'insuffisance de ressources humaines : les structures sont en général dotées d'un personnel réduit et dont les capacités doivent être renforcées par des recyclages, de formations complémentaires et le recrutement de nouveaux cadres qualifiés. A Dogbo par exemple, l'effectif total des agents de la Direction du Service Technique (DST) est de six (06) parmi lesquels un seul agent de la catégorie du niveau supérieure (A) et 05 agents de la catégorie (B) ;
- l'insuffisance de ressources financières et de moyens matériels et techniques : hormis les récents appuis de certains partenaires au développement et plus particulièrement, DANIDA dans le cadre de l'appui institutionnel à la DG-Eau, du programme Appui à la Gestion des Ressources en Eau, l'appui du Programme Pluriannuel Eau & Assainissement des Pays-Bas, l'État béninois en général et les autorités communales et départementales du Couffo en particulier n'arrivent toujours pas à octroyer les moyens requis, afin que les structures compétentes puissent jouer pleinement leurs rôles ;
- la faible collaboration entre les institutions : les institutions impliquées dans la gouvernance de l'eau sont nombreuses, mais il existe très peu de cadre de concertation formelle entre elles. Ainsi, leurs actions ne sont pas perceptibles, car entreprenant presque toutes les mêmes actions.
- les collectivités locales bien que disposant de structures techniques, manquent cependant des moyens matériels, financiers et humains requis pour exécuter les activités inhérentes aux compétences qui leurs sont transférées. A Dogbo par exemple, le chef du Service de l'Assainissement, de l'Eau et de l'Environnement (SAEE) a été mutée à Cotonou courant février 2018 alors qu'elle est la personne qui maîtrisait le mieux les problèmes auxquels sont confrontés les usagers de l'eau et à pouvoir les solutionner selon les enquêtes de terrain. Les populations craignent donc que le secteur de l'eau ne sombre à nouveau.

#### **5.4. Gouvernance locale des AEV**

Selon le PDS ( Plan de Développement Sociale) élaboré par la mairie en 2017 et les enquêtes complémentaires sur le terrain, l'état des lieux de la gouvernance locale a permis de se rendre compte des efforts consentis par les différents Conseils communaux pour assurer une gestion transparente et participative. En effet, il est instauré dans le cadre de la reddition des comptes et conformément à la loi sur la décentralisation, la présentation des rapports

trimestriels des activités de la mairie au Conseil communal. Pour faciliter l'accès des citoyens à l'information sur les activités de la mairie, le site web de la mairie est créé et animé depuis 2016.

L'insuffisance des audiences publiques et le dysfonctionnement du Forum des acteurs de développement constituent des goulots d'étranglement en matière de gouvernance inclusive.

Cependant, des initiatives de bonnes pratiques de gouvernance se développent actuellement dans les domaines de l'hydraulique villageois (informatisation et mécanisme de collecte des données sur les infrastructures hydrauliques ; l'AEV pour le cas d'espèce), la mobilisation et la sécurisation des ressources (guichet unique) et leur capitalisation.

L'implication des citoyens à la gestion des affaires publiques se fait remarquer par la participation des Organisations de la Société Civile (OSC) au contrôle citoyen de l'action publique locale. A ce titre, les cellules du Mécanisme Africain d'Evaluation par les Pairs (MAEP) et de participation citoyenne produisent souvent des rapports de veille citoyenne et font des recommandations à l'endroit des autorités communales. Ces mécanismes de participation citoyenne doivent être renforcés pour permettre à tous les acteurs d'avoir le sentiment d'être associé à la gestion du pouvoir local en général et du secteur de l'eau en particulier.

### 5.5. Indicateurs de performance des Adductions d'Eau Villageoises

La figure 2 ci-dessous présente la comparaison entre les AEV fonctionnels et celles en pannes.

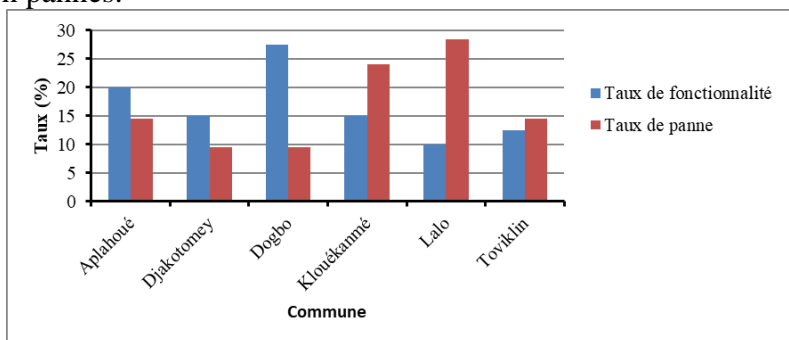


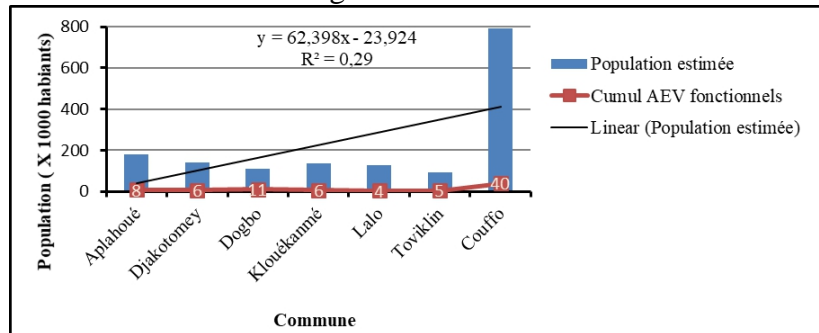
Figure 2: Taux de fonctionnalité et de pannes par commune  
(Source : Résultats d'enquête de terrain, juillet 2018)

Il ressort du tableau 2 que le taux de fonctionnalité des AEV est supérieur au taux de panne dans 03 communes sur les 06 que comptent le Département du Couffo (Aplahoué, Djakotomey, Dogbo) avec des fluctuations intercommunales. Toutefois, la commune de Lalo est la seule ayant enregistré le taux de panne le plus élevé, soit 29 % de l'ensemble des AEV en pannes. En matière de taux de fonctionnalité, le taux le plus élevé est celui de la

commune de Dogbo avec plus de 27 %. Il convient de noter que le taux élevé de panne à Klouékanmé est dû au manque d'entretien et de maintenance de l'ouvrage, à la mauvaise gestion des fonds que génère l'ouvrage. Ceci suscite des inquiétudes du fait qu'une bonne partie de la population est privée d'eau potable.

### 5.5.1. Comparaison du nombre d'AEV fonctionnels et la population estimée

La comparaison du nombre d'AEV fonctionnels et la population estimée a été faite à travers la figure 3.



**Figure 3 :** Nombre d'ouvrages (AEV) fonctionnels comparé à la population estimée en 2015 dans le Département du Couffo

(Source : Traitement à partir des données de l'INSAE, de la DG-Eau, octobre 2018)

La figure 3 montre que l'effectif de la population estimée en 2015 dans le secteur d'étude est de 789831 habitants pour 61 besoins en AEV estimés. Le nombre d'AEV réalisé et fonctionnel est de 40 avec un taux de desserte de 10,13 % soit environ 11 %. Aussi, les besoins accrus en AEV s'observent dans les communes de Lalo (6,72 %), de Djakotomey (8,91 %), de Klouékanmé (9,34 %), d'Aplahoué (9,41 %) où le taux de desserte des populations en eau potable ne dépasse guère 10 %. Cette situation s'explique par la nature du substratum géologique de ces milieux, de l'inégale répartition spatiale des AEV observés et de l'inexploitation de certaines AEV qui sont en pannes. Seulement deux communes (Dogbo avec 21,60 % ; Toviklin avec 11,41 %) ont un taux de desserte en AEV acceptable qui surpasse parfois le besoin en Points d'Eau des populations. Le coefficient de détermination indique que la probabilité de détermination est de 0,29 nettement supérieure à 0,05.

**Tableau II :** Capacité financière pour le renouvellement de l'équipement des AEV

AEV/Communes	Marge brute Cumulée (FCFA) de 2010 à 2014 [A]	Provision pour le renouvellement cumulé (FCFA) de 2010 à 2014 [B]	Résultat avant impôt cumulé (FCFA) de 2010 à 2014 [A]	Capacité financière pour le renouvellement

Aplahoué	78 668 249	7 429 260	71 238 989	Suffisante
Djakotomey	164 188 607	21 651 908	142 536 699	Suffisante
Dogbo	55 537 712	7 769 699	47 768013	Suffisante
Klouékanmé	52 048 702	7 142 454	44 906248	Suffisante
Lalo	5 502 596	879 333	4 623 263	Suffisante
Toviklin	73 984 715	9 566 730	64417985	Suffisante

(Source: AUEP, 2010-2014)

Il ressort de l'observation du tableau II que toutes les AEV recensées dans les six (06) communes du Département du Couffo possèdent des résultats avant impôt positifs au titre des cinq années d'exercice. C'est-à-dire que toutes les communes dans le Département du Couffo ont mobilisé des ressources financières suffisantes pour le renouvellement de leur équipement (AEV) au cours de ces cinq dernières années. Mais, la question sur la durabilité de cette capacité de mobilisation financière se pose.

### 5.5.2. Pérennité de la capacité financière des AEV

Dans l'intention d'apprécier la pérennité du service de fourniture de l'eau dans les six (06) communes d'étude du Département du Couffo, il importe de se poser des questions sur la tendance d'évolution de la capacité financière des AEV. La recherche de cette tendance est traduite par le calcul du ratio du cash-flow (Tableau III).

Tableau III : Ratio cash-flow des AEV/chiffre d'affaires dans les communes de 2010 à 2014

Communes	Ratio cash flow / Chiffre d'affaires (%)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Aplahoué	62	59	65	66	68
Djakotomey	42	46	45	45	44
Dogbo	44	42	40	41	34
Klouékanmé	42	44	42	45	39
Lalo	39	42	34	33	26
Toviklin	42	47	46	46	45

(Source : Traitement des données de l'AUEP, 2010-2014)

Il ressort du tableau III que le ratio du cash-flow / chiffre d'affaires évolue en dents de scie, avec une accentuation de ce ratio dans la commune d'Aplahoué au cours des cinq dernières années (2010-2014). Ainsi, le ratio de cash-flow / chiffre d'affaires a connu un accroissement presque graduelle à Aplahoué avec un taux supérieur à 50 %, alors que dans les autres communes (Djakotomey, Dogbo, Klouékanmé, Lalo, Toviklin), ce taux est inférieur à 50 % et tourne autour de 33 à 47 % avec une évolution décroissante plus accentuée à Lalo. En réalité, dans la commune de Lalo, les différentes AEV ont été mis en service tout récemment, ce qui fait que les gestionnaires de ces ouvrages ne sont pas encore suffisamment outillés pour qu'on puisse assister à une gestion

efficace et efficiente des ouvrages, d'où un renforcement de leur capacité de gestion s'impose.

### 5.5.3. Analyse de l'efficacité de la délégation de la gestion de l'AEV

L'analyse de l'efficacité de la délégation de la gestion de l'AEV dans le Département du Couffo a été faite à travers le tableau IV.

*Tableau IV : Résultats de l'efficacité de la délégation de la gestion de l'AEV de 2010 à 2014*

Communes	Marge brute moyenne en FCFA (a)	Frais de gestion moyen en FCFA (b)	Taux marginal de rentabilité en % (c)	Taux de disponibilité de l'eau en % (d)	Efficacité de la gestion
Aplahoué	15733650	6341783	248	98	Oui
Djakotomey	32837721	5918188,2	555	96	Oui
Dogbo	11107542	12201556	91	99	Non
Klouékanmé	10409740	10665704	102	99	Oui
Lalo	1100519,2	1496553,2	136	99	Oui
Toviklin	14796943	13519968	109	99	Oui
Couffo	84885596	50143752	169	98	Oui

(Source : Traitement des données du compte d'exploitation, octobre 2018)

**NB :** Est efficace si  $c \geq 100\%$  et  $d \geq 85\%$

Le tableau IV montre que dans le Département du Couffo, la délégation de la gestion des AEV est rentable avec une disponibilité en eau supérieure ou égale à 98 %. Toutefois, il est noté une disparité entre les différentes communes avec une accentuation de cette disparité dans les communes de Djakotomey et d'Aplahoué. Ainsi, parmi toutes les communes considérées, seule la commune de Dogbo a connu une délégation de la gestion inefficace. En termes de la norme de disponibilité d'eau, on note qu'il y a conformité de cette norme au niveau de toutes les communes. Quant à la norme de rentabilité, seule la commune de Dogbo a enregistré une norme en-deçà de la normale avec un gap non moins considérable (91 % < 100 %) soit 9 % de différence. En somme, la délégation de la gestion du service public de l'eau aux opérateurs privés est efficace à plus de 90 % dans le département du Couffo.

### 5.5.4. Analyse de la rentabilité de l'AEV

L'analyse de la rentabilité de l'AEV dans le Département du Couffo est illustrée dans le tableau V.

*Tableau V : Rentabilité de l'AEV de 2010 à 2014*

Communes	Recettes (R)	Dépenses (D)	Charges d'exploitation (CE)	Dépenses et Charges d'exploitation (D + CE)	Marges Bénéficiaires (MB) = R - (D + CE)	Appréciation
Aplahoué	111 438 900	14 858 520	31 708 915	46 567 435	64 871 465	MB > CE

Djakotomey	324 778 625	43 303 816	15 540 967	58 844 783	265 933 842	MB > CE
Dogbo	116 545 490	12 201 556	15 539 398	27 740 954	88 804 536	MB > CE
Klouékanmé	107 136 811	10 665 704	53 328 519	63 994 223	43 142 588	MB < CE
Lalo	131 899 92	1 758 666	7 482 766	9 241 432	3 948 560	MB < CE
Toviklin	143 500 955	19 133 460	67 599 839	86 800 898	56 700 057	MB < CE
<b>Couffo</b>	<b>816 590 773</b>	<b>101 921 722</b>	<b>191 200 404</b>	<b>293 189 725</b>	<b>523 401 048</b>	MB > CE

(Source : Traitement des données du compte d'exploitation, octobre 2018)

L'analyse du tableau V montre que la gestion de l'AEV est globalement rentable dans le Département du Couffo pour la période considérée (2010 à 2014) même si certaines communes n'ont pas pu atteindre cette rentabilité (Klouékanmé, Lalo, Toviklin) du fait de la mauvaise gestion de l'ouvrage. Il faut également remarquer que les communes d'Aplahoué (51 %), de Djakotomey (94 %), de Dogbo (82,5 %) ont connu une rentabilité positive allant de 51 % à plus de 94 % tandis que les communes de Klouékanmé (-19 %), de Lalo (-47,23 %), de Toviklin (-16,50 %) ont plutôt enregistré une rentabilité négative dont le taux oscille autour de 16 et 47 % avec une accentuation de la mauvaise rentabilité dans la commune de Lalo. Cette mauvaise rentabilité des AEV n'est guère bénéfique pour aucune partie contractante (fermier et la commune) ayant en charge la gestion des AEV dans le Département du Couffo. La conséquence de cette mauvaise gestion est le fort taux de panne enregistré dans ces différentes communes avec respectivement 28,5 % à Lalo, 24 % à Klouékanmé et 14,5 % à Toviklin. Face à cette situation, la responsabilité des différentes parties contractantes est donc engagée pour situer réellement le principal acteur de cet état de chose afin que des mesures correctives puissent être envisagées, ceci pour le bonheur des populations bénéficiaires.

### 5.5.5. Coûts de gestion des AEV

Dans le cadre de la gestion des AEV, la vente de l'eau paraît la plus appropriée aux objectifs de pérennisation des ressources en eau dans le département. Le financement des AEV disponibles dans le département du Couffo est assuré par l'Etat et les partenaires au développement. Le tableau VI présente la grille tarifaire des coûts de construction d'une AEV et les montants de la participation des communautés à sa mise en place.

*Tableau VI: Grille des coûts unitaires des AEV et des BF*

Types d'ouvrages	Grille du coût d'aménagement du PE (en million de FCFA)	Montant de la participation communautaire (en millier de FCFA)
AEV et BF	20 000 000 à 100 000 000	200 000 / BF
Fonds de caisse	-	50 000
Total	-	250 000

(Source : DDMME, ONG PROTOS et Travaux de terrain, juillet 2018)

**Légende :** AEV = Adduction d'Eau Villageoise ; BF = ; Borne Fontaine ; - = Non indiqué



Le tableau VI montre que la population est impliquée dans la mise en place des AEV dans les différentes communes du Département du Couffo.

Une fois l'infrastructure mise en place, l'eau produite par les Adductions d'Eau Villageoises (AEV) est systématiquement vendue par volume, soit par bassine ou par bidon. Le prix, fixé par l'Association des Usagers d'Eau (AUE) doit couvrir au minima les frais d'exploitation et de renouvellement des infrastructures. Les recettes issues de la gestion des AEV par l'Association des Usagers d'Eau (AUE) sont logées dans deux comptes distincts à la Caisse Locale de Crédit Agricole Mutuel (CLCAM) : l'un pour les fonds de fonctionnement, l'autre pour les fonds de renouvellement. Le Service de l'Hydraulique (SH) de la Direction Départementale du Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau (DDMMEE) a un droit de regard sur l'utilisation du compte de renouvellement.

La vente de l'eau au niveau des différents Points d'Eau (PE) est assurée par un fontainier recruté et rémunéré par le comité de gestion de l'ouvrage. Dans le département du Couffo, le prix de cession de l'eau aux populations au niveau des AEV (Adductions d'Eau Villageoises) et des Bornes Fontaines (BMF) ne varie pas. Elle est livrée aux populations à 25 FCFA les deux bidons de 25 Litres d'eau et à 15 FCFA la bassine de 15 litres. Le traitement réservé aux fontainiers de ces ouvrages par les comités de gestion des Points d'Eau (PE) est fonction des recettes hebdomadaires. Ce traitement représente 05 % à 10 % des recettes et représente en moyenne 2000 FCFA par semaine par fontainier pendant la saison sèche soit une fréquentation de 150 personnes en moyenne par Point d'Eau (PE) par semaine. Pendant la saison pluvieuse, les recettes réalisées par les fontainiers ne sont pas importantes à cause de l'utilisation massive des eaux de pluie recueillies dans les citernes et dans les puits traditionnels. Les recettes décroissent en moyenne à 150 FCFA par semaine par fontainier, soit une fréquentation de 20 personnes en moyenne par Point d'Eau (PE) par semaine. Au niveau des Adductions d'Eau Villageoises (AEV), l'eau est vendue par mètre cube. Les recettes issues de cette vente dépendent de la capacité et du nombre (n) de remplissage du château d'eau de chaque ouvrage (tableau VIII). Elles diffèrent d'une commune à une autre et d'une période à une autre. La capacité des châteaux d'eau est de 30 m<sup>3</sup> et 50 m<sup>3</sup>. Ces capacités sont utilisées par les populations sur une durée moyenne de trois jours. Ce rythme de consommation corrobore le niveau de consommation en cubage par les utilisateurs par ménages. Les recettes issues de la vente de l'eau au niveau des Adductions d'Eau Villageoise (AEV) sont réparties suivant la capacité et le nombre de bornes fontaines disponibles (**Tableau VII**).

*Tableau VII : Répartition des recettes de la gestion des AEV*

Ouvrage	Capacités (m <sup>3</sup> )	Prix de vente de l'eau / m <sup>3</sup> en FCFA	Calcul de la recette mensuelle en FCFA	Répartition des recettes en FCFA		
				Traitement	Fontainier BF	Exploitant
AEV	30	575	$(30 \text{ m}^3 / 3) \times 30 \times 575 = 172\,500$			Entretien et renouvellement de l'ouvrage
	50			$(50 \text{ m}^3 / 3) \times 30 \times 575 = 287\,500$	25000 FCFA / mois	40 000 FCFA / mois

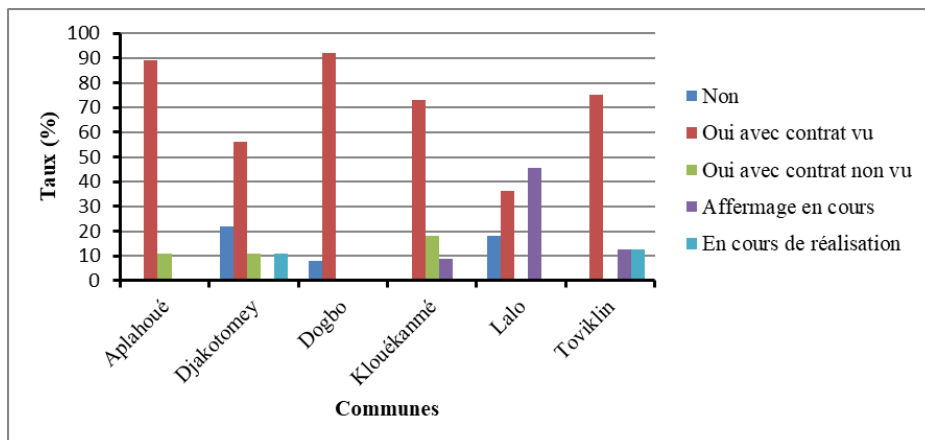
n = nombre de bornes fontaines disponibles

(Source : ONG PROTOS et travaux de terrain, Juillet 2018)

Le tableau VII montre qu'au niveau des adductions d'eau villageoises (AEV), la rémunération de l'exploitant représenté par le comité de gestion est de quarante mille FCFA par mois (40 000 FCFA / mois). Les fontainiers quant à eux, sont rémunérés au prorata du volume d'eau vendu au m<sup>3</sup> à la borne fontaine (BF). Il faut noter que la recette des ventes d'eau au niveau des Adductions d'Eau Villageoises (AEV) varie selon les saisons. En période de saison sèche, le fontainier d'une borne fontaine par exemple peut faire une recette de 15 000 FCFA à 30 000 FCFA en moyenne par semaine. En saison des pluies par contre, il encaisse en moyenne 1000 FCFA par semaine. Cette situation occasionne parfois la fermeture momentanée pendant cette période de certaines bornes fontaines puisque non rentable.

Au regard de la gestion financière des Points d'Eau (PE) par les AUE et GIE, l'on peut dire que l'eau à une valeur économique et qu'elle peut contribuer au développement socioéconomique des différentes communes composant le Département du Couffo si elle est bien gérée et que l'environnement institutionnel s'y prête.

La figure 4 donne une idée du taux d'affermage d'AEV par commune.



**Figure 4 : Taux d'affermage par commune**

(Source : Résultats d'enquête de terrain, juillet 2018)

La figure 4 montre que toutes les communes dans le Département du Couffo disposent d'au moins d'une AEV affermée avec de forts taux d'affermage de contrat vu enregistrés dans les Communes de Dogbo (92 %), d'Aplahoué (89 %). Les communes de Klouékanmé (73 %) et de Djakotomey (56 %) ont un taux d'affermage non moins négligeable. Quant à la Commune de Lalo, le taux d'affermage de contrat vu quoique faible (36,5 %) doit être considéré, même si des efforts doivent être fournis pour améliorer ce taux à un niveau beaucoup plus élevé.

Quant aux taux d'AEV affermées avec contrat non vu, il est remarqué que le plus fort taux se retrouve dans la commune de Klouékanmé (18 %). Les plus faibles taux sont par contre notés dans les communes d'Aplahoué et de Djakotomey avec 11 % chacun et constitue une menace pour le gestionnaire du point de vue de sa crédibilité en tant qu'agent réellement retenu à travers les clauses du contrat d'affermage.

Les taux d'AEV en cours d'affermage sont enregistrés dans les communes de Lalo avec plus de 45 %, de Toviklin avec plus de 12 % et de Klouékanmé avec 9 %. La commune de Toviklin est celle ayant plus d'AEV en cours d'affermage. Il est donc souhaitable que le processus d'affermage aboutisse vite dans les communes de Toviklin et de Klouékanmé pour le bonheur des populations de ces différentes localités.

Pour mieux imprégner de la situation des ouvrages, le tableau VIII a été réalisé afin d'apprécier leur niveau d'affermage.

**Tableau VIII : Situation des ouvrages par niveau d'affermage**

Communes	Affermé contrat vu			Total	Affermé contrat non vu			Total
	1= Pas en vigueur	2= Résilié	3= En vigueur		1= Pas en vigueur	2= Résilié	3= En vigueur	
Aplahoué	0	0	9	9	0	0	0	0
Taux (%)	0	0	100	100	0	0	0	0
Djakotomey	0	0	6	6	2	0	0	2

Taux (%)	0	0	75	75	25	0	0	25
Dogbo	0	0	12	12	0	0	0	0
Taux (%)	0	0	100	100	0	0	0	0
Klouékanmé	0	0	8	8	0	0	0	0
Taux (%)	0	0	100	100	0	0	0	0
Lalo	0	0	4	0	0	0	0	0
Taux (%)	0	0	100	0	0	0	0	0
Toviklin	0	0	6	6	0	0	0	0
Taux (%)	0	0	100	100	0	0	0	0

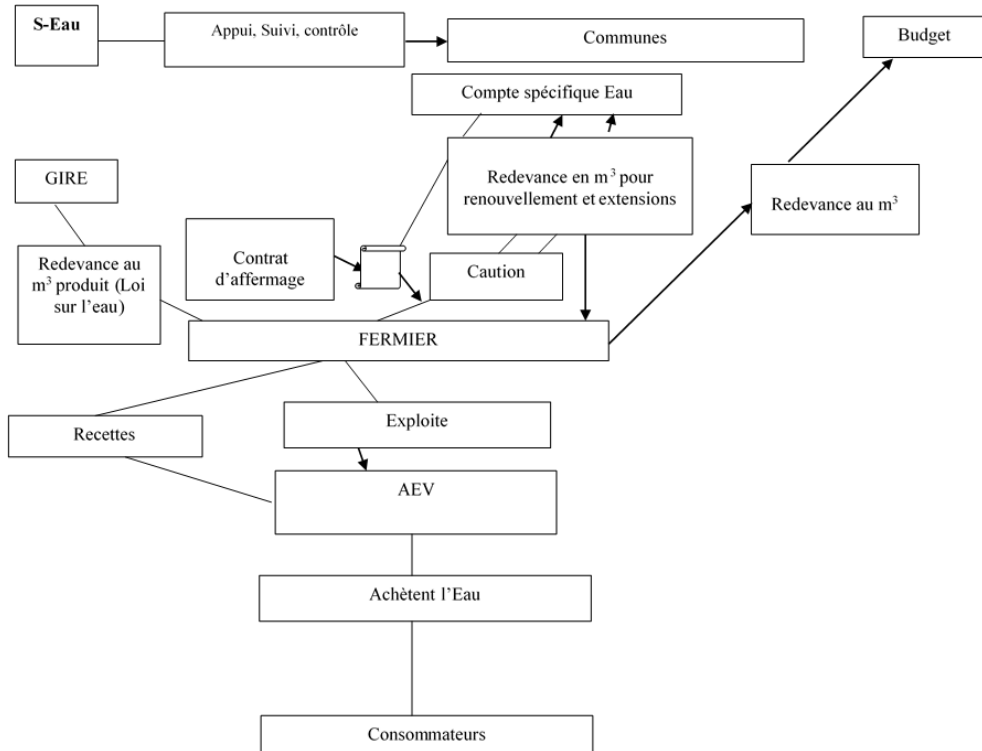
(Source : Traitement des données de terrain, Juillet 2018)

L'observation de la situation des ouvrages par affermage contenue dans le tableau VIII montre l'existence de deux niveaux d'affermage (affermage contrat vu et affermage contrat non vu). L'affermage avec contrat vu montre que 100 % des AEV à affermage avec contrat vu sont en vigueur dans cinq (05) communes sauf à Djakotomey où l'on a enregistré un taux de 75 %.

Concernant les AEV à affermage avec contrat non vu, seule la commune de Djakotomey est concernée avec 25 %. Ainsi, dans le Département du Couffo, on peut conclure qu'il y a plus d'AEV affermées à contrat vu. Tout ceci est un gage qu'une bonne gestion peut être faite de ces derniers.

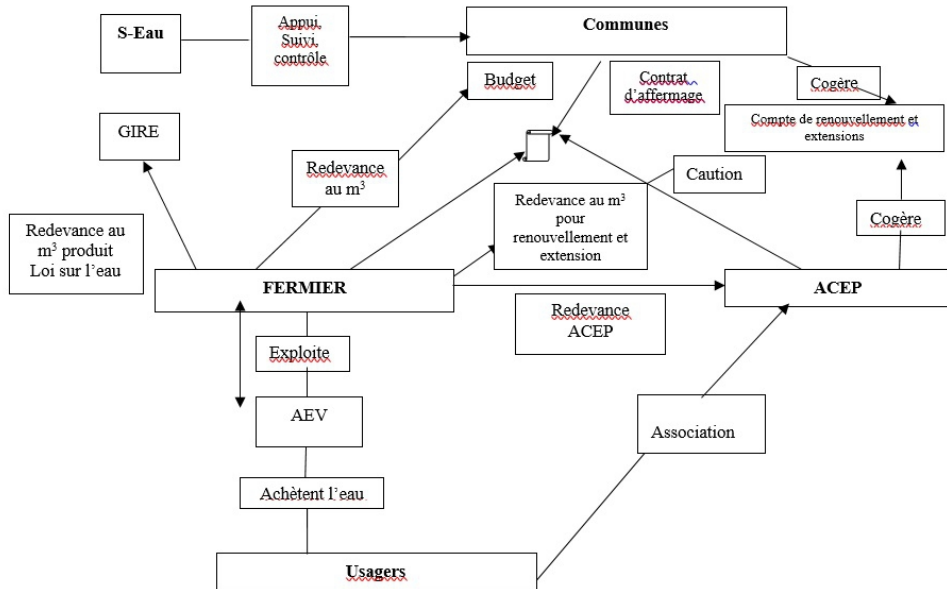
### 5.5.6- Modes de gestion des ouvrages

Il existe en général (04) quatre modes de gestion des ouvrages hydrauliques au Bénin : le contrat tripartite (Commune/Fermier/ACEP), le contrat production-distribution, le contrat Association de Consommateurs et le contrat Commune-Fermier. Parmi ces modes, le contrat tripartite (Commune-Fermier-ACEP) et le contrat (Commune-Fermier) sont les modes de gestion utilisés dans les communes du Département du Couffo. La figure 5 présente le contrat fermier dans les communes du Département du Couffo.



**Figure 5 :** Contrat fermier : Délégation par les communes à un fermier  
 (Source : PADEAR, 2008)

L'analyse de la figure 5 révèle que dans le contrat fermier, le Service-Eau (S-Eau) assure seulement l'appui, le suivi et le contrôle de l'eau dans la commune. La commune étant le maître d'ouvrages des points d'eau, signe avec le fermier un contrat d'affermage. Le fermier à son tour, paie une caution sur la redevance au m<sup>3</sup> pour les renouvellements et les extensions dans le compte spécifique que la mairie réserve à « l'eau ». Il paie aussi une redevance au m<sup>3</sup> produit dans le cadre de la loi sur l'eau : « l'eau paye l'eau » à la GIRE. Lorsqu'il s'acquitte de ces cautions, il exploite les Adductions d'Eau Villageoises et collecte les fonds de la vente d'eau achetée par les consommateurs. Les recettes issues de la vente serviront à l'entretien de l'ouvrage et à payer périodiquement les redevances. La figure 6 présente le contrat tripartite (Commune-ACEP-Fermier) dans les communes du Département du Couffo.



**Figure 6 :** Contrat tripartite (Commune-ACEP-Fermer) dans le Département du Couffo  
(Source : Guide des projets, Août 2007)

La figure 6 retrace le contrat tripartite (Commune-ACEP-Fermer). Cette option répartit les rôles entre les différents acteurs, combinant une meilleure professionnalisation à travers le fermier avec une participation effective des consommateurs, tout en gardant un rôle central pour la commune. La commune, l'ACEP et le fermier sont tous les trois signataires du contrat. Dans le cadre de notre étude, 2 types de contrats sont signés selon les enquêtes de terrain. Il s'agit du contrat Commune/Fermer, et du contrat Commune/Fermer/ACEP. Le tableau IX donne une idée sur la disponibilité du contrat selon les acteurs.

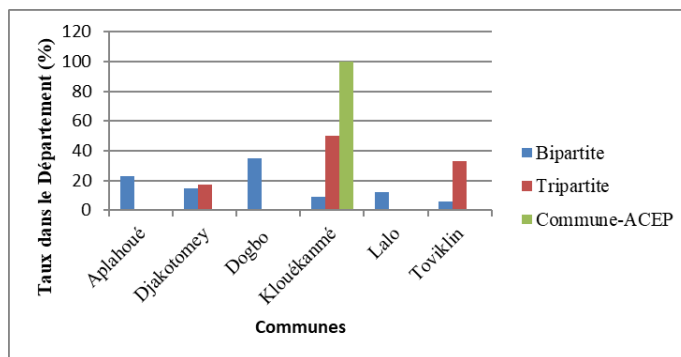
**Tableau IX :** Disponibilité du contrat selon chaque catégorie d'acteurs

Affermé avec contrat présenté				Affermé avec contrat non présenté				
Communes	Commune	Taux (%)	Fermer	Taux (%)	Commune	Taux (%)	Fermer	Taux (%)
Aplahoué	9	22	8	19,5	0	0	0	0
Djakotomey	5	12	4	9,75	1	33,33	1	50
Dogbo	11	27	12	29	0	0	0	
Klouékanmey	7	17	7	17	1	33,33	1	50

Lalo	4	10	4	9,75	0	0	0	0
Toviklin	5	12	6	15	1	33,3 4	0	0
Total	41	100	41	100	03	100	02	100

(Source : Résultats d'enquête de terrain, Juillet 2018)

Le tableau IX sur la disponibilité du contrat selon chaque catégorie d'acteurs montre que le contrat d'affermage est signé entre deux acteurs (Commune et le fermier/ACEP). En ce qui concerne les AEV affermées avec contrat vu, les communes de Dogbo et d'Aplahoué sont les communes où l'affermage avec contrat vu est signé aussi bien entre la commune et le fermier avec plus de contrat d'affermage vu chez le fermier qu'au niveau de la mairie. Toujours dans le même sillage, Klouékanmey, Djakotomey et Lalo sont les communes où le taux d'affermage avec contrat vu et signé entre la commune et le fermier est faible avec un même taux de signature de contrat d'affermage vu aussi bien au niveau de la commune que chez le fermier à Klouékanmey et à Lalo alors que ce taux est plus prononcé au niveau de la commune à Djakotomey. Quant au contrat d'affermage non vu, seules les communes de Djakotomey, de Klouékanmey et de Toviklin sont concernées avec trois contrats déclarés non vus au niveau de la commune et deux chez le fermier. Dans l'ensemble, il est remarqué que ce soit au niveau de la commune ou chez le fermier, le taux de contrat d'affermage vu ou non varie d'une commune à une autre et témoigne de l'importance que les différents acteurs accordent au contrat signé qui est une disposition légale. En effet, les contrats préalablement passés entre les projets et les SIS (Structures d'Intermédiation Sociale) sont maintenant conclus entre le SIS et la commune, agissant en tant maître d'ouvrage. Il revient à la commune de suivre et de contrôler l'atteinte des objectifs fixés au contrat. Ainsi, grâce aux clauses du contrat, les maires estiment qu'ils leur est plus faciles de situer la responsabilité du fermier sur chaque terme du contrat. Ainsi, la disponibilité des contrats permet d'aborder les types de contrat en cours dans le Département du Couffo (figure 7).



**Figure 7 : Répartition des AEV suivant les types de contrat**  
(Source : Résultats d'enquête de terrain, Juillet 2015)

L'analyse de la figure 7 montre l'existence de trois (03) types de contrat dans le Département du Couffo avec des nuances intercommunales. Ainsi, au regard de cette figure, seule la Commune de Klouékanmé dispose les trois (03) types de contrats avec 100 % de contrat signé entre la Commune-ACEP. De même, dans tout le Département, il existe un taux de contrat bipartite signé plus appréciable à Dogbo (35 %) et à Aplahoué (23 %) que dans le reste des communes. Quant au contrat tripartite, seulement trois (03) communes sont concernées (Klouékanmé, Toviklin, Djakotomey) avec plus de taux de contrat tripartite signé à Klouékanmé (50 %).

En somme, dans le Département du Couffo, le taux de contrat bipartite demeure le plus dominant. Il convient donc d'améliorer les modes de gestion pour que ce taux soit revu à la hausse.

### **Interprétation et Discussion**

Les résultats obtenus à l'issue des enquêtes de terrain effectuées sur la gouvernance des infrastructures hydrauliques dans le Département du Couffo ont montré que le département du Couffo dispose d'un important cadre juridique et institutionnel de gestion de ces infrastructures susceptibles d'impulser leur gestion durable. Aussi, l'affermage et la gestion déléguée ont été identifiés comme les modes de gestion les plus en vue dans ce département. Toutefois, il a été noté quelques failles dans l'application de ces textes et lois. Ces résultats corroborent ceux obtenus par S. Kaboré et *al.*, (2002, p 18) à travers le rapport de suivi du PN-AEPA (Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement) au Burkina-Faso publié entre 2010-2011, qui a fait état des insuffisances liées à la gestion des ouvrages d'approvisionnement en eau potable, longtemps caractérisées par des taux de panne et d'abandon des équipements anormalement élevés, atteignant et dépassant par endroit 50 %.

Pour C. Etéka (2010, p 31), il trouve que le mode de gestion de l'AEV de Toui dans la commune de Ouèssè fondé sur l'affermage a mis en exergue les stratégies développées par chaque acteur pour contrôler au mieux la ressource, en fonction du pouvoir conquis ou dont il a été investi. En effet, la gestion de cette AEV est caractérisée par des dysfonctionnements qui tirent leurs racines du fonctionnement institutionnel mis en place. Ce fonctionnement ne garantit pas un engagement réel et total des acteurs communautaires, en raison d'une mission totalement bénévole assignée aux membres des comités de gestion. Cette mission contraste dans ses modalités avec la nature des ressources à gérer (infrastructures génératrices de revenus) et la position socio-économique des acteurs. Quant à R. Griffin (2006, p 35),



il trouve que la meilleure efficacité se situe entre les deux modèles, en combinant la propriété publique et les avantages privés, notamment les incitations à la performance. M. Boyer et *al.* (2001a, p 11), favorisent la délégation des services d'eau pour remédier aux problèmes de gestion. Selon eux, il ne s'agit pas d'un simple retrait de l'État, mais plutôt d'une redéfinition de son rôle, puisqu'il devient stratège plutôt qu'exécutant. L'impartition des services permettrait de résoudre le « manque de gouvernance » causé par les pressions syndicales et la politisation des décisions. Ces résultats trouvés dans le Département du Couffo rejoignent également ceux de B. Mazouz et Tremblay (2006, p 24) qui privilégient une approche contractualisée dans le management public. Cette approche est caractérisée par l'évaluation des résultats des agences publiques par rapport à des plans stratégiques et notamment à des conventions de performance et d'imputabilité.

Quant à B. Hounménou (2006, p 40) dans une publication sur la gouvernance locale de l'eau, il crédite les comités de gestion d'un dynamisme qui met en exergue les capacités dont disposent les communautés à bien gérer les ouvrages collectifs d'approvisionnement en eau potable. Les résultats auxquels est parvenu l'auteur s'expliquent par le fait que l'étude n'a pas développé une approche critique par rapport à ce mode de gestion.

Dans une autre étude conduite au Sénégal sur la gestion des mini-adductions d'eau potable, A. Hamath Dia (2006, p 28) fait remarquer que les comités de gestion, nés du désengagement de l'Etat ont, pour des raisons diverses, une faible capacité de gestion et un faible pouvoir de coercition sur les mauvais clients. Il conclut que le nouveau modèle de «gestion communautaire» imposé par les projets pour diverses raisons, aussi bien «politiques» que techniques, est ainsi, d'un côté, source de frictions et d'accusations, en introduisant un espace de soupçons, et, de l'autre côté, objet de «détournement» ou d'«appropriation», sous forme d'une semi-privatisation.

Ces résultats obtenus dans le Département du Couffo sont par contre contraires à ceux obtenus par J. P. Olivier de Sardan et A. E. Dagobi (2000) qui trouvent que la gestion des ouvrages au Bénin est faite de manière communautaire en telle sorte qu'elle est convertie dans les faits en une « gestion privative » et opaque, assurée par une minorité qui s'abstient de rendre compte aux populations. En conséquence, quand l'ouvrage tombe en panne, les ressources financières ne sont pas souvent disponibles ou sont faibles pour assurer la réparation. Non seulement ce mode de gestion compromet l'accès durable des communautés à l'eau potable, mais également, il n'offre pas de possibilités d'extension du réseau.

Quant à B. Aubert et M. Patry (2004), ils croient également que ceci permettrait de diminuer la pression sur les fonds publics. Ces auteurs affirment

que les contrats de la « gouvernance contractuelle » obligent les entreprises à rendre davantage de comptes que les administrations élues.

## Conclusion

L'analyse de la gouvernance des infrastructures hydrauliques (AEV) dans le département du Couffo a montré une faible implication des acteurs dans la gestion de ces infrastructures hydrauliques et que des défaillances ont été notées à plusieurs niveaux bien qu'il existe deux modes de gestion (affermage et gestion tripartite) reconnus comme pouvant garantir leur durabilité. Ainsi, malgré l'existence des textes et lois régissant le secteur, des problèmes demeurent posés et nécessitent des mesures hardies pour faire de l'affermage des infrastructures hydrauliques le mode de gestion le mieux approprié dans le département du Couffo.

## References :

1. Amadou Moukaïla (2009). La problématique de la communication dans la gouvernance locale au Bénin : le cas de la commune de Savè. Master en développement communautaire. UAC, Bénin, 89 p.
2. Avounsokpo Bonaventure (2010). Disponibilité des ressources en eau dans la commune de Natitingou: Savoirs endogènes et contraintes environnementales, Mémoire de maîtrise de Géographie, DGAT/FASHS/UAC, 97 p.
3. Aubert Benoît et Patry Michel (2004). «Les partenariats public-privé : une option à considérer», *Revue Internationale de gestion*, vol.29, n°2, pp.74-85.
4. Boko Yacinthe Wuilfrid (2009). Gestion communautaire des ressources en eau et conflits d'usages dans la basse vallée de l'Ouémé. Diplôme d'Etude Supérieure Spécialisée. EDP/ FLASH/ UAC, 62 p.
5. Boyer Marcel., Patry Michel., Tremblay Pierre (2001). La gestion déléguée de l'eau : gouvernance et rôle des différents intervenants, Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations (CIRANO), Montréal, 25 p.
6. Care International (2007). La bonne gestion de l'eau, facteur du développement. Article de journal publié en mai 2007, Projet visant l'accès à l'eau, Maroc, 16 p.
7. Direction Générale de l'Eau (2009). Rapport de performance 2008, Cotonou, Bénin, 47 p.
8. Etéka Cyrille (2008). Gouvernance locale des services d'approvisionnement en eau potable dans les collectivités territoriales au Bénin : cas de la commune de Ouèssè, Mémoire de DESS en Géographie, DGAT/FLASH/UAC, 79 p.

9. Fateha Jacques (2010). Gouvernance de l'eau et autorités locales en Méditerranée : La gestion de la pollution, Mémoire de stage, UNSA, Nice, 82 p
10. Griffin Ronald (2006). Water Resource Economics. The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects, *Cambridge*, MIT Press, 402 p.
11. Grifell-Tatjè Emili., Lovell Cake (1996). "Deregulation and productivity decline: the case of Spanish saving banks", *European Economic Review*, 40, pp 1281-1303.
12. Hamath Dia Amadou (2006). «La gestion locale-internationale de l'enjeu hydraulique à Kanel : appropriation forcée et stratégies d'acteurs», *La gouvernance au quotidien en Afrique. Le bulletin de l'APAD*, n° 23-24, pp 54-67.
13. Houémavo Yabouri Hermione (2012). Approvisionnement en eau potable et gestion des infrastructures hydrauliques dans la commune d'Allada, Mémoire de master en Géosciences de l'Environnement et développement durable, EDP / FLASH / UAC, 104 p.
14. Hounmènou Bernard (2006). Gouvernance de l'eau potable et dynamique locale en zone rurale au Bénin. Mémoire de DESS, UAC, 63 p.
15. INSAE(2002). Résultats Définitifs du RGPH3, Cotonou, 35 p.
16. Kaboré Sylvain, Somé Seglaro Abel, Somé Armand, (2002). Gouvernance du service public de l'eau et performance en matière d'approvisionnement en eau potable au Burkina Faso, Varieties of governance, Effective public, Global Development Network, final draft, Ouagadougou, 59 p.
17. Mairie de Dogbo (2017). Plan de Développement Economique et Social de la commune de Dogbo (PDES), 3<sup>ème</sup> génération (2017-2021), Version corrigée, Département du Couffo, République du Bénin, 156 p.
18. Mazouz Bachir & Tremblay Benoît (2006). Toward a Postbureaucratic Model of Governance: How Institutional Commitment Is Challenging Quebec's Administration. *Public Administration Review*, 66 (2), 263-273.
19. Olivier de Sardan Jean-Pierre Dagobi Abdoua Elhadji (2000). "La gestion communautaire sert elle l'intérêt public ?", *Politique africaine*, n°80, pp : 153-168.
20. Onibon Hubert Tchabi Arlette Fakorede Morènikè (2006). Mission d'appui au programme gouvernance de l'eau au Bénin : Etat des lieux et autres actions prioritaires. GWP, PNE-Bénin, 86 p.
21. PNEB (2007). Faire de l'eau l'affaire de tous, Cotonou, 19 p.

22. Schwartz Daniel (1995). Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 4<sup>ème</sup> Edition (Édition Médicale Flamarion), Paris, 314 p.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Ibrahim El Ghazi,**

**Imane Berni,**

**Aziza Menouni,**

Université Moulay Ismail, Cluster des Compétence  
Environnement et santé, Meknès, Maroc

**Marie-Paule Kestemont,**

Université Catholique de Louvain la neuve,  
Belgique

**Mohammed Amane,**

**Samir El Jaafari,**

Université Moulay Ismail, Cluster des Compétence  
Environnement et santé, Meknès, Maroc

---

Submitted: 10 October 2020

Accepted: 10 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Ibrahim El Ghazi*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p274](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p274)

 Copyright 2020. El Ghazi et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

---

Cite as:

El Ghazi I, Berni I, Menouni A, Kestemont M,  
Amane M, Jaafari S (2020). Profil Épidémiologique  
Des Pathologies Respiratoires Aux Services De  
Pneumologie De La Ville De Meknès (Maroc)  
*European Scientific Journal, ESJ, 16 (33), 274.*  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p274>

---

## Profil Épidémiologique Des Pathologies Respiratoires Aux Services De Pneumologie De La Ville De Meknès (Maroc)

---

### Résumé

**Introduction:** Les pathologies respiratoires représentent l'une des causes majeures de morbidité et de mortalité. De ce fait, l'objectif majeur de la présente investigation est d'évaluer le profil épidémiologique des pathologies respiratoires des sujets hospitalisés aux services de pneumologie de Meknès (Maroc). **Méthodes:** Pour ce faire, une étude rétrospective et descriptive a été menée sur 2842 patients hospitalisés et traités aux services de pneumologie de l'hôpital Mohammed V et de Sidi Saïd, sur une période de cinq ans (1er janvier 2010 au 31 décembre 2014). **Résultats:** L'analyse des résultats a montré que les pathologies les plus répandues parmi les sujets hospitalisés ont été l'asthme (47,7 %), la tuberculose (17,48 %), les pneumopathies (11,78 %) et la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) (11,29 %). L'asthme était plus prononcé chez les femmes (58,36 %) ( $p < 0,001$ ) alors que la tuberculose et la BPCO étaient plus fréquentes chez les hommes avec, respectivement, des taux de 56,44 % et de 89,1 % ( $p < 0,001$ ). **Conclusion:** Les pathologies respiratoires représentent un véritable problème à la fois sanitaire et socio-économique pour les familles et les structures sanitaires de la ville de Meknès.

---

**Subject:** Biology

**Mots-clés :** Asthme, Tuberculose, Pneumopathies, BPCO, Meknès.

## **Epidemiological Profile of Respiratory Diseases at the Pneumology department in Meknes (Morocco)**

***Ibrahim El Ghazi,***

***Imane Berni,***

***Aziza Menouni,***

Université Moulay Ismail, Cluster des Compétence Environnement et santé,  
Meknès, Maroc

***Marie-Paule Kestemont,***

Université Catholique de Louvain la neuve, Belgique

***Mohammed Amane,***

***Samir El Jaafari,***

Université Moulay Ismail, Cluster des Compétence Environnement et santé,  
Meknès, Maroc

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p274](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p274)

---

### **Abstract:**

**Introduction:** Respiratory pathologies represent one of the major causes of morbidity and mortality. Therefore, the main objective of the present investigation is to evaluate the epidemiological profile of respiratory pathologies of subjects hospitalized at the pneumology department of Meknes (Morocco). **Methods:** For this purpose, a retrospective and descriptive study was carried out on 2842 patients hospitalized and treated at the Respiratory Departments of Mohammed V Hospital and Sidi Said, over a period of five years (January 1, 2010 to December 31, 2014). **Results:** the analysis of the results showed that the most common pathologies among the hospitalized subjects were asthma (47.7%), tuberculosis (17.48%), pneumopathy (11.78%) and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) (11.29%). Asthma was more pronounced in women (58.36%) ( $p < 0.001$ ) while tuberculosis and COPD were more common in men with rates of 56.44% and 89.1% ( $p < 0.001$ ), respectively. **Conclusion:** Respiratory diseases represent a real health and socio-economic problem for families and health facilities in Meknes, a city in Morocco.

---

**Keywords:** Asthma, tuberculosis, pneumopathy, COPD, Meknes

## Introduction

De nos jours, les pathologies respiratoires représentent l'une des causes majeures de morbidité et de mortalité (Alamoudi, 2006). Parmi ces pathologies respiratoires, l'on peut citer l'asthme, la bronchopneumopathie obstructive chronique (BPCO), la tuberculose, etc. En effet, un milliard de personnes, dont 300.000.000, souffrent d'asthme. De même, 210.000.000 de personnes, incluant 44.000.000 en Europe (OMS, 2002), souffrent de la bronchopneumopathie obstructive chronique (BPCO) (Sultana *et al.*, 2017). Quant à la tuberculose, il convient de noter qu'en 2015, 10.400.000 nouveaux cas, dont 1.200.000 décès, ont été dépistés dans le monde (Tékpa *et al.*, 2019). Pour Sultana *et al.* (2017), 32 % de la population mondiale est porteuse de la forme latente de cette pathologie.

Par ailleurs, les 12 % de tous les décès sont attribués aux pathologies respiratoires et 3.800.000 cas, dont 2.600.000 dans les pays non industrialisés, aux infections des voies inférieures (Sultana *et al.*, 2017). Au Canada, par exemple, les pathologies respiratoires constituent la troisième cause d'hospitalisation et de mortalité après les maladies cardiovasculaires et les cancers (Alamoudi, 2006). De même, en Grande-Bretagne, les 6,5 % des hospitalisations sont imputables aux affections respiratoires (Alamoudi, 2006).

Par contre, au Maroc, très peu de travaux publiés se sont intéressés de façon rigoureuse aux pathologies respiratoires chez les sujets adultes. De ce fait, l'objectif majeur de la présente étude est de décrire et d'analyser le profil épidémiologique des pathologies respiratoires des sujets hospitalisés aux services de pneumologie de la ville de Meknès (Maroc).

## Matériel et méthode

L'étude a été menée dans la ville de Meknès, située au Nord du Maroc (Fig. 1). Il s'agit d'une étude rétrospective et descriptive portant sur des patients hospitalisés et traités au sein des services de pneumologie de l'hôpital Mohammed V et de Sidi Saïd (Meknès), sur une période de cinq ans allant du 1<sup>er</sup> janvier 2010 au 31 décembre 2014. Ces patients sont des résidents de Meknès. Les données sanitaires ont été collectées à partir des registres médicaux des hospitalisations des services de pneumologie (numéro d'entrée du patient, date d'admission, âge, sexe, diagnostic d'entrée, diagnostic de sortie et adresse). Les données recueillies ont été saisies et analysées par Microsoft Excel 2010 et les calculs des probabilités ont été réalisés par le logiciel R. Le test de Khi2 a été utilisé pour comparer les variables qualitatives. Le seuil de signification retenu était la probabilité  $P \leq 0,05$ .

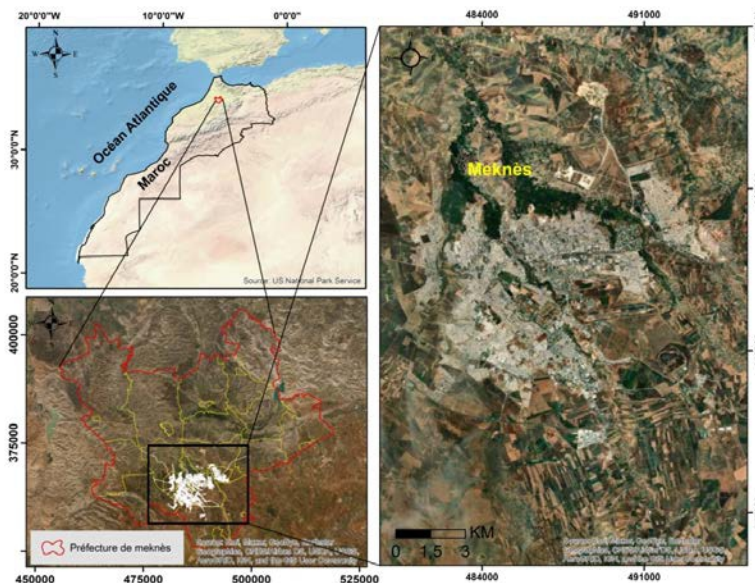


Figure 1. Géolocalisation de la ville de Meknès

## Résultats

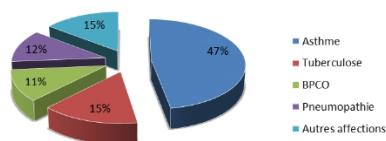
Dans la ville de Meknès, sur 2842 hospitalisations pour pathologies respiratoires aux services de pneumologie, 1504 (52,9%) ont été des hommes et 1338 (47,1 %) des femmes (**Tableau I**). Le sex-ratio (Hommes/Femmes) a été de 1,12 en faveur du sexe masculin. Les patients ayant un âge supérieur ou égal à 50 ans ont représenté 61,33 % (1743 cas) des hospitalisations, contre 38,66 % (1099 cas) pour les moins de 50 ans. Pour les deux sexes, la tranche d'âge la plus touchée a été celle de 45-64 ans avec un taux de 43,47 % dont 45,67 % des hommes et 40,71 % des femmes. Les patients ayant moins de 15 ans ont été peu représentés avec un taux de 3,59 % pour les garçons et 3,34 % pour les filles.

**Tableau I.** Caractéristiques de la population étudiée

	Désignations	Effectifs	Taux (%)
Sexe	Masculin	1504	52,9
	Féminin	1338	47,1
Âge	Inférieur à 14 ans	6	0,21
	Entre 15 et 49 ans	1093	38,46
	50 ans et plus	1743	61,33

L'analyse des résultats montre que l'exacerbation d'asthme vient en tête avec 1345 cas correspondant à 47,7 %, suivie de la tuberculose (427 cas soit 17,48 %), les pneumopathies (335 cas soit 11,78 %) et les exacerbations de la bronchopneumopathie chronique obstructive (321 cas soit 11,29 %) (**Fig. 2**).





**BPCO : Bronchopneumopathie obstructive chronique**

**Figure 2.** Répartition des sujets hospitalisés aux services de pneumologie de la ville de Meknès par diagnostic de sortie (2010-2014)

L'analyse des résultats consignés dans le tableau II montre que l'asthme a été plus fréquent chez les femmes ( $p < 0,001$ ) et que les hommes ont été plus touchés par les exacerbations de la BPCO ( $p < 0,001$ ) et la tuberculose ( $p < 0,001$ ).

Pathologies	Masculin		Féminin		P
	Effectifs	Taux (%)	Effectifs	Taux (%)	
Asthme	560	41,64	785	58,36	$P < 0,001$
Tuberculose	241	56,44	186	43,56	$P < 0,001$
Pneumopathies	180	53,73	155	46,27	$P = 0,172$
BPCO	286	89,1	35	10,9	$P < 0,001$
DDB	5	23,8	16	76,2	$P < 0,05$

**BPCO : Bronchopneumopathie obstructive chronique ; DDB : Dilatation des Bronches**

L'asthme ( $p < 0,001$ ), les pneumopathies ( $p < 0,001$ ) et la BPCO ( $p < 0,001$ ) ont été beaucoup plus fréquentes chez les personnes âgées de 50 ans et plus (Tableau IIIa et IIIb).

**Tableau IIIa. Motifs d'hospitalisation selon le sexe**

Pathologies	Moins de 50 ans		50 ans et plus		P
	Effectifs	Taux (%)	Effectifs	Taux (%)	
Asthme	573	42,60	772	57,40	$P < 0,001$
Tuberculose	253	59,25	174	40,75	$P < 0,001$
Pneumopathies	116	34,63	219	65,37	$P < 0,001$
BPCO	37	11,53	284	88,47	$P < 0,001$
DDB	7	33,33	14	66,67	$P = 0,1266$

**BPCO : Bronchopneumopathie obstructive chronique ; DDB : Dilatation des Bronches**

**Tableau IIIb. Motifs d'hospitalisation selon la tranche d'âge**

Pathologies	Tranche d'âge					P
	[0-19 ans]	[20-44 ans]	[45-64 ans]	[65-74 ans]	≥ 75 ans	
Asthme	42	403	634	168	97	$P < 0,001$
Tuberculose	31	189	116	49	42	$P < 0,001$
Pneumopathies	12	83	120	59	61	$P < 0,001$

<b>BPCO</b>	0	18	192	73	38	P < 0,001
<b>DDB</b>	2	4	5	7	3	P < 0,05

**BPCO** : Bronchopneumopathie obstructive chronique ; **DDB** : Dilatation des Bronches

## Discussion

La présente étude a été menée à Meknès, ville située au nord du Maroc, sur 2842 patients, dont 1504 hommes et 414 femmes, souffrant d'affections respiratoires. Dans cette localité marocaine, l'asthme, la tuberculose, la pneumopathie et la bronchopneumopathie obstructive chronique constituent les affections les plus courantes.

En effet, l'exacerbation des crises d'asthme représente 47,07 % des cas hospitalisés pour affections respiratoires. Elle est plus fréquente chez les femmes ( $p < 0,001$ ) avec un sex-ratio de 1,40. Ces résultats sont en accord avec ceux des travaux réalisés en France par Touihar qui ont montré que les 64 % des patients sont des femmes (Touihar, 2016). De même, en Arabie saoudite, l'asthme représente la première cause d'hospitalisation pour affections respiratoires avec un taux de 38,6 % où les 63,3 % des patients sont des femmes (Alamoudi, 2006). Cette prédominance du sexe féminin est également observée dans l'étude ASUR « Asthme-Urgences » où la proportion des femmes asthmatiques est de 57 % (Salmeron *et al.*, 2010). En plus du sexe, il a été constaté que l'âge moyen des patients est de  $50 \pm 16$  ans, avec un minimum de 14 ans et un maximum de 96 ans. A cela, Une recherche multicentrique portant sur 18 659 sujets, s'étalant sur une période de 3ans (1991-1993) a étudié l'incidence de l'asthme en rapport avec l'âge et le sexe. Cette étude rétrospective fait ressortir que dans 16 pays prospectés, le risque de la survenue de l'asthme est plus élevé chez les garçons que chez les filles (enfance). À la puberté, le risque est quasiment le même chez les deux sexes. Par contre, à la maturité, le risque chez les femmes est plus élevé que chez les hommes (De Marco *et al.*, 2000). A cet effet, pour De Marco *et al.* (2000), le calibre des voies respiratoires ainsi que des facteurs hormonaux, pourraient expliquer ces différentes tendances de l'incidence de l'asthme chez les deux sexes. Pour les deux sexes, les crises d'asthme sont beaucoup plus fréquentes chez les patients âgés de 50 ans et plus ( $p < 0,001$ ). La tranche d'âge la plus touchée est celle allant de 45 à 64 ans (47,7 %) alors que celle allant de 0 à 19 ans est la moins représentée avec un taux de 4,10 % ( $P < 0,001$ ). Ces résultats viennent en confirmation de ceux de l'étude menée par Boularab qui a montré qu'au Maroc, l'âge est un facteur de risque pour la population active de 15 ans et plus avec des risques relatifs variant de 1,7 à 4,08 (Boularab, 2018). Pour Aissani *et al.* (2017) et Khelafi *et al.* (2015), cette pathologie liée au sexe et à l'âge vient du fait que, chez les femmes, la carence ostrogénique liée à la ménopause s'accompagne de l'augmentation du niveau de risque de la

survenue des crises asthmatiques et à l'asthme vieilli qui s'ajoute à l'asthme d'apparition tardif (asthme de novo).

La tuberculose (toutes formes confondues) représente, le second motif d'hospitalisation avec 427 cas, soit une fréquence de 17,48 %. Les hommes sont les plus touchés avec 241 cas (56,44 %) contre 186 cas (43,55 %) ( $p = 0,0077$ ) chez les femmes. Ces résultats confirment ceux des travaux réalisés par Alamoudi (2006) et Sultana *et al.* (2017). L'âge moyen des patients est de  $45 \pm 20$  ans avec un minimum de 14 ans et un maximum de 94 ans. La tranche d'âge allant de 25 à 44 ans est la plus représentée (58,78 %) tandis que celle allant de 0 à 19 ans est peu affectée (0,46 %) ( $p < 0,001$ ). Comparativement à l'Arabie Saoudite, la tranche d'âge la plus touchée est celle allant de 45 à 64 ans (Alamoudi, 2006). Cette tranche d'âge associée à la tuberculose pourrait être due à une diversité d'activités dynamique qui caractérise ces deux pays (Maroc et Arabie Saoudite), relativement au travail collectif, à la fréquentation des clubs sportifs et des cafés, au tabagisme actif et passif, etc. En plus, les hommes ont plus l'accès au diagnostic, au dépistage et au traitement.

Les pneumopathies représentent la troisième cause d'hospitalisation avec 335 cas, soit 11,78 %. Les hommes (180 cas) sont légèrement plus affectés que les femmes (155 cas) ( $p = 0,172$ ), avec un sexe ratio de 1,16. Ces résultats corroborent ceux de Sultana *et al.* (2017), qui ont montré que les hommes sont plus touchés que les femmes (76,56 % contre 23,44 %) et que 6,35 % des hospitalisations sont attribuées aux pneumopathies. Par contre, en Arabie Saoudite, les pneumopathies sont plus fréquentes chez les sujets de sexe féminin, et la tranche d'âge la plus affectée est celle allant de 26 à 45 ans (Alamoudi, 2006). L'augmentation de risque de la survenue des pneumopathies chez les hommes peut être liée au tabagisme (actif et passif), à la pollution atmosphérique, à l'exposition aux produits chimiques toxiques (verniss, diluants à peinture,...), au travail dans de mauvaises conditions d'hygiène, comme l'ont montré les travaux réalisés par Gebbersa et Schläpferb (2001).

A Meknès, l'exacerbation de la bronchopneumopathie obstructive chronique (BPCO) représente 11,29 % des hospitalisations. Cette pathologie est plus fréquente chez les hommes (89,09 %) ( $p < 0,001$ ) avec un sex-ratio de 8,17. En Arabie saoudite, comparativement à Meknès, la BPCO représente la deuxième cause d'admission avec 17,2 % du total des hospitalisations enregistrées (Alamoudi, 2006). A cela, il convient de noter que l'exacerbation de la BPCO est liée au tabagisme. En effet, selon des données bibliographiques, la majeure partie des cas de la BPCO sont attribués au tabagisme (SPLF, 2003; Housset *et al.*, 2006; Mannino et Buist, 2007; Vannimetus-Hayem, 2007). Ce qui pourrait expliquer le fait qu'à Meknès, les hommes sont plus touchés que les femmes vu que dans cette société le nombre de femmes fumeuses reste largement inférieur à celui des hommes,

contrairement aux pays occidentaux où la BPCO a tendance à toucher presque autant de femmes que d'hommes.

Par ailleurs, sur l'ensemble des patients hospitalisés, seuls 21 cas de dilatation de bronchites (DDB), soit une fréquence hospitalière de 0,73 %, ont été répertoriés. La moyenne d'âge des patients est de  $56 \pm 20$  ans (âges extrêmes 15 - 88 ans). Les femmes représentent 76,19 % des hospitalisations ( $p = 0,01638$ ) avec un sex-ratio de 3,2. Sur les 21 cas répertoriés, les 75 % sont âgés de plus de 45 ans et la tranche d'âge la plus touchée est celle de 65-74 ans avec un taux de 33,33 % des hospitalisations. Comparativement à ces résultats, une étude similaire relevant du centre hospitalier universitaire de Casablanca a montré que sur 5525 hospitalisations pour pathologies respiratoires, seuls 195 cas avaient une DDB, soit une fréquence estimée à 3,5 %, ont été répertoriés. La moyenne d'âge est de 49 ans (âges extrêmes: 15 - 94 ans), avec une légère prédominance féminine estimée à un taux de 56,4 % (Bopaka *et al.*, 2016). Les résultats issus de ces deux précédents travaux laissent comprendre la DDB est liée au sexe et surtout à l'âge. Autrement dit, les femmes les plus âgées sont plus exposées à cette pathologie respiratoire.

### **Conclusion**

A Meknès, l'étude du profil épidémiologique des pathologies respiratoires aux services de pneumologie classe l'asthme, la tuberculose, les pneumopathies, la bronchopneumopathie chronique obstructive et la dilatation des bronches dans l'ordre décroissant de prédominance. A l'exception des pneumopathies, toutes ces pathologies sont liées au sexe. Les pathologies respiratoires représentent un véritable problème à la fois sanitaire et socio-économique pour les familles et les structures sanitaires de cette ville marocaine.

### **Conflits d'intérêts**

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

### **Contributions des auteurs**

**Ibrahim El Ghazi:** recherche bibliographique, collecte et traitement des données et rédaction du manuscrit. **Imane Berni** et **Aziza Menouni:** analyse statistique et relecture du manuscrit. **Mohammed Amane:** Encadrement scientifique. **Samir EL Jaafari** et **Marie-Paule Kestemont:** élaboration du protocole de recherche, supervision de l'étude et validation du manuscrit.

**Remerciements:** Les auteurs reconnaissent le soutien de l'Académie de recherche et d'enseignement supérieur (ARES) à travers le financement des divers stages à l'Université Catholique de Louvain la Neuve, Belgique. Merci

également aux relecteurs pour leurs précieux commentaires sur cet article, ce qui nous a permis d'améliorer la qualité scientifique de cette recherche.

### References:

1. Alamoudi, O. S. (2006). Prevalence of respiratory diseases in hospitalized patients in Saudi Arabia: A 5 years study 1996-2000. *Annals of Thoracic Medicine*, 1(2): 76-80.
2. OMS. (2002). Global Burden of Disease Estimates. Available at <http://www.who.int/healthinfo/statistics/bodgbdeathdalyestimates.xls> (consulté le 30 septembre, 2020).
3. Sultana, T., Afzal, A., Sultana, S., Al-Ghanim, K., Shahid, T., Jabeen, Z., Turab, N., Ahmed, Z., & Mahboob S. (2017). Epidemiological estimates of Respiratory diseases in the hospital population, Faisalabad, Pakistan. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60.
4. Tékpá, G., Fikouma, V., Téngothi, RMM., Longo, JD., Woyengba, APA., & Koffi B. (2019). Aspects épidémiologiques et cliniques de la tuberculose en milieu hospitalier à Bangui. *Pan Afr Med J*, 33(31): 1-12.
5. Touihar A. (2016). Exacerbations d'asthme au Service des Urgences adulte du CHU de Dijon: Etude rétrospective de la prise en charge et du devenir des patients. Thèse de doctorat en Médecine, Université de Bourgogne, UFR des Sciences de Santé Circonscription Médecine, 65
6. Salmeron, S., Liard, R., Elkharrat, D., & Muir, J. F. (2010). Asthma severity and adequacy of management in accident and emergency departments in France: a prospective study. *Lancet*, 358 (9282): 629-635.
7. De Marco, R., Locatelli, F., Sunyer, J., & Burney P. (2000). Differences in incidence of reported asthma related to age in men and women. A retrospective analysis of the data of the European Respiratory Health Survey. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 162(1): 68-74.
8. Boularab, I. (2018). Pollution atmosphérique due au dioxyde d'azote : mise au point d'un indicateur composite pour la ville de Meknès. Thèse de doctorat en Biologie, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, 224 p.
9. Aissani, S. (2017). Asthme et statut hormonal chez la femme. Thèse de Doctorat en Médecine, Université d'Alger, Faculté de Médecine d'Alger, 178 p.
10. Khelafi, R., Oussedik, F., Fezaa, K., Keddache, N., Benslama W., & Skander, F. (2015). Profil de l'asthme chez la femme ménopausée : à propos de 58 cas. *Revue des Maladies Respiratoires*, 32 (S): 53.

11. Gebbersa, J. O & Schläpferb, A. (2001). Pneumopathies environnementales. Forum Médical Suisse, 1(46):1147-1153.
12. SPLF. (2003). Actualisation 2003 des recommandations de la SPLF sur la prise en charge de la BPCO : organisation et argumentaire. Revue des Maladies Respiratoires, 20 (2): 294-299.
13. Housset, B., Godard, P., & Crestani, B. (2006). Le programme d'actions en faveur de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) : « connaître, prévenir et mieux prendre en charge la BPCO ». Revue des Maladies Respiratoires, 23(HS3): 4.
14. Mannino, D. M & Buist, A. S. (2007). Global burden of COPD: risk factors, prevalence, and future trends. Lancet, 370 (9589):765-773.
15. Vannimenus-Hayem, C. (2007). Bronchopneumopathie obstructive (BPCO) et environnement. Air Pur, N°71, premier semestre, 29-32.
16. Bopaka, R., Jabri, H., El Khattabi, W., Moubachir, H., & Afif H. (2016). Profil épidémiologique de dilatation des bronches au service de pneumologie. Revue des Maladies Respiratoires, 33(S): 246-247.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

### **Saturnin Azonkpin,**

Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres (CRA-CF), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin.

### **Cocou Angelo Djihinto,**

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin.

### **Gustave Bonni,**

### **Germain D. Fayalo,**

### **Thomas A. Houndete,**

Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres (CRA-CF), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin.

### **Daniel Chèpo Chougourou,**

Département de Génie de l'Environnement, Laboratoire d'Étude et de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, République du Bénin.

Submitted: 12 October 2020

Accepted: 12 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Saturnin Azonkpin*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p284](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p284)

© Copyright 2020 Azonkpin et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Azonkpin S, Djihinto C, Bonni,G, Fayalo G, Houndete T, Chougourou D(2020). Effets de l'huile de Thevetia et de Top bio sur les prédateurs en culture cotonnière biologique à Gobé au Centre du Bénin *European Scientific Journal, ESJ, 16 (33)*, 284. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p284>

## **Effets de l'huile de Thevetia et de Top bio sur les prédateurs en culture cotonnière biologique à Gobé au Centre du Bénin**

### **Résumé**

La préservation des prédateurs est fondamentale dans la gestion intégrée des ravageurs des cultures. Les insecticides botaniques sont de plus en plus utilisés compte tenu de leurs effets limités sur les auxiliaires. L'huile de Thevetia et un insecticide botanique à base de neem, Top bio, ont été testés à Gobé au Centre du Bénin pour l'évaluation de leurs effets sur les prédateurs. Pour atteindre cet objectif, deux doses (1% et 2%) d'huile de Thevetia et deux doses (2 l/ha et 3 l/ha) de Top bio ont été comparées à un biopesticide de référence, Agri-bio-pesticide appliqué à 1 l/ha et à un témoin "Non traité". Un dispositif de Blocs de Fisher comportant 6 traitements et 4 répétitions a été utilisé. Les modèles linéaires généralisés ou non, à effets mixtes ou fixes, ont été utilisés pour déterminer l'influence des objets sur les prédateurs dénombrés sur trente plants par parcelle. Les parcelles de cotonniers, traitées avec l'huile de Thevetia dosée à 1%, ont hébergé plus de coccinelles ( $0,09 \pm 0,016$ ) que celles traitées avec Top bio dosé à 2 l/ha ( $0,02 \pm 0,016$ ). L'Agri-bio-pesticide et le Top bio dosé à 2 l/ha ont réduit le nombre de Chrysopes par rapport au "Non traité". Le Top bio dosé à 3 l/ha a hébergé plus de Phonoctonus ( $0,09 \pm 0,013$ ) que les deux concentrations d'huile de Thevetia et le "Non traité". L'huile de Thevetia et le Top bio n'ont pas réduit le nombre d'araignées par rapport à l'Agri-bio-pesticide et le "Non traité". Les deux doses d'huile de Thevetia n'ont pas réduit le nombre de Chrysopes par rapport au témoin "Non traité". Les biopesticides n'ont pas réduit le nombre de coccinelles, de fourmis, de Phonoctonus et de mantes religieuses par

rapport au "Non traité". Ces prédateurs peuvent être utilisés efficacement comme agents de lutte biologique dans une stratégie de gestion intégrée des ravageurs du cotonnier en utilisant ces biopesticides.

---

**Subject:** Entomology and Crops protection

**Mots-clés :** Biopesticides, prédateurs, coton biologique, gestion intégrée, Gobe



## **Effects Of Thevetia Oil And Top Bio On Predators In Organic Cotton Production At Gobe In Center Of Benin**

***Saturnin Azonkpin,***

Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres (CRA-CF), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin.

***Cocou Angelo Djihinto,***

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin

***Gustave Bonni,***

***Germain D. Fayalo,***

***Thomas A. Houndete,***

Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres (CRA-CF), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, République du Bénin

***Daniel Chèpo Chougourou,***

Département de Génie de l'Environnement, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, République du Bénin

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p284](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p284)

---

### **Abstract**

Preservation of predators of crop pests is fundamental in management of crop pests. Botanical insecticides are increasingly used because of their limited effects on the pest auxiliaries. Oil from the seed of *Thevetia peruviana* and an bio-insecticide from *Azadirachta indica* called Top bio, were tested at Gobe in center of Benin for the assessment of their effects on predators of crop pests comparing two doses (1% and 2%) of *Thevetia* oil and two doses (2 l/ha and 3 l/ha) of Top bio to, a reference bio-pesticide called Agri-bio -pesticide at 1 l/ha and to a control treatment. A Fisher design with 6 objects and 4 repetitions were used. Linear and generalised linear mixed and fixed effects models were used to investigate the effect of objects on predators of crop pests enumerated on 30 plants per plot. The cotton plots treated with 1% of *Thevetia*

oil had more ladybugs ( $0.09 \pm 0,016$ ) than those treated with Top bio dosed at 2 l/ha ( $0.02 \pm 0,016$ ). The Agri-bio-pesticide and Top bio dosed at 2 l/ha reduced the number of Chrysopes compared to the control treatment. Plots treated with the Top bio at 3 l/ha had more Phonoctonus ( $0.09 \pm 0,013$ ) than the two concentrations of Thevetia oil and the control treatment. Thevetia oil and The Top bio did not significantly reduce the number of spiders compared to the Agri-Bio-Pesticide and the control treatment. Additionally, the two doses of Thevetia oil did not significantly reduce the number of Chrysopes compared to the untreated control. For the most part, biopesticides did not significantly reduce the number of ladybugs, ants, Phonoctonus and mantis. These predators of crop pests can be effectively used like biocontrol agents in an integrated management strategy of crop pests using these biopesticides.

---

**Keywords:** Biopesticides, Predators Of Crop Pests, Organic Cotton, Integrated Management, Gobe

## Introduction

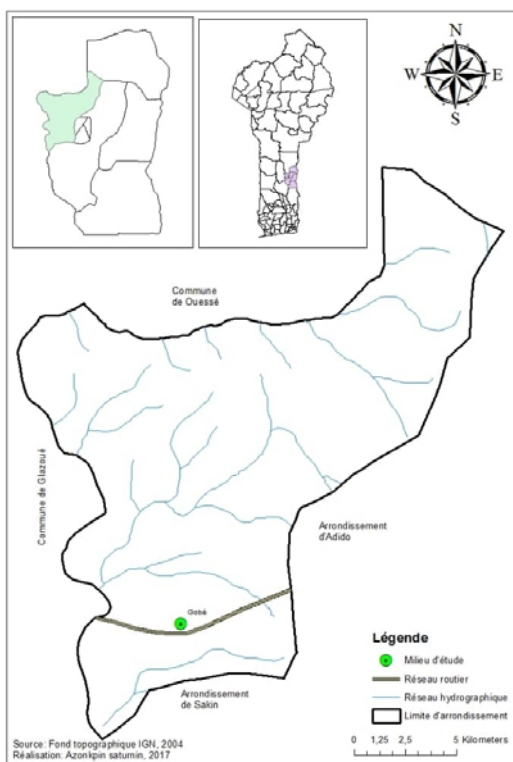
Le secteur agricole, base de l'économie béninoise, occupe 80% de la population active et contribue à 40% au produit intérieur brut (Sare, 2012). Toutefois, le secteur agricole reste largement dominé par la culture du coton qui est la principale culture de rente du pays (Togbé *et al.*, 2014a). Malheureusement, le cotonnier est l'une des cultures les plus sujettes aux dommages provoqués par de nombreux bioagresseurs, responsables des pertes de récoltes parfois importantes pouvant annihiler les efforts considérables fournis par les producteurs (Ochou *et al.*, 2006 ; Miranda *et al.*, 2013). Le complexe des ravageurs du cotonnier constitue donc l'un des principaux facteurs limitant la production cotonnière après la fumure (Traoré, 2008). Au Bénin, plusieurs matières actives sont utilisées seules ou en mélange pour lutter contre ces bioagresseurs du cotonnier (Katary et Djihinto, 2007). Ces pesticides engendrent des problèmes de pollution de l'eau et des sols, les intoxications alimentaires et les atteintes sanitaires, l'apparition du phénomène de résistance ainsi que l'interférence négative des pesticides sur la faune et le contrôle biologique d'autres ravageurs (Biaou *et al.*, 2003 ; DIREN, 2003 ; Toe, 2004, Azonkpin *et al.*, 2018a). De plus, la pression constante qu'exerce le consommateur pour une agriculture plus saine et durable, a poussé à l'intensification des recherches pour la mise au point de méthodes alternatives de production plus respectueuses de l'environnement (Chougourou *et al.*, 2012 ; Fayalo *et al.*, 2014 ; Togbé *et al.*, 2014b ; Mehinto *et al.*, 2015 ; Azonkpin *et al.*, 2018b). C'est dans cette perspective que les pays producteurs de coton s'intéressent de plus en plus aux modes de production alternative comme la production de coton-graine biologique et équitable.

Ainsi, les biopesticides actuellement utilisés par les producteurs de coton biologique sont à base d'extraits de neem auxquels certains associent le piment ou l'ail (Azonkpin *et al.*, 2018c). En matière d'insecticide biologique, des innovations sont faites à partir des plantes comme le neem, l'anacardier et le *Thevetia* (Mehinto *et al.*, 2015 ; Akpo, 2017; Kpoviessi *et al.*, 2017a,b). Mehinto *et al.* (2015) ont montré l'efficacité de Top Bio en mélange avec MaviMNPV sur *Maruca vitrata*, *Megalurothrips sjostedti*, *Clavigralla tomentosicollis* en culture du niébé. Chougourou *et al.* (2012) ont révélé que les huiles de *Azadirachta indica* et de *Thevetia peruviana* ont présenté une propriété larvicide très forte contre les larves de *Musca domestica* au stade 3. Mais, très peu d'études ont abordé l'influence de ces biopesticides sur les prédateurs. En effet, Azonkpin *et al.* (2018a) ont étudié, les effets du baume de cajou sur les pucerons et leurs prédateurs. Mensah *et al.* (2012) ont montré que les applications de BFP (Benin Food Product) au coton biologique, avec et sans autres agents de lutte biologique, ont attiré et augmenté la densité d'insectes prédateurs, réduisant considérablement le nombre d'insectes nuisibles et produisant des rendements supérieurs à ceux du coton traité à l'extrait de neem ou du coton non traité. Mais aucune étude n'a évalué les effets de l'huile de Thevétia et du Top bio sur les prédateurs à ce jour au Bénin. Alors des recherches méritent d'être approfondies afin d'améliorer les technologies développées en matière de protection phytosanitaire dans la production du coton-graine biologique pour soulager les producteurs. Dans ce contexte, le présent travail vise à évaluer les effets périphériques de l'huile de Thevétia et du Top bio sur les prédateurs en protection phytosanitaire du cotonnier Particulièrement dans la zone de Gobé au Bénin. Spécifiquement, il s'agit de déterminer les effets de deux doses (1% et 2%) de l'huile de Thevétia et de deux doses (2 et 3 l/ha) de Top bio sur les prédateurs présents sur le cotonnier au champ.

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1- Zone d'étude**

La présente étude a été menée au niveau du site de Gobé situé dans l'arrondissement d'Offè à Savè (Figure 1). Le choix de ce site situé dans la zone cotonnière du Centre du Bénin est guidé par les critères de l'importance du volume de coton produit et l'existence de technicien qualifié pouvant conduire efficacement l'expérimentation. De plus, cette commune fait partie des grandes zones de production du coton au Bénin (Ton et Wankpo, 2004).



**Figure 1:** Situation et présentation de la zone d'étude

## 1.2- Matériel

Le matériel végétal utilisé est la variété de cotonnier OKP 768 créée par le Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres (CRA-CF) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Cette variété a succédé à la variété H279-1 qui était cultivée dans la zone depuis plusieurs années. Ensuite, trois types de biopesticides ont été utilisés. Il s'agit du témoin de référence, Agri-bio-pesticide qui est actuellement utilisé par la plupart des producteurs de coton biologique au Bénin, du Top bio et de l'huile de *Thevetia*. L'agri-bio-pesticide est un pesticide biologique à base de graines de neem, du savon indigène "koto" et du piment pili-pili. Le Top Bio est aussi un produit naturel à base de graines de neem qui contient de l'azadirachtine, du nimbin, du citronellal, du citronellol et du géraniol (Mehinto *et al.*, 2015). Selon Deravel *et al.* (2014), l'huile extraite des graines de neem contient plusieurs molécules biologiquement actives dont l'azadirachtine, la nimbidine, la nimbidinine, la solanine, le déacétylazadirchtinol et le méliantriol. De plus, l'activité biocide des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits des fruits de *Capsicum frutescens* L. a été confirmée par Bouchelta *et al.* (2005). L'huile de thevetia contient la thevetin A et la thevetin B, la peruvoside, la

nerrifolin, la thevetoxin et la rivoside. C'est un fongicide, un bactéricide et un insecticide (Rajbhar et Kumar, 2014). Les photos suivantes présentent les biopesticides comparés.



Photo 1 : Agri-bio-pesticide

Photo 2 : Top bio

Photo 3 : Huile de Thevetia

### 1.3- Méthodes

#### 1.3.1- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué des Blocs de Fisher avec 6 traitements en 4 répétitions et des parcelles élémentaires de 8 lignes de 9 m de longueur dont 6 sont traitées.

Les traitements comparés dans cet essai et leurs caractéristiques sont décrits dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Traitements comparés

Traitements	Bio-insecticides	Dose (L/ha)
<b>A</b>	Non Traité	-
<b>B</b>	Agri-bio-pesticide	1
<b>C</b>	Top Bio	3
<b>D</b>	Top Bio	2
<b>E</b>	Huile de <i>Thevetia</i>	0,2
<b>F</b>	Huile de <i>Thevetia</i>	0,1

Quatorze (14) applications de chaque biopesticide ont été réalisées entre les 31<sup>ème</sup> et 122<sup>ème</sup> jours après la levée (j.a.l) de la culture avec une périodicité de 7 jours à l'aide d'un pulvérisateur manuel à dos à pression entretenue de type Solo 425 contenant 1,7 litres d'eau plus la quantité de produit pour traiter les parcelles où sont appliqués chacun des traitements aux 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108, 115 et 122<sup>ème</sup> j.a.l. L'Agri-biopesticide a été obtenu auprès d'une structure de production sise à Aglomè dans la Commune de Djidja. Le Top bio a été obtenu auprès de Bio Phyto Collines à Ogoudako (Glazoué). L'extraction de l'huile de Thevetia a été réalisée avec 0,0522 g/ml d'éthylacétate à l'aide du dispositif de Soxhlet au Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA) et au Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA) de l'EPAC à l'UAC. Lors de la préparation de la bouillie de l'huile de Thevetia, il a été ajouté au contenu du pulvérisateur, du savon liquide Mir multi-usages utilisé comme un émulsifiant (adjuvant) à la même dose que le produit.

### **1.3.2- Données collectées**

L'évaluation de l'effet des biopesticides sur les prédateurs a été réalisée en dénombrant ces derniers à la veille de chaque traitement, soit au 30, 37, 44, 51, 58, 65, 72, 79, 86, 93, 100, 107, 114 et 121 j.a.l, sur 30 plants par parcelle élémentaire pris par groupe de 5 plants de façon consécutive sur les lignes centrales, selon la méthode séquentielle dite de « la diagonale » (Bruno et *al.*, 2000 ; Nibouche et *al.*, 2003) du 30<sup>ème</sup> au 121<sup>ème</sup> j.a.l des cotonniers. Ainsi les coccinelles (adultes et larves), les Syrphes (adultes et larves), les Chrysopes, les araignées, les fourmis, les *Phonoctonus*, les forficules, et les mantes religieuses, ont été recensés.

### **1.3.3- Méthode d'analyse des données**

Afin de tester l'effet « traitement » (facteur fixe) et celui du bloc (facteur aléatoire) sur la densité des prédateurs, différents modèles ont été utilisés. Il s'agit des modèles linéaires généralisés à effets mixtes, les modèles linéaires généralisés à effets fixes, les modèles linéaires à effets mixtes et des modèles linéaires à effets fixes. Pour chaque catégorie de variable réponse, différents modèles à effets mixtes sont établis et testés (modèle complet, modèle à intercept aléatoire, modèle à pente aléatoire puis modèle à pente aléatoire et intercept aléatoire). Le meilleur est retenu sur la base de l'AICc le plus faible (Burnham et Anderson, 2002). Au cas où il est observé la non-significativité de l'effet bloc (Prob. > 0,05 ou ICC < 50%), le nouveau modèle établi est un modèle croisé fixe. Quand les effets individuels sont significatifs, la structuration des moyennes est faite afin d'identifier les meilleurs groupes de traitement qui ont des effets significatifs sur les prédateurs en culture cotonnière biologique au Bénin.

Le logiciel R Studio 3.3.3 (R Development Core Team, 2017) a été utilisé pour le traitement des données recueillies en culture cotonnière biologique au Centre du Bénin. En effet, les fonctions “glmmadmb” et “glmmPQL” du package “glmmADMB” (Bolker *et al*, 2012), dans le cadre des modèles linéaires généralisés à effets mixtes, ont été utilisées pour voir l’existence d’une différence significative des facteurs traitement et bloc suivant le nombre de prédateurs (distribution de poisson et ses extensions ont été testées). La significativité des facteurs fixes a été évaluée avec la fonction “Anova” du package “car” (Fox and Weisberg, 2011) et celle du facteur aléatoire sur la base du calcul des Corrélations InterClasse (ICC). Préalablement, le choix du meilleur modèle a été fait sur la base des résultats produits avec la fonction “AICctab” du package “bbmle” (Burnham et Anderson, 2002). La réalisation des modèles linéaires à effets fixes a impliqué deux cas : (i) cas des modèles linéaires généralisés à effets fixes où la fonction “glm” du package “MASS” (Venables et Ripley, 2002) a été utilisée et (ii) le cas des modèles linéaires à effets fixes avec l’usage de la fonction “lm” du package “stats” par défaut. En cas de différence significative observée au seuil de 5%, un post-hoc test relatif à la méthode de Tukey a été fait pour comparaison multiple de moyennes ajustées du facteur traitement, avec le package ‘lsmeans’ (Russell, 2016), puis représenté sous forme graphique. Les barres affectées d’une lettre identique ne sont pas statistiquement différentes pour tous les traitements. De même, les valeurs possédant la même lettre ne sont pas significativement différentes.

## 2- Résultats

### 2.1- Effets des biopesticides sur les coccinelles

La figure 2 montre le nombre moyen de coccinelles dénombrées sur trente plants observés par parcelle élémentaire au cours de cette recherche en 2015. Le nombre de coccinelles a oscillé entre 0,02 (top bio dosé à 2 l/ha) et 0,09 coccinelle (huile de *Thevetia* dosé à 1%). L’analyse statistique des variances a révélé une différence significative ( $P \leq 0,05$ ) entre les traitements. Les parcelles traitées avec l’huile de *Thevetia* dosé à 1% ont hébergé plus de coccinelles que celles traitées avec le top bio dosé à 2 l/ha. Mais, aucune différence significative n’est observée entre ces biopesticides comparés à l’Agri-bio-pesticide, et le “Non traité”. Ces biopesticides n’ont pas réduit le nombre de coccinelles.

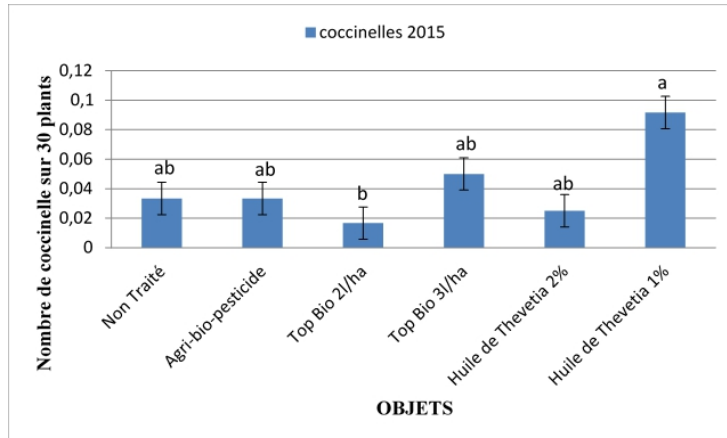


Figure 2 : Nombre de coccinelles recensées sur 30 plants

## 2.2- Effets des biopesticides sur les araignées

Le nombre moyen d'araignées dénombrées au cours de cette recherche est présenté par la figure 3. Ce nombre a varié de 0,25 à 0,97 araignée sur 30 plants respectivement pour Agri-bio-pesticide et Top bio dosé à 3 l/ha. L'analyse statistique des variances a révélé une différence significative ( $P \leq 0,05$ ) entre les traitements. Les résultats ont montré qu'Agri-bio-pesticide a significativement moins hébergé les araignées sur les plants comparativement au traitement Top bio dosé à 3 l/ha. Mais en dehors de Top bio dosé à 3 l/ha, aucune différence significative n'a été observée entre les biopesticides comparés. L'huile de *Thevetia* et le Top bio n'ont pas réduit le nombre d'araignées par rapport à Agri-bio-pesticide et le témoin absolu.

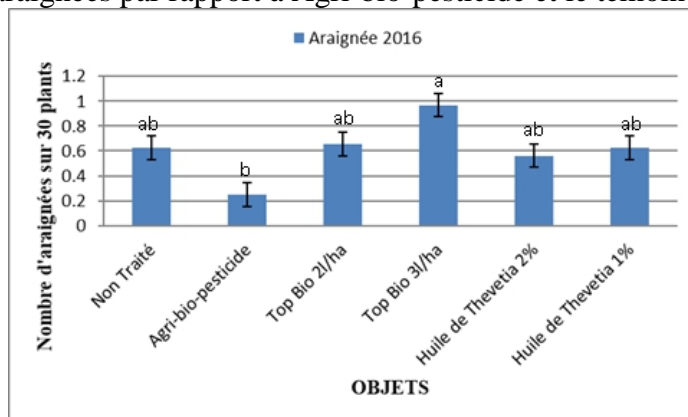


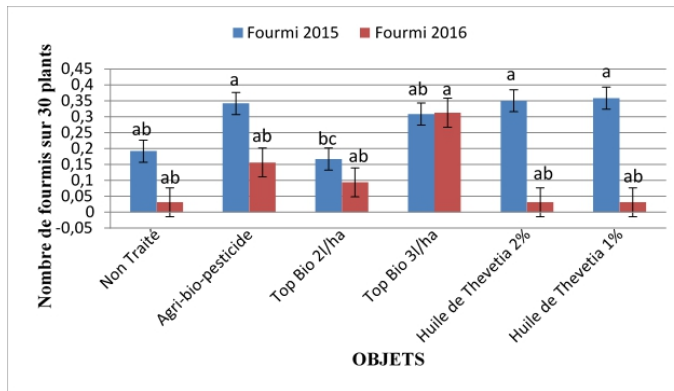
Figure 3 : Nombre d'araignées recensées sur 30 plants

## 2.3- Effets des biopesticides sur les fourmis

La figure 4 montre les résultats de dénombrement des fourmis sur trente plants de cotonnier observés par parcelle élémentaire. Le nombre moyen de fourmis a varié entre 0,17 (Top bio dosé à 2 l/ha) et 0,36 (huile de



*Thevetia* dosé à 1%) en 2015 contre 0,031 (Non traité) et 0,31 (Top bio dosé à 3 l/ha) en 2016. L'analyse statistique des variances a révélé une différence significative ( $P \leq 0,05$ ) entre les traitements au cours de ces deux années. En 2015, Top bio dosé à 2 l/ha a réduit significativement le nombre de fourmis par rapport à agri-bio-pesticide et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia*. Mais, les biopesticides n'ont pas réduit le nombre de fourmis par rapport au "Non traité". Cette même tendance a été obtenue en 2016 où aucune différence significative n'a été obtenue entre les biopesticides et le témoin absolu.



**Figure 4 :** Nombre de fourmis recensées sur 30 plants

## 2.4- Effets des biopesticides sur les chrysopes

La figure 5 présente le nombre moyen de Chrysopes dénombrés au cours des travaux de recherche en 2015. Ce nombre a oscillé entre 0,00 chrysope (Top bio dosé à 3 l/ha) et 0,18 chrysopes (Non traité) sur trente plants. Les résultats ont été discriminants au seuil de 5% ( $P \leq 0,05$ ). Top bio dosé à 3 l/ha a réduit significativement le nombre de chrysopes par rapport aux autres traitements. De même, Agri-bio-pesticide et Top bio dosé à 2 l/ha ont réduit significativement le nombre de chrysopes par rapport au témoin absolu "Non Traité" et l'huile de *Thevetia*. Mais les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* n'ont pas réduit le nombre de Chrysopes par rapport au témoin "Non traité".

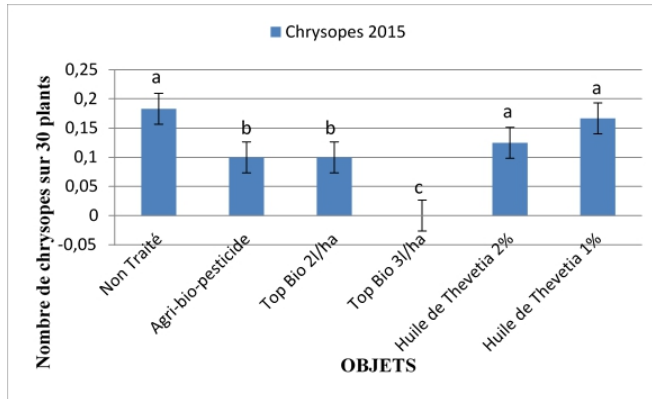


Figure 5 : Nombre de chrysopes recensés sur 30 plants

### 2.5- Effets des biopesticides sur les *Phonoctonus*

Le nombre de *Phonoctonus* dénombrés sur trente plants de cotonnier, a été présenté par la figure 6. Les résultats ont été discriminants au seuil de 5%. Le nombre de *Phonoctonus* a varié de 0,02 à 0,09 respectivement pour le Non traité et le Top bio dosé à 3 l/ha. Ce dernier a significativement hébergé plus de *Phonoctonus* que les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* et le "Non traité". En dehors de Top bio dosé à 3 l/ha, tous les autres biopesticides ont été équivalents à Agri-bio-pesticide et le témoin "Non traité". Les biopesticides n'ont pas réduit le nombre de *Phonoctonus* par rapport au "Non traité".

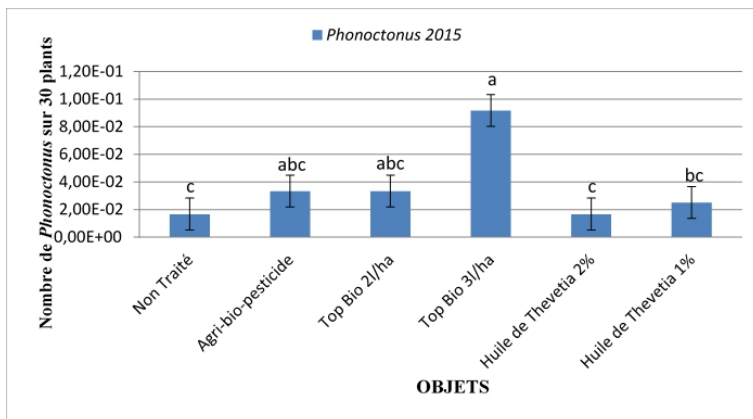


Figure 6 : Nombre de *Phonoctonus* recensés sur 30 plants

### 2.6- Effets des biopesticides sur les mantes religieuses

La figure 7 montre le nombre moyen de mantes religieuses dénombrées au cours de 2015. Les résultats ont été discriminants au seuil de 5%. Le nombre moyen de mantes religieuses a varié de 0,00 (Top bio dosé à 2 l/ha) à 0,27 (d'huile de *Thevetia* dosé à 1%) sur trente plants. Top bio dosé à 3 l/ha et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* ont hébergé plus de

mantes religieuses que Agri-bio-pesticide, Top bio dosé à 2 l/ha et le “Non traité”. Les biopesticides n’ont pas réduit le nombre de mantes religieuses par rapport au témoin “Non traité”.

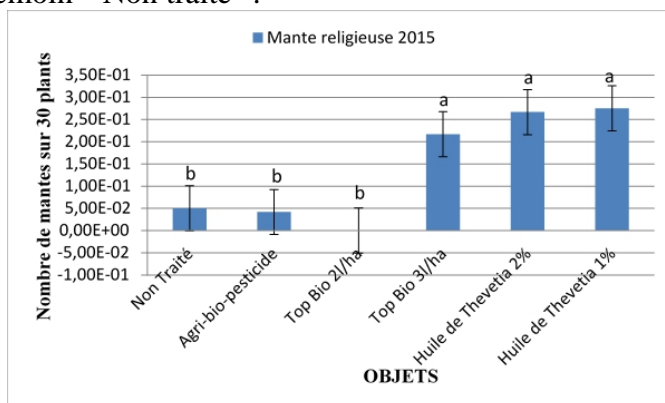


Figure 7 : Nombre de mantes religieuses recensés sur 30 plants

### 3- Discussion

L’usage des plantes pesticides se révèle être une pratique ancestrale en Afrique. Ainsi, de nombreuses plantes sont connues et utilisées pour leurs activités biocides (toxique, répulsive, anti-appétante) vis-à-vis d’une large gamme de bioagresseurs (Yarou, 2017).

L’huile de Thevetia 1% a hébergé plus de coccinelles que le Top bio 2 l/ha. Mais, aucune différence significative n’a été observée entre ces biopesticides comparés à l’Agri-bio-pesticide, et le “Non traité”, qui n’ont pas réduit le nombre de coccinelles. Ces résultats sont conformes à ceux de Azonkpin *et al.* (2018a) qui ont montré que les parcelles non traitées ont hébergé autant de coccinelles que celles traitées avec l’Agri-bio-pesticide et les biopesticides à base de baume de cajou. Ces derniers n’ont pas influencé la distribution des coccinelles dans les parcelles. Deravel *et al.* (2014) ont montré que la coccinelle est l’insecte auxiliaire le plus connu. La coccinelle *Rodolia cardinalis* prélevée en Australie est couramment utilisée comme prédateur de la cochenille *Icerya purchasi*.

L’agri-bio-pesticide a réduit les araignées sur les plants comparativement à Top bio dosé à 3 l/ha. L’huile de *Thevetia* et le Top bio n’ont pas réduit le nombre d’araignées par rapport à Agri-bio-pesticide et le “Non traité”. Ces résultats sont similaires à ceux de Azonkpin *et al.* (2018a) qui ont montré que l’Agri-bio-pesticide et le baume de cajou n’ont pas réduit le nombre d’araignées par rapport au Non Traité. Selon Deravel *et al.* (2014), dans la quête de nouveaux bio-insecticides, une attention particulière a été portée aux venins d’araignée depuis ces 10 dernières années. En effet, ceux-ci sont composés de centaines de toxines et substances actives qui vont affecter le système nerveux des insectes afin de les paralyser pour ensuite provoquer leur

mort. Ils ne sont pas seulement actifs après une morsure, mais le sont également après ingestion, ce qui les rend particulièrement intéressants. Les différentes substances de ces venins ont plusieurs cibles. Ils peuvent aussi bien modifier la conductance de plusieurs canaux ioniques (calcique, potassique, sodium), perturber la disposition des doubles couches lipidiques, agir au niveau de la terminaison des nerfs pré-synaptiques que des récepteurs Nméthyl-D-aspartate. Les multiples cibles des venins vont limiter l'apparition d'insectes résistants.

Top bio dosé à 2 l/ha a réduit le nombre de fourmis par rapport à Agri-bio-pesticide et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia*. Mais les biopesticides comparés n'ont pas réduit le nombre de fourmis par rapport au "Non traité". Ces résultats sont conformes à ceux de Azonkpin *et al.*, (2018a) qui ont montré que l'Agri-bio-pesticide n'a pas réduit le nombre de fourmis par rapport au Non Traité. Les fourmis ne sont pas des prédateurs des pucerons mais ils vivent en symbiose avec ces derniers (Miranda *et al.*, 2013). Les fourmis se nourrissent du miellat produit par les pucerons (McLain, 1980). Selon Guénard (2007), les fourmis, par leur rôle écologique au sein des écosystèmes, ont développé des relations de mutualisme avec de nombreux organismes dont font partie les pucerons. Ainsi cet auteur a mis en évidence divers bénéfices pour les pucerons dont le bénéfice majeur retiré de cette association est la protection contre leurs ennemis naturels.

Le top bio dosé à 3 l/ha a réduit le nombre de Chrysopes par rapport aux autres objets. De même, l'agri-bio-pesticide et le top bio dosé à 2 l/ha ont réduit le nombre de Chrysopes par rapport au témoin absolu "Non traité". Mais les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* n'ont pas réduit le nombre de Chrysopes par rapport au témoin "Non traité". Ces résultats sont conformes à ceux de Azonkpin *et al.*, (2018a) qui ont montré que les parcelles non traitées ont hébergé plus de Chrysopes que celles traitées avec l'agri-bio-pesticide.

Le top bio dosé à 3 l/ha a hébergé plus de *Phonoctonus* que les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* et le "Non traité". En dehors de Top bio dosé à 3 l/ha, tous les autres biopesticides ont été équivalents à agri-bio-pesticide et le témoin "Non traité".

Le top bio dosé à 3 l/ha et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* ont hébergé plus de mantes religieuses que Agri-bio-pesticide, le top bio dosé à 2 l/ha et le "Non traité". Les biopesticides n'ont pas réduit le nombre de mantes religieuses par rapport au témoin "Non traité". Ces résultats sont conformes à ceux de Azonkpin *et al.* (2018a) qui ont montré que l'Agri-bio-pesticide et le baume de cajou n'ont pas réduit le nombre de mantes religieuses par rapport au Non Traité.

Les prédateurs retrouvés dans cette étude font partie des groupes de prédateurs rencontrés sur le cotonnier au Paraguay. En effet, Silvie *et al.*

(2014) ont constaté qu'au champ, trois groupes de prédateurs sont aisément observés sur le cotonnier: (i) les insectes des familles Chrysopidae, Coccinellidae, Dolichopodidae, Hemerobiidae et Syrphidae, liées aux infestations importantes du puceron *Aphis gossypii* Glover 1877; (ii) les punaises polyphages aux couleurs souvent attrayantes de la famille des Reduviidae et (iii) les Hyménoptères prédateurs de la famille des Vespidae, très actifs, à la recherche de chenilles phyllophages comme *Alabama argillacea* (Hübner 1823).

Les biopesticides présentent un réel avantage du fait de leur faible rémanence, leur faible toxicité pour l'homme et leur mode d'action sur les ravageurs. Ils sont moins dangereux pour l'environnement et pour l'homme (Habou *et al.*, 2013). L'utilisation du top bio et de l'huile de *Thevetia*, offrirait de nombreux avantages aux petits producteurs d'Afrique. En effet, en plus d'être peu onéreux, ces pesticides botaniques ont l'avantage d'être sains pour la santé humaine et pour l'environnement, et de ce fait contribueraient à protéger les prédateurs qui participent à la régulation naturelle des populations des ravageurs du cotonnier.

## Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que l'huile de *Thevetia* et le top bio qui sont issus de la flore béninoise, présentent des effets périphériques relatifs vis-à-vis des prédateurs. En effet, l'utilisation de l'huile de *Thevetia* n'a pas réduit la densité des prédateurs rencontrés dans les parcelles d'essai. Il s'agit des coccinelles, des araignées, des fourmis, des Chrysopes, des *Phonoctonus* et des mantes religieuses. De même, le Top bio n'a pas réduit le nombre de coccinelles, d'araignées, de fourmis, de *Phonoctonus* et de mantes religieuses. Par contre le top bio et l'agri-bio-pesticide ont réduit le nombre de Chrysopes.

Le Top bio dosé à 2 l/ha a réduit le nombre de fourmis par rapport à Agri-bio-pesticide et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia*. De même le Top bio dosé à 3 l/ha a réduit le nombre de Chrysopes par rapport aux autres objets. L'Agri-bio-pesticide a réduit le nombre d'araignées sur les plants comparativement au traitement Top bio 3 l/ha. Par contre, le Top bio dosé à 3 l/ha a hébergé plus de *Phonoctonus* que les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* et le "Non traité". De même, le Top bio dosé à 3 l/ha et les biopesticides à base d'huile de *Thevetia* ont hébergé plus de mantes religieuses que l'Agri-bio-pesticide, le Top bio dosé à 2 l/ha et le témoin absolu. L'huile de *Thevetia* dosé à 1% a hébergé plus de coccinelles que le Top bio dosé à 2 l/ha.

Des études futures devraient s'intéresser à l'identification des composés insecticides de l'huile de *Thevetia*, aux méthodes de formulation et d'application de ce biopesticide dans les champs cotonniers contre les

ravageurs, ainsi qu'aux risques de résidus potentiels pour la santé humaine et animale.

### References:

1. Akpo A. A., 2017. Evaluation de l'efficacité des extraits des Plantes locales pour le contrôle des vecteurs du paludisme résistants aux pyréthriinoïdes au Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi. 253p.
2. Azonkpin S., Chougourou C. D., Djihinto C. A., Bokonon-Ganta H. A., Ahoton E. L., Dossou J., Soumanou M. M., 2018a. Effets du baume de cajou sur les pucerons et leurs prédateurs en culture cotonnière biologique au Centre du Bénin. *European Journal of Scientific Research*, 150(4), 405-419.
3. Azonkpin S., Chougourou C. D., Bokonon-Ganta H. A., Dossou J., Ahoton E. L., Soumanou M. M., Vodouhe D. S. 2018b. Efficacité du baume de cajou contre les chenilles carpophages du cotonnier au Nord du Bénin. *European Scientific Journal* 14(24) : 464-489.
4. Azonkpin S., Chougourou C. D., Agbangba C. E., Santos J. C. C., Soumanou M. M., Vodouhe D. S. 2018c. Typologie des systèmes de culture de coton biologique au Bénin ; *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(4): 1688-1704.
5. Biau C., Alonso S., Truchot D., Abiola F. A., Petit C., 2003. Contamination des cultures vivrières adjacentes et du sol lors d'une pulvérisation d'insecticides sur des champs de coton: cas du triazophos et de l'endosulfan dans le Borgou (Bénin). *Revue de Médecine Vétérinaire* 154(5) : 339-344.
6. Bolker B., Skaug H., Magnusson A., Nielsen A., 2012. Getting started with the glmmADMB package. Retrieved from <http://glmmadmb.r-forge.r-project.org/glmmADMB.html>.
7. Bouchelta A., Boughdad A., Blenzar A., 2005. Effets biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) sur *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hom ; Aleyrodidae). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 9 : 259-269.
8. Bruno M., Togola M., Téréal., Traoré N. N., 2000. La lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali : problématique et évolution récente. *Cahiers Agricultures* 9 : 109-115.
9. Burnham K. P., Anderson D. R., 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York.
10. Chougourou C. D., Dellouh P. L., Agbaka A., N'guessan K. R., Gbenou J. D., 2012. Toxicité et effets répulsifs de certaines huiles

- extraites des plantes locales béninoises sur la mouche domestique *Musca domestica* L. (Diptera Muscidae). *Journal of Applied Biosciences* 55 : 3953– 3961.
11. Deravel J., Krier F., Jacques P., 2014. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*. 18(2), 220-232.
  12. DIREN (Direction régionale de l'environnement), 2003. État des lieux des pesticides dans les eaux de la région Rhône-Alpes. Campagne de septembre 2001 à décembre 2002. Eaux et milieux aquatiques. Dossier Diren, Rhône-Alpes, 29p.
  13. Fayalo D. G., Sokenou D. F. H., Aboudou M., Alavo C. B. T., 2014. Effet de l'huile de colza sur les populations du puceron *Aphis gossypii* pour la protection du cotonnier. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(6): 2508-2515. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.13>.
  14. Fox J., Weisberg S., 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>.
  15. Guénard B., 2007. Mutualisme fourmis pucerons et guildes aphidiphage associée: Le cas de la prédation furtive. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal. 133p.
  16. Habou A. Z., Haubruge E., Adam T., Verheggen J. F., 2013. Insectes ravageurs et propriétés biocides de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) : synthèse bibliographique. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 17(4), 604-612.
  17. Katary A., Djihinto C. A., 2007. Programme fenêtre et gestion de *Helicoverpa armigera* aux pyréthrinoïdes en cultures cotonnières au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 56 : 24-35.
  18. Kpoviessi A. D., Dossou J., Chougourou C. D., Bokonon-Ganta H. A., Francisco A. R., Fassinou-Hotegni V. N., 2017a. Evaluation de l'effet insecticide et insectifuge du baume de cajou sur les insectes nuisibles du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. au Champ. *European Journal of Scientific Research* 146 (4), 417 – 432.
  19. Kpoviessi A. D., Chougourou C. D., Bokonon-Ganta H. A., Fassinou-Hotegni V. N., Dossou J., 2017b. Bioefficacy of powdery formulations based on kaolin powder and cashew (*Anacardium occidentale* L.) balms against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera, Chrysomelidae: Bruchinae) on stored cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Int. J. Biol. Sci.* 1424-1436. doi:<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.3>.

20. McLain D. K., 1980. Relationships among ants, aphids, and coccinellids on wild lettuce. 1. Georgia Entomological Society 15: 417-418.
21. Mehinto J. T., Atachi P., Elégbédé M., Kpindou O. K. D., Tamò M., 2015. Efficacité comparée des insecticides de natures différentes dans la gestion des insectes ravageurs du niébé au Centre du Bénin. *Journal of Applied Biosciences* 84: 7695 – 7706.
22. Mensah R. K., Vodouhe D. S., Sanfillippo D., Assogba G., Monday P., 2012. Increasing organic cotton production in Benin West Africa with a supplementary food spray product to manage pests and beneficial insects, *International Journal of Pest Management*, 58:1, 53-64.
23. Miranda J. E., Rodrigues S. M. M., de Almeida R. P., da Silva C. A. D., Togola M., Hema S. A. O., Somé N. H., Bonni G., Adegnika M. O., Doyam A. N., Diambo B. L., 2013. Reconnaissance de ravageurs et ennemis naturels pour les pays C-4. *Embrapa Information Technologique*. 74p.
24. Nibouche S., Beyo J., Gozé E., 2003. Mise au point d'une méthode d'échantillonnage rapide des chenilles de la capsule du cotonnier. In *Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Actes du colloque, Garoua, Cameroun (pp. 5-p). Cirad- Prasad.
25. Ochou O. G., N'Guessan E., Koto E., Kouadio N., Ouraga Y., Téhia K., Touré Y., 2006. Bien produire du coton en Côte d'Ivoire. Fiche technique coton n° 1. Centre national de recherche agronomique (CNRA), 4p.
26. Rajbhar N., Kumar A., 2014. Pharmacological importance of *Thevetia peruviana*. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 3 (1) : 260-263.
27. R Development Core Team, 2017. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [www.r-project.org](http://www.r-project.org).
28. Russell V. L., 2016. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1), 1-33. doi:10.18637/jss.v069.i01.
29. Sare L. 2012. Le conseil agricole dans les politiques publiques au Bénin. [http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Fiche\\_Conseil\\_et\\_politique\\_Benin\\_\\_8-11-2012\\_mise\\_en\\_page.pdf](http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Fiche_Conseil_et_politique_Benin__8-11-2012_mise_en_page.pdf). 8p. Consulté le 26/07/2019.
30. Silvie J. P., Delvare G., Aberlenc P.-H., Prudent P., Gil-Santana H., Gomez A. V., Cardozo R., Michel B., 2014. Diversité des Arthropodes rencontrés en culture cotonnière au Paraguay. 2. Insectes prédateurs,



- parasitoïdes et hyperparasitoïdes. *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*, 67, 179-191.
31. Toe A. M., Kinane M. L., Kone S., Sanfo-Boyarm E., 2004. Le non-respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticides en culture cotonnière au Burkina Faso: quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement. *Revue Africaine de Santé et de Production Animales*, 2 : 275-278.
  32. Togbé C. E., Vodouhè S. D., Gbèhounou G., Haagsma R., Zannou E. T., Guédénou A., Kossou D. K. et Van Huis A. 2014a. Evaluating of the 2009 reform of the cotton sector in Benin: perspectives from the field. *International Journal of Agricultural Sustainability*, Volume 12, No 3, 276-295. - ISSN : 1473-5903 (Print), 1747-762X (Online) <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2014.909637>
  33. Togbé C. E., Haagsma R., Zannou E., Gbèhounou G., Déguénon J. M., Vodouhè S., Kossou D., van Huis A., 2014b. Field evaluation of the efficacy of neem oil (*Azadirachta indica* A. Juss) and *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in cotton production. *Journal of Applied Entomology*. 139: 217-228. Doi: 10.1111/jen.12174.
  34. Ton P., Wankpo E., 2004. La production du coton au Bénin. *Projet d'analyse d'une spéculation agricole par pays, financé par le programme "Renforcement des capacités commerciales" de la F.I.P.A. (Fédération Internationale des Producteurs Agricoles)*. 51p.
  35. Traoré O., 2008. Les succès de la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. 67ème réunion plénière de l'ICAC, Ouagadougou (Burkina Faso), 16-21 novembre 2008, INERA. 11p.
  36. Venables W. N., Ripley B. D., 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
  37. Yarou B. B., Silvie P., Assogba Komlan F., Mensah A., Alabi T., Verheggen F., Francis F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 21(4), 288-304.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Impact Of Lateral Separations Between Pit Latrines And Wells On Contamination Of Groundwater In The Tano Districts Of Ghana

### F. Awuah, MSc

Department of Science, Abetifi Presbyterian  
College of Education, Abetifi Kwahu, Ghana.  
Department of Theoretical and Applied Biology,  
Kwame Nkrumah University of Science and  
Technology, Kumasi, Ghana

### R.C. Abaido, PhD

### K. Badu, PhD

Department of Theoretical and Applied Biology,  
Kwame Nkrumah University of Science and  
Technology, Kumasi, Ghana

### S. Appah, PhD

Department of Science, Abetifi Presbyterian  
College of Education, Abetifi Kwahu, Ghana

### Abstract:

The people in the Tano Districts of Ghana use groundwater as a source of drinking water and pit latrines for sanitation. However, when pit latrines and wells coexist, it is of paramount importance to ensure safer distances between them. This is to avoid faecal contamination of the groundwater. This study sought to investigate the impact of lateral separations between pit latrines and the wells on groundwater contamination in the Tano Districts of Ghana. To obtain a sample size of 15 wells within the proximity of pit latrines, a simple random sampling was considered in this study. It was revealed that none of the sites satisfied the Ministry of Water Resources, Works and Housing (MWRWH) of Ghana's (2010) 50m guideline for lateral separation between a well and a pit latrine. It was also brought to light that there was not much variation of the lateral distances with the total and faecal coliform counts in the water. Even so, the enterococci counts seemed to have an inverse variation with the lateral separations between the pit latrines and the wells in this study area. The enterococci might be a better human faecal indicator than the other coliforms considered in this study. The study recommends strict enforcement of the MWRWH (2010) 50m guideline for lateral separation between a well and a pit latrine in the area studied. To investigate the human faeces as a contaminant, preference must be given to the enterococci as a faecal indicator than the other faecal determinants in this study.

**Subject:** Environmental Microbiology

Submitted: 16 June 2020  
Accepted: 28 August 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Frank Awuah*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p303](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p303)

 Copyright 2020 Awuah et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

Cite as:

Awuah F, R.C. Abaido, K. Badu, S. Appah (2020).  
Impact Of Lateral Separations Between Pit Latrines  
And Wells On Contamination Of Groundwater In  
The Tano Districts Of Ghana *European Scientific  
Journal, ESJ, 16 (33), 303.*  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p303>

**Keywords:** Lateral Separation,  
Horizontal Distance, Pit Latrine,  
Groundwater, Contamination

## **Introduction:**

Awuah (2012) indicated the need for an investigation into groundwater, as there has been a paradigm shift from the perception that groundwater was devoid of any form of contamination. From the perspective of Ferrer *et al.* (2020), this is to reduce the diseases caused by waterborne faecal exposure. Ndoziya *et al.* (2019) and Naser *et al.* (2019) are of the view that pit latrines have the potential to put groundwater at the risk of contamination, thereby threatening human health. In the view of Díaz-Alcaide and Martínez-Santos (2019), this becomes a threat to human lives when the pit latrines coexist with wells used for domestic purposes. In research investigating the risk of pit latrine to the groundwater, (Rao *et al.*, 2020; Pujari *et al.*, 2012; Graham and Polizzotto, 2013; Nyenje *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2013) surd pit latrines have the potential to cause groundwater nitrate pollution. In the words of Houéménou *et al.* (2020), pit latrines among others can degrade shallow aquifer, meaning that faecal contaminants can migrate to the groundwater resources. Ngasala (2019) noticed that Pit latrines can have significant contamination effect on groundwater resources. Therefore, the enforcement of a new regulatory distance between groundwater resources and sanitation systems was suggested

To reduce the above risky effect of pit latrine groundwater contamination, the distance between the pit latrines and groundwater resources must be taken into consideration. Abdulkadir *et al.* (2015) attest that in a situation of coexistence of pit latrines and wells, the wells and the pit latrines should be sited far away from one another. The meaning of far distance is not clearly spelt out in this study. That is, what distance between a pit latrine and a well can be described as far away? To be specific, WHO (2010) indicates that, wells should be located at least 30m away from pit latrines to make them safe drinking water resources. However, Kimani-Murage and Ngidu (2007) in a study to deduce the effect of lateral separations between pit latrines and wells on groundwater contamination, proposed a lateral separation guideline of 15m, below which pit latrines could have a significant effect on the groundwater resources.

The difference in the guideline limits is due to the difference in the environment where each study was conducted. The horizontal distance between a pit latrine and a well in one District in Ghana having a significant effect on the groundwater, might not have a significant effect on the groundwater resource in another District of this same country.

Although Pit latrines are projected as a safe method of excreta disposal, their potential impact on groundwater contamination is neglected (Nawab *et al.*, (2017). The Tano Districts are of no exception of this negligence, even though the people in this Districts use groundwater as the source of drinking water and for other domestic purposes while employing pit latrine for sanitation, with many people in this area reporting of gastroenteritis (Awuah, 2012).

To investigate the effect of pit latrines on groundwater contamination, faecal indicator bacteria present in the wells coexisting with pit latrines can be of greater help. Ferrer *et al.* (2020) realized that, the concentration of pit latrines in an area of wells could influence the presence of *Esherichia coli* in the water contained in the wells. The presence of *E. coli* makes the water unsafe for drinking. Any pathogenic microorganism or any bacteria indicative of faecal pollution should not be present in drinking water (WHO, 2011). This is because when coliform bacteria are present in water, they are indicative of human faecal contamination (Petrisor, 2012; Boehm and Sassoubre, 2014). In this paper, the total coliforms, faecal coliforms and the enterococci will be employed to determine the effect of pit latrines' lateral separations between the wells in the Tano Districts on the faecal contamination of these groundwater resources in this study area.

Therefore, this paper seeks to research into the impact of lateral separations between pit latrines and wells on the groundwater in the Tano Districts.

## **Methodology**

### **The Area under Study**

District profile (2010) in Awuah (2012) reveals that the study area comprises the Tano Districts, Tano North and Tano South. Duayaw Nkwanta and Techire are in the Tano North District. Meanwhile, Tehimantia is within the Tano South District. This area under consideration falls within the granite metasedimentary belt, with soil made up of mainly clayey and therefore has the greater capacity to retain water for plant use. Tano North and Tano South Districts under study area are in the semi-equatorial climatic zone with double maximum rainfall. While the major rainfall season is from March to July, the minor season is between September and November. This area has a mean annual rainfall of about 1250 mm with a mean temperature of relatively 26-30 degrees Celsius and humidity of 75 - 80%. The temperature conditions in this area are conducive for the cultivation of tropical crops such as cocoa, plantain, cassava, palm oil and maize. The people in these Districts rely mainly on hand-dug wells, boreholes and pipe-borne water for domestic purposes. Tano North and Tano South fall within the high topographical areas of the country with elevation in most parts above 270 m. The landscape is generally of an average height of about 380 m with the highest elevation ranging between 360 m to 760 m above sea level.

Tano North planning unit's report from the 2010 census, indicates that Duayaw Nkwanta has a population of 16,541 and that of Techire is 4,608. From the 2010 population census, the population of Techimantia is 10,800. The Geographic Positioning System (GPS) of each sampling site was determined and was used to generate the contour map shown below.

### Generated Contour Map showing the sampling sites

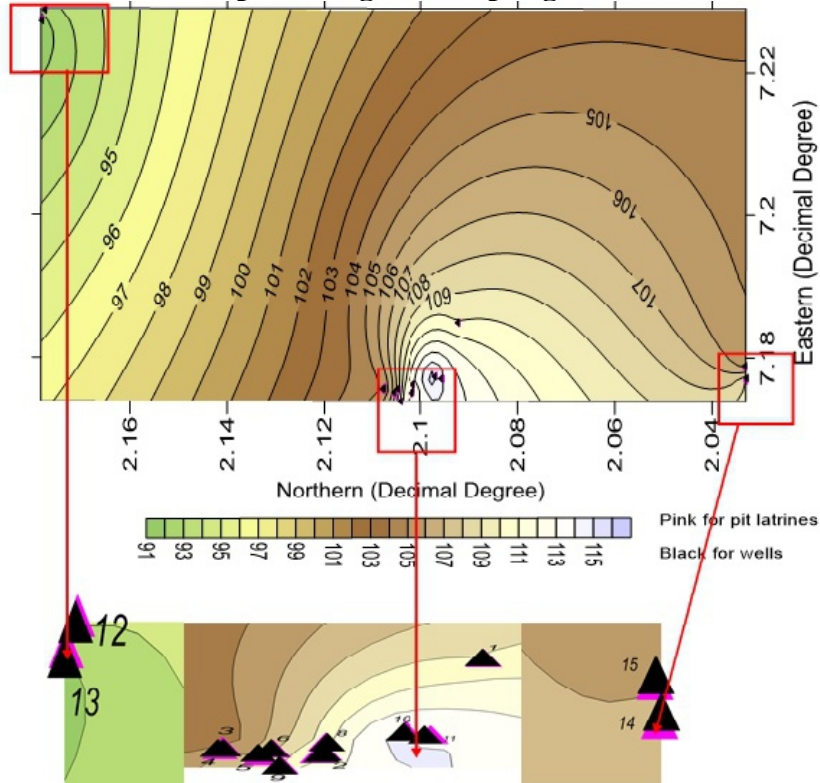


Fig 1: Area contour map with pits latrines and wells

### Collection of Data

In all, fifteen (15) wells were selected randomly for the study. A 2 litre hard plastic and screw-capped bottles that have been sterilized were used to collect the water samples. A Sample was taken monthly from each well for a period of four months. In all, four samples were taken from each well. Within 2 hours of collection in a cool box containing ice packs, the samples were sent to the Science Laboratory of Department of Theoretical and Applied Biology of the Faculty of Bioscience, Kwame Nkrumah University of Science and Technology to be analysed.

### Procedure for Sampling

Simple random sampling method was employed to obtain the sample size of 15 out of the total number of wells in this study area. 01 to 160 representing the total number of wells in the study area were written on pieces of paper, placed in a box and vigorously shaken. One piece of paper was selected at a time and the number on it recorded as a site where well water was to be sampled. In order to avoid biases, the selected piece of paper in each case was put back into the box to ensure that in each time of picking, there were

160 pieces of paper in the box. This was done repeatedly until fifteen wells within the proximity of pit latrines were selected to represent the study area.

## Laboratory Procedures

### Faecal Enterococci

Serial dilutions of  $10^{-1}$  to  $10^{-11}$  were done by picking 1ml of the sample into 9ml sterile distilled water. A 1ml aliquot from each of the dilution was inoculated on a Slanetz and Bartley Agar prepared on sterile Petri dishes and incubated at a temperature of 37°C for 4 hours to aid bacteria resuscitation. Incubation of the plates was done at a temperature of 44°C for a further 44 hours. All red, maroon and pink colonies that were smooth and convex were counted and recorded as faecal enterococci after the incubation.

### Faecal and Total Coliforms

Determination of the total and faecal coliforms in the samples was done using the Most Probable Number (MPN) method. In the Serial dilutions,  $10^{-1}$  and  $10^{-11}$  were prepared by picking 1ml of the sample into 9ml sterile distilled water. From each dilution, one millilitre aliquot was inoculated into 5ml of MacConkey Broth (1:5) with inverted Durham tubes and incubated at 35°C for total coliforms and 45°C for faecal coliforms for 18- 24 hours. Tubes with colour change from purple to yellow and gas collected in the Durham tubes after 24 hours were identified as positive for both total and faecal coliforms. Counts per 100ml were calculated from the appropriate Most Probable Number (MPN) tables.

## Results and Discussion

### Lateral Separation and Microbial Counts

None of the sites satisfies the Ministry of Water Resources, Works and Housing (MWRWH) of Ghana's (2010) guideline for lateral separation between a well and a pit latrine which is 50m (Table 1).

**Table 1:** Lateral Separation and the mean Microbial Counts (n=60)

Srl.	Location of Wells and Latrines	LS/m	<i>Log</i> <sub>10</sub> Geo mean counts/100ml		
			TC	FC	EC
1	C 62/4	6.0	2.62	1.62	1.90
2	D 77/3	18.4	2.62	1.36	1.60
3	D 382/3	19.2	2.37	1.62	1.95
4	D 369/3	20.0	2.96	1.62	2.18
5	D 156/3	15.8	2.62	1.62	2.15
6	D 306/3	11.6	3.46	2.62	2.41
7	78/3	7.0	2.62	1.62	1.78
8	C 31/3	19.8	2.37	1.96	1.85

9	D45/3	14.0	3.38	1.96	2.15
10	Nurses Qters A	22.9	1.46	1.36	1.16
11	Nurses Qters B	39.9	1.36	1.36	1.10
12	Susuanmu (A)	36.0	2.62	0.00	0.00
13	Susuanmu (B)	10.0	4.37	2.96	2.59
14	Saviour missionA	24.0	2.96	1.96	1.88
15	Saviour mission B	44.7	3.96	2.37	1.93

Town 1-11 is Duayaw Nkwanta, 12-13 is Techire, 14-15 is Techimamntia. LS = lateral separation, TC = total coliform, FC = faecal coliform, EC = enterococci.

Water samples taken from the various sample sites display varying levels of bacterial counts (Table 1). The presence of these organisms in the wells has the potential to subject the people living in this vicinity to a lot of gastroenteritis. This is supported by (Loyola *et al.*, 2020; Maramraj *et al.*, 2020; Fakhr *et al.*, 2016) that faecal contamination of drinking water is a frequent problem which accounts for many cases of diarrhoea. This may explain the reports gathered from the Tano North District Health Directorate (2011) in Awuah (2012) indicating that many people in the Districts complain of typhoid and other diarrhoea related diseases.

### Microbial Counts and Lateral Separation

**Table 2:** Comparison of means of microbial counts in relation to lateral distance

LS/m	Frequency	$Log_{10}$ Geo mean counts/100ml		
		TC	FC	EC
1 - 10	3	3.20(1.01)	2.07(0.77)	2.06(0.47)
11 - 20	7	2.87(0.41)	1.82(0.41)	2.04(0.26)
>20	5	2.47(1.08)	1.41(0.90)	1.21(0.78)
Pr	Not applicable	0.454	0.394	0.042

TC = total coliform, FC = faecal coliform, EC = enterococci.

The results obtained in Table2 show that lateral distances between pit latrines and water sources (borehole/well) do not have much influence on the total and faecal coliform counts of the water ( $p>0.05$ ). It is seen that the



average total coliform counts of log 3.20, 2.87 and 2.47 were recorded for lateral distances between 1-10, 11-20 and > 20 meters respectively. These differences were not statistically significant ( $p > 0.05$ ). A similar trend was observed for faecal coliforms with average counts of log 2.07, 1.82 and 1.41 for lateral distance ranges of 1-10, 11-20 and > 20 meters respectively. The differences between the counts were not statistically significant ( $P > 0.05$ ). There might be other sources of the total and the faecal coliforms such as open defecation, poultry droppings other than the pit latrines contaminating the groundwater resources.

For enterococci, the average counts recorded for the ranges of lateral distances, 1-10, 11-20 and > 20 meters were log 2.06, 2.04 and 1.21 respectively. Statistically, the differences between the enterococci counts were significant ( $P < 0.05$ ). The enterococci might be a better human faecal indicator than the other coliforms considered in this study. The Total and faecal coliforms can readily be isolated in tropical waters from areas far removed from human activity and thus are not adequate indicators of faecal contamination and human health risks. Enterococci enable a better assessment of faecal contamination and public health risks. Enterococci are found in high concentrations in human faeces. Fattal *et al.* (1987), to determine the organism that can indicate faecal contamination stated that, of the indicators (faecal coliform, enterococci and *Escherichia coli*), enterococci were the most predictive indicator for enteric disease symptoms. In the Words of Kay *et al.* (1994), comparing the faecal indicators (total coliform, faecal coliform and enterococci), enterococci are the best indicators of gastrointestinal symptoms. The enterococci might, therefore, be better faecal determinant than the total and faecal coliforms.

In a study to compare enterococci, *E. coli* and faecal coliform as faecal indicators, Jin *et al.* (2004) indicated that enterococci might be a more stable indicator than *E. coli* and faecal coliform.

In general, it was observed that water samples which were close to the pit latrines had higher bacterial counts than those that are distant from them (Tables 2).

Water from Susuanmu (B) has the highest total coliforms compared to the other suburbs. The lateral distance separating the pit latrine and the well is 10 m. The lowest total coliform count was recorded in the suburb of Nurses. The lateral distance between pit latrine and the water source in this suburb is 39.9 m.

Sudgen (2006) found that the greater the horizontal distance the pathogen had to travel from point of entry into the water table to the water point, the longer it is retained and the higher the probability that the pathogen will die. In short, he stated that the greater the distance between the latrine and the water point, the lower the risk of contamination. Again, Sudgen (2006)

explains that, if the time taken for a pathogen to be transferred to the water point is large, the pathogen would have died off and that, the water would no longer be a threat to public health.

Kimani-Murage and Ngidu (2007), highlighted in an explanation of the impact of the proximity of a pit latrine to a well that, where the distance between well and pit latrine is not adequate, micro-organisms can migrate from the latrine to the water.

### **Conclusion:**

It can be concluded from this research that pit latrine groundwater contamination increases with decreasing lateral separation between the pit latrines and the wells and decreases with increasing the horizontal distance between the wells and the pit latrines in the study area. It was also revealed from this study that there might be other sources of groundwater contamination apart from the wells in this area studied. Enterococci seemed to be a better human faecal indicator than total and faecal coliforms.

It is therefore recommended to the Tano District Assemblies that, there must be strict enforcement of the MWRWH (2010) 50m guideline for lateral separation between a well and a pit latrine in the area studied. Future research is to be conducted to find the other sources of groundwater faecal contamination apart from the pit latrines in the Tano Districts. Also in an attempt to determine faecal contamination, precedence must be given to enterococci as a human faecal indicator than the other coliforms.

### **Acknowledgement**

Glory be unto the Almighty God for great thing He has done by bringing us to this far in this paper. We wish to also express our profound gratitude to a brother and Colleague, Dr Samuel Appah for being there for us anytime we called on him for assistance. We wish to appreciate Mrs Joyce Awuah and the whole of Awuah's family for their unwavering support throughout the time for this study.

### **References:**

1. Abdukadir, R. S., Mahmoud, A. M., Adnan, A., Shamsuddeen, U., Adamu, R. T., & Yunusa, I. (2015). Effect of pit latrine leaks on shallow well water. *Int. J. Microb. Appl*, 1(5), 46-51
2. Archives: District Health Directorate (2007,2008,2009,2010,2011), Diarrhoea related diseases, Tano North District, Brong Ahafo Region, Ghana
3. Austin, J. H. (1998). *Zen and the brain: Toward an understanding of meditation and consciousness*. Cambridge, MA: MIT Press.

4. Awuah, F. (2012). Impact of Pit Latrines on Groundwater in Some Selected Towns in the Tano Districts (Master's dissertation).
5. Bartram, J., Cotruvo J., Exner M., Fricker, C., and Glasmacher, A. (2003), Heterotrophic Plate Counts and Drinking-Water Safety, the Significance of HPCs for Water Quality and Human Health. IWA Publishing, London.
6. Boehm, A. B., & Sassoubre, L. M. (2014). Enterococci as indicators of environmental fecal contamination. In *Enterococci: From Commensals to Leading Causes of Drug Resistant Infection* [Internet]. Massachusetts Eye and Ear Infirmary.
7. Calarco, M., & Atterton, P. (2009). *Animal philosophy: Essential readings in continental thought*. New York, NY: Continuum.
8. Chen, J. Q. (2003). Intelligence: Multiple intelligences. In J. Guthrie (Ed.), *Encyclopedia of education* (pp. 1198-1201). New York, NY: Macmillan.
9. Clancy, T., Stiner, C., & Koltz, T. (2002). *Shadow warriors: Inside the special forces*. New York, NY: Putnam
10. Díaz-Alcaide, S., & Martínez-Santos, P. (2019). Mapping fecal pollution in rural groundwater supplies by means of artificial intelligence classifiers. *Journal of Hydrology*, 577, 124006.
11. Fakhr, A. E., Gohar, M. K., & Atta, A. H. (2016). Impact of some ecological factors on fecal contamination of drinking water by diarrheagenic antibiotic-resistant *Escherichia coli* in Zagazig City, Egypt. *International journal of microbiology*, 2016.
12. Fattal, B., E. Peleg-Olevsky, T. Agursky, and H.I. Shuval. 1987. The association between seawater pollution as measured by bacterial indicators and morbidity among bathers at Mediterranean bathing beaches of Israel. *Chemosphere* 16:565-570.
13. Ferrer, N., Folch, A., Masó, G., Sanchez, S., & Sanchez-Vila, X. (2020). What are the main factors influencing the presence of faecal bacteria pollution in groundwater systems in developing countries?. *Journal of contaminant hydrology*, 228, 103556.
14. Graham, J. P., & Polizzotto, M. L. (2013). Pit latrines and their impacts on groundwater quality: a systematic review. *Environmental health perspectives*, 121(5), 521-530.
15. Houéménou, H., Tweed, S., Dobigny, G., Mama, D., Alassane, A., Silmer, R., ... & Socohou, A. (2020). Degradation of groundwater quality in expanding cities in West Africa. A case study of the unregulated shallow aquifer in Cotonou. *Journal of Hydrology*, 582, 124438.
16. Jin, G., Englande, A. J., Bradford, H., & Jeng, H. W. (2004). Comparison of *E. coli*, enterococci, and fecal coliform as indicators for

- brackish water quality assessment. *Water environment research*, 76(3), 245-255.
17. Kay, D., J.M. Fleisher, R.L. Salmon, F. Jones, M.D. Wyer, A.F. Godfree, Z. Zelenauch-Jacqotte, and R. Shore. 1994. Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing: Results from randomised exposure. *The Lancet* 344(October 1):905-909.
  18. Kimani-Murage, E. W., & Ngindu, A. M. (2007). Quality of water the slum dwellers use: the case of a Kenyan slum. *Journal of Urban Health*, 84(6), 829-838.
  19. Loyola, S., Sanchez, J. F., Maguiña, E., Canal, E., Castillo, R., Bernal, M., ... & Lescano, A. G. (2020). Fecal Contamination of Drinking Water Was Associated with Diarrheal Pathogen Carriage among Children Younger than 5 Years in Three Peruvian Rural Communities. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, tpm190337.
  20. Maramraj, K. K., Subbalakshmi, G., Ali, M. S., Dikid, T., Yadav, R., Sodha, S. V., ... & Singh, S. K. (2020). A community-wide acute diarrheal disease outbreak associated with drinking contaminated water from shallow bore-wells in a tribal village, India, 2017. *BMC Public Health*, 20(1), 1-8.
  21. MWRWH(2010) , Small Towns Sector Guidelines. Ghana Community Water and Sanitation Agency.PP 7.
  22. Naser, A. M., Doza, S., Rahman, M., Ahmed, K. M., Gazi, M. S., Alam, G. R., ... & Ercumen, A. (2019). Sand Barriers around Latrine Pits Reduce Fecal Bacterial Leaching into Shallow Groundwater: A Randomized Controlled Trial in Coastal Bangladesh. *Environmental science & technology*, 53(4), 2105-2113.
  23. Nawab, B., Esser, K. B., & Baig, S. A. (2017). Impact of pit latrines on drinking water contaminations in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Environmental Forensics*, 18(4), 296-306.
  24. Ndoziya, A. T., Hoko, Z., & Gumindoga, W. (2019). Assessment of the impact of pit latrines on groundwater contamination in Hopley Settlement, Harare, Zimbabwe. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 9(3), 464-476.
  25. Ngasala, T. M., Masten, S. J., & Phanikumar, M. S. (2019). Impact of domestic wells and hydrogeologic setting on water quality in peri-urban Dar es Salaam, Tanzania. *Science of the total environment*, 686, 1238-1250.
  26. Nyenje, P. M., Foppen, J. W., Kulabako, R., Muwanga, A., & Uhlenbrook, S. (2013). Nutrient pollution in shallow aquifers underlying pit latrines and domestic solid waste dumps in urban slums. *Journal of environmental management*, 122, 15-24.

27. Petrisor, I. G. (2012). Emerging Environmental Forensics Applications and Case Studies: Review of Environmental Forensics—Proceedings of the 2011 INEF Conference.
28. Pujari, P. R., Padmakar, C., Labhasetwar, P. K., Mahore, P., & Ganguly, A. K. (2012). Assessment of the impact of on-site sanitation systems on groundwater pollution in two diverse geological settings—a case study from India. *Environmental monitoring and assessment*, 184(1), 251-263.
29. Rao, S. M., Mogili, N. V., & Arkenadan, L. (2020). Role of evaporation in NH<sub>4</sub>-N transformations in soils artificially contaminated with blackwater. *Water Supply*, 20(1), 165-172.
30. Rao, S. M., Sekhar, M., & Rao, P. R. (2013). Impact of pit-toilet leachate on groundwater chemistry and role of vadose zone in removal of nitrate and *E. coli* pollutants in Kolar District, Karnataka, India. *Environmental earth sciences*, 68(4), 927-938.
31. Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., & Chorus, I. (Eds.). (2006). *Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources*. World Health Organization.
32. Sugden S., (2006), *The Microbiological Contamination Of Water Supplies, Sandy Cairncross; Well Factsheet*. Retrieved from <https://www.lboro.ac.uk/research/wedc/well/water-supply/ws-factsheets/microbiological-contamination/>
33. WHO (2011), *Guideline for Drinking Water Quality. Recommendations*, 4th. Ed. World Health Organization, Geneva; Retrieved on 02/02/2020 from [www.iasaude.pt/attachments/article/660/WHO\\_Guidelines%20for%20drinking-water%20quality.pdf](http://www.iasaude.pt/attachments/article/660/WHO_Guidelines%20for%20drinking-water%20quality.pdf)
34. World Health Organization (2010), *Guidelines for Drinking Water Quality. Revision of the 1984 Guidelines*. Final Task Group Meeting, Geneva.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Kouame Koffi Félix,  
Assi Kaudjhis Chimène,**

(Enseignant – Chercheur)  
Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation  
de la Biodiversité / UFR Biosciences / Université  
Félix Houphouët-Boigny

**Coulibaly Kiyinlma,**

(Enseignant – Chercheur)  
Département de Biologie Végétale / UFR des  
Sciences Biologiques / Université Péléforo Gon  
Coulibaly

**Kassi N'dja Justin,**

(Enseignant – Chercheur)  
Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation  
de la Biodiversité / UFR Biosciences / Université  
Félix Houphouët-Boigny

---

Submitted: 28 August 2020  
Accepted: 17 November 2020  
Published: 30 November 2020

Corresponding author:  
*Assi Kaudjhis Chimène*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p315](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p315)

 Copyright 2020 Felix et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCESS

---

Cite as:  
Félix K, Chimène A, Kiyinlma C, Justin K (2020).  
Inventaire Et Identification Des Plantes Melliferes  
De La Zone Guineenne : Cas De La Foret Yapi  
Daniel Et Extension (Sud De La Cote D'ivoire)  
*European Scientific Journal, ESJ, 16 (33), 315.*  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p315>

---

**Inventaire Et Identification Des  
Plantes Melliferes De La Zone  
Guineenne : Cas De La Foret  
Yapi Daniel Et Extension (Sud  
De La Cote D'ivoire)**

---

**Résumé**

Dans le cadre des études de classement de la forêt Yapi Daniel en réserve naturelle, une étude sur sa flore mellifère et ses environs a été réalisée. Les plantes mellifères ont été identifiées par observation directe dans des placettes de 1600 m<sup>2</sup> installées de manière aléatoire dans la forêt et par des relevés itinérants dans un rayon d'un kilomètre autour du rucher. Au total, quarante-huit (48) plantes mellifères ont été inventoriées, dont 35 répertoriées dans la forêt avec un taux de sélection de 13,20% des 265 plantes à fleurs de la forêt. Ces plantes se répartissent en 43 genres et 19 familles botaniques. Les Malvaceae, les Fabaceae, les Combretaceae et les Moraceae sont les plus fournies en espèces. 85,41% sont des plantes spontanées composées d'arbres et d'arbustes (77,08%), qui fleurissent majoritairement (60,41%) pendant la saison des pluies (Avril-Juillet; Octobre-Novembre) et dont près de la moitié (44%) sont butinées pour le nectar.

---

**Subject:** Sciences Naturelles

**Keywords:** Plantes mellifères, Relevés itinérants, Placettes, Rucher, Réserve naturelle

## **Inventory And Identification Of Melliferous Plants In The Guinean Zone: Case Of The Yapi Daniel Forest And Extension (South Of The Ivory Coast)**

***Kouame Koffi Félix,  
Assi Kaudjhis Chimène,***

(Enseignant – Chercheur)

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité / UFR  
Biosciences / Université Félix Houphouët-Boigny

***Coulibaly Kiyinlma,***

(Enseignant – Chercheur)

Département de Biologie Végétale / UFR des Sciences Biologiques /  
Université Péléforo Gon Coulibaly

***Kassi N'dja Justin,***

(Enseignant – Chercheur)

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité / UFR  
Biosciences / Université Félix Houphouët-Boigny

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p315](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p315)

---

### **Abstract**

Within the framework of the studies for the classification of the Yapi Daniel forest as a nature reserve, a study on its honey-bearing flora and its surroundings has been carried out. Melliferous plants were identified by direct observation in plots of 1600 m<sup>2</sup> installed randomly in the forest and by itinerant surveys in a radius of one kilometer around the apiary. A total of forty-eight (48) honey plants were inventoried, 35 of which were found in the forest with a selection rate of 13.20% of the 265 flowering plants in the forest. These plants are divided into 43 genera and 19 botanical families. Malvaceae, Fabaceae, Combretaceae and Moraceae are the most abundant in species. 85.41% are spontaneous plants composed of trees and shrubs (77.08%), which flower mostly (60.41%) during the rainy season (April-July; October-November) and almost half (44%) are collected for nectar.

---

**Keywords:** Melliferous plants, Travelling surveys, Plots, Apiary, Nature reserve

## **Introduction**

Les plantes jouent un rôle majeur dans l'écosystème terrestre, car elles constituent une part essentielle de la biosphère (Yenon *et al.*, 2018). Les plantes en intégrant le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par la photosynthèse entraînent sa réduction dans l'atmosphère, de plus elles sont une source d'aliment et de médicament pour les êtres vivants. Elles représentent également, la matière première des abeilles. En effet, elles prélèvent entre autres, le nectar et le pollen pour élaborer les produits de la ruche. Selon Kombo (1989), l'apiculture est l'élevage des abeilles en vue de produire le miel, la cire, le pollen, la gelée royale. Cette science dépend du climat et surtout des plantes mellifères car les abeilles opèrent une véritable sélection des espèces végétales. La flore mellifère est l'ensemble des espèces végétales qui permet aux abeilles de produire les éléments de la ruche. Selon Dongock *et al.* (2008), les plantes mellifères sont des plantes sur lesquelles les abeilles prélèvent le nectar et le pollen pour se nourrir et élaborer leurs productions diverses. Pour contribuer au développement de l'apiculture il est important de connaître la flore mellifère.

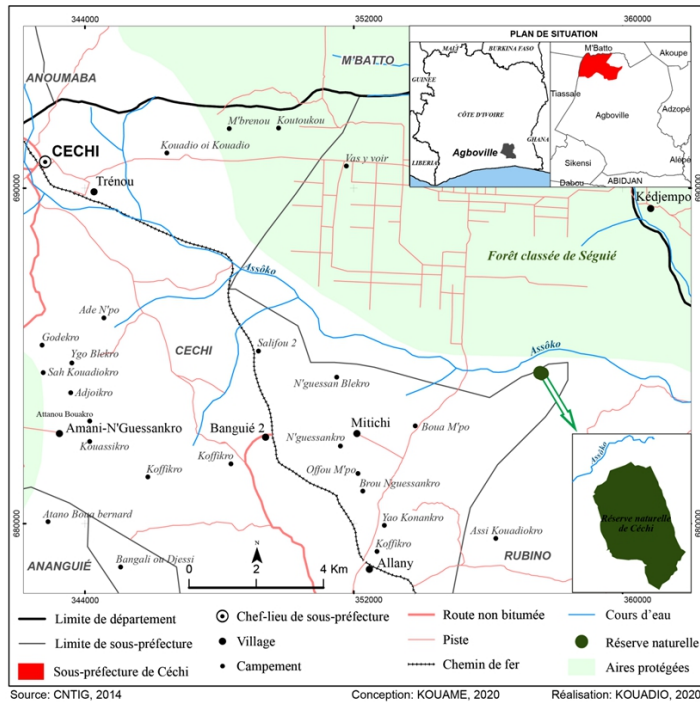
La Côte d'Ivoire à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, a une longue tradition apicole (Yedomonhan *et al.*, 2009; Iritié *et al.*, 2014). Cependant sa flore mellifère reste peu étudiée (Iritié *et al.*, 2014 ; Coulibaly *et al.*, 2019 ; Kouassi *et al.*, 2019) et les données générées ne concernent que la végétation du Centre et du Nord. Par contre, il n'existe pas d'informations relatives à la flore mellifère de la zone guinéenne. Or, sur un total de 3853 espèces de plantes répertoriées en Côte d'Ivoire, 90% sont essentiellement forestières (Aké-Assi, 2002 ; Kouamé *et al.*, 2010). Le Sud forestier pourrait contenir un grand nombre de plantes mellifères et être propice à l'apiculture. La présente étude est une contribution à la connaissance de la flore mellifère du Sud forestier ivoirien.

## **Methode D'étude**

### **Milieu D'étude**

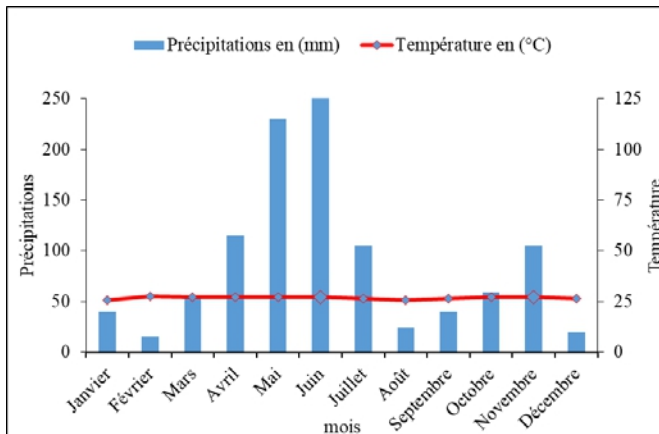
L'étude a été effectuée dans la Réserve naturelle de monsieur Yapi Daniel désignée dans cette étude par la forêt Yapi Daniel. D'une superficie de 50 hectares de coordonnées 6° 11' 44 02" - 6° 11' 45 3" de latitude Nord et 4° 17' 22 45" - 4° 17' 25 34" de longitude Ouest (Figure 1), elle est située dans la Sous-préfecture de Céchi, du département d'Agboville dans le Sud forestier de la Côte d'Ivoire.





**Figure 1:** Carte de localisation du site d'étude : Réserve naturelle appartenant à monsieur Yapi Daniel (Forêt Yapi Daniel)

Le climat de la région du site d'étude est de type guinéen (Aubréville, 1958), caractérisé par quatre saisons, deux saisons sèches (Décembre à Mars et Août à Septembre) et deux saisons pluvieuses (Avril à Juillet et Octobre à Novembre) (Figure 2). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1585,35 mm et une température moyenne annuelle de 26,72°C (SAB, 2017).



**Figure 2:** Diagramme ombrothermique de la région de l'Agneby-Tiassa (SAB, 2017)

Les sols sont de deux grands types, ferrallitiques et hydromorphes (Kouadio, 1992). La forêt étudiée est une forêt dense humide semi-décidue caractérisée par *Celtis* spp et *Triplochiton scleroxylon* (Guillaumet et Adjanohoun, 1971).

La faune de la forêt est impressionnante et diversifiée, composée de chauve-souris, de nombreux petits rongeurs et insectivores (Brou, 2018 ; Diomandé, 2018) et d'autres types de mammifères, d'oiseaux, de reptiles, et d'insectes notamment des abeilles mellifères.

La population de la Sous-préfecture de Céci ainsi que celles des villages et campements est estimée à 22.779 habitants (INS, 2014). Les Abbey et les Krobou sont les peuples autochtones. Les migrants sont originaires des autres régions de la Côte d'Ivoire et des pays frontaliers. La population pratique l'agriculture et le commerce.

### **Collecte et analyse des données**

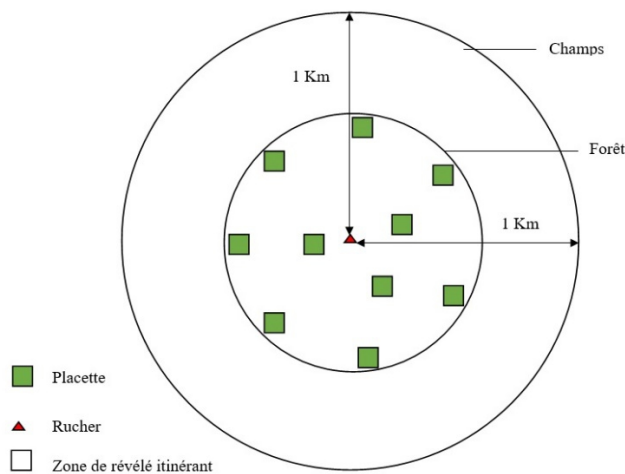
Les plantes dont les fleurs sont butinées par les abeilles, pour une durée d'au moins 3 minutes (Iritié *et al.*, 2014) et celles dont les fruits sont affectionnés par les abeilles pour leur jus sucré (Nombré, 2003 ; Ahouandjinou *et al.*, 2017 ; Coulibaly *et al.*, 2019), ont été recensées comme plantes mellifères. L'observation s'est faite directement à l'intérieur des placettes d'une superficie de 40 m x 40 m (soit 1600 m<sup>2</sup>), installées de manière aléatoire (Badou et Yedomonhan, 2017) dans la forêt et par des relevés itinérants entre les placettes et dans les champs aux alentours de la forêt. Elle s'est déroulée sur une distance de 1 Km autour du rucher suivant l'aire de butinage des abeilles mellifères (Figure 3). Cette distance d'observation est couramment utilisée par des auteurs pour identifier les plantes mellifères, car très peu de plantes sont butinées par les abeilles au-delà d'un rayon de 1 km autour du rucher (Yedomonhan, 2004 ; Tossou *et al.*, 2005 ; Ahouandjinou *et al.*, 2017). Les observations ont été faites sur une année, à l'œil nu ou avec des jumelles pour l'ensemble des plantes mellifères. Ceux-ci regroupent les plantes pollinifères, nectarifères, et nectaro-pollinifères ainsi que celles qui produisent du jus sucré seulement ou associé au nectar. Les abeilles viennent sur les fleurs et repartent avec du pollen dans leurs corbeilles à pollen situées sur la paire de pattes postérieures et/ou du nectar qu'elles prélèvent en profondeur à la base des corolles. Lorsque l'abeille repart avec du pollen, la plante est dite pollinifère. La plante est nectarifère dans le cas où l'abeille prélève le nectar. Les plantes produisant des fruits sucrés dont le jus sucré est prélevé par l'abeille, ont été également identifiées.

Un entretien semi-structuré auprès des gardiens de la forêt et des cueilleurs de miel a été effectué afin de compléter la liste des plantes mellifères. Les échantillons (tige, feuilles, fleurs et fruits) ont été prélevés et

les photographies de plantes méconnues, ont été faites pour leur identification au laboratoire.

Les données collectées ont été organisées en trois ensembles. D'abord, les types morphologiques, les types de nutriment récolté par les abeilles, le degré de domestication (plante spontanée ou non) et les mois de floraison des plantes mellifères ont été notés. Ensuite, la classe de durée de floraison et la classe d'intensité de butinage ont été relevées selon Yedomonhan *et al.* (2009) et Coulibaly *et al.* (2019). Enfin, la fréquence et la constance de butinage, l'affluence des abeilles, ainsi que la durée de floraison des plantes de la réserve, ont permis de déterminer trois types d'intensité de butinage des fleurs des plantes mellifères. Les fleurs intensément butinées (+++) sont celles qui sont fréquentées par un grand nombre d'abeilles et durant toute leur période de floraison. Les fleurs moyennement butinées (++) sont celles attirant un grand nombre d'abeilles en début de floraison et qui sont vite abandonnées par celles-ci quel que soit leur durée de floraison. Lorsque pendant la floraison, l'affluence des abeilles sur des fleurs est moins élevée comparée aux deux précédentes, les fleurs sont classées dans la catégorie faiblement butinées (+).

Les noms des espèces mellifères sont actualisés grâce aux travaux de Lebrun et Stork (1991-1997), la nomenclature de classification est celle de l'APGIV (2016).



**Figure 3:** Schéma récapitulatif des relevés floristiques autour du rucher

## Resultats

### Composition floristique et diversité de plantes mellifères

265 plantes à fleurs ont été inventoriées pour la forêt Yapi Daniel. Quarante-huit (48) espèces mellifères ont été recensées pour l'ensemble de la dite forêt et extension. 35 (soit 72,91%) de ces espèces sont issues de la forêt étudiée, ce qui représente 13,20% du total des plantes à fleurs capitulées.

Les plantes mellifères se répartissent en 43 genres regroupés au sein de 19 familles botaniques. La famille la plus représentative en nombre d'espèces et la plus diversifiée en genre est celle des Malvaceae avec 9 espèces soit (18,75%) des plantes mellifères identifiées, ce sont : *Bombax buonopozense* P. Beauv. , *Ceiba pentandra* (L.) Gareth, *Cola cordifolia* R. Br. , *Mansonia altissima* (A. Chev.) A. Chev. var *altissima*, *Pterygota macrocarpa* K. Schum, *Sterculia oblonga* Mast. , *Sterculia rhinopetala* K. Schum, *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. , et *Theobroma cacao* L. Les autres familles de plantes mellifères, sont citées par ordre décroissant en fonction du nombre d'espèces végétales qu'elles renferment. La famille des Fabaceae (6 espèces soit 12,5%), les Combretaceae et les Moraceae avec 4 espèces chacune (soit 8,33%), les Apocynaceae, les Euphorbiaceae, les Rubiaceae, les Sapindaceae et les Poaceae avec 3 espèces chacune (soit 6,25%), les Anacardiaceae 2 espèces (soit 4,16%). Les familles les moins riches en espèces sont les Asteraceae, les Commelinaceae, les Connaraceae, les Meliaceae, les Arecaceae, les Cucurbitaceae, les Lamiaceae et les Nyctaginaceae avec 1 espèce (soit 2,083%).

La plupart des espèces mellifères identifiées ont au moins deux mois de floraison dans l'année. Seule *Ficus exasperata* Vahl. (Moraceae) a annuellement moins de deux mois de floraison.

Le tableau 1 en annexe présente les espèces mellifères de la forêt étudiée et ses alentours suivant l'aire de butinage des abeilles mellifères, leur famille botanique, le type biologique, le type de nutriment récolté par les abeilles mellifères, le degré de domestication, la classe de durée de floraison, la classe d'intensité de butinage et les mois de floraison.

### **Répartition des espèces mellifères en fonction du type morphologique**

Pour ce qui concerne les types morphologiques des plantes mellifères, les arbres dominent avec 24 espèces (soit 50%) (Figure 4). Les arbustes suivent avec 13 espèces (soit 27,08%). Les herbes et les lianes ligneuses occupent la dernière place avec 8 espèces d'herbes (soit 16,66%) et 3 espèces de lianes ligneuses (soit 6,25%), ce sont : *Oncinotis gracilis* Stapf. (Apocynaceae), *Combretum paniculatum* Vent. (Combretaceae) et *Combretum racemosum* P. Beauv. (Combretaceae).

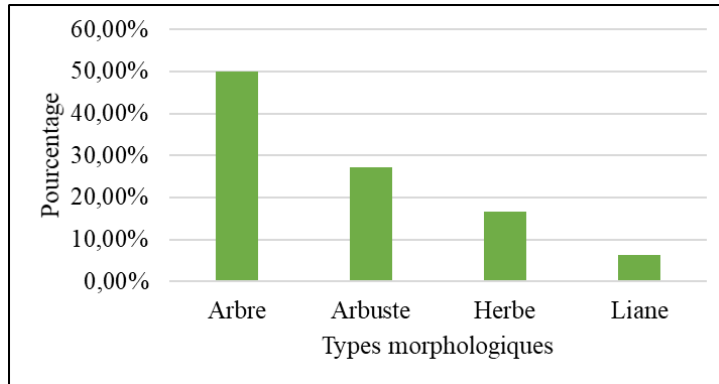


Figure 4 : Histogramme de répartition morphologique des espèces mellifère

### Répartition des espèces mellifères en fonction des nutriments prélevés par les abeilles

Les plantes nectarifères sont au nombre de 21 espèces (soit 44%). Les espèces nectaro-pollinifères sont constituées de 14 espèces (soit 29%). Les espèces pollinifères sont représentées par 10 espèces (soit 21%). Deux espèces (soit 4%) sont productrices de jus sucré et de nectar et seule 1 espèce est productrice de jus sucré (*Theobroma cacao* L.) soit 2% (Figure 5). Des images de quelques plantes nectarifères, pollinifères et productrices de jus sucré de la zone d'étude sont présentées à la figure 7.

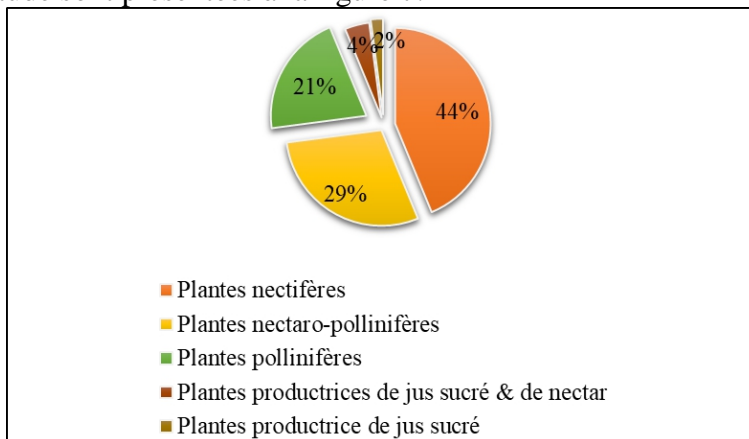
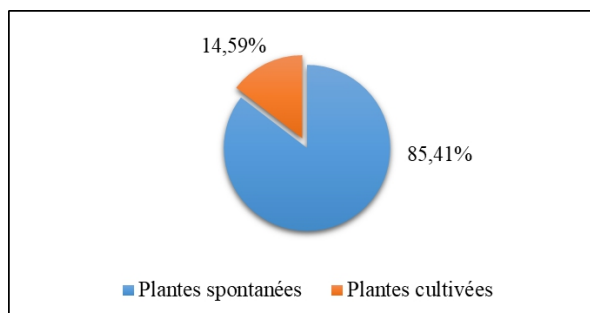


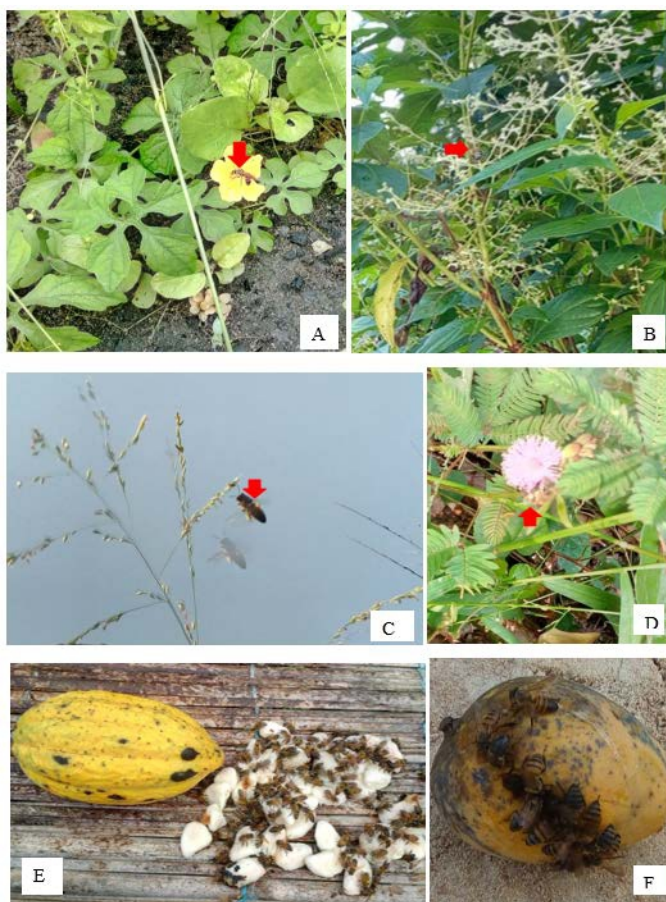
Figure 5: Spectre de répartition des plantes mellifères selon les nutriments prélevés par les abeilles mellifères

### Répartition des espèces mellifères en fonction du degré de domestication

La plupart des plantes mellifères inventoriées sont des plantes spontanées et 14,59% sont des plantes cultivées (Figure 6).



**Figure 6 :** Spectre de répartition des plantes mellifères selon le degré de domestication



A : récolte de nectar par une abeille dans une fleur de *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae), B : récolte de nectar par une abeille sur des fleurs d'*Hoslundia opposita* Vahl. (Lamiaceae), C : récolte de pollen par une abeille sur les inflorescences de *Panicum maximum* Jacq. (Poaceae), D : récolte de pollen par une abeille sur une fleur *Mimosa pudica* L. (Fabaceae), E : récolte de jus sucré par des abeilles sur des fèves de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), F : récolte de jus sucré par des abeilles sur un fruit de *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae)

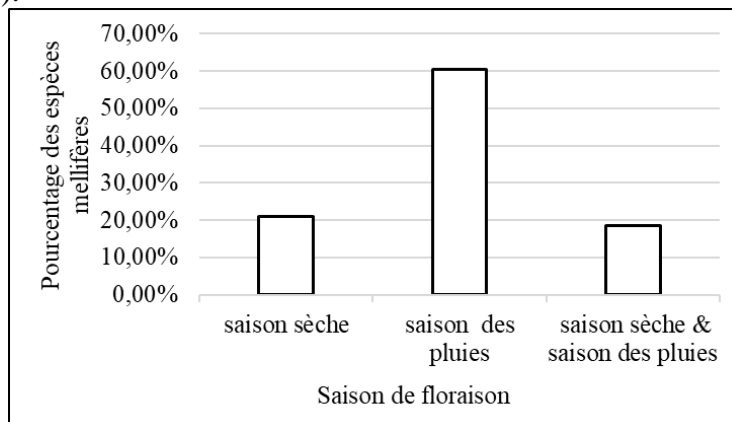
**Figure 7 :** Quelques plantes nectarifères, pollinifères et productrices de jus sucré de la zone d'étude

## Disponibilité des plantes mellifères durant l'année

En fonction des saisons, on distingue trois groupes de plantes mellifères (Figure 8). Celles qui fleurissent pendant les mois secs de la zone d'étude (saison sèche), sont au nombre de 10, soit 21%. Ces espèces regroupent des plantes nectarifères (6 espèces), des plantes pollinifères (1 espèce), des plantes nectaro-pollinifères (2 espèces) et des plantes productrices de nectar et de jus sucré (1 espèce). Ce sont *Albizia zygia* (DC) J. F. Macbr. (Fabaceae), *Blighia sapida* Koenig. (Sapindaceae), *Blighia unijugata* Bak. (Sapindaceae), *Bombax buonopozense* P. Beauv. (Malvaceae), *Ceiba pentandra* (L) Gaerth. (Malvaceae), *Chromolaena odorata* (L.)R.M. King & H. Rob. (Asteraceae), *Combretum paniculatum* Vent. (Combretaceae), *Combretum racemosum* P. Beauv. (Combretaceae), *Ficus exasperata* Vahl. (Moraceae) et *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae).

Le deuxième groupe contient le plus nombre de plantes mellifères. Il s'agit des plantes fleurissant pendant les mois les plus humides de la région (saison des pluies). Il compte 29 espèces (soit 60,41%). On distingue 11 espèces nectarifères, 7 espèces pollinifères, 10 espèces nectaro-pollinifères et 1 espèce productrice de jus sucré et de nectar.

Le troisième groupe est celui des plantes fleurissant à la fois pendant les saisons pluvieuses et sèches de la zone. Elles sont les moins nombreuses en nombre d'espèces, on dénombre 9 au total (soit 18,59%), dont 5 espèces nectarifères, 2 espèces pollinifères, 1 espèce nectaro-pollinifère et 1 espèce productrice de jus sucré. Ce sont *Commelina diffusa* Burm. f. Subsp. Diffusa (Commelinaceae), *Elaeis guineensis* Jacq. (Arecaceae), *Ficus sur* Forssk. (Moraceae), *Keetia hispida* (Benth.) Bridson. (Rubiaceae), *Paullinia pinnata* L. (Sapindaceae), *Pavetta corymbosa* (DC) F. N. Willams var. *Corymbosa* (Rubiaceae), *Rauvolfia vomitoria* Afzel. (Apocynaceae), *Ricinodendron heudelotii* (Baill). Pierre ex Heckel (Euphorbiaceae) et *Theobroma cacao* L. (Malvaceae).



**Figure 8:** Histogramme de répartition des espèces mellifères en fonction des saisons de floraison

Tous ces trois groupes de plantes mellifères renferment en leur sein, des espèces intensément butinées, des espèces moyennement butinées et des espèces faiblement butinées, qui constituent une source de nutriment disponible pour les abeilles mellifères tout le long de l'année. Le tableau 2 présente les trois groupes d'espèces mellifères selon les saisons et les types de nutriment disponible pour les abeilles.

**Tableau 2 :** Répartition des plantes mellifères selon les saisons de l'année

Saisons de floraison	Espèces végétales	ND
Saison sèche	1 <i>Albizia zygia</i> (DC.) J. F. Macbr	N
	2 <i>Blighia sapida</i> Koenig	N
	3 <i>Blighia unijugata</i> Bak.	N
	4 <i>Bombax buonopozense</i> P. Beauv.	N P
	5 <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth.	N P
	6 <i>Chromolaena odorata</i> (L.) R. M. King & H. Rob.	P
	7 <i>Combretum paniculatum</i> Vent.	N
	8 <i>Combretum racemosum</i> P. Beauv.	N
	9 <i>Ficus exasperata</i> Vahl	N
	10 <i>Mangifera indica</i> L.	N Js

**Tableau 2 :** Répartition des plantes mellifères selon les saisons de l'année (suite et fin)

Saison pluvieuse	1 <i>Alstonia boonei</i> De Wild.	N P
	2 <i>Baphia nitida</i> Lodd.	N
	3 <i>Boerhavia diffusa</i> L.	N
	4 <i>Cnestis ferruginea</i> Vahl ex DC.	N P
	5 <i>Cola cordifolia</i> (Cav.) R. Br.	N
	6 <i>Dialium guineense</i> Willd.	N
	7 <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaerth	P
	8 <i>Entandrophragma utilis</i> (Dawe & Sprag.) Sprague	N P
	9 <i>Hoslundia opposita</i> Vahl.	N
	10 <i>Mallotus oppositifolius</i> (Geiseler) Müll. Arg	P
	11 <i>Manihot esculenta</i> Crantz.	N P
	12 <i>Mansonia altissima</i> (A. Chev.) A. Chev. var. <i>altissima</i>	P
	13 <i>Milicia excelsa</i> (Welw.) Benth.	N P
	14 <i>Mimosa pudica</i> L.	P
	15 <i>Momordica charantia</i> L.	N P
	16 <i>Morus mesozygia</i> Staph ex A.Chev.	N P
	17 <i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. et Th. Dur.) Merrill.	N P
	18 <i>Oncinotis gracilis</i> Stapf.	N
	19 <i>Panicum maximum</i> Jacq.	P
	20 <i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook.f.) Brenan	N P
	21 <i>Pterygota macrocarpa</i> K. Schum.	N
	22 <i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin et Barneby	N



	23 <i>Spondias mombin</i> L.	N Js
	24 <i>Sterculia oblonga</i> Mast.	N
	25 <i>Sterculia rhinopetala</i> K. Schumann	N
	26 <i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	N P
	27 <i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	N
	28 <i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	P
	29 <i>Zea mays</i> L.	P
Saison sèche & pluvieuse	1 <i>Commelina diffusa</i> Burm. f. Subsp. <i>diffusa</i>	N P
	2 <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	P
	3 <i>Ficus sur</i> Forssk.	N
	4 <i>Keetia hispida</i> (Benth.) Bridson	N
	5 <i>Paullinia pinnata</i> L.	N
	6 <i>Pavetta corymbosa</i> (DC.) F. N. Willams var. <i>corymbosa</i>	N
	7 <i>Rauvolfia vomitoria</i> Afzel.	N
	8 <i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre ex Heckel	P
	9 <i>Theobroma cacao</i> L.	Js

ND : Nutriment disponible (N : Nectar, P : Pollen, Js : Jus sucré)

## Discussion

Quarante-huit (48) espèces de plantes mellifères ont été identifiées pour l'ensemble de la forêt et ses environs, dont 35 répertoriées dans la forêt soit un taux de sélection de 13,25% des 265 plantes à fleur de la forêt. Les espèces mellifères inventoriées dans la zone d'étude (48) sont plus importants en nombre que celles inventoriées à Zaria au Nord du Nigeria (28 espèces), selon Mbah et Amao (2009) et au Sud-Ouest du Nigeria (40 espèces), selon Omoloye et Akinsola (2006). Ce nombre d'espèces est intéressant pour l'apiculture dans la zone, car sur un total de 4500 plantes à fleur inventoriées en France et en Europe seule 10% d'entre-elles sont butinées par les abeilles mellifères (Silberfeld *et al.*, 2016). Cependant, il est inférieur à celles inventoriées par Iritié *et al.* (2014) (160 espèces), Coulibaly *et al.* (2019) (128 espèces) dans les zones Soudano-Guinéennes de la Côte d'Ivoire, Yedomonhan *et al.* (2009) (87 espèces) dans la zone Soudano-guinéenne (Centre-Ouest du Bénin) et Dongock *et al.* (2004) (78 espèces) dans la zone Soudano-guinéenne d'altitude l'Ouest du Cameroun. Les différences en nombre d'espèces mellifères inventoriées par l'étude et ceux des travaux effectués dans les zones de transition forêt-savane s'expliqueraient par la différence entre les zones écologiques, due à la forte diversité des zones de transition forêt-savane représentant une zone mixte de biodiversité, qui regorgent également des espèces des savanes et des forêts contrairement à la zone d'étude dont les espèces sont en majorité forestières.

Pour ce qui est des types morphologiques des plantes mellifères, les arbres et les arbustes dominant (77,08%) avec 50% d'arbres et 27,08% d'arbustes. Ce résultat est en corrélation avec ceux de certains auteurs en Côte

d'Ivoire et ailleurs en Afrique. Au Burkina Nombéré (2003) a recensé 57,73% de ligneux constitué d'arbres et arbustes, Yedomonhan *et al.* (2009) au Bénin ont recensés 85,57% d'arbres et d'arbustes, et Iritié *et al.* (2014) dans la zone forestière de l'Ecole Supérieure Agronomique de Yamoussoukro ont recensés 61,25% d'espèces ligneuses constituées d'arbres et d'arbustes butinées par les abeilles. Selon Coulibaly *et al.* (2019), le taux élevé des arbres et des arbustes dont les fleurs sont butinées par les abeilles, est dû à leur durée de floraison, à la quantité et à la qualité de leurs nutriments (Nectar, Pollen), qui constituent une ressource florale non négligeable pour les abeilles. Ce résultat est par contre différent de celui de Dongock *et al.* (2004) au Cameroun, où les Herbacées sont les plus représentées (36,5%). Cela s'expliquerait par la composition floristique des zones d'observation d'une part et d'autre part par l'intensité des pressions anthropiques sur la végétation et des feux de brousse qui provoquent son ouverture et favorisent l'apparition des Herbacées. A cet effet, Ricciardelli (1998) ; Bakenga *et al.* (2000) et Mhammad *et al.* (2018) soulignent que lorsqu'une végétation est fréquemment sujette à des feux de brousse et aux activités anthropiques, elle perd sa végétation originelle et laisse place à une végétation secondaire dominées par les espèces herbacées.

Concernant la répartition des espèces mellifères en fonction des nutriments prélevés par les abeilles, les espèces nectarifères dominent avec un pourcentage de 44% contre 29% pour les espèces à la fois nectarifères et pollinifères, 21% pour les espèces pollinifères, 4% pour les espèces productrices de nectar et de jus sucré, et 2% pour les espèces productrices de jus sucré. Le pourcentage élevé des espèces nectarifères parmi les espèces mellifères identifiées, est en accord avec celui de Nombéré (2003), dans les zones de Garango et Nazinga au Burkina et Coulibaly *et al.* (2019), qui dénombrent 76% des espèces nectarifères parmi les espèces guinéennes inventoriées. Selon ces derniers, la flore mellifère de la zone guinéenne est prédominée par des espèces fournissant exclusivement du nectar aux abeilles ou non. Ce nombre élevé de plantes nectarifères serait un atout important pour le développement de l'apiculture dans la zone, car selon Vestalys et Andrianarivelo (2008), le développement de l'apiculture dans une zone est lié à la présence de vastes étendues de plantes nectarifères. Cependant ce résultat ne concorde pas avec celui de Dongock *et al.* (2004) au Cameroun qui a enregistré un pourcentage élevé de plantes pollinifères (41%). Cette différence pourrait s'expliquer par la composition de la végétation de la zone de butinage des abeilles mellifères. Les fleurs des Herbacées sont visitées par les abeilles d'abord pour leur pollen comme c'est le cas chez les Graminées et plus rarement pour leur nectar.

Trois groupes de plantes mellifères ont été identifiés en fonction des saisons de floraison. Les plantes mellifères fleurissant pendant la saison des pluies sont plus nombreuses que celles des autres groupes de plantes

mellifères. Elles représentent plus de la moitié des espèces mellifères inventoriées (60,41%). Ce même constat a été fait par Iritié *et al.* (2014) dans la zone agroforestière de l'Ecole Supérieure Agronomique de Yamoussoukro, qui ont enregistré un pourcentage élevé des espèces mellifères qui fleurissent pendant la saison des pluies (89%) et Dongock *et al.* (2004) au Cameroun qui ont dénombré également un pourcentage élevé des espèces mellifères qui fleurissent pendant la saison des pluies (69,2%). Selon ces auteurs, le nombre élevé des espèces mellifères qui fleurissent pendant la saison des pluies, serait lié à la nature de la plupart d'entre-elles (facteurs intrinsèques) ou aux conditions environnementales du milieu (facteurs extrinsèques). Cela pourrait se justifier alors par le grand besoin en eau de la plupart des espèces mellifères pour assurer leur floraison et produire le nectar. En effet, certaines espèces, en période de sécheresse ou de stress hydrique sont obligées de laisser tomber une partie de certains de leurs organes végétatifs tels que les feuilles et les tiges, avant de fleurir comme c'est le cas de *Ceiba pentandra* L. et *Bombax buonopozense* P. Beauv. dans la zone d'étude. Le chevauchement observé entre les périodes de floraisons des espèces mellifères, est un avantage pour les abeilles qui disposent de nutriments tout au long de l'année, induisant ainsi le développement de l'apiculture dans la zone.

## Conclusion

Au total, quarante-huit (48) espèces mellifères ont été inventoriées pour l'ensemble de la forêt et extension. 35 parmi elles ont été recensées dans la forêt Yapi Daniel, soit un taux de sélection de 13,20% des plantes à fleur de la dite forêt. La plupart des espèces mellifères inventoriées sont des plantes spontanées réparties en 43 genres et 19 familles botaniques. Les familles les plus représentatives en nombre d'espèces sont les Malvaceae, les Fabaceae, les Combretaceae et les Moraceae. Les types morphologiques dominants sont les arbres et arbustes qui constituent 77,08% des espèces mellifères. Les plantes nectarifères (44%) sont les plus représentées parmi les plantes mellifères identifiées. Plus de la moitié de ces espèces fleurissent pendant la saison pluvieuse (60,41%), les autres espèces fleurissent pendant la saison sèche ou pendant les deux saisons. Ces données sur l'inventaire des plantes mellifères de la forêt Yapi Daniel et extensions résultent d'une étude pionnière de l'apiculture en zone guinéenne. C'est une contribution au développement de l'apiculture moderne en zone forestière. Le travail pourrait s'étendre à d'autres forêts du Sud de la Côte d'Ivoire. Par ailleurs, une analyse pollinique des échantillons de miel du site d'étude permettra de vérifier l'origine botanique et la qualité des miels des fleurs de la forêt ivoirienne.

## References:

1. Ahouandjinou M T S, Tossou G M, Yedomonhan H, Zanou A, Adomou C A, Akouègninou A et Koudegnan M C., 2017, Importance du couplage de l'inventaire des plantes mellifères et de l'analyse pollinique des miels de la saison des pluies en zone Ouest Soudanienne au Nord du Bénin. *European Scientific Journal* February 2017 editon Vol. 14, No.6, p 38-62.
2. Aké-Assi L., 2002, Flore de la Côte d'Ivoire : catalogue systématique biogéographique et écologique. *Mémoire de Botanique. Boissiera* 58 tome II, 401p.
3. APG IV., 2016, Une mise à jour de la classification de Angiosperm Phylogeny Group pour l'ordre et les familles des plantes à fleurs. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1–20.
4. Aubréville A., 1958, Flore forestière soudano-guinéenne. Soc d'Ed. Géogr. Mar. et Col. Pari (France), 523 p.
5. Badou B R et Yedomonhan H., 2017, Caractéristiques structurales des peuplements ligneux à *Syzygium guineense* (Willd.) DC. Subsp. *Macrocarpum* (Myrtaceae) en vue de leur aménagement à des fins apicoles au Benin. *European Scientific Journal* August 2017 editon Vol. 13, No.24, p 186-203.
6. Bakenga M, Bahati M et Balagizi K., 2000, Inventaire des plantes mellifères de Bukavu et de ses environs (Sud-Kivu, Est de la République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, Paris, France, pp 89-93.
7. Brou A. J.- C., 2018, Communautés des chiroptères dans une réserve naturelle volontaire dans la région de l'Agneby-Tiassa (Sud-Est de la Cote d'Ivoire). *Mémoire de master, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan*, 50 p.
8. Coulibaly S, Ouattara D, Koulibaly A et Kamanzi K., 2019, Potentiel mellifère de la flore du Centre-Est de la Cote d'Ivoire : Intérêt pour l'apiculture moderne. *Agronomie africaine N° spécial* (8).
9. Diomandé A., 2018, Communautés de rongeurs et d'insectivores dans une réserve naturelle volontaire dans la région de l'Agneby-Tiassa (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Mémoire de master, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan*, 47 p.
10. Dongock N.D, Foko J, Pinta J.Y, Ngouo L.V, Tchoumboue J et Zango P., 2004, Inventaire et identification des plantes mellifères de la zone Soudano-guinéenne d'altitude de l'Ouest du Cameroun. *Tropicultura*, 22 (3) : 139-145.
11. Dongock D.N, Tchoumboue J, Pinta J.Y et Zango P., 2008, Caractéristiques polliniques des plantes mellifères de la zone soudano-guinéenne d'altitude de l'ouest Cameroun *Tropicultura*, vol 26 N°3, 150-154.

12. Guillaumet et Adjanohoun E., 1971, La végétation. In: Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, n° 50 Paris (France), pp 157-262.
13. INS., 2014, Recensement général de la population et de l'habitat de la Côte d'Ivoire. Institut National de la Statistique (Document non publié).
14. Iritié B.M, Wandan E.N et Paraiso A.A., 2014, Identification des plantes mellifères de la zone agroforestière de l'Ecole Supérieure Agronomique de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). European scientific journal October 2014 edition vol 10, p 444-458.
15. Kouamé N.F, Koualibaly A, Porembski S, Traoré D et Aké-Assi L., 2010, La biodiversité: Etat des lieux et facteurs de menace. Article de journal pp. 162-273
16. Kouassi D.F, Ouattara D, Coulibaly S et N'guessan K.E., 2019, Diversité des plantes mellifères de la savane sub-soudanaise (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire) Scholar academic journal of Biosciences. 7 (2): 51-65.
17. Kombo P., 1989, Apiculture et miel dans la province de l'Adamaoua (Cameroun). Thèse de doctorat. 196 p.
18. Lebrun J.P et Stork A.L., 1991-1997, Enumération des plantes à fleurs de l'Afrique tropicale. Conservatoire et Jardin Botanique de la ville de Genève, Genève (Suisse). Vol. 1 (249 p.), vol. 2 (257 p.), vol. 3 (341 p.), et 4 (711 p.).
19. Mbah C.E et Amao A.O., 2009, Aliments naturels et habitudes alimentaires de l'abeille africaine *Apis mellifera* Latreille (1804) à Zaria, au Nord du Nigeria. Science World Journal 4 (No 1) 2009: ISSN 1597-6343, p 11-14. [www.scienceworldjournal.org](http://www.scienceworldjournal.org)
20. Mhammad H, Hassan E, Abdessalam O, Jalal K, Mohmed E M, Abdelouahab S, Hasnae, Mohamed K et Mohammed A., 2018, Evolution du couvert végétale naturel au niveau des massifs forestiers de Mallalyine et Taghramt (Rif Occidental du Maroc). European Scientific Journal August 2018 editon Vol. 14, No.24, p 19-36.
21. Nombré I., 2003, Etude des potentialités mellifères de deux zones du Burkina Faso Garango (Province du Boulgou) et Nazinga (Province du Nahouri). Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 154 p.
22. Omoloye A.A et Akinsola P.A., 2006, Sources d'alimentation et effets de certaines plantes, caractères et variables de l'eau sur l'intensité de fréquentation de l'abeille domestique, *Apis mellifera adansonii* (Hymenoptera: Apidea) dans le Sud-Ouest du Nigeria. Journal of Apicultural Science, 50 (1): 39-48.
23. Ricciardelli G., 1998, Mellissopalynologie méditerranéenne. Institut d'entomologie agricole. Borgo XX. Guigno, 74 ans, Université de Pérouse, Pérou, 498 p.

24. SAB., 2017, Données pluviométriques et climatique de l'Agneby-Tissa. Société Agricole du Bandama, Côte d'Ivoire (Document non publié).
25. Silberfeld T, Reeb C et Doux Y., 2016, Les plantes mellifères, plus de 200 plantes de France et d'Europe. Guide Delachaux, Atlas.
26. Tossou M.G, Akoegninou A, Yedomonhan H, Batawila K et Akapagana K., 2005, Analyse pollinique des miels de la forêt classée de la Lama (Benin) et son apport à la connaissance de la flore apicole. J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série A, 7(1) : 83-92.
27. Vestalys H et Andrianarivelo A.M.S., 2008, Analyse de la filière apiculture dans les régions Analamanga et haute Matsiatra. Direction générale de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, Madagascar, 43 p.
28. Yedomonhan H, Tossou M.G, Akoegninou A, Demenou B.B et Traore D., 2009, Diversité des plantes mellifères de la zone Soudano-guinéenne: cas de l'arrondissement de Manigri (Centre-Ouest du Bénin). Int. J. Biol. Chem. Sci. 3 (2): 335- 366.
29. Yedomonhan H., 2004, Plantes mellifères et miels du Benin : cas de la forêt classée de la Lama. Mémoire de DEA, Université de Lomé (Togo), 65 p.
30. Yenon M, Bar-On, Rob P et Ron M., 2018, La distribution de la biomasse sur terre. Actes PNAS de l'Académie nationale des sciences 115 (25): 6506-6511.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

**Daniel Hernández-Andrade,**

Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

**Rosendo Romero-Andrade,**

**Juan L. Cabanillas-Zavala,**

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Posgrado en Ciencias de la Información, Universidad Autónoma de Sinaloa

**Máximo Ávila-Cruz,**

Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

**Manuel E. Trejo-Soto,**

**Alejandro Vega-Ayala,**

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Posgrado en Ciencias de la Información, Universidad Autónoma de Sinaloa

Submitted: 08 October 2020

Accepted: 02 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

*Daniel Hernández-Andrade*

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p332](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p332)



Copyright 2020 Andrade et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Hernández-Andrade D, Andrade R, Zavala J, Ávila-Cruz M, Trejo-Soto M, Vega-Ayala A, (2020). Análisis de calidad de las observaciones GPS en estaciones de operación continua de libre acceso en México *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 332. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p332>

## Análisis de calidad de las observaciones GPS en estaciones de operación continua de libre acceso en México

### Resumen:

Se realizó la evaluación estadística-comparativa de 65 estaciones de operación continua de libre acceso en México, de enero de 2010 a enero de 2020. El análisis de calidad de las observaciones GPS se llevó a cabo mediante el software TEQC, desarrollado por UNAVCO, considerando cuatro indicadores de calidad en 6 variables: efecto multitrayectoria en la banda L1 y L2, relación señal-ruido en L1 y L2, saltos de ciclo por cada mil observaciones y porcentaje de observaciones registradas/esperadas. El resultado de cada estación se comparó con el estándar de calidad establecido por el IGS para pertenecer a su red, con la finalidad de determinar la calidad de las mismas y el grado de cumplimiento de dicho estándar. Los resultados muestran, en promedio, un grado de cumplimiento de 3.3 de las 6 variables, donde: 6 estaciones cumplen con 5 de las 6 variables; 16 estaciones con 4; 35 con 3; 6 con 2 y 2 con una variable, siendo la estación INEG la de mejor calidad excepto en los saltos de ciclo por cada mil observaciones. Así mismo, se muestra que el efecto multitrayectoria se presenta en mayor cantidad en aquellas estaciones en las que no se realizó cambio de antena, receptor o actualización de firmware, degradando principalmente la recepción de la señal en la banda L2.

**Subject:** Earth Sciences, Geography, Physics, Technology

**Palabras clave:** Control de calidad, GPS, efecto multitrayectoria, relación señal-ruido, saltos de ciclo, México.

## **Quality Check GPS Observations On Continuously Operating Free Access Stations In México**

***Daniel Hernández-Andrade,***

Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

***Rosendo Romero-Andrade,***

***Juan L. Cabanillas-Zavala,***

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Posgrado en Ciencias de la  
Información, Universidad Autónoma de Sinaloa

***Máximo Ávila-Cruz,***

Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

***Manuel E. Trejo-Soto,***

***Alejandro Vega-Ayala,***

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Posgrado en Ciencias de la  
Información, Universidad Autónoma de Sinaloa

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p332](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p332)

---

### **Abstract**

A statistical comparative evaluation of 65 continuously operating, free access stations in Mexico was made. The observations were performed from January 2010 to January 2020. The quality check of the GPS observations was carried out by using TEQC software, developed by UNAVCO. Four quality indexes were considered within the quality check, with six variables: multipath effect on L1 and L2 band, percentage of registered/expected observations, signal-to-noise ratio on L1 and L2, and cycle slip per 1000 observations. The results obtained from each station were compared with the quality standard established by IGS in order to belong to its network, this with the goal of determining their quality and the level of meeting the standard. The results show, on average, a meeting 3.3 of the 6 variables, where: 6 stations meet 5 of 6 variables; 16 stations with 4; 35 stations with 3; 6 stations with 2 and 2 station with one variable, being INEG station the best in the quality check except for the cycle slips per 1000 observations. Likewise, it was shown that the multipath effect is greater in those stations that had not antenna/receiver changing or firmware update,



mainly degrading the received signal on the L2 band.

---

**Keywords:** Quality check, GPS, multipath effect, signal-to-noise ratio, cycle slip, México

## **Introducción**

Los Sistemas Globales de Navegación Satelital (GNSS) están basados en un conjunto de satélites, los cuales proveen de coordenadas geocéntricas a un punto de medición (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). Dichos sistemas han sido ampliamente utilizados en la navegación, el posicionamiento y la determinación precisa de la medida del tiempo. Algunas aplicaciones son: estudio de los fenómenos atmosféricos y pronósticos climatológicos (Liu et al., 2020), localización y navegación (Leick et al., 2015), deformación de la corteza (Marquez-Azua y DeMets, 2009; Yanlong et al., 2012; Murray et al., 2019), trabajos de modelación geológica (Sonnette et al., 2010), recursos hídricos (Foster, 2015) y monitoreo de estructuras (Cao et al., 2019; Zhang et al., 2020).

México es un país que cuenta con redes geodésicas de operación continua y que, además, colabora con organismos internacionales como el International GNSS Service (IGS), National Geodetic Survey (NGS), University NAVstar Consortium (UNAVCO) y Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS). Por esta razón, es posible el desarrollo de trabajos científico-técnicos de alta precisión que se apoyan de la infraestructura geodésica, teniendo en consideración el análisis de calidad de las estaciones de operación continua en las experimentaciones.

En este sentido, la calidad de los datos crudos y la verificación del correcto funcionamiento de las estaciones (Brown et al., 2002; García-Armenteros, 2020) está relacionada con el posicionamiento preciso, de modo que a mejor calidad en las observaciones se esperaría un mejor posicionamiento (Yeh et al., 2008). En México existen pocos trabajos realizados de esta naturaleza. Un ejemplo de ellos es Vázquez et al. (2013) en el que sólo se ha analizado el efecto multitrayectoria. No obstante, otros parámetros son necesarios para determinar la calidad de las estaciones, así como tener en cuenta el periodo mínimo de observación continua de 2.5 años para poder incluir las estaciones en estudios geodinámicos (Blewitt y Lavallée, 2002).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar el análisis de calidad de 65 estaciones de libre acceso en territorio mexicano, considerando un periodo de 10.07 años, de acuerdo al estándar de calidad establecido por IGS (2019) para determinar aquellas estaciones que podrían formar parte de su red; así como evaluar el rendimiento de las estaciones considerando los valores establecidos por dicho organismo.

## Marco teórico

### Análisis de calidad de las observaciones GPS

El análisis de calidad de las estaciones GNSS es un componente clave en la verificación del correcto funcionamiento de toda una infraestructura geodésica, respecto a los datos crudos y el monitoreo de estabilidad de los datos (Brown et al., 2002; Herrada et al., 2010). De este modo, el análisis de calidad en este estudio se centra en cuatro indicadores: efecto multitrayectoria, relación señal-ruido, saltos de ciclo y porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas, los cuales pueden ser extraídos mediante el software TEQC (Traslate/Edit/Quality Check) (Estey y Meertens, 1999):

*Efecto Multitrayectoria:* tiene lugar cuando la misma señal llega al receptor por diferentes direcciones o trayectorias, dado por alguna superficie reflejante cercana al receptor (estructura, edificio, auto, árbol, etc.), llegando con un retraso relativo a la señal directa, ya que realiza un recorrido adicional, degradando la precisión en el posicionamiento (Seeber, 2008). El cálculo del efecto multitrayectoria se basa en una combinación lineal de pseudorange y fase portadora de  $L_1$  y  $L_2$  para la estimación del error medio cuadrático en metros (Estey y Meertens, 1999).

*Relación Señal-Ruido:* expresada como SNR, S/N o C/N<sub>0</sub> describe el estado operativo del sistema (receptor, antena, señal), rendimiento del seguimiento y captura de la señal (Xiao et al., 2020), siendo la potencia de la señal satelital, la ganancia de la antena, estado del receptor y el efecto multitrayectoria, los principales causantes de variación de la SNR (Zhang et al., 2017). Generalmente, el rango en el exterior es de 35 a 55 dBHz, clasificadas en señales débiles <36 dBHz y fuertes  $\geq 36$  dBHz (Gurtner y Estey, 2013). De esta manera, cuanto más grande sea la relación señal-ruido, mayor será la calidad de la señal observada (Zuo et al., 2019; Xiao et al., 2020); asimismo, de acuerdo con Kamatham (2018), la SNR es inversamente proporcional al efecto multitrayectoria.

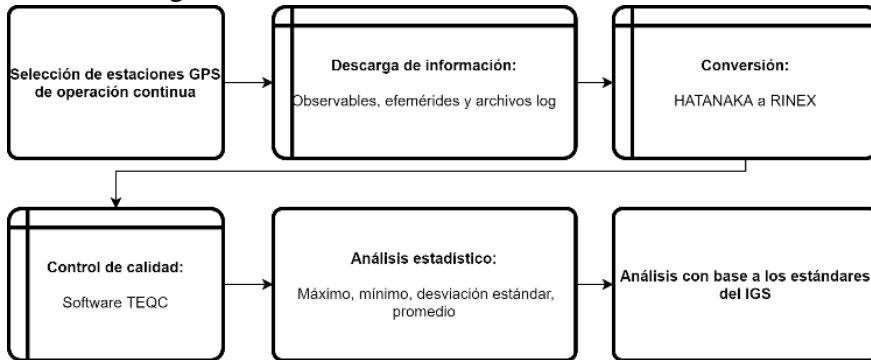
*Salto de Ciclo:* son pérdidas en el seguimiento del satélite, siendo una discontinuidad en el número entero de ciclos de la fase, efecto similar en la ambigüedad, producidos por una mala recepción de la fase portadora, saltos bruscos en la señal recibida, malas condiciones ionosféricas, alto efecto multitrayectoria, así como una baja elevación del satélite (Yeh et al., 2007). La relación de los saltos de ciclo por cada mil observaciones se expresa como  $CSR = 1000/(o/slps)$  (Zuo et al., 2019; Xiao et al., 2020) donde “o” es el número de observaciones registradas y “slps” la cantidad de saltos de ciclo.

*Porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas:* hace referencia a la cantidad de datos obtenidos respecto de los posibles, como medida de confianza (Álvarez, 2008; Hofmann-Wellenhof et al., 2008) siendo

un concepto fundamental en la navegación y característica en el análisis de calidad (Souto, 2014). La relación de los datos observados es  $R = (N_1/N_0) \times 100$  donde  $N_1$  es el número de observaciones recibidas y  $N_0$  representa el número de observaciones posibles (Xiao et al., 2020).

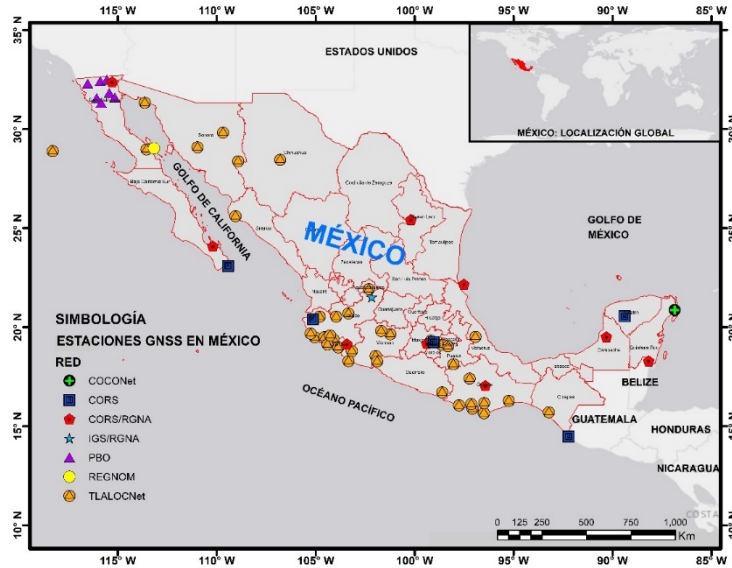
### Materiales y métodos

El análisis de calidad se llevó a cabo a través de las etapas que se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Metodología para el control y análisis de calidad.

La primera etapa fue la selección de estaciones GPS de operación continua de libre acceso dentro de territorio mexicano sin limitación al acceso de los datos que genera cada estación, descartando parcialmente la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA, <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/rgna/>) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por limitar el acceso a 90 días de archivos RINEX 2.11 (Receiver Independent Exchange Format) (Gurtner y Estey, 2013). De este modo, se utilizaron los servidores del University NAVstar Consortium (UNAVCO) (<ftp://data-out.unavco.org>), International GNSS Service (IGS) (<ftp://garner.ucsd.edu/pub>) y Continuously Operating Reference Station (CORS) (<ftp://geodesy.noaa.gov/cors>), para la localización de las estaciones de libre acceso, contabilizando en total 65 estaciones geodésicas, de las cuales: 49 estaciones son gestionadas por UNAVCO; 15 estaciones de la red CORS gestionada por el National Geodetic Survey (NGS), de las cuales 10 forman parte también de la RGNA; y una última estación perteneciente al IGS y también a la RGNA, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Estaciones de operación continua de libre acceso en México seleccionadas para el análisis de calidad.

La siguiente etapa, referente a la descarga de la información, se realizó a través de la implementación de scripts en Shell-C en UNIX para la descarga automatizada de los ficheros de observación, mediante el protocolo FTP (Protocolo de Transferencia de Archivos) de cada gestor. Los datos fueron descargados del 01 de enero de 2010 al 28 de enero de 2020 (Tabla 1) con un total de 10.07 años. Adicionalmente para revisar actualizaciones e inconsistencias documentadas, se descargaron los ficheros en los cuales se registran los cambios y actualizaciones realizadas en la estación (ficheros "log"). Asimismo, fueron descargadas las efemérides transmitidas (ficheros "n") de SOPAC (Scripps Orbits and Permanent Array Center).

En la tercera etapa, se realizó la conversión de formato HATANAKA a RINEX 2.11 mediante el software RNXCMP y su herramienta CRX2RNX (Hatanaka, 2008).

La cuarta etapa referente al control de calidad se realizó a través del software TEQC mediante la opción "+qc" en el modo "qc-full", se consideró sólo la constelación GPS al ser la constelación que se encuentra presente en todas las estaciones seleccionadas. Asimismo, se cambió la tasa de muestreo a 30 segundos, siendo este el tiempo en común, ya que en las estaciones varía entre 1, 15 y 30 s. Una vez preparados los ficheros RINEX, se realizó el control de calidad, extrayendo los valores de multitrayectoria en ambas bandas, relación señal-ruido, saltos de ciclo y el porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas.

A través de un análisis de estadística descriptiva de las estaciones, se obtuvieron los valores máximos, mínimos, promedios y desviaciones estándar de los indicadores de las 6 variables: MP1, MP2, SNR1, SNR2, CSR y R, permitiendo evaluar cada estación de forma individual en función de sus resultados.

Finalmente, para el control de calidad se compararon los cuatro indicadores con los umbrales establecidos por IGS (2019): 95% de porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas, 1 salto de ciclo por cada 1000 observaciones, 30 cm para el efecto multitrayectoria y 36 dBHz para las señales recibidas, con la finalidad de determinar aquellas estaciones que podrían formar parte de la red IGS.

**Tabla 1.** Disponibilidad de información por año.

ESTAC IÓN	GES TOR	LOCALIZA CIÓN	AÑO										TOT AL (DÍA S)	TOT AL (AÑ OS)		
			201 0	20 11	20 12	20 13	20 14	20 15	20 16	20 17	20 18	20 19			20 20	
IAGX	UNA VCO	Isla ángel de la guarda, Baja California	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29 8	35 9	28	685	1.88
TNTM	UNA VCO	Tamarindo, Jalisco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36 5	35 9	28	752	2.06
TNCT	UNA VCO	Chalacatepec, Jalisco	-	-	-	-	-	-	-	35 0	24 5	20 6	-	801	2.19	
TNMT	UNA VCO	Manantlán, Jalisco	-	-	-	-	-	-	-	73	36 5	35 9	28	825	2.26	
TNMZ	UNA VCO	Manzanillo, Colima	-	-	-	-	-	19 1	35 7	34 4	10 5	-	-	997	2.73	
TNPJ	UNA VCO	Pijijiapan, Chiapas	-	-	-	-	44 5	36 5	23 1	31 3	18 6	-	-	1139	3.12	
TNTB	UNA VCO	Topolobampo, Sinaloa	-	-	-	-	-	-	36 5	36 5	36 5	74	-	1169	3.20	
TNCC	UNA VCO	Coalcomán, Michoacán	-	-	-	-	-	-	17 2	35 2	36 5	31 9	28	1236	3.39	
TNAL	UNA VCO	Altzomoni, Puebla	-	-	-	-	13 9	36 3	33 2	36 4	44	-	-	1242	3.40	
TNMR	UNA VCO	Maruata, Michoacán	-	-	-	-	11 3	34 2	34 9	29 1	18 6	-	-	1281	3.51	
GUAX	UNA VCO	Isla Guadalupe, Baja California	-	-	-	-	-	-	19 8	36 5	36 5	35 8	28	1314	3.60	
TNMQ	UNA VCO	Marquelia, Guerrero	-	-	-	-	-	37	34 1	36 3	36 4	20 0	28	1333	3.65	
TNCY	UNA VCO	Coyuche, Oaxaca	-	-	-	-	-	33	36 5	35 7	36 5	20 7	28	1355	3.71	
TNGF	UNA VCO	CDMX	-	-	-	-	-	-	26 0	36 5	36 5	35 9	28	1377	3.77	

TNCN	UNA VCO	Las Cañas, Michoacán	-	-	-	-	-	-	31 4	31 9	36 5	35 9	28	1385	3.79
TNSJ	UNA VCO	San José del Pacífico, Oaxaca	-	-	-	-	-	-	29 4	36 5	36 4	35 9	28	1410	3.86
TNIF	UNA VCO	La Concepción, Jalisco	-	-	-	-	-	75	27 7	36 5	36 5	35 9	28	1469	4.02
TNNP	UNA VCO	Nopala, Oaxaca	-	-	-	-	-	31	36 5	36 5	36 5	35 9	28	1513	4.15
TNLC	UNA VCO	Morelia, Michoacán	-	-	-	-	-	68	36 5	36 5	36 5	35 9	28	1550	4.25
TNPP	UNA VCO	Puerto Peñasco, Sonora	-	-	-	-	-	32 4	36 5	36 5	36 5	35 9	28	1806	4.95
TNAT	UNA VCO	Acatlán, Puebla	-	-	-	-	48	36 5	29 7	35 6	35 4	35 9	28	1807	4.95
TNAM	UNA VCO	Ameca, Jalisco	-	-	-	-	-	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	1847	5.06
TNCM	UNA VCO	Chamela, Jalisco	-	-	-	-	11 5	30 7	34 1	35 2	36 5	35 9	28	1867	5.12
TNBA	UNA VCO	Bahía de los Ángeles, Baja California Sur	-	-	-	-	34	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	1881	5.15
TNNX	UNA VCO	Nochixtlan, Oaxaca	-	-	-	-	47	36 5	36 5	35 3	36 5	35 9	28	1882	5.16
TNMS	UNA VCO	Mascota, Jalisco	-	-	-	-	11 7	36 5	36 5	34 8	36 5	35 9	28	1947	5.33
UGEO	UNA VCO	Guadalajara, Jalisco	238	11 2	-	-	-	31 8	36 5	33 5	20 3	35 9	28	1958	5.36
TNCU	UNA VCO	Cuauhtémoc, Chihuahua	-	-	-	-	16 7	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	2014	5.52
TNHM	UNA VCO	Presa Infiernillo, Jalisco	-	-	-	-	16 9	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	2016	5.52
OXUM	UNA VCO	Puerto Ángel, Oaxaca	-	-	-	99	33 2	23 6	29 6	36 5	36 5	34 6	28	2067	5.66
USMX	UNA VCO	Moctezuma, Sonora	-	-	-	-	27 0	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	2117	5.80
YESX	UNA VCO	Yecora, Sonora	143	18 5	-	-	25	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	2200	6.03
UTON	UNA VCO	Tonanzintla, Puebla	32	-	27	34 8	28 4	36 5	36 5	36 5	36 4	32 1	19	2490	6.82
TECO	UNA VCO	Tecomán, Colima	357	36 5	13 6	-	-	35 0	36 5	36 4	36 5	16 9	28	2499	6.85
UAGU	UNA VCO	Aguascaliente s, Aguascaliente s	264	-	35 0	25 8	97	30 6	33 4	25 2	35 6	33 0	28	2575	7.05

TAMP	NGS	Tampico, Tamaulipas	-	-	55	36	36	36	34	35	35	35	28	2581	7.07
ICAM	NGS	Campeche, Campeche	-	-	56	36	36	36	34	35	36	34	28	2590	7.10

**Tabla 1.** Continuación, disponibilidad de información por año.

ESTAC IÓN	GES TOR	LOCALIZA CIÓN	AÑO											TOT AL (DÍAS)	TOT AL (AÑOS)
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
IPAZ	NGS	La Paz, Baja California Sur	-	-	56	36	36	36	34	34	36	35	28	2593	7.10
UXAL	UNA VCO	Jalapa, Veracruz	109	36	35	21	15	31	36	36	36	32	28	2956	8.10
PHJX	UNA VCO	Mexicali, Baja California	-	64	36	36	36	36	36	36	36	35	28	3006	8.24
OXTH	UNA VCO	Tehuantepec, Oaxaca	357	11	20	23	34	36	34	32	36	35	28	3043	8.34
PJZX	UNA VCO	La Rumorosa, Baja California	-	32	36	36	36	36	20	31	36	35	28	3057	8.38
PSTX	UNA VCO	San Isidro, California	124	36	36	36	36	36	14	22	36	35	28	3067	8.40
OXPE	UNA VCO	Puerto Escondido, Oaxaca	307	36	23	32	36	19	26	28	34	35	28	3081	8.44
PTEX	UNA VCO	Tecate, Baja California	-	24	36	36	36	36	36	36	36	35	28	3191	8.74
MTP1	NGS	Tapachula, Chiapas	190	22	36	36	36	31	36	31	34	35	27	3218	8.82
PENA	UNA VCO	Pena Colorada, Colima	357	36	36	36	36	36	36	35	28	11	28	3330	9.12
PLTX	UNA VCO	Mexicali, Baja California	63	36	36	36	36	36	36	36	36	35	28	3370	9.23
PLPX	UNA VCO	San Felipe, Baja California	66	36	36	36	36	36	36	36	36	35	28	3373	9.24
PALX	UNA VCO	El Álamo, Baja California	121	36	36	36	36	36	36	36	36	35	28	3428	9.39
INEG	IGS	Aguascalientes, Aguascalientes	355	32	34	34	35	35	28	35	34	34	22	3430	9.40
UCOE	UNA VCO	Coeneo, Michoacán	356	33	21	36	34	36	36	36	36	35	28	3460	9.48
MSD1	NGS	San José del Cabo, Baja California	356	36	36	36	35	35	24	36	34	35	27	3488	9.56

TNMO	UNA VCO	Morelia, Michoacán	301	36 4	36 2	34 8	36 5	27 3	36 5	36 5	36 5	35 9	28	3495	9.58
TOL2	NGS	Toluca, Edo. Mexico	354	36 4	36 2	36 3	36 4	36 5	35 1	35 9	34 6	33 6	-	3564	9.76
MTY2	NGS	Monterrey, Nuevo León	357	36 5	36 0	36 5	36 5	36 5	35 9	34 9	31 8	35 8	28	3589	9.83
MEXI	NGS	Mexicali, Baja California	349	36 5	36 3	36 4	35 8	36 5	33 8	34 0	36 5	35 8	26	3591	9.84
MPR1	NGS	Puerto Vallarta, Jalisco	356	36 4	35 8	33 6	36 5	36 2	36 5	36 5	34 7	35 5	27	3600	9.86
MERI	NGS	Mérida, Yucatán	357	36 5	36 5	35 8	34 7	35 9	35 4	35 0	36 5	35 8	28	3606	9.88
CHET	NGS	Chetumal, Quintana Roo	355	36 1	36 4	36 4	36 4	36 5	35 2	35 3	35 9	35 9	28	3624	9.93
MMX1	NGS	CDMX	356	36 4	35 6	36 5	36 5	36 1	36 5	36 5	34 8	35 5	27	3627	9.94
OAX2	NGS	Oaxaca, Oaxaca	357	36 5	36 5	36 5	36 5	35 5	35 3	35 5	36 5	35 8	27	3630	9.95
MMD1	NGS	Mérida, Yucatán	356	36 3	36 1	36 5	36 5	36 2	36 5	36 5	34 7	35 6	27	3632	9.95
COL2	NGS	Colima, Colima	357	36 4	36 5	36 5	36 5	36 1	35 7	35 1	36 5	35 9	28	3637	9.96
UNPM	UNA VCO	Puerto Morelos, Quintana Roo	357	36 5	36 5	36 5	36 2	36 5	36 5	36 5	36 5	35 9	28	3661	10.0 3

## Resultados

La Tabla 2 muestra los resultados de la estadística descriptiva de los cuatro indicadores de calidad en las 6 variables analizadas: MP1 y MP2 (multitrayectoria), SNR1 y SNR2 (relación señal-ruido), CSR (saltos de ciclo por cada 1000 observaciones) y R (porcentaje de las observaciones registradas/esperadas), ordenando las estaciones de mayor a menor en función del promedio de efecto multitrayectoria en L1 ya que es el principal causante de la degradación de la señal.



**Tabla 2.** Estadística del análisis de calidad de las 65 estaciones GPS de operación continua seleccionadas en México, ordenadas en función del promedio MP1

Estación	Días	MP1 (m)				MP2 (m)				SNR1 (dBHz)				SNR2 (dBHz)				CSR (1000/(o/slps))				R (%)			
		Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$
MPR1	3600	1.29	0.63	1.00	0.04	1.18	0.43	0.94	0.04	48.06	45.30	46.74	0.82	45.54	40.92	42.36	0.91	62.5	0.04	0.13	1.37	100	2	98.46	7.94
MTP1	3218	1.2	0.39	0.98	0.05	1.23	0.23	0.86	0.05	49.32	46.08	47.34	0.15	45.24	41.16	42.30	0.16	8.85	0.04	0.14	0.39	100	1	98.28	8.35
MSD1	3488	1.29	0.43	0.94	0.05	1.42	0.38	0.87	0.08	48.60	41.76	46.86	0.31	45.42	40.68	42.36	0.14	62.5	0.04	0.14	1.46	100	3	98.43	7.73
TNMT	825	1.11	0.80	0.92	0.04	0.63	0.47	0.55	0.03	43.02	41.70	42.06	0.04	36.24	28.02	29.16	0.38	4.35	0.22	1.70	0.51	86	73	77.45	1.07
MMD1	3632	0.93	0.44	0.79	0.03	1.01	0.37	0.71	0.03	48.72	45.78	47.40	0.14	44.88	40.68	42.12	0.14	50	0.04	0.08	0.87	100	2	98.44	8.01
YESX	2200	0.95	0.35	0.72	0.15	0.66	0.34	0.52	0.07	43.62	42.18	42.96	0.06	36.84	28.56	30.06	0.23	4.26	0.04	0.23	0.18	100	96	99.39	0.62
UTON	2490	1.68	0.33	0.68	0.2	1.23	0.30	0.51	0.12	42.54	31.68	41.40	0.18	36.66	25.86	27.96	0.14	11.24	0.19	1.95	1.61	99	64	96.43	1.42
TNMR	1281	1.08	0.52	0.66	0.07	0.81	0.41	0.49	0.05	47.46	42.18	44.28	0.29	39.30	27.96	33.12	0.77	12.82	0.04	2.38	2.23	100	42	95.50	2.59
TNCU	2014	0.91	0.54	0.65	0.05	0.58	0.32	0.42	0.05	43.80	42.54	43.26	0.05	37.74	29.58	30.78	0.19	5.99	0.04	0.08	0.17	100	93	99.86	0.54
TNGF	1377	1.03	0.56	0.64	0.08	0.83	0.43	0.49	0.05	44.46	41.04	42.06	0.17	40.44	33.72	37.20	0.27	3.25	0.04	0.41	0.21	100	58	98.85	1.22
PENA	3330	3.42	0.27	0.64	0.48	3.77	0.48	0.75	0.42	42.72	40.92	41.64	0.06	35.04	12.00	27.30	0.69	83.33	0.09	5.28	16.96	100	6	91.82	23.38
TNPJ	1139	1.21	0.52	0.61	0.06	1.16	0.38	0.45	0.05	46.26	41.70	43.08	0.24	36.36	28.44	29.76	0.09	9.01	0.38	1.24	0.94	99	72	95.61	1.52
MMX1	3627	0.77	0.41	0.59	0.02	0.94	0.34	0.60	0.03	48.90	45.90	47.34	0.14	45.18	36.54	42.36	0.15	62.5	0.04	0.11	1.38	100	3	98.60	7.26
TECO	2499	0.89	0.30	0.58	0.18	0.57	0.39	0.45	0.02	43.38	41.82	42.42	0.05	36.78	28.62	29.58	0.1	5.75	0.12	0.63	0.37	99	94	98.08	0.75
TNMS	1947	0.84	0.49	0.58	0.03	0.81	0.30	0.42	0.04	42.30	40.92	41.70	0.06	33.30	25.74	27.78	0.25	5.65	0.27	0.76	0.32	100	91	98.56	0.69
TNAL	1242	0.83	0.42	0.57	0.07	0.74	0.40	0.52	0.04	43.56	40.92	42.18	0.08	30.84	25.68	28.44	0.21	6.45	0.04	0.52	0.44	100	31	98.46	2.89
TNCY	1355	0.93	0.43	0.55	0.05	0.78	0.24	0.41	0.04	43.26	39.84	41.88	0.05	36.18	25.68	28.74	0.24	71.43	0.04	0.68	2.98	97	1	92.50	14.3
TNSJ	1410	0.76	0.42	0.53	0.02	0.7	0.25	0.37	0.06	43.38	42.18	42.84	0.04	37.20	29.28	30.36	0.28	3.46	0.04	0.29	0.23	99	86	97.61	1.00
TNNX	1882	1.17	0.45	0.53	0.04	0.71	0.20	0.32	0.06	43.44	42.06	42.78	0.06	37.20	28.98	30.18	0.25	9.09	0.04	0.16	0.51	100	95	99.86	0.48
OXPE	3081	0.88	0.3	0.52	0.09	0.72	0.35	0.48	0.04	42.60	41.46	42.06	0.04	36.42	27.54	29.16	0.07	29.41	0.08	2.01	1.90	100	48	97.12	2.67
TNNP	1513	1.37	0.45	0.52	0.04	0.98	0.27	0.38	0.04	42.78	39.72	41.04	0.08	33.00	24.30	27.18	0.29	9.35	0.04	0.18	0.31	99	94	98.60	0.67
TNTM	752	0.65	0.46	0.51	0.03	0.52	0.30	0.40	0.05	41.94	40.80	41.22	0.04	34.98	25.98	27.36	0.44	0.76	0.04	0.08	0.07	100	96	99.34	0.61

**Tabla 2.** Continuación, estadística del análisis de calidad de las 65 estaciones GPS de operación continua seleccionadas en México, ordenadas en función del promedio MP1

Estación	Días	MP1 (m)				MP2 (m)				SNR1 (dBHz)				SNR2 (dBHz)				CSR (1000/(o/slps))				R (%)			
		Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$	Max	Min	Promedio	$\sigma$
PHJX	3006	0.55	0.44	0.50	0.01	0.48	0.38	0.42	0.01	43.26	41.82	42.66	0.05	34.80	27.36	28.92	0.11	1.38	0.04	0.06	0.06	100	95	99.00	0.38
USMX	2117	0.65	0.45	0.50	0.02	0.61	0.24	0.35	0.07	47.52	42.60	43.44	0.15	41.28	29.76	31.44	0.43	5.71	0.04	0.13	0.40	98	92	97.71	0.73
OXUM	2067	0.69	0.31	0.49	0.07	0.56	0.31	0.41	0.04	42.66	41.28	42.06	0.04	34.08	27.06	28.38	0.09	11.49	0.04	0.38	0.96	100	63	98.73	5.49
TNCN	1385	0.77	0.41	0.49	0.04	0.59	0.24	0.38	0.05	42.54	40.86	42.00	0.05	36.48	27.36	28.92	0.07	4.90	0.04	0.43	0.31	100	91	99.73	0.65
TNLC	1550	0.6	0.44	0.49	0.02	0.5	0.26	0.37	0.04	43.74	40.98	42.00	0.03	33.78	25.98	28.02	0.29	5.03	0.04	0.21	0.27	100	96	99.44	0.64
TNIF	1469	0.63	0.37	0.47	0.02	0.55	0.26	0.38	0.05	43.44	41.70	42.36	0.05	37.08	28.68	29.70	0.29	4.31	0.04	0.18	0.26	100	2	98.74	8.43
TNCM	1867	1.15	0.42	0.47	0.03	1.03	0.25	0.37	0.03	43.14	41.58	42.18	0.05	36.36	27.90	29.10	0.17	8.00	0.04	0.20	0.41	100	73	99.86	0.86
TNMH	2016	0.75	0.44	0.46	0.01	0.73	0.23	0.33	0.05	43.02	41.76	42.48	0.05	37.44	28.62	29.94	0.25	3.75	0.04	0.07	0.11	100	96	99.88	0.44
TNCT	801	0.58	0.40	0.45	0.02	0.6	0.26	0.36	0.04	44.40	40.20	42.54	0.06	36.90	25.98	29.76	0.09	2.54	0.04	0.07	0.12	100	43	99.74	2.89
TNMQ	1333	0.96	0.38	0.45	0.04	1.01	0.16	0.34	0.05	42.18	40.80	41.64	0.06	32.64	25.92	27.12	0.24	25.64	0.04	0.13	0.81	100	0	96.43	15.88
OXTH	3043	0.58	0.22	0.44	0.05	0.46	0.15	0.36	0.03	43.20	42.00	42.72	0.05	35.40	28.80	29.76	0.55	38.46	0.04	0.39	1.52	100	66	99.67	1.60
TNAT	1807	0.94	0.4	0.44	0.02	0.99	0.23	0.34	0.05	43.08	41.70	42.48	0.06	35.34	28.38	29.58	0.1	8.77	0.04	0.19	0.48	100	96	99.79	0.61
TNCC	1236	0.59	0.38	0.44	0.03	0.46	0.22	0.33	0.05	42.84	41.64	42.30	0.05	37.02	28.38	29.58	0.31	4.83	0.04	0.19	0.34	100	93	97.78	0.58
TNAM	1847	1.01	0.40	0.44	0.03	0.95	0.23	0.32	0.05	42.90	41.76	42.30	0.05	37.08	28.80	30.00	0.26	7.46	0.04	0.13	0.45	100	79	99.84	0.69
TNPP	1806	0.6	0.40	0.44	0.02	0.49	0.20	0.32	0.06	43.32	40.44	41.70	0.06	35.88	26.16	29.82	0.08	0.77	0.04	0.06	0.05	99	96	98.94	0.28
UXAL	2956	0.64	0.24	0.43	0.07	0.63	0.37	0.46	0.05	43.08	41.82	42.42	0.06	36.84	28.56	30.42	0.06	9.09	0.12	0.69	0.63	100	0	99.41	3.63
GUAX	1314	0.54	0.39	0.43	0.02	0.48	0.21	0.37	0.04	43.32	40.44	42.12	0.05	34.26	26.94	28.38	0.44	1.75	0.04	0.11	0.11	100	97	99.91	0.35
UAGU	2575	0.48	0.29	0.42	0.07	0.48	0.35	0.39	0.03	43.02	41.52	42.36	0.05	34.32	27.42	28.74	0.07	4.33	0.04	0.17	0.20	100	54	98.76	5.86
TNTB	1169	0.48	0.35	0.42	0.01	0.43	0.25	0.36	0.03	42.90	41.64	42.30	0.05	34.68	28.50	29.22	0.08	0.65	0.04	0.06	0.05	100	97	99.89	0.40
UCOE	3460	0.67	0.25	0.41	0.09	0.73	0.26	0.35	0.04	43.02	41.64	42.42	0.05	37.14	28.32	29.70	0.09	8.06	0.04	0.12	0.34	100	27	99.84	1.75
TNBA	1881	0.62	0.39	0.41	0.01	0.45	0.23	0.33	0.04	43.38	41.10	42.00	0.02	30.54	24.96	27.90	0.26	2.40	0.04	0.07	0.10	100	96	99.90	0.39
TNMZ	997	0.45	0.13	0.41	0.02	0.36	0.09	0.32	0.01	47.52	42.60	43.44	0.15	41.28	29.76	31.44	0.04	50.00	0.08	0.48	2.27	100	0	99.57	5.37

**Tabla 2.** Continuación, estadística del análisis de calidad de las 65 estaciones GPS de operación continua seleccionadas en México, ordenadas en función del promedio MP1

Estación	Días	MP1 (m)				MP2 (m)				SNR1 (dBHz)				SNR2 (dBHz)				CSR (1000/(σ/slps))				R (%)			
		Max	Min	Promedio	σ	Max	Min	Promedio	σ	Max	Min	Promedio	σ	Max	Min	Promedio	σ	Max	Min	Promedio	σ	Max	Min	Promedio	σ
UGEO	1958	0.45	0.22	0.40	0.02	0.51	0.24	0.43	0.02	43.74	40.98	42.30	0.08	33.30	27.36	28.98	0.18	8.62	0.04	1.04	0.54	98	71	95.93	1.34
UNPM	3661	0.63	0.26	0.39	0.10	0.67	0.29	0.38	0.04	44.10	42.84	43.62	0.04	38.22	31.32	32.28	0.16	3.75	0.04	0.13	0.18	100	71	99.61	1.06
IAGX	685	0.51	0.35	0.39	0.03	0.52	0.3	0.32	0.02	42.96	41.34	42.12	0.03	32.64	26.04	27.72	0.08	0.47	0.04	0.08	0.07	100	98	99.93	0.29
PTEX	3191	0.43	0.35	0.39	0.01	0.36	0.28	0.32	0.01	42.90	41.64	42.00	0.05	35.40	29.10	29.70	0.07	1.77	0.04	0.10	0.09	98	94	97.06	0.43
PLTX	3370	0.41	0.35	0.38	0.01	0.35	0.27	0.29	0.01	44.16	42.54	43.44	0.05	38.22	31.32	32.40	0.08	3.19	0.04	0.07	0.10	99	96	98.82	0.42
TNMO	3495	0.4	0.32	0.34	0.01	0.44	0.31	0.36	0.03	43.98	42.48	43.38	0.05	37.86	30.24	32.04	0.07	2.39	0.04	0.22	0.16	100	93	99.83	0.42
PSTX	3067	0.43	0.30	0.34	0.01	0.38	0.23	0.26	0.01	43.02	41.52	42.24	0.05	33.66	27.24	28.26	0.07	4.78	0.04	0.07	0.13	100	37	99.86	2.04
PALX	3428	0.35	0.29	0.32	0.01	0.3	0.24	0.27	0.01	44.58	42.48	43.38	0.04	38.40	31.44	32.28	0.07	2.89	0.04	0.14	0.12	99	88	97.68	0.66
PIZX	3057	0.33	0.09	0.30	0.01	0.32	0.09	0.26	0.01	46.62	42.48	43.44	0.05	39.72	31.02	32.10	0.07	76.92	0.04	0.22	1.66	100	48	99.43	3.78
IPAZ	2593	0.43	0.09	0.29	0.1	0.57	0.22	0.40	0.07	47.52	34.20	40.86	1.03	43.62	35.10	40.44	0.39	19.61	0.04	1.08	1.16	100	82	99.75	0.91
TAMP	2581	0.46	0.09	0.28	0.1	0.51	0.17	0.36	0.05	47.58	33.90	40.86	0.99	43.98	36.54	40.02	0.46	25.64	0.04	3.59	3.63	101	0	98.93	6.49
CHET	3624	0.50	0.10	0.24	0.1	0.59	0.22	0.34	0.06	44.10	41.88	42.96	1.11	37.38	18.00	31.20	0.47	20.00	0.04	4.93	3.63	101	65	98.85	4.40
ICAM	2590	0.44	0.08	0.24	0.09	0.50	0.18	0.32	0.04	48.24	34.32	40.98	1.00	45.00	35.34	40.20	0.43	11.49	0.04	3.80	3.73	100	81	99.62	1.48
PLPX	3373	0.34	0.16	0.24	0.01	0.73	0.17	0.23	0.05	48.30	17.04	38.88	0.07	44.34	36.06	40.74	0.13	250.00	0.04	0.39	5.49	100	0	94.26	20.86
MERI	3606	0.43	0.08	0.22	0.1	0.48	0.19	0.32	0.05	47.58	33.84	39.36	0.96	46.80	34.80	41.04	0.49	9.01	0.04	4.85	3.40	100	50	98.42	2.53
TOL2	3566	0.35	0.07	0.20	0.06	0.58	0.17	0.29	0.05	48.54	29.22	39.36	0.97	43.62	36.78	40.26	0.33	14.29	0.04	1.10	1.26	100	67	98.56	3.55
MTY2	3586	6.11	0.07	0.19	0.25	6.32	0.14	0.27	0.26	47.94	33.24	39.24	0.83	44.10	37.44	40.92	0.49	500	0.04	5.81	23.63	100	24	99.63	3.57
OAX2	3630	0.35	0.08	0.19	0.05	0.56	0.13	0.27	0.06	47.58	30.84	39.06	1.02	44.16	13.44	41.10	0.36	20.41	0.04	5.05	3.72	100	49	99.08	2.45
COL2	3637	0.36	0.12	0.18	0.04	0.65	0.14	0.36	0.13	47.46	33.96	39.60	0.99	44.16	34.26	40.44	0.38	12.2	0.04	4.97	3.68	100	26	99.24	2.55
MEXI	3591	0.57	0.08	0.18	0.03	0.53	0.12	0.29	0.07	47.46	32.88	38.76	0.89	43.32	36.30	40.38	0.53	23.81	0.04	2.04	2.10	100	0	99.55	2.98
INEG	3430	0.34	0.04	0.14	0.03	0.47	0.05	0.19	0.04	53.82	32.52	39.60	0.97	46.86	38.10	42.78	0.5	17.54	0.04	4.42	3.49	100	1	99.25	4.02

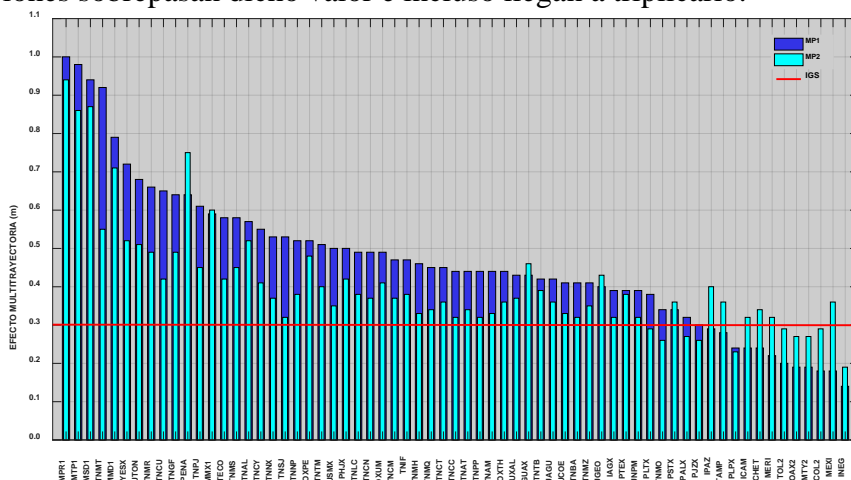
### Análisis estadístico del efecto multirayectoria

Los valores promedios respecto al efecto multirayectoria en la banda L1 se presentan entre 0.14 y 1.00 m, teniendo valores máximos entre 0.33 y 6.11 m y mínimos entre 0.04 y 0.80 m. Para MP2, los valores promedios están entre 0.19 y 0.94 m, los valores máximos entre 0.30 y 6.32 m y mínimos entre 0.05 y 0.48 m.

La estación MPR1 perteneciente a la red CORS presenta los valores promedios más elevados de MP1 y MP2 de todas las estaciones con 1.00 m y 0.94 m, respectivamente. En contraste, la estación INEG de la red IGS y RGNA, muestra la menor afectación con 0.14 m en MP1 y 0.19 m para MP2, siendo la estación menos afectada de las 65 evaluadas, ocupando el último lugar en la Tabla 2.

La Figura 3 representa los valores promedios del efecto multirayectoria en las bandas L1 y L2 por estación, ordenados de mayor a menor respecto del efecto en la banda L1. Generalmente MP1 es menor a MP2, sin embargo, este comportamiento sólo se encuentra en 16 estaciones, el resto presenta valores de MP1 mayores a MP2.

Como se indicó anteriormente, el valor recomendado máximo permisible en MP por el IGS es de 0.30 m (línea roja horizontal). En la gráfica queda demostrado que sólo siete estaciones (INEG, MEXI, MTY2, OAX2, TOL2, PLPX, PJZX) cumplen con este estándar internacional y que el resto de estaciones sobrepasan dicho valor e incluso llegan a triplicarlo.



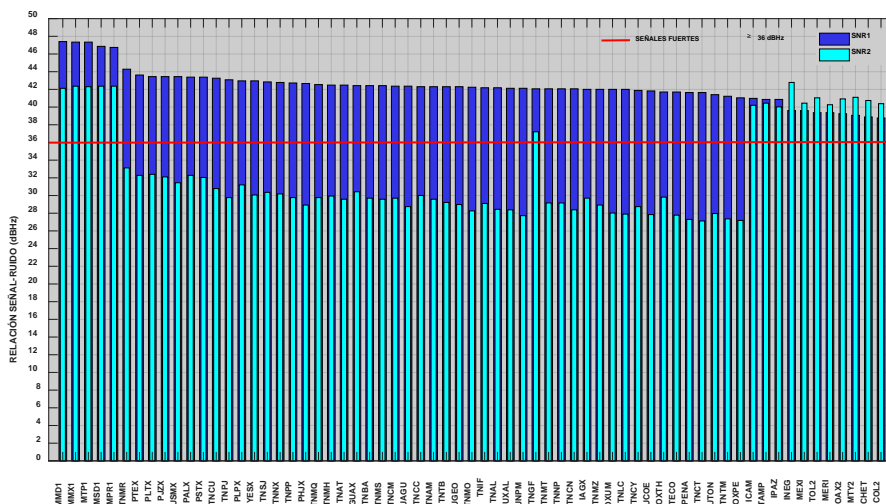
**Figura 3.** Promedio global de efecto multirayectoria por estación, MP1-RMS, MP2-RMS. La línea roja muestra el valor del efecto multirayectoria recomendado máximo permisible por el IGS.

Dicho comportamiento en estas estaciones puede estar relacionado con los cambios de hardware y software (Ray y Senior, 2005; Herrada et al., 2010; Vázquez et al., 2013), si bien, las estaciones que menor efecto multirayectoria

reflejan, son aquellas que han tenido actualizaciones recientes (entre los años 2016 y 2017), mejorando el comportamiento del efecto multitrayectoria, como es visto en INEG, MEXI, MTY2, OAX2 y TOL2. Por otro lado, las estaciones de mayor grado de afectación, como MPR1, MTP1, MSD1, MMD1, MMX1, no han registrado cambio ni actualización en ninguno de sus componentes desde su instalación. Sin embargo, el efecto multitrayectoria que registran ha sido constante sin mostrar saltos bruscos (Tabla 2), lo cual, puede estar relacionado también con el ambiente multitrayectoria circundante a la estación.

### Análisis estadístico de la relación señal-ruido

En la Figura 4 se muestran los valores promedios de SNR1 y SNR2 para cada estación en dBHz. Con base en la clasificación de señales fuertes y débiles, las 65 estaciones presentan señales fuertes en la banda L1, entre 38.76 y 46.74 dBHz, mientras en la banda L2 se registran 48 estaciones con señales débiles con valor mínimo de 27.12 dBHz pertenecientes a UNAVCO; y 17 estaciones con señales fuertes con valor máximo de 42.78 dBHz (Tabla 2), de las cuales 15 pertenecen a NGS, 1 a IGS y 1 a UNAVCO.



**Figura 4.** Promedio global de la relación señal-ruido por estación, SNR1 y SNR2. La línea roja muestra la división entre señales fuertes  $\geq 36$  dBHz y débiles  $< 36$  dBHz.

El límite entre señales fuertes y débiles se denota con una línea horizontal roja en la Figura 4, solamente 17 estaciones reciben señales fuertes en ambas bandas y 48 estaciones muestran señales fuertes en L1 y débiles en L2.

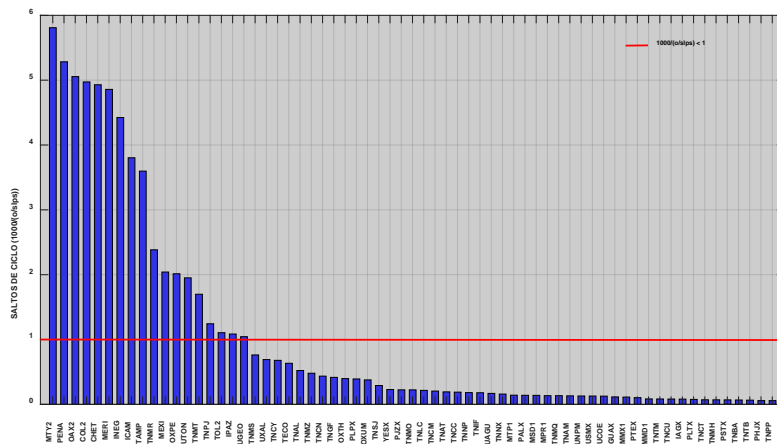
Un caso particular es el de las estaciones: MPR1, MTP1, MSD1, MMD1 y MMX1 pertenecientes a la red CORS, las cuales presentan un grado elevado de efecto multitrayectoria. De acuerdo con Kamatham (2018) a mayor SNR menor efecto multitrayectoria debería presentarse en la estación, es decir, una relación inversamente proporcional de SNR y MP. No obstante, dicho

comportamiento no se refleja en estas estaciones, lo cual puede estar relacionado con el entorno cercano a la antena, así como del receptor (hardware o firmware). En este sentido, los ficheros log fueron consultados encontrando el mismo tipo de instrumentación en las 5 estaciones y, hasta la fecha, no ha existido cambio de receptor NOV WAASGII, tipo de antena NOV WAASGII ni actualización de firmware 2.003.

Por otro lado, las estaciones (MTY2, OAX2, TOL2, MEXI e INEG), pertenecientes a la red CORS/RGNA, presentan un comportamiento inverso en ambos indicadores, es decir, bajo efecto multitrayectoria y señales fuertes en L1 y L2. Aunado a esto, dichas estaciones tienen en común el tipo de receptor LEICA GR10, tipo de antena LEIAR10 y versión de firmware 4.11/6.523.

### Análisis estadístico de los saltos de ciclo

La estación de mayor pérdida de la fase portadora es la estación MTY2 con un máximo de 500 saltos de ciclo por cada 1000 observaciones ( $1000/(o/slps)$ ), un mínimo de 0.04 y un promedio de 5.81, seguida por la estación PENA con promedio de 5.28, siendo la estación TNPP la que presenta menor pérdida con 0.06 en promedio, como se muestra en la Figura 5.



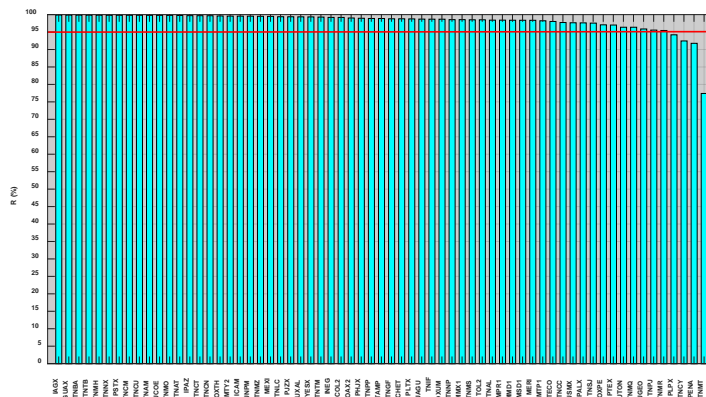
**Figura 5.** Promedio global de saltos de ciclo por cada 1000 observaciones (CSR) por estación. La línea roja representa el valor recomendado de CSR por el IGS.

Las estaciones pertenecientes a la red CORS/RGNA que han presentado valores bajos en multitrayectoria y señales fuertes, son las mismas estaciones que presentan la mayor cantidad de saltos de ciclo en promedio. Sin embargo, se esperaría que fuese de manera inversa, ya que, tanto el efecto multitrayectoria como la baja relación señal-ruido son los principales factores para la ocurrencia de los saltos de ciclo, no obstante, también podrían ser ocasionados por falla en el software del receptor y el entorno de la estación.

Con base en lo establecido por el Servicio GNSS Internacional, 18 estaciones GPS sobrepasan el valor máximo permisible recomendado en CSR; es decir, pérdida de un salto de ciclo por cada 1000 observaciones, siendo la línea roja (Figura 5) el límite del valor recomendado para CSR. En total, 47 estaciones se encuentran por debajo de este valor, las cuales pertenecen a la red Transboundary, Land and Atmosphere Long-term Observational and Collaborative Network (TLALOCNet), Plate Boundary Observatory (PBO), Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network (COCONet), Red Geodésica del Noroeste de México (REGNOM) y CORS.

### Análisis estadístico del porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas

Respecto al porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas (R), 64 estaciones logran completar más del 90.00 % de las observaciones posibles y sólo la estación TNMT logra concretar el 77.45 % de las mismas como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Promedio global del porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas (R) por estación. La línea roja representa, en porcentaje (95%), el valor recomendado por el IGS.

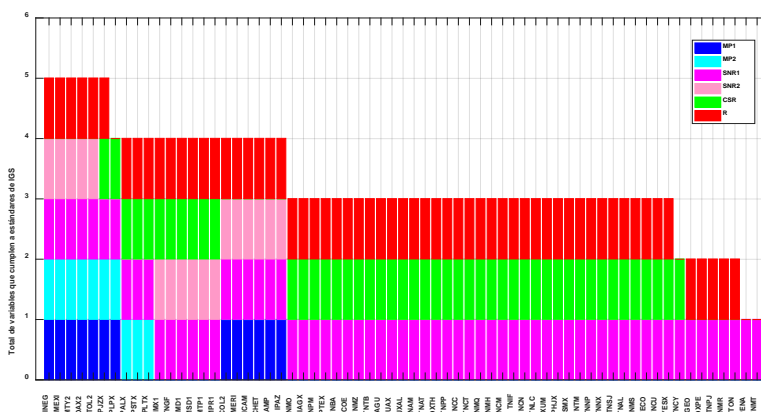
La estación IAGX es la que mejor porcentaje de observaciones presenta con un 99.93 %, sin embargo, son 31 estaciones entre 99.00 % y 99.93 %, 19 entre 98.00 % y 98.99 %, 6 entre 97.00 % y 97.99 %, 2 entre 96.00 % y 96.99 % y finalmente 3 entre 95.00 % y 95.99 %. Sólo las estaciones PLPX, TNCY, PENA y TNMT tienen un valor por debajo del recomendado, resultando un total de 61 estaciones con un porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas aceptable por el IGS.

### Análisis de los indicadores de calidad para estaciones de operación continua con base a los estándares del IGS

En la Figura 7 se muestran los 4 indicadores analizados, asignando un color diferente y valor de 1 cuando se ajusta al estándar propuesto por el IGS,

es decir, el valor máximo será de 6 con una barra superpuesta de 6 colores correspondientes a cada variable (MP1, MP2, SNR1, SNR2, CSR, R). Sin embargo, cuando la variable no se ajusta no se le asignará valor, de este modo sólo se muestran aquellas que cumplen con los estándares del IGS.

De las 65 estaciones evaluadas, 6 estaciones cumplen con el estándar del IGS en 5 de sus 6 variables; 16 estaciones lo cumplen en 4; 35 con 3; 6 con 2 y 2 con una variable.



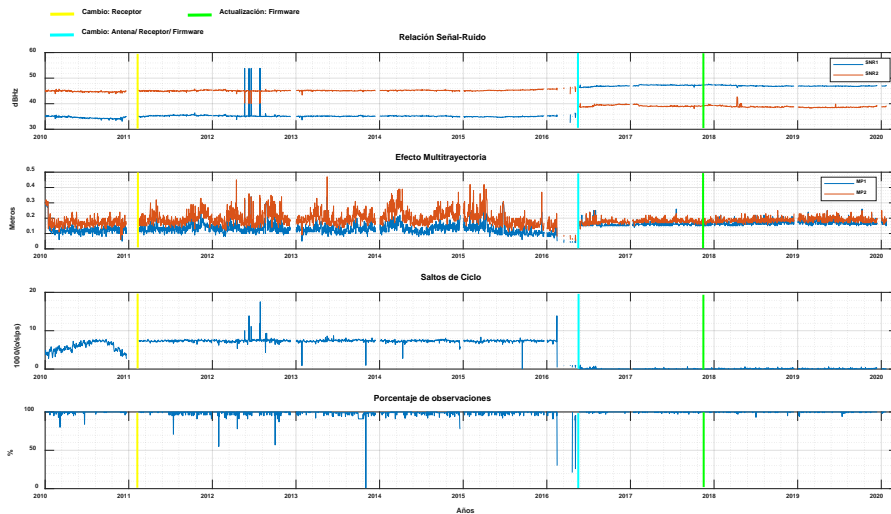
**Figura 7.** Variables que cumplen los estándares establecidos por el IGS. Se asignan los valores de: MP1 = 1; MP2 = 1, SNR1 = 1; SNR2 = 1; CSR = 1; R = 1, si las variables se cumplen.

Ninguna de las estaciones analizadas cumple al cien por ciento con los indicadores de calidad establecidos por el IGS. Sin embargo, la estación INEG tiene un grado adecuado de cumplimiento de los parámetros de calidad, siendo también la única estación que forma parte de la red IGS. Esta estación presenta el menor grado de efecto multitrayectoria de las 65 estaciones, con valores promedio de 0.14 m en MP1 y de 0.19 m para MP2, un porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas del 99.25 % y señales fuertes en ambas bandas con SNR1 de 39.6 dBHz y SNR2 de 42.78 dBHz, como se puede observar en sus series temporales en la Figura 8.

El cambio del receptor TRIMBLE 5700 a finales de enero de 2011 al mismo tipo de receptor no presenta cambios significativos en la relación señal-ruido, sin embargo, se refleja mayor inestabilidad en el efecto multitrayectoria y saltos de ciclo mayores a uno por cada mil observaciones. El siguiente cambio en mayo de 2016 de receptor TRIMBLE 5700 a receptor LEICA GR10, antena TRM29659.00 NONE a LEIAR10 NONE y actualización de firmware 1.24 a la versión 3.22/6.521 muestra una mejora en los cuatro parámetros de calidad, se incrementa la relación señal-ruido, los valores de multitrayectoria se estabilizan siendo menores a 0.25 m, el porcentaje de observaciones registradas respecto de las esperadas oscila entre 98 y 100 %, y los saltos de ciclo disminuyen a menos de 1 por cada 1000 observaciones. La



última actualización a la versión de firmware 4.11/6.523 no muestra mejoras significativas ni afectaciones en el sistema.



**Figura 8.** Series temporales de los índices de calidad para la estación INEG.

El adecuado comportamiento descrito en la estación INEG desde el año 2010, y mejorado en mayo del 2016, no sólo está en función del sistema (antena-receptor-firmware), sino también del entorno de la estación que ha presentado un bajo efecto multitrayectoria (Figura 9).



**Figura 9.** Monumentación y vista general de la estación INEG, (21/07/2011).

## Discusión

De las 65 estaciones analizadas, 60 muestran un comportamiento directamente proporcional entre el efecto multitrayectoria y la relación señal-ruido, tal comportamiento puede estar relacionado con el cambio de hardware y actualización de firmware del sistema. Las estaciones que muestran un mejor desempeño en la recepción de la señal son aquellas en las que se han realizado cambios y actualizaciones, sin embargo, aún siguen mostrando un elevado efecto multitrayectoria a pesar de la cuidadosa selección de localización y uso de antenas tipo Choke Ring y Trimble Zephyr Geodetic.

Con base en los resultados expuestos por Vázquez et al. (2013) y los resultados de este estudio, las estaciones MEXI e INEG muestran continuidad desde el

año 1994 y 1998 respectivamente, así como, las estaciones PLPX y PJZX muestran estabilidad respecto al efecto multitrayectoria. En este sentido, se ha retomado el estudio desde el año 2010 a enero de 2020 agregando 3 índices de calidad a la evaluación (SNR, CSR y R), así como 12 estaciones adicionales de libre acceso, siendo la estación INEG la que muestra una mejora significativa en MP1 pasando de 0.80 m en 1999 a 0.14 m en promedio, para los últimos 10.07 años analizados, cumpliendo así los estándares internacionales recomendados por el IGS, a excepción de la cantidad de saltos de ciclo por cada 1000 observaciones.

### **Conclusiones**

En promedio global, las estaciones han demostrado estabilidad y continuidad en los datos obtenidos respecto de los parámetros de calidad estudiados, cumpliendo además con 3.3 de las 6 variables evaluadas acorde con el estándar del IGS para formar parte de su red. Considerando el efecto multitrayectoria como el principal degradador de la señal y del posicionamiento preciso, la estación INEG es la que mejor rendimiento ha presentado, mostrando bajos niveles de efecto multitrayectoria y cumpliendo todos los estándares de calidad excepto la cantidad de saltos de ciclo por cada 1000 observaciones.

Las estaciones MEXI, MTY2, OAX2 Y TOL2 cumplen los mismos indicadores de calidad que la estación INEG en los 10.07 años evaluados y todas ellas podrían ser consideradas para formar parte de la red IGS. No obstante, su inclusión queda sujeta a las normas y políticas de dicho organismo.

Por otra parte, se muestra que el efecto multitrayectoria se presenta en mayor cantidad en aquellas estaciones en las que no se han realizado cambios en su sistema (antena-receptor-firmware), degradando generalmente la recepción de la señal en la banda L2, es decir, una relación señal-ruido (SNR2) con señales débiles. Caso contrario de las estaciones en las que si se realizaron cambios y actualizaciones, las cuales reflejan un mejor desempeño. Sin embargo, se requiere de un análisis más profundo para determinar si todas las actualizaciones implican mejoras significativas para los índices de calidad. Finalmente, sería adecuado realizar un análisis de impacto en el posicionamiento preciso para comparar la respuesta de las estaciones que presentan valores aceptables por el IGS respecto de las que no llegan a cumplirlos. Así mismo, se podría considerar un análisis geodinámico con las 61 estaciones GPS, en territorio mexicano, que superan el tiempo de operación mínimo recomendado de 2.5 años.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado bajo el apoyo institucional 03856 de la Dirección General de Desarrollo Internacional (DGDI-BUAP) y CVU: 429125 y 817394 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en México. Un amplio agradecimiento a UNAVCO, CORS, IGS y SOPAC por poner a disposición todos los datos crudos, sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible. A los revisores por sus comentarios y sugerencias que han mejorado de manera relevante la calidad de este manuscrito. *"This material is based on services provided by the GAGE Facility, operated by UNAVCO, Inc., with support from the National Science Foundation and the National Aeronautics and Space Administration under NSF Cooperative Agreement EAR-1724794."*

## References:

1. Álvarez, G. D. A. (2008). GNSS — Global Navigation Satellite Systems. GNSS — Global Navigation Satellite Systems. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1>
2. Blewitt, G., y Lavallée, D. (2002). Effect of annual signals on geodetic velocity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B7), ETG 9-1-ETG 9-11. <https://doi.org/10.1029/2001jb000570>
3. Brown, N., Kealy, A., Millner, J., y Ramm, P. (2002). Quality Control and Integrity Monitoring of the Victorian GPS Reference Station Network. *Proceedings FIG XXII International Congress*, 1–5. [https://minervaaccess.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/33882/66238\\_00001133\\_01\\_8\\_o2\\_BrownKealyIpw\\_GPS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minervaaccess.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/33882/66238_00001133_01_8_o2_BrownKealyIpw_GPS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
4. Cao, Y., Guan, Y., Li, C., y Hou, H. (2019). Application of GNSS displacement monitoring system in measurement of open sea structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 304(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/304/2/022064>
5. Estey, L. H., y Meertens, C. M. (1999). TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. *GPS Solutions*, 3(1), 42–49. <https://doi.org/10.1007/PL00012778>
6. Foster, J. (2015). GPS and surveying. *Handbook of Sea-Level Research*, 157–170. <https://doi.org/10.1002/9781118452547.ch10>
7. García-Armenteros, J. A. (2020). Monitorización Y Control De Calidad De Las Estaciones De La Red CGPS Topo-Iberia-UJA. *European Scientific Journal ESJ*, 16(24), 1–28. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n24p1>
8. Gurtner, W., y Estey, L. (2013). Rinex (The Receiver Independent Exchange Format) Version 3.01. Available at <ftp://igs.org/pub/data/format/rinex301.pdf>. June.

- <http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/rinex301.pdf>
9. Hatanaka, Y. (2008). A Compression Format and Tools for GNSS Observation Data. *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 55, 21–30. <http://web1.gsi.go.jp/common/000045517.pdf>
  10. Herrada, A., Miranda, S., Fuentes, C., Torres Lobato, O., y Pintos, H. (2010). Monitoreo de la calidad de datos GPS continuo: la estacion UNSJ (San Juan, Argentina). *GEOACTA*, 55–62.
  11. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., y Wasle, E. (2008). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
  12. IGS. (2019). Current IGS Site Guidelines – IGS. <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202011433-Current-IGS-Site-Guidelines>
  13. Kamatham, Y. (2018). Estimation, analysis and prediction of multipath error for static GNSS applications. 2018 Conference on Signal Processing And Communication Engineering Systems, SPACES 2018, 2018-Janua, 62–65. <https://doi.org/10.1109/SPACES.2018.8316317>
  14. Leick, A., Rapoport, L., y Tatarnikov, D. (2015). *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons.
  15. Liu, T., Zhang, B., Yuan, Y., y Zhang, X. (2020). On the application of the raw-observation-based PPP to global ionosphere VTEC modeling: an advantage demonstration in the multi-frequency and multi-GNSS context. *Journal of Geodesy*, 94(1). <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01332-z>
  16. Marquez-Azua, B., y DeMets, C. (2009). Deformation of Mexico from continuous GPS from 1993 to 2008. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2008GC002278>
  17. Murray, J. R., Bartlow, N., Bock, Y., Brooks, B. A., Foster, J., Freymueller, J., Hammond, W. C., Hodgkinson, K., Johanson, I., López-Venegas, A., Mann, D., Mattioli, G. S., Melbourne, T., Mencin, D., Montgomery-Brown, E., Murray, M. H., Smalley, R., y Thomas, V. (2019). Regional Global Navigation Satellite System Networks for Crustal Deformation Monitoring. *Seismological Research Letters*, XX(Xx), 1–21. <https://doi.org/10.1785/0220190113>
  18. Ray, J., y Senior, K. (2005). Geodetic techniques for time and frequency comparisons using GPS phase and code measurements. *Metrologia*, 42(4), 215–232. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/42/4/005>
  19. Seeber, G. (2008). Satellite Geodesy Foundations, Methods, and Applications. In *Journal of the Geodetic Society of Japan* (Vol. 40, Issue 3). <https://doi.org/10.11366/sokuchi1954.40.295>

20. Sonnette, L., Angelier, J., Villemin, T., & Bergerat, F. (2010). Faulting and fissuring in active oceanic rift: Surface expression, distribution and tectonic-volcanic interaction in the Thingvellir Fissure Swarm, Iceland. *Journal of Structural Geology*, 32(4), 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2010.01.003>
21. Souto, M. S. (2014). Análisis de calidad y preprocesamiento de datos GNSS de la estación permanente UCOR (Córdoba, Argentina). *Revista de La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 1(1), 91. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/6971>
22. Vázquez, G. E., Bennett, R., y Spinler, J. (2013). Assessment of Pseudorange Multipath at Continuous GPS Stations in Mexico. *Positioning*, 04(03), 253–265. <https://doi.org/10.4236/pos.2013.43025>
23. Xiao, Y., Yao, M. H., Tang, S. H., Liu, H. F., Xing, P. W., y Zhang, Y. (2020). Data Quality Check and Visual Analysis of Cors Station Based on Anubis Software. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W10(November 2019), 1295–1300. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-3-w10-1295-2020>
24. Yanlong, G., Zhijiang, Z., Yueping, H., Lming, F., y Fuchao, C. (2012). APLICACION OF CORS OF GNSS IN LAND SUBSIDENCE MONITORING IN TIANJIN [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 5.
25. Yeh, T. K., Wang, C. S., Chao, B. F., Chen, C. S., y Lee, C. W. (2007). Automatic data-quality monitoring for continuous GPS tracking stations in Taiwan. *Metrologia*, 44(5), 393–401. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/44/5/016>
26. Yeh, T. K., Liou, Y. A., Wang, C. S., y Chen, C. S. (2008). Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using the GPS data quality indices. *Metrologia*, 45(5), 562–570. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/5/010>
27. Zhang, N., Zhang, S., He, Y., Zhang, Q., Zhang, X., y Wan, T. (2017). Characteristic of GPS SNR and it's application for snow depth monitoring analysis. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 437, 175–185. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4588-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4588-2_15)
28. Zhang, R., Gao, C., Pan, S., y Shang, R. (2020). Fusion of GNSS and speedometer based on VMD and its application in bridge deformation monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/s20030694>
29. Zuo, X., Bu, J., Li, X., Chang, J., y Li, X. (2019). The quality analysis of GNSS satellite positioning data. *Cluster Computing*, 22, 6693–6708. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2524-1>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

### **Kafui Codjo. Kouassi,**

Faculté des Sciences (FDS) : Département de Biochimie, Université de Lomé, Lomé-Togo  
Centre Hospitalier Universitaire Campus- Unité d'Hématologie, Lomé -Togo

Laboratoire de Sciences Biomédicales, Agroalimentaires et Santé Environnementale (LaSBASE)- Université de Lomé, Lomé-Togo

### **Micheline A .H. N Tettekpoe,**

Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-Université de Lomé, Togo

### **Gnatoulma Katawa,**

Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-Université de Lomé, Lomé-Togo

ESTBA-Unité de Recherche en Immunologie et Immunomodulation (UR2IM)-Université de Lomé, Lomé-Togo

### **Agboka Hounogbe,**

Centre Hospitalier Universitaire Campus- Unité d'Hématologie, Lomé -Togo

### **Damintoti S. Karou,**

Faculté des Sciences (FDS) : Département de Biochimie, Université de Lomé, Lomé-Togo  
Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-Université de Lomé, Lomé-Togo

Submitted: 05 October 2020

Accepted: 25 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

**Kafui Codjo KOUASSI**

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p355](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p355)

 Copyright 2020 Kouassi et al.  
Distributed under Creative Commons  
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Kouassi K, Tettekpoe M, Katawa G, Hounogbe A, Karou D (2020). Depistage De L'anemie En Urgence Au Chu Campus : Validation Du Degre De Concordance Entre Les Resultats De L'hemocue® Hb 301 Et Ceux Du Sysmex Xn-1000® *European Scientific Journal, ESJ, 16 (33)*, 355.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p355>

## **Depistage De L'anemie En Urgence Au Chu Campus : Validation Du Degre De Concordance Entre Les Resultats De L'hemocue® Hb 301 Et Ceux Du Sysmex Xn-1000®**

### **Résumé :**

Introduction: Un dépistage fiable de l'anémie dans un contexte d'urgence grâce à un hémoglobinomètre de biologie délocalisée demeure un défi en Afrique. Le but de cette étude était d'évaluer le degré de concordance des résultats d'hémoglobininémie obtenus sur l'HemoCue® Hb 301 par rapport à ceux de l'analyseur Sysmex XN-1000®. Méthodes : Il s'est agi d'une étude rétrospective et transversale descriptive réalisée du 08 Mai 2017 au 23 Février 2018 au CHU Campus du Togo. La performance du Sysmex XN-1000® a été confirmée grâce à l'évaluation de l'exactitude et de la fidélité de mesure. La performance de l'Hemocue® Hb 301 a été évaluée au moyen d'une régression linéaire et du diagramme de Bland et Altman vis-à-vis du Sysmex XN-1000®. Les critères de performances utilisés étaient ceux du Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA) et de RICOS et al. Résultats: Le niveau d'exactitude selon CLIA du Sysmex XN-1000® était de 100%. L'équation de la droite de régression était:  $Y (\text{HemoCue}^{\circledR} \text{Hb } 301) = 0,99x (\text{Sysmex XN-1000}^{\circledR}) + 0,54 \text{ g/dl}$ . Les valeurs médianes des 100 échantillons sur le Sysmex et l'Hemocue étaient respectivement de 12,55 g/dl et 13,00 g/dl avec un biais médian de 3,58%, qui était inférieur au biais limite de  $\pm 7,0\%$  (CLIA). Conclusion: Le Sysmex XN-1000® fournit des résultats d'hémoglobininémie interchangeables avec ceux de l'HemoCue® Hb 301, sans altération de la capacité diagnostique pour le patient. Il reste donc performant pour un

quelconque dosage d'hémoglobinémie en  
urgence.

---

**Subject:** Medicine

**Mots clés :** Exactitude, Hémoglobine,  
régression linéaire, Bland-Altman, Togo

# **Emergency Anemia Screening At Chu Campus: Validation Of The Degree Of Concordance Between The Results Of Hemocue® Hb 301 And Those Of Sysmex Xn-1000®**

***Kafui Codjo. Kouassi,***

Faculté des Sciences (FDS) : Département de Biochimie, Université de  
Lomé, Lomé-Togo

Centre Hospitalier Universitaire Campus- Unité d'Hématologie, Lomé -  
Togo

Laboratoire de Sciences Biomédicales, Agroalimentaires et Santé  
Environnementale (LaSBASE)- Université de Lomé, Lomé-Togo

***Micheline A .H. N Tettekpoe,***

Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-  
Université de Lomé, Lomé-Togo

***Gnatoulma Katawa,***

Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-  
Université de Lomé, Lomé-Togo

ESTBA-Unité de Recherche en Immunologie et Immunomodulation  
(UR2IM)-Université de Lomé, Lomé-Togo

***Agboka Hounogbe,***

Centre Hospitalier Universitaire Campus- Unité d'Hématologie, Lomé -Togo

***Damintoti S. Karou,***

Faculté des Sciences (FDS) : Département de Biochimie, Université de  
Lomé, Lomé-Togo

Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires (ESTBA)-  
Université de Lomé, Lomé-Togo

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p355](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p355)

---

## **Abstract**

**Introduction:** Reliable anemia screening in an emergency setting, using a Point-of-care hemoglobinometer remains a challenge in Africa. The purpose of this study was to assess the degree of agreement between hemoglobin results obtained on the HemoCue® Hb 301 compared to those of the Sysmex XN-1000® Analyzer. **Methods:** This was a retrospective and cross-sectional descriptive study carried out from May 08 2017 to February



23, 2018 at the Campus teaching hospital of Togo. The performance of the Sysmex XN-1000® was confirmed by evaluating the measurement accuracy and precision. The performance of Hemocue® Hb 301 was assessed using linear regression and a Bland and Altman plot against Sysmex XN-1000®. The performance criteria used were those of Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA) and RICOS et al. Results: The CLIA level of accuracy of the Sysmex XN-1000® was 100%. The equation for the regression line was:  $Y (\text{HemoCue}^{\circledR} \text{ Hb } 301) = 0.99x (\text{Symex XN-1000}^{\circledR}) + 0.54 \text{ g / dl}$ . The median values of the 100 samples on the Sysmex and Hemocue were 12.55 g / dl and 13.00 g / dl respectively, with a median bias of 3.58%, which was less than the borderline bias of  $\pm 7.0 \%$  of CLIA. **Conclusion:** The Sysmex XN-1000® provides interchangeable hemoglobin results with those of HemoCue® Hb 301, without altering the diagnostic ability for the patient. It therefore remains effective for any emergency dosage of hemoglobinemia.

---

**Keywords:** Accuracy, Hemoglobin, linear regression, Bland-Altman, Togo

## Introduction

La concentration en hémoglobine est l'indicateur le plus pertinent du diagnostic de l'anémie qui est un problème mondial de santé publique, fréquent en Afrique. La prévalence de l'anémie en Afrique était de 62,8% chez les enfants de moins de 5 ans (WHO, 2011 ; OMS, 2015). Chez les femmes enceintes, cette prévalence était de 40,1% dans le monde en 2016. Dans la même année cette anémie a affecté 613,2 millions de femmes en âge de procréer, âgées de 15 à 49 ans (WHO, 2018). Le diagnostic de l'anémie est souvent réalisé dans les laboratoires à partir du sang veineux. Une alternative à cette méthode dans les situations d'urgences ou en dehors des installations d'un laboratoire est l'utilisation d'un hémoglobinomètre pour dépister l'anémie à partir d'une goutte de sang (Parker *et al.*, 2018). Au Togo l'hémoglobinomètre Hemocue 201+ était utilisé chez les donneurs de sang au Centre National de Transfusion Sanguine et sa performance était évaluée en 2018 (Layibo *et al.*, 2018). Dans l'unité d'urgence biologique du CHU Campus, le nouveau Hemocue® Hb 301 est utilisé en remplacement de l'Hemocue 201+. L'automate Sysmex XN-1000® est utilisé en routine de jour pour la numération formule sanguine (NFS). La revue de la littérature ne montre pas l'existence de données de vérification des performances analytiques de l'analyseur Hemocue® Hb 301 au CHU Campus ou dans une structure sanitaire du Togo, comme le recommande les normes ISO/CEI 15189 version 2012 «Laboratoires de biologie médicale-Exigences concernant la qualité et la compétence» (ISO, 2012) et ISO 22870 version 2016 «Examens de biologie médicale délocalisée (EBMD)-Exigences concernant la qualité et la compétence» (ISO, 2016). L'objectif de la présente étude était

d'évaluer le degré de concordance des résultats d'hémoglobémie obtenus sur l'HemoCue® Hb 301 par rapport à ceux de l'automate Sysmex XN-1000®.

## 1. Matériel Et Methodes

Il s'est agi d'une étude rétrospective et transversale descriptive réalisée du 08 mai 2017 au 23 Février 2018 au sein du service des laboratoires du CHU Campus. Le volet rétrospectif concernait les résultats d'Evaluation Externe de la Qualité (EEQ) obtenus sur le Sysmex XN-1000® pour établir son exactitude. Le volet transversal couvrait l'étude de la fidélité de mesure sur Sysmex XN-1000® et les essais d'évaluation du degré de concordance entre les résultats de l'Hemocue® Hb 301 et ceux du Sysmex XN-1000®.

### 1.1 Prélèvement et Aspect éthique

Les échantillons veineux utilisés étaient prélevés dans des tubes EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétique), par des techniciens de laboratoire formés sur les bonnes pratiques de prélèvements sanguins. C'était des échantillons de patients reçus en routine au service des laboratoires du CHU Campus pour un examen de la NFS. Ces échantillons ont fait l'objet d'une mesure de la concentration d'hémoglobine sur le Sysmex XN-1000® et l'Hemocue® Hb 301.

L'étude a été réalisée en accord avec la déclaration de bioéthique d'Helsinki et conformément aux exigences de la norme ISO 15189 (ISO, 2012).

### 1.2 Echantillonnage

L'évaluation des performances a porté sur 100 échantillons frais de 4 ml au moins. Ces échantillons ne présentaient ni caillot, ni hémolyse ou lactescence. Ils ont été sélectionnés après mesure de la concentration d'hémoglobine sur le Sysmex XN-1000®, dans les lots journaliers successifs d'échantillons de patients reçus pour la NFS. La sélection a été faite de manière à couvrir l'intervalle des valeurs rencontrées en physiopathologie (3,9-21,9 g/dl soit 214,5-1215,5 mmol/l). Ainsi des échantillons correspondant à 3 niveaux de concentration (niveau bas, moyen et élevé) ont été sélectionnés. Le tableau 1 présente les nombres d'échantillons et les niveaux de concentrations correspondantes.

**Tableau 1 : Critères de sélection des échantillons de comparaison de méthode**

Niveau bas		Niveau moyen		Niveau élevé	
Concentration*	Effectif	Concentration	Effectif	Concentration	Effectif
< 10,0 g/dl (550,0 mmol/l)	35	10,0-15,9 g/dl (550,0-874,5 mmol/l)	35	≥ 16,0 g/dl (880,0 mmol/l)	30

\* Taux de conversion : mmol/l = g/dl x 55

Des échantillons de sang contrôle commerciale XN-L CHECK de marque Sysmex et d'origine Française, de différents niveaux de concentration L1 (316,4-349,7 mmol/l ; 5,7 - 6,3 g/dl), L2 (627,2-660,5 mmol/l ; 11,3 - 11,9 g/dl) et L3 (888,0-943,5 mmol/l ; 16,0 - 17,0 g/dl) ont été utilisés pour les mesures de reproductibilité sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup>.

Trois (3) échantillons frais de 4 ml, de concentration en hémoglobine connue et correspondant aux 3 niveaux prédéfinis (tableau 1) ont été choisis dans les échantillons d'une journée de travail pour les essais de répétabilité sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup>.

Tous les dosages sur les deux équipements ont été réalisés le jour du prélèvement en suivant des procédures analytiques conformes aux instructions des fabricants.

### **1.3 Mesure de la concentration d'hémoglobine sur l'automate Sysmex XN-1000<sup>®</sup>**

L'automate XN-1000<sup>®</sup> (Sysmex corporation, Japon) a servi au dosage de l'hémoglobémie avec les réactifs Sysmex provenant d'Allemagne. Cet automate était utilisé en routine pour les examens de la NFS dont l'un des paramètres biochimiques est la concentration de l'hémoglobine. Cet automate utilise comme procédé d'accessibilité à l'hémoglobine, la lyse des érythrocytes contenus dans 88µl de sang, avec du Sodium Lauryl Sulfate (SLS), un réactif sans cyanure. Les groupements hydrophiles du SLS se lient à l'hème et forment un complexe coloré stable (SLS-Hème) qui est analysé à l'aide d'une méthode spectrophotométrique. La densité optique (DO) de ce complexe a été mesurée à 633 nanomètre (nm) et était inversement proportionnelle à la concentration en hémoglobine de l'échantillon. Le domaine de mesure de l'automate était de 0,2-30,0 g/dl (11,1-1665,0 mmol/l) (Oshiro *et al.*, 1982; Seo *et al.*, 2015). Cet instrument a été utilisé comme équipement de référence.

### **1.4 Mesure de la concentration d'hémoglobine sur l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301**

L'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 (HemoCue AB Company, Suède) est un photomètre, portable qui a servi à mesurer la concentration en hémoglobine des échantillons de sang veineux recueillis dans le cadre de la comparaison de méthode. Dix (10) microlitres du sang contenu dans les tubes EDTA a été introduit par capillarité dans la micro-cuvette spécifique d'HemoCue. Cette micro-cuvette contenait du désoxycholate de sodium, un réactif qui lyse les érythrocytes et transforme l'hémoglobine en azideméthémoglobine. La DO de cette solution a été mesurée à 570 nm et corrigée en fonction du niveau de turbidité à 880 nm. Cette DO était proportionnelle à la quantité d'hémoglobine

présente dans le sang. Le système HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 était étalonné conformément à la méthode de cyanméthémoglobine (HiCN). A chaque mise sous tension, l'analyseur effectuait automatiquement un test de contrôle, qui était repris à intervalles réguliers si l'analyseur reste sous tension (Rippmann *et al.*, 1997; Hemocue, 2007). L'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 était utilisé dans l'unité d'urgence biologique du service des laboratoires du CHU Campus à partir de 5 heures d'après-midi.

### **1.5 Critères d'évaluation de l'exactitude du Sysmex XN-1000<sup>®</sup>**

L'exploitation des résultats des 3 campagnes d'EEQ, d'Avril, de Juillet et d'Octobre 2017 a permis de déterminer le niveau d'exactitude des résultats du Sysmex XN-1000<sup>®</sup>. Le critère de performances « moyenne des participants du groupe pairs  $\pm 7,0\%$  » établi par la société savante CLIA (Clinical Laboratory Improvement Amendments) a été utilisé pour déterminer l'intervalle des valeurs acceptables (Westgard, 2019). Cette prestation d'EEQ était offerte par l'organisme Canadien « Oneworld Accuracy<sup>®</sup> » qui envoyait cinq (5) échantillons de concentrations différentes par campagne. Les valeurs obtenues sur l'automate Sysmex XN-1000<sup>®</sup> étaient conformes si elles étaient comprises dans l'intervalle des valeurs acceptables de CLIA. Pour définir le niveau d'exactitude acceptable pour chaque campagne, le critère « taux de résultats conformes à partir des 5 échantillons  $\geq 80\%$  » défini par le bureau régional de l'OMS « OMS-AFRO » a été utilisé (OMS, 2015).

### **1.6 Critères d'évaluation de la fidélité des mesures du Sysmex XN-1000<sup>®</sup>**

La fidélité de mesure a été évaluée en déterminant la répétabilité (reproductibilité intra-série) et la reproductibilité. La répétabilité a été obtenue à partir de 30 reprises successives d'un échantillon patient de chacun des niveaux bas, moyen et élevé ; dans les mêmes conditions analytiques. La reproductibilité a été obtenue à partir de 30 reprises sur un échantillon de contrôle de chacun des niveaux bas (XN-L CHECK L1), moyen (XN-L CHECK L2) et élevé (XN-L CHECK L3) à raison de 02 mesures par jour, au début et à la fin de la journée de travail pendant 15 jours. Les coefficients de variation (CV) ont été déterminés et comparés à ceux de Ricos *et al.* (2014).

### **1.7 Critères d'évaluation du niveau de concordance des résultats**

Les résultats de mesure des 100 échantillons frais sur l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 comparés à ceux obtenus sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup>, ont permis d'obtenir le diagramme des différences de Bland et Altman. Ce diagramme a servi à d'établir la différence de performance entre les deux équipements en mettant en évidence les points discordants en dehors de la limite d'agrément qui correspondent à  $\pm 2$  écart-types (Giavarina, 2015).

Ces résultats ont également permis de tracer la droite de régression linéaire avec obtention de la pente et de l'ordonnée à l'origine. Les résultats des deux équipements étaient équivalents si la pente était proche de 1 et l'ordonnée à l'origine de 0. Ils étaient interchangeables en présence d'un biais constant inférieur à la tolérance médicale de  $\pm 7\%$  (Feinberg, 2012).

### 1.8 Analyses statistiques

Les différentes données ont été relevées dans un fichier Excel et analysées par le logiciel SPSS 21 (IBM version 3.4 de 2018 des USA) pour la détermination des moyenne  $\pm$  écart-type, quand les données avaient une distribution normale. Les valeurs médianes et moyennes des échantillons (n=100) dosés sur Sysmex XN-1000<sup>®</sup> et Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 ont été déterminées avec évaluation des biais moyens et médians. Les CV obtenus ont été comparés aux limites acceptables préalablement définies.

Ces données ont été ensuite analysées par le logiciel R version 3.5 (Foundation for Statistical Computing-Vienne, 2018) pour obtenir la droite de régression linéaire ainsi que le diagramme de différence. Les tests de colinéarité et de nullité pour comparer la pente à 1 et l'ordonné à l'origine à 0 ont été réalisés. Le seuil de significativité utilisé était de 5%.

## 2. Resultats

### 2.1 Confirmation De L'exactitude Du Sysmex Xn-1000<sup>®</sup>

Le laboratoire a participé à 3 campagnes d'EEQ avec des échantillons ayant une valeur d'hémoglobémie assignée comprise entre 5,4g/dl (298,7mmol/l) et 18,8 g/dl (1035,7mmol/l). Le tableau 2 présente les caractéristiques de la campagne ainsi que le taux de conformité obtenu.

*Tableau 2 : caractéristiques et synthèse des résultats de la campagne d'EEQ sur Sysmex XN-1000<sup>®</sup>*

Nombre total d'Echantillons EEQ	Intervalle des valeurs obtenues (mmol/l)	Laboratoires Participants (n)	Limite des valeurs assignées (mmol/l)	Taux de conformité obtenu
15	330,0- 1006,5	11-18	321,2 $\pm$ 7,0% à 968,0 $\pm$ 7,0%	100%

Il ressort de ce tableau que 11 à 18 laboratoires avaient participé aux différentes campagnes. Le taux de conformité en terme d'exactitude, à chaque campagne était satisfaisant aussi bien pour les valeurs faibles qu'élevées

### 2.2 Evaluation de la fidélité des mesures sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup>

La répétabilité et la reproductibilité ont respectivement permis de vérifier la fidélité intra-série et de connaître la variabilité analytique inter-série

pouvant affecter l'équipement de référence. Les résultats de mesure obtenus et les CV sont présentés dans le tableau 3.

**Tableau 3 : Fidélité de mesure sur Sysmex XN-1000®**

Critères évalués	Niveau de Concentration	Intervalle des valeurs (mmol/l)	CV %	Conclusion*
<b>Répétabilité</b>	Niveau 1	214,5 – 225,5	1,14	Conforme
	Niveau 2	698,5-720,5	0,63	Conforme
	Niveau 3	990,0-1023,0	0,88	Conforme
<b>Reproductibilité</b>	XN-L CHECK L1	324,5-341,0	1,30	Conforme
	XN-L CHECK L2	632,5-649,0	0,86	Conforme
	XN-L CHECK L3	896,5-924,0	0,96	Conforme

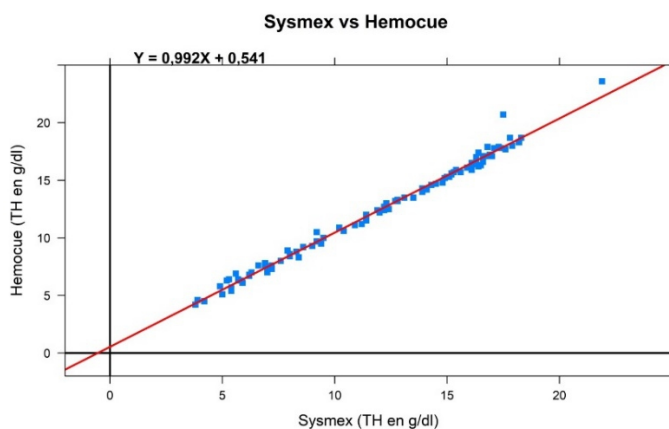
Taux de conversion : mmol/l = g/dl x 55 / \* Conforme si CV < CV Ricos (1,43%)

Ce tableau montre que le Sysmex XN-1000® rend des résultats reproductibles pour tous les niveaux de concentration.

### 2.3 Validation des performances de l'Hemocue® Hb 301 : droite de régression linéaire

Les valeurs obtenues varient de 3,8 à 21,9 g/dl et de 4,2 à 23,6 g/dl respectivement pour le Sysmex XN-1000® et l'Hemocue® Hb 301.

La droite de régression linéaire a permis d'obtenir la pente et l'ordonnée à l'origine afin d'évaluer le degré de concordance des résultats obtenus sur HemoCue® Hb 301 par rapport au Sysmex XN-1000®. La figure 1 montre le degré de concordance des résultats entre HemoCue® Hb 301 et le Sysmex XN-1000®.



**Figure 1 :** Degré de concordance entre les concentrations en hémoglobine (g/dl) sur XN-1000® et Hemocue® Hb 301 (n=100)

Cette droite de régression avait pour équation :  $Y (\text{HemoCue}^{\text{®}} \text{Hb } 301) = 0,99x (\text{Sysmex XN-1000}^{\text{®}}) + 0,54 \text{ g/dl}$  avec l'Intervalle de Confiance (IC) de la pente (0,972 à 1,011) et de l'ordonnée à l'origine (0,287 à 0,796). La pente n'était pas significativement différente de 1 ( $P = 0,390$ ) mais l'ordonnée à l'origine était significativement différente de 0 ( $P < 0,001$ ).

## 2.4 Validation des performances de l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 : diagramme de Bland et Altman

La différence de performance entre l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 et le Sysmex XN-1000<sup>®</sup> a été établie par le diagramme des différences qui met en évidence les points discordants en dehors de la limite d'agrément. La figure 2 montre qu'il n'existe que deux points discordants, avec deux autres points sur la limite supérieure d'agrément.

Graphe de BLAND-ATLMAN

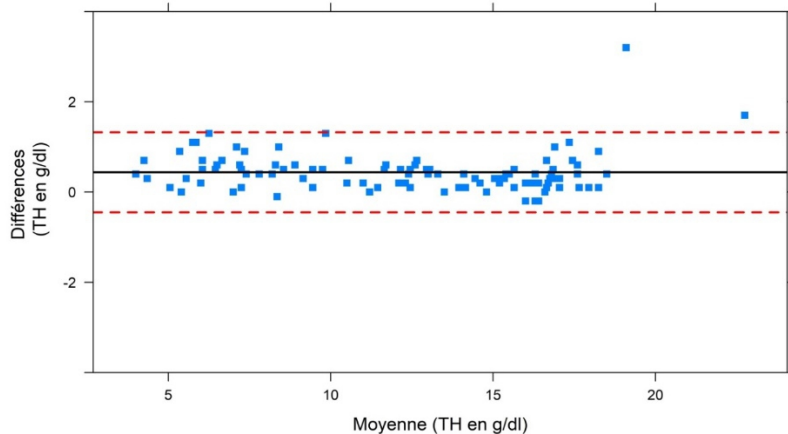


Figure 2 : Détermination de la différence médiane entre XN-1000<sup>®</sup> et HemoCue<sup>®</sup> Hb 301

Les valeurs médianes des échantillons (n=100) dosés sur Sysmex XN-1000<sup>®</sup> et Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 étaient respectivement de 12,55 g/dl et 13,00 g/dl avec un biais médian de 3,58% soit 0,45 g/dl en valeur absolue.

Les valeurs moyennes des échantillons (n=100) dosés sur Sysmex XN-1000<sup>®</sup> et Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 étaient respectivement de 12,09 g/dl et 12,54 g/dl avec un biais moyen de 3,72% soit 0,45 g/dl en valeur absolue.

## 3. Discussion

Un dépistage efficace de l'anémie avec un instrument de biologie délocalisée fiable, permet une prise de décision clinique adaptée et cela reste un défi dans les pays à ressources limitées (Bandyopadhyay et al, 2020). L'évaluation de la performance analytique de l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 par rapport

à celle de l'automate Sysmex XN-1000<sup>®</sup> a été réalisée au travers d'une détermination du degré de concordance entre les deux instruments, en utilisant le principe de la régression linéaire. Elle a également, été évaluée grâce à la détermination des points discordants avec le diagramme de Bland et Altman. Ces critères de comparaison des méthodes ont été recommandés par le Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) et d'autres auteurs européens (Feinberg, 2012 ; Budd *et al.*, 2013). La vérification des performances de l'équipement de référence Sysmex XN-1000<sup>®</sup>, a été faite conformément aux exigences de la norme ISO 15189 version 2012 qui stipulent au paragraphe 5.5.1.2 qu'une vérification indépendante menée par le laboratoire doit être confirmée par l'obtention de preuves tangibles des performances annoncées (ISO, 2012). Les données de cette étude ont montré un niveau d'exactitude de 100% du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> (Westgard, 2019). Ce niveau d'exactitude était confortée par l'utilisation de la méthode SLS-Hème qui a permis de minimiser les interférences liées à une probable turbidité grâce à une dilution au 1/747<sup>e</sup>. Cette méthode était concordante avec la méthode de référence de cyanméthémoglobine (HiCN) (Oshiro *et al.*, 1982 ; Higgins, 2005). La fidélité de mesure sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup> était conforme aux spécifications de Ricos et al (2014).

L'équation de la droite de régression évaluant le degré de concordance entre les deux équipements était de :  $Y$  (HemoCue<sup>®</sup> Hb 301) = 0,99x (Sysmex XN-1000<sup>®</sup>) + 0,54 g/dl. Ce résultat indique qu'il y a une absence de biais proportionnel significatif entre les résultats du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> et ceux de l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 (Pente = 0,99). Cependant il montre la présence d'un biais systématique constant de 0,54 (Feinberg, 2012). Cela indique que chaque résultat obtenu sur le Sysmex XN-1000<sup>®</sup> était surévalué de 0,54 g/dl, par l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301. Ce biais constant en proportion, par rapport à la moyenne des valeurs sur Sysmex XN-1000<sup>®</sup> (soit 0,54/12,09 x 100) était de 4,4% ; et par rapport à la valeur médiane du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> (soit 0,54/12,55 x 100) était de 4,3%. Ces biais étaient inférieurs au ±7,0% de CLIA (Westgard, 2019). Ce biais constant de 0,54 g/dl n'a donc pas d'incidence clinique sur l'interprétation des résultats des patients dont l'anémie serait dépistée au sein de l'unité d'urgence biologique du CHU Campus.

Les biais médian (3,58%) et moyen (3,72%) par rapport aux résultats du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> étaient également inférieurs au ±7,0% du CLIA. Le degré de concordance des résultats de l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 par rapport à ceux du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> correspondait à une interchangeabilité entre les résultats des deux appareils, sans altération de la capacité diagnostique pour le patient. Cette interchangeabilité des résultats de l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 et du Sysmex XN-1000<sup>®</sup> pour le dosage de l'hémoglobine a été obtenue avec 100 échantillons de sang frais.



Cette taille d'échantillons était conforme aux recommandations du CLSI ( $n \geq 40$ ) pour la comparaison des méthodes utilisées en laboratoire de biologie médicale. La taille de 100 échantillons était plutôt prescrite chez les fabricants de dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro* (DMDIV). Elle a permis de prendre en compte les différents niveaux de concentrations physiopathologiques (Budd *et al.*, 2013).

Whitehead *et al.* (2019) à travers une revue bibliographique de 257 articles (dont 8 qui ont comparés l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 à un automate d'hématologie pour le dosage d'hémoglobine) ont trouvé que les niveaux de variations observées étaient inférieures à  $\pm 7\%$ . Dans une étude d'évaluation de l'HemoCue Hb<sup>®</sup> 301 pour le dosage de l'hémoglobine chez 236 femmes camerounaises enceintes, il a été montré que les valeurs des concentrations sanguines d'hémoglobine étaient légèrement plus élevées (+ 0,06 à + 0,52) par rapport à la méthode de référence (Tagny *et al.*, 2008) comme dans la présente étude. D'autres auteurs ont également utilisé le sang veineux pour cette comparaison et ont attesté d'une équivalence entre Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 et les automates de laboratoire utilisés (Sanchis-Gomar *et al.*, 2012). Hinnouho *et al.* (2017) ont, quant à eux, trouvé que le taux moyen d'hémoglobine obtenu sur l'Hemocue<sup>®</sup> Hb 301 était significativement plus élevé que la moyenne obtenue à la fois par le Sysmex XT-1800 et le Mindray BC-3000 Plus.

Dans la présente étude qui a également utilisé le sang veineux, le biais constant sans incidence médicale serait dû aux deux points en dehors de la droite de régression (figure 1). Une reproductibilité acceptable a été trouvée entre les résultats obtenus avec le sang veineux et capillaire sauf chez les enfants par Gwetu *et al.*, (2015). Une évaluation comparative des performances avec le sang capillaire et le sang veineux chez les adultes et enfants serait nécessaire.

## Conclusion

L'anémie étant l'une des causes de mortalité infantile les plus fréquentes dans le monde et en Afrique en particulier, il est nécessaire de disposer des moyens de dépistage et de diagnostic performants pour aboutir à une prise en charge efficace. Cette étude a montré que le Sysmex XN-1000<sup>®</sup> fourni des résultats exacts pour l'hémoglobine. Ces résultats étaient identiques à ceux de l'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 à la tolérance médicale près, pour des valeurs d'hémoglobine allant de 3,9 à 21,9 g/dl. L'HemoCue<sup>®</sup> Hb 301 peut ainsi être utilisé en urgence biologique au sein d'un laboratoire ou en biologie délocalisée.

## Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts en ce qui concerne la publication de cet article.

## Remerciements

Au Feu Prof. Yvon Akuété SEGBENA pour avoir accepté et facilité la réalisation de cette étude, afin d'améliorer la qualité des prestations fournies aux patients au Services des Laboratoires du Centre Hospitalier Universitaire Campus.

## References:

1. Bandyopadhyay N., Sharma J., Pandey S., Zaidi N., Bhattacharya M., Kar R., Kar S.S., Purohit A., Bandyopadhyay S. & Saxena R. (2020). Diagnostic accuracy of point-of-care devices for detection of anemia in community settings in India. *BMC Health Services Research* 20:468.
2. Budd J.R., Durban A.P., Iriarte B., Kallner A., Linnet K., Magari R. & Vaks J.E. (2013). Measurement procedure comparison and bias estimation using patient samples; Approved guideline, Clinical and Laboratory Standards Institute, 33 (11): 1-15.
3. Feinberg M. (2012). Profil d'exactitude : comparaison de deux méthodes. In : LABO-STAT. Guide de validation des méthodes d'analyses, Paris : Editions TEC & Doc. Lavoisier. pp. 248-310.
4. Giavarina D. (2015). Understanding Bland Altman analysis Lessons in biostatistics. *Biochemia Medica*, 25(2):141–151.
5. Gwetu T .P. & Chhagan M.K. (2015). Evaluation of the diagnostic accuracy of the HemoCue device for detecting anaemia in healthy schoolaged children in KwaZulu-Natal, South Africa. *SAMJ* 105 (7): 596-599.
6. HemoCue. (2007). Operating manual Manuel d'utilisation. Consulté le 29/09/2020 sur <https://sdwic.org/wp-content/uploads/2.15DAppendixCHb301Manual.pdf>
7. Higgins C. (2005). Hemoglobin and its measurement. Consulté le 16/09/2019 sur <https://acutecaretesting.org/en/articles/hemoglobin-and-its-measurement>.
8. Hinnouho G-M., Barffour M.A., Wessells K.R., Brown K.N., Kounnavong S., Chanhthavong B., Chanhthavong K., Kewcharoenwong C. & Hess S.Y.(2017). Comparison of haemoglobin assessments by HemoCue and two automated haematology analysers in young Laotian children. *J Clin Pathol*, 0 (204786)/ 1–7.
9. ISO. (2012). Laboratoires de biologie médicale — Exigences concernant la qualité et la compétence : ISO 15189, Genève : ISO/IEC, pp. 6-49.
10. ISO. (2016). Examens de biologie médicale délocalisée (EBMD) — Exigences concernant la qualité et la compétence ISO 22870, Genève : ISO/IEC, pp. 6-9.

11. Layibo L, Mawussi K, Padaro E, Magnang H, Feteke L & Kuéviakoé IMD. (2018). Performance de l'hémocue hb 201+ dans la mesure du taux d'hémoglobine chez les donneurs de sang au centre national de transfusion sanguine de Lome, Togo. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 20 (4): 391-398.
12. OMS.(2015). Lignes directrices de l'OMS relatives au processus graduel d'amélioration des laboratoires en vue de l'accréditation (SLIPTA) dans la région africaine (accompagnées d'une liste de contrôle), (2<sup>ème</sup> Ed.), pp. 47- 48. Brazzaville: WHO/AFRO.
13. Oshiro W., Takenaka T. & Maeda J.(1982). New Method for Hemoglobin Determination by Using Sodium Lauryl Sulfate (SLS). *Clin. Biochem*, 15 (1) 83-88.
14. Parker M., Han Z., Abu-Haydar E., Matsiko E., Iyakaremye D., Tuyisenge L., Magaret A. & Lyambabaje A. (2018) . An evaluation of hemoglobin measurement tools and their accuracy and reliability when screening for child anemia in Rwanda: A randomized study. *PLoS ONE* 13(1): e0187663.
15. Rippmann C.E., Nett P.C., Popovic D., Seifert B., Pasch T. & Spahn D.R. (1997). HemoCue®, an accurate bedside method of hemoglobin measurement? *J Clin Monitor*, 13(6):373-377.
16. Sanchis-Gomar F., Cortell-Ballester J., Pareja-Galeano H., Banfi G., & Lippi G. (2012). Hemoglobin Point-of-Care Testing: The HemoCue System. *Journal of Laboratory Automation* 18(3): 198–205.
17. Seo J.Y., Lee S-T. & Kim S-H. (2015). Performance evaluation of the new hematology analyser Sysmex XN-Series. *Int Lab Hematol*, 37(2):155-164.
18. Tagny C.T., Kouam L., & Mbanya D. (2008) . Évaluation du nouvel appareil HemoCue Hb® dans le dosage de l'hémoglobine chez des femmes enceintes camerounaises. *Ann Biol Clin*, 66 (1) : 1-5.
19. Westgard J.O. (2019). New CLIA Proposed Rules for Acceptance Limits for Proficiency Testing Consulté le 2 mars 2020 sur <https://www.westgard.com/2019-clia-changes.htm>
20. Whitehead R.D., Zuguo M., Mapango C. & Jefferds M.E.D. (2019). Methods and analyzers for hemoglobin measurement in clinical laboratories and field settings. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1450(1): 147–171.
21. WHO. (2011). Haemoglobin Concentrations for the Diagnosis of Anaemia and Assessment of Severity, Geneva. Consulté le 2 mars 2020 sur <https://www.who.int/vmnis/indicators/haemoglobin/en/>
22. WHO. (2015). The global prevalence of anaemia in 2011. Geneva. Consulté le 2 mars 2020 sur [https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/global\\_pre](https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/global_pre)

valence\_anaemia\_2011/en/WHO. (2018). Global nutrition report of 2018. Geneva, Switzerland World Health Organization Consulté le 11 mars 2020 sur <https://globalnutritionreport.org/reports/global-nutrition-report-2018>