



Entrepreneurial &
Skilled Education
for the Future



IQ RESEARCH
JOURNAL

www.iqresearchjournal.com



KESMONDS
RESEARCH INSTITUTE

IQ RESEARCH

A Quaterly Journal

Volume 5, Issue 3 - SEPT 2026



ISSN: 2790-4296 (Online)

ISBN: 978-9956-504-74-9 (Print)

Published by IQRJ publications

www.iqresearchjournal.com

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

- ◆ Atanga D. Funwie (Professor) — Kesmonds International University / Nile University of Science & Technology / Green Hope University Somalia

Deputy Editor-in-Chief

- ◆ Dr. Mvogo Eloundou Guy Dieudonné, PhD, Public Health, Tropical Medicine and Infectious Diseases / Kesmonds International University

Associate Editor-in-Chief

- ◆ Tchouaffe Tchiadje Norbert (Professor) — Kesmonds International University / Massachusetts Institute of Technology USA / Pan African University

Editorial Assistants

- ◆ Professor Tchakounte Franklin — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Professor Akah Roland Tiagha — Kesmonds International University / Walter Sisulu University South Africa
- ◆ Professor Guiherme Schneider — Mexico
- ◆ Professor Charles Fokunang — Cameroon Ethics Society / University of Yaounde 1
- ◆ Professor Tassang Ndah Andrew — Kesmonds International University / University of Buea
- ◆ Professor Daniel Tata — Switzerland
- ◆ Professor Truly Bush — Germany
- ◆ Professor Abraham Pius — The Academy of Advance Science, United Kingdom
- ◆ Professor Celestina Neh Tassang — University of Buea
- ◆ Professor Letlole Gabriel Gonnafela — Gonnafela Institute South Africa / Kesmonds International University
- ◆ Professor Patricia Samkia Asongwe — Ministry of Higher Education Cameroon
- ◆ Professor Sama Dobit — University of Yaounde I
- ◆ Professor Tony Ogiemen — American Heritage University of Southern California, USA
- ◆ Professor Gabriel Lopes — Unilogos University, USA and Brazil
- ◆ Professor Nukenine Elias — University of Ngaoundere
- ◆ Professor Neossi Guena Mathurin — University of Ngaoundere / Ngaoundere Regional Hospital
- ◆ Professor Angwanade Wilson — University of Ngaoundere
- ◆ Professor Esther Ngh — University of Ngaoundere
- ◆ Professor Yongho Shiwoh Louis — Kesmonds International University
- ◆ Professor Asakizi Nji Augustine — Kesmonds International University
- ◆ Professor Rudolph Q. Kwanue — Rudolph Kwanue University Liberia
- ◆ Professor Mustaf Abdulle — President Green Hope University Somalia
- ◆ Professor Mathan Muse — Green Hope University Somalia / Nile University of Science & Technology
- ◆ Professor Lawrence Mwelwa — Queens College Zambia
- ◆ Professor Ibrahim Abdi — Green Hope University Somalia / Nile University of Science & Technology
- ◆ Professor Hussein Tohow — VC Green Hope University Somalia
- ◆ Professor Henry N. Fonjock ,B.A, ACC,BIS Cert,MBA,PhD— Cameroon Cooperative Credit Union
- ◆ Professor Zahir Shah — Professional Development Research Institute Pakistan
- ◆ Professor Brian Siamani — Dean Faculty of Medicine, Gideon Roberts University Zambia
- ◆ Professor Ernest Mutale — Ministry of Health Zambia
- ◆ Professor Kouam Lawrence — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Professor Pascal Scheneller — Germany
- ◆ Professor Francis Pol Lim — Philippine
- ◆ Professor Mvondo M. Manuella — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Professor Tamo Simo Richard — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Professor Fodouop Simeon Pierre Tchegaing — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Professor Elie Baudelaire — EMIE Business School Paris France
- ◆ Professor Sundjo Fabien — Kesmonds International University / University of Bamenda
- ◆ Professor Gidoen Mwanza — Gidoen Robert University Zambia

- ◆ Dr. Christina Jean Rahm — Institute of Clinical Research USA
- ◆ Dr. Oscar Monono — Ballbridge University
- ◆ Dr. Feugueng Micheal — Kesmonds International University United Kingdom
- ◆ Dr. Penya Elvis Che — Kesmonds International University / St John Paull II University Cameroon
- ◆ Dr. Shei Claude Nfor — Shalom Institute Cameroon
- ◆ Dr. Kagonbe Achille — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Dr. Doudou Raisa — Ministry of Scientific Research Cameroon
- ◆ Dr. Zilefac Ebenezer Nwetlagwung — Kesmonds International University / Southeast University China

Editorial Secretaries

- ◆ Gana Christophe — Kesmonds International University
- ◆ Kalwa Yvette — Kesmonds International University
- ◆ Eng. Benson Lugalua — Kesmonds Group Limited
- ◆ Eng. Pokam Tchinda Martial — Kesmonds International University / University of Ngaoundere
- ◆ Dr. Kelly Kesten Manyi Atanga — Kesmonds International University / Jining Medical University, China
- ◆ Dr. Pauline Wanjiru Gitiha — Kesmonds International University
- ◆ Dr. Eng. Anyangwe C. Anyangom — Kesmonds Group Limited, Kesmonds Institute of Technology

Editorial Board Members

- ◆ Prof. Nicolas Guanzon Ong, Ph.D. — Department of Teaching Languages, University of Science and Technology of Southern Philippines
- ◆ Prof. Ibrahim Hussein — Kesmonds Research Institute Uganda
- ◆ Prof. Zapryan Assen — Higher School of Security and Economics, Plovdiv
- ◆ Prof. Surendra Kumar Gautam — Department of Chemistry, Tri-Chandra Campus, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal
- ◆ Prof. SENHADJI L. — Oran University Hospital, Department of Anesthesia-Intensive Care
- ◆ Prof. Sabyasachi Pramanik — Department of Computer Science and Engineering, Haldia Institute of Technology
- ◆ Prof. Meron Mersha — Quantum Optics and Information, Arba Minch University, Ethiopia
- ◆ Prof. Dr. Zahir Shah — Kesmonds Research Institute, Pakistan
- ◆ Prof. Dr. Bond Richard — California South University (CSU), Irvine, California, USA
- ◆ Prof. Dr. Abubakar Mohammad — University of Technology, Baghdad, Iraq
- ◆ Prof. Charlanne Miller — LIGS University Hawaii, Canada
- ◆ Prof. Ali Usman — (Ethiopia)
- ◆ Prof. Ali Abdul-Hussain Ghazzay — Department of Biology, University of AL-Qadisyah, Iraq
- ◆ Prof. Nana Anabel — (Ghana)
- ◆ Dr. Leonard Ake — Maitre-Assistant du CAMES, Enseignant-chercheur, Universite Boubacar Ba de Tillaberi
- ◆ Dr. Wilson Dabuo Wiredu — MOCS, VC Academics Affairs, DMTU, Ghana
- ◆ Dr. Wansso Blakwe Ahmed
- ◆ Dr. Vijay Ramkisan Lakwal — Department of Zoology, Science and Commerce College, Jalgaon (MS), India
- ◆ Dr. Veronica Blade — (Algeria)
- ◆ Dr. Velinga Ndolok Aime Cesaire — Ph.D. in Public Health Epidemiology, UNDP Public Health Development Program
- ◆ Dr. Uthman Simeon Adebisi — Obafemi Awolowo University, Nigeria
- ◆ Dr. Tumi Humphred Simoben — Ph.D. in Public Health, Kesmonds Research Institute
- ◆ Dr. Toffic Abdel Hassan — Plant Protection Research Institute, Agricultural Research Center
- ◆ Dr. Thomas Abraham — Department of Hotel Management, Gondar, Ethiopia
- ◆ Dr. Tchifam Berthe — Ph.D. in Public Health Epidemiology, Faculty of Medicine Garoua Cameroon
- ◆ Dr. Tatoh Adeline Manjuh — Ph.D. in Healthcare Administration, Limbe Referral Hospital Cameroon
- ◆ Dr. Tateukam Alphonse — Doctor of Clinical Medicine, Kesmonds Research Institute
- ◆ Dr. T. Christina Mondimu — University of Gondar, Ethiopia
- ◆ Dr. Surachita Basu — (Bangalore, India)
- ◆ Dr. Sujita Darmo, ST., MT — Mechanical Engineering, Mataram University, Indonesia
- ◆ Dr. Shehuri Sharon — Department of Botany, Faculty of Biosciences, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Anambra State, Nigeria
- ◆ Dr. Rofrigo Jose Pablo — Universidad Empresarial De Costa Rica
- ◆ Dr. Rintu Sayak — (India)
- ◆ Dr. Resham Kumari — Professor Assistant of Agricultural Zoology, Plant Protection Department, Sohag University, Egypt
- ◆ Dr. Renato Dan A. Pablo II — CSPE, Mabalacat City College

- ◆ Dr. Ranendu Dutta Pukayastha — S.J.N.P.G College, Lucknow, India
- ◆ Dr. Rajinder Singh Sodhi — Guru Kashi University, Ilorin, Nigeria
- ◆ Dr. Rajat Mrinal Kanti, PhD, D. LITT — Physiotherapist, NIMHANS, Bangalore, India
- ◆ Dr. Rafah Almutarreb — School of Computer Science and Technology, Algoma University, Canada
- ◆ Dr. Rabindra Das Sinha — (Chennai, India)
- ◆ Dr. R. Francis Kaundra — DMI-St. Eugene University, Great North Road, Chibombo District, Lusaka, Zambia
- ◆ Dr. Priyanka Weerasekara — Faculty of Social Sciences & Languages, Sabaragamuwa University of Sri Lanka
- ◆ Dr. Pawan Thapa — Department of Geomatics Engineering, School of Engineering, Kathmandu University, Nepal
- ◆ Dr. Osman Ibironke — Abia State University Uturu, Nigeria
- ◆ Dr. Osama Mohamed Anwar Nofal — Emeritus Professor, National Research Centre
- ◆ Dr. Onwubere Isabella — Sub-Dean, Samuel Obiajulu University, Osun State, Nigeria
- ◆ Dr. Onodugu Obinna Donatus — Department of Mathematics, Faculty of Physical Sciences, Abia State University, Nigeria
- ◆ Dr. Ola Sayed Mohamed Ali — Girls-AL-Azhar University, Cairo
- ◆ Dr. Okpala Sunday Ocheni — University of Mosul, College of Science, Biology Dept.
- ◆ Dr. Obike Godwill Ukamaka, M.Sc, Ph.D. — (Medical Microbiology), Jos, Plateau State, Nigeria
- ◆ Dr. Obafemi Emmanuel — Adekunle Ajasin University Akungba Akoko, Ondo State
- ◆ Dr. Nzuzi Rafael — Bakhita African Schools, Butembo
- ◆ Dr. Nwatu Celestine Chibuzu — Rivers State University, Nigeria
- ◆ Dr. Nouma Simon Joachim — Ph.D. in Political Economics, Consultant and Auditor Bank of Central African States
- ◆ Dr. Ngwa Mathias — Faculty of Laws and Political Sciences, University of Dschang, Cameroon
- ◆ Dr. Nazar Hassan — PMAS Arid Agriculture University, Rawalpindi
- ◆ Dr. Nadia Jamil — Department of Environmental Sciences, Hazara University, Mansehra
- ◆ Dr. Mulani Moshin Anware — Sant Ramdas Art's, Commerce and Science College, Maharashtra
- ◆ Dr. Muhammad Farooq — Assistant Professor (Economics), Okara University, Pakistan
- ◆ Dr. Mohammad Usman Awan — Centre for Biotechnology and Microbiology, University of Swat
- ◆ Dr. Mohamed Mustaf Abdulle — Green Hope University Somalia / Nile University of Science & Technology
- ◆ Dr. Mochammad Munir Rachman, M.Si. — PGRI Adi Buana University Surabaya, Indonesia
- ◆ Dr. Mahmoud Magdy Abbas — Plant Nutrition Dept., Dokki, Giza, Egypt
- ◆ Dr. Lukong Hubert Shalanyuy — Kesmonds Research Institute
- ◆ Dr. Liela Meta — Malla Reddy Institute of Technology and Science
- ◆ Dr. Kheambo Didier — Ph.D. in Healthcare Administration, Kesmonds Research Institute
- ◆ Dr. Khan Aneeka Habib — College of Business Administration, International University of Business Agriculture and Technology, Dhaka, Bangladesh
- ◆ Dr. Kabul Amid Aabbasi — University of Karachi, Pakistan
- ◆ Dr. Jesica Gate — (France)
- ◆ Dr. Javnyuy Joybert, MBA, DBA — CEO CELBMD Africa, Douala Cameroon
- ◆ Dr. Jason Chishime Mwanza — St. Eugene University, Lusaka, Zambia
- ◆ Dr. Ilayaraja Degu Kathirkaman — Department of Geology, Gondar, Ethiopia
- ◆ Dr. Ibrahim Mohammad Almoselhy — Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Cairo, Egypt
- ◆ Dr. Hossain Johangir — Bangladesh
- ◆ Dr. Habiba Aissatou — (Egypt)
- ◆ Dr. Geoffrey Kingibe — Department of Sustainable Agriculture, Tamale Technical University, Tamale
- ◆ Dr. Frederick Mbogo Akoth, PhD — Department of Computer Science and Software Engineering, Bondo, Kenya
- ◆ Dr. Francis Onyango, Ph.D. — Nairobi, Kenya
- ◆ Dr. Fitsum Etefa — Ethiopian Institute of Textile and Fashion Technology [EiTEX], Ethiopia
- ◆ Dr. Farhat Samreen — Federal Urdu University of Arts, Karachi, Pakistan
- ◆ Dr. Fahid Faryal Yawar — Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan
- ◆ Dr. Fadekemi Williams Oyewusi — Imo State Polytechnic, Umuagwo, Nigeria
- ◆ Dr. Ezedimora Louise Ocheni — School of Special Education, Federal College of Education, Oyo, Oyo State
- ◆ Dr. Emmanuel Muhairwa — Dodoma University of Dodoma, Tanzania
- ◆ Dr. Emilia Kheambo, CPA(Z) — Senior Lecturer, Faculty of Commerce, GSBM
- ◆ Lecture, Bijay Nera Poudel — Tribhuvan University, Trichandra Multiple Campus, Department of Psychology, Kathmandu, Nepal
- ◆ Dr. Emili Burnley — (Canada)
- ◆ Dr. Doudou Nafissatou — Ministry of Scientific Research Cameroon

- ◆ Dr. Djibrilla Yaouba — World Bank Public Health Development Program Northern Cameroon / University of Ngaoundere Cameroon
- ◆ Dr. Desmond Olushola — Microbiology Department, Kogi State University, Anyigba
- ◆ Dr. Deric Chang Tektook — Iraq
- ◆ Dr. Debashi Panna — India
- ◆ Dr. David Dowland — Habibullah Bahar University College, Dhaka
- ◆ Dr. Danish Armed, Joel Caleb — Uturu
- ◆ Dr. Celestine Mulugeta Degu — College of Business and Economics, Wollega University
- ◆ Dr. Camile Rodriguezz — (Malaysia)
- ◆ Dr. Biokgololo Abeltine — Faculty of Commerce & Business Administration, Gaborone University College, Botswana
- ◆ Dr. Bella Perez — (Canada)
- ◆ Dr. Bashir Zainab — Social Studies Department, Tai Solarin College of Education, Omu-Ijebu, Ogun State, Nigeria
- ◆ Dr. Baratha Dewannara — Bolton University, (UK) (Sri Lankan Branch)
- ◆ Dr. Baba Batoure — Ph.D. in Health Economics, Director State Registered Nursing School Garoua Cameroon
- ◆ Dr. Aya Khalil Ibrahim Hassan Moussa — Biological Anthropology Department, Medical Research Division, Cairo, Egypt
- ◆ Dr. Asanath Dira — (Cairo, Egypt)
- ◆ Dr. Ambarish Sachin Bhalandhare — Associate Professor of Economics, India
- ◆ Dr. Ali Zehra Zaida — Guru Kashi University, Bathinda, Punjab
- ◆ Dr. Ali Mushin Haji — Dean of College of Science, Al-Karkh University of Science, Baghdad, Iraq
- ◆ Dr. Akinsola Gloria Adedola M. Hamed — Department of Mathematics, Yobe State University, Damaturu, Nigeria
- ◆ Dr. Adeshini Goke Francis — Al-Hikmah University, Ilorin, Nigeria
- ◆ Dr. Adda Goudougou — Garoua General Hospital Cameroon
- ◆ Dr. Abrima Francis — Post-Doctoral Researcher, American International University West Africa, The Gambia
- ◆ Dr. Abraham Aziz — (Bangalore, India)
- ◆ Dr. Abhishek B. — Assistant Professor, SRM University, Kattankualthur, Chennai, India
- ◆ Chan Dong Hyun, Bs, Ms, Ph.D., Geology — The Chinese University of Hongkong
- ◆ Dr. Abdul Malik — Minhaj University, Lahore, Pakistan
- ◆ Dr. Abdul Hussain — Department of Botany, GPGC Parachinar, District Kurram
- ◆ Dr. (Mrs.) T V Sanjeevanie — General Sri John Kotelawala Defence University, Sri Lanka
- ◆ Dr. Mubeena Munir — Oromia State University and Jimma University
- ◆ Dr. Lingbe Soconde — Kesmonds International University / University of Garoua Cameroon
- ◆ Dr. Garam Garam — Kesmonds International University / University of Garoua Cameroon
- ◆ Dr. Edward Mutengechi — Makerere University, Mulago Hospital Uganda
- ◆ Dr. Awah Richard Ndo — Cameroon Cooperative Society
- ◆ Dr. Abel Tadesse Belle K. — Jigjiga University, Jigjiga, Ethiopia
- ◆ Alobwede Pende Divine — Kesmonds International University
- ◆ Aissatou Missira — Kesmonds International University
- ◆ Paule Giovani Henriette — Kesmonds International University
- ◆ Nsuh Larissa — Kesmonds International University
- ◆ Nougho Nancy Merveille — Kesmonds International University
- ◆ Nfon Sergius Nfon — Kesmonds International University / University of Garoua Cameroon
- ◆ Ndapeyouene M. Zenabou — Kesmonds International University
- ◆ Mbanwie Nadege Ambeck
- ◆ Kalwa Yvette, Kesmonds International University
- ◆ Gana Christophe, Kesmonds International University

Table of Contents

Optimisation de l'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II) en solution aqueuse par des biosorbants de peaux d'orange activées à l'acide phosphorique.....	151
---	-----



Optimisation de l'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II) en solution aqueuse par des biosorbants de peaux d'orange activées à l'acide phosphorique

Martial Tchinda Pokam^{1*}, Adjia Zangue¹, Kouchou Woubu Marie Victoire¹, Louis Aime Sepi², Richard Kamga¹, Gana Christophe³

Affiliations

1. Laboratoire de Matériaux et Chimie Inorganique Industrielle, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré, Cameroun

2. Faculté des Sciences (FS), Université de Ngaoundéré, Cameroun

3. UFD Université de Maroua, Géographie du développement durable

ABSTRACT

Water pollution by trace metal elements is a major environmental concern linked to the growth of industrial, mining and agricultural activities. This study aims to valorize orange peels, an abundant and low-cost agro-industrial by-product in Ngaoundéré (Cameroon), as a biosorbent for the simultaneous removal of Fe(II) and Mn(II) from aqueous solution. Biosorbents were obtained by chemical activation of orange peels with concentrated phosphoric acid (85%). Characterization revealed a specific surface area of 73.25 m²/g and a porosity of 19.52 mg/g, a marked improvement over the untreated material. A two-level fractional screening design identified the Mn(II)/Fe(II) molar ratio, adsorbent mass and pH as the most influential factors. Optimization using a central composite design then determined the optimal conditions for simultaneous adsorption: pH 7.71, adsorbent mass 0.29 g and molar ratio 0.34, yielding adsorbed quantities of 699.99 µmol/g for Fe(II) and 232.81 µmol/g for Mn(II). The kinetic study showed that the pseudo-second-order model best described the process ($R^2 > 0.99$) for both ions, while equilibrium isotherm modelling revealed a better fit with the Freundlich model (R^2 of 98.37% and 98.80% for Mn(II) and Fe(II) respectively), reflecting adsorption onto an energetically heterogeneous surface. These results confirm the potential of activated orange peels as an efficient, economical and eco-friendly biosorbent for treating water polluted by iron and manganese.

Corresponding Author:

Martial Tchinda Pokam^{1*}

Email: martialtchindapokam@gmail.com

Paper ID: IQRJ-V05I03-26010

Keywords: Orange peels; biosorption; Fe(II); Mn(II); central composite design; Freundlich isotherm.

1. Introduction

L'évolution constante des technologies et le développement des industries métallurgie, exploitations minières, utilisation de colorants, d'engrais et de pesticides constituent aujourd'hui les principales sources de contamination des eaux et des sols par les métaux lourds, avec des conséquences préjudiciables sur la biocénose environnante et sur la santé humaine (Kaid Slimane, 2017). Face à cet enjeu, de nombreuses techniques sont employées pour l'élimination des métaux des eaux usées : précipitation chimique, échange d'ions, osmose inverse, filtration membranaire et évaporation. Parmi ces procédés, l'adsorption est considérée comme l'un des plus efficaces et des plus économiques (Kaid Slimane, 2017). Plus récemment, l'intérêt des chercheurs s'est porté sur la biosorption, qui utilise des biomasses peu coûteuses, biodégradables et respectueuses de l'environnement, tout en offrant de bons rendements d'élimination. Le présent travail vise à valoriser les peaux d'orange, sous-produit agricole abondant, peu onéreux et généralement jeté dans la localité de Ngaoundéré, comme biosorbant pour l'élimination simultanée du Fe(II) et du Mn(II) des eaux usées, deux éléments traces métalliques fréquemment associés dans les eaux souterraines et industrielles. Cette recherche s'inscrit dans une démarche de développement de méthodes innovantes de décontamination d'effluents par des substances naturelles. Elle comporte trois volets : la caractérisation physico-chimique du biosorbant, le criblage puis l'optimisation par plans d'expériences des facteurs opératoires, et enfin

l'étude de la cinétique et des isothermes d'adsorption.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

La matière première utilisée est essentiellement constituée de peaux d'orange (variété bigarade), collectées au marché de Ngaoundéré, ainsi que de sulfate de fer heptahydraté et de sulfate de manganèse monohydraté, utilisés pour la préparation des solutions synthétiques de polluants. Les équipements d'analyse ont été fournis par le Laboratoire de Matériaux et Chimie Inorganique Industrielle, de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré, Cameroun.



Figure 1 : poudre de peaux d'orange activées

2.2. Méthodes

2.2.1. Préparation des biosorbants

Les peaux d'orange ont été pelées, séchées à l'étuve à 70 °C pendant 24 h, puis pulvérisées et conservées dans des flacons hermétiques. L'activation chimique a été réalisée selon la méthode décrite par Ruiz-Fernández *et*

al., (2011) : la biomasse séchée à 50 °C pendant 48 h a été imprégnée dans l'acide phosphorique concentré à 85 % (rapport massique 1/1), sous agitation modérée pendant 3 h, puis laissée au repos 24 h à température ambiante. L'acide résiduel a ensuite été éliminé par lavages successifs à l'eau distillée chaude (100 °C) jusqu'à test négatif aux ions phosphate (AgNO_3). Le matériau lavé a été séché à 110 °C jusqu'à poids constant, broyé puis tamisé à une granulométrie inférieure à 1 mm, donnant les peaux d'orange activées (POA), comparées au matériau non traité (peaux d'orange naturelles, PON).

2.2.2. Caractérisation physico-chimique

L'humidité et la teneur en matière sèche ont été déterminées par pesée avant et après séchage à l'étuve (105 °C, 24 h). La teneur en

2.2.4. Essais d'adsorption

Les essais d'adsorption ont été réalisés en réacteur agité (bain thermostaté), en introduisant 20 mL de solutions synthétiques de Fe(II) et de Mn(II) en présence d'une masse déterminée de biosorbant. Le mélange a été agité

pendant 24 h à 25 °C. Les teneurs résiduelles en Fe(II) et Mn(II) ont été déterminées par spectrophotométrie UV-visible (Jenway 7310, cellule en quartz de 1 cm de trajet optique), après complexation colorée spécifique de chacun des deux ions.

2.2.3. Dosage du Fe(II) et du Mn(II)

à 80 tr/min pendant un temps de contact prédéfini, puis filtré sur papier Whatman n° 1 avant analyse du filtrat par spectrophotométrie UV-visible. La quantité adsorbée par gramme de biosorbant (q , $\mu\text{mol/g}$) a été calculée à partir du bilan de matière entre les concentrations initiales et à l'équilibre, rapportées à la masse d'adsorbant et au volume de solution.

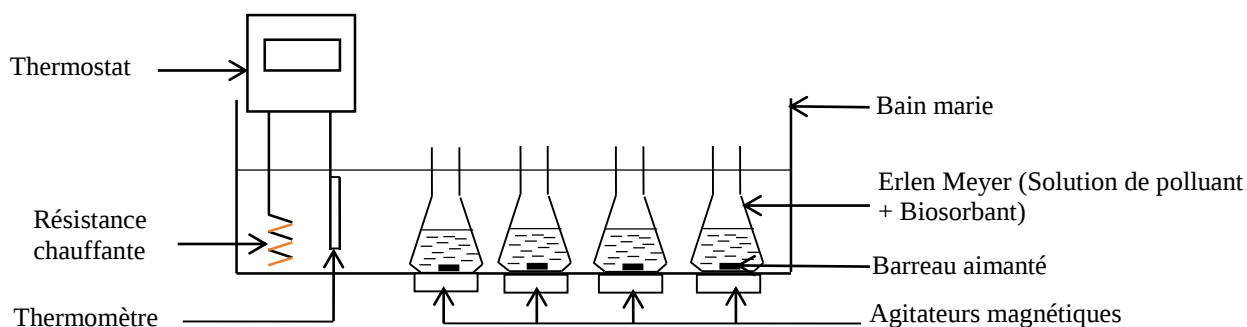


Figure 2 : Dispositif d'expérience pour l'adsorption

2.2.5. Plans d'expériences

Un plan de criblage factoriel fractionnaire à deux niveaux a d'abord été appliqué à six facteurs opératoires : temps de contact, température, pH initial, masse d'adsorbant, concentration initiale en métal et rapport molaire Mn(II)/Fe(II), afin d'identifier les facteurs les plus influents sur l'adsorption simultanée.

Tableau I: Facteurs étudiés et leurs niveaux

Facteurs	Symboles	Niveaux	
		-1	+1
Temps de contact (min)	X ₁	10	60
Température (°C)	X ₂	20	40
pH initial du milieu	X ₃	4	8
Masse de l'adsorbant (g)	X ₄	0,5	1,5
Concentration en métal (mM/L)	X ₅	0.25	5
Rapport molaire	X ₆	0, 25	0, 75

Sur la base de ces résultats, un plan composite centré à trois facteurs (pH, masse d'adsorbant, rapport molaire) a ensuite été mis en œuvre pour optimiser les conditions d'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II). La validité des modèles a été évaluée par le coefficient de détermination (R²), l'analyse absolue de la déviation moyenne (AADM), le facteur de biais (Bf) et les facteurs d'exactitude (Af1, Af2), ainsi que par analyse de variance (ANOVA).

Tableau II :

Facteurs	Symboles	Niveau des facteurs				
		-2	Bas (-1)	Centre (0)	Haut (1)	2
pH initial du milieu	X1	3,172	4,000	6,000	8,00	8,82
Masse de l'adsorbant (g)	X2	0,293	0,500	1,000	1,500	1,70
Rapport molaire (mol)	X3	0,146	0,250	0,500	0,750	0,85

2.2.6. Cinétique et isothermes d'adsorption

La cinétique d'adsorption a été étudiée dans les conditions optimales issues du plan composite centré, par suivi de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact (5 à 60 min). Les données ont été ajustées aux modèles de pseudo-premier ordre, de pseudo-second ordre et de diffusion intra-particulaire. Les isothermes d'équilibre ont été établies en faisant varier la concentration initiale en métal (0,5 à 5 mM) dans les mêmes conditions optimales, puis modélisées selon les équations linéarisées de Langmuir et de Freundlich.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractérisation des biosorbants

Les peaux d'orange présentent une humidité de 9,86 % et une teneur en matière sèche de 90,14 %, ainsi qu'une teneur en cendres de 6,5 % et en matière volatile de 93,5 %, valeurs conformes aux données de la littérature pour ce type de biomasse lignocellulosique.

Tableau III: Surface spécifique et porosité des peaux d'orange naturelles (PON) et activées (POA)

Matériau	Surface spécifique (m ² /g)	Porosité (mg/g)
PON	10,465	5,71
POA	73,255	19,52

La surface spécifique des POA est environ 7 fois supérieure à celle des PON, ce qui s'explique par l'élimination des extractibles sous l'effet du traitement acide, conduisant à un matériau plus poreux. Ce résultat est corroboré par l'augmentation de l'indice d'iode.

Par ailleurs, l'étude du point de charge nulle montre qu'à un pH du milieu inférieur au pH_{pzc}, la surface de l'adsorbant est chargée positivement ; l'adsorption des cations métalliques se ferait alors préférentiellement par complexation de surface plutôt que par simple attraction électrostatique.

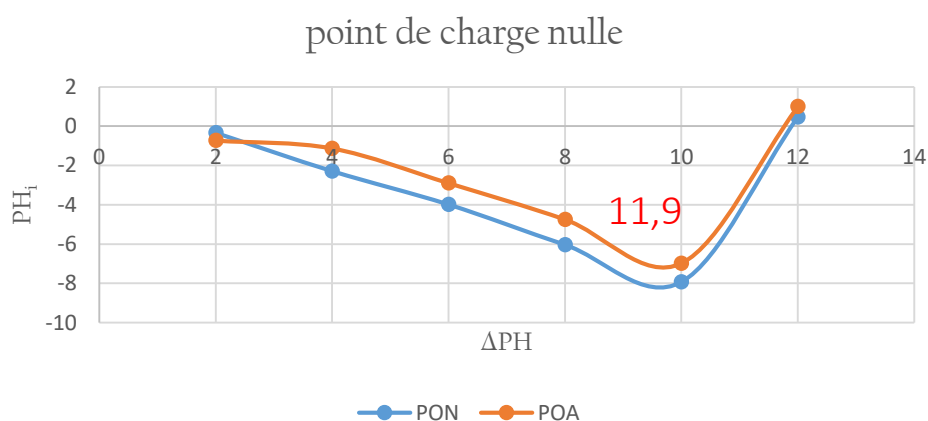


Figure 3 : point de charge nulle pour PON et POA

3.2. Criblage des facteurs opératoires

Le plan de criblage factoriel fractionnaire appliqué aux six facteurs opératoires a permis de valider un modèle satisfaisant pour les deux ions, avec des coefficients de détermination de 99,97 % pour le Mn(II) et 99,80 % pour le Fe(II). L'analyse du plan a révélé que les facteurs les plus influents, par ordre décroissant, sont le rapport molaire Mn(II)/Fe(II), la masse d'adsorbant et le pH du milieu, aussi bien pour l'adsorption du Fe(II) que pour celle du Mn(II).

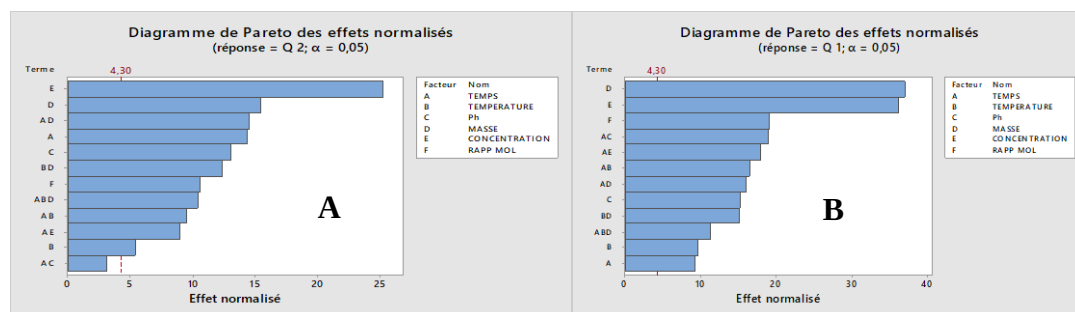


Figure 4 : Diagramme de Pareto pour Fe (II) (A) et Diagramme de Pareto pour Mn(II) (B)

3.3. Optimisation par plan composite centré

Le plan composite centré, construit avec un facteur d'étoilement $\alpha = 1,414$, a permis d'ajuster un modèle quadratique dont les coefficients de détermination sont de 98,376 % pour le Mn(II) et 98,806 % pour le Fe(II) (R^2 ajustés respectifs de 96,549 % et 97,464 %).

L'analyse de variance montre que, pour le Mn(II), la masse d'adsorbant (effet linéaire et quadratique) constitue le facteur dominant, son coefficient étant environ 5 fois supérieur à celui du rapport molaire et environ 30 fois supérieur à celui du pH. Pour le Fe(II), c'est le rapport molaire qui exerce l'effet prépondérant, avec un

coefficient environ 3 fois supérieur à celui de la masse et environ 80 fois supérieur à celui du pH. Les effets d'interaction sont globalement faibles devant les effets principaux, ce qui indique que l'adsorption des deux ions est majoritairement gouvernée par les effets principaux des facteurs étudiés.

L'optimisation a permis de déterminer les conditions optimales d'adsorption simultanée : pH 7,71 ; masse d'adsorbant 0,29 g et rapport molaire Mn(II)/Fe(II) de 0,34. Dans ces conditions, les quantités adsorbées à l'optimum sont de 699,99 $\mu\text{mol/g}$ pour le Fe(II) et de 232,81 $\mu\text{mol/g}$ pour le Mn(II).

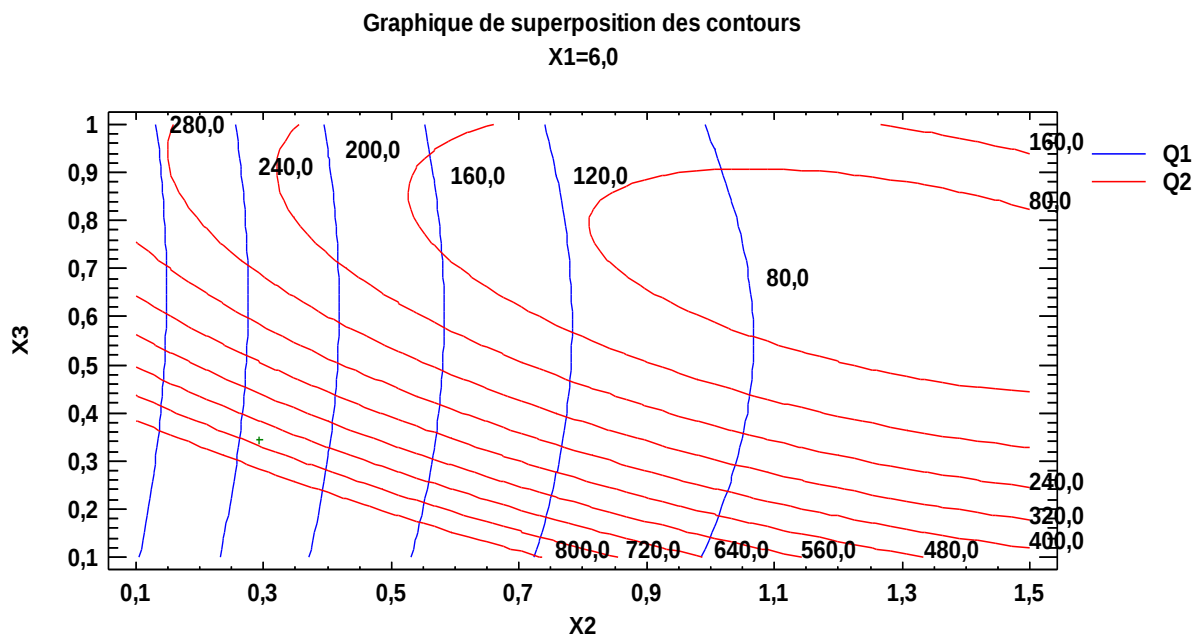


Figure 5: superposition des contours

Tableau IV : valeurs optimales des paramètres étudiés

Facteur	Bas	Haut	Optimum
X1	3,17	8,83	7,71
X2	0,29	1,70	0,29
X3	0,15	0,85	0,34
Q1	-	-	232,81
Q2	-	-	699,99

L'implémentation de ces résultats, dans les conditions optimales et pour une concentration initiale de 5mmol/L, on obtient 70% d'élimination.

Cinétique d'adsorption

Le suivi cinétique dans les conditions optimales montre que les deux ions présentent une adsorption rapide, avec un temps d'équilibre atteint dès 10 min, bien que la quantité adsorbée continue de croître légèrement jusqu'à 60 min. L'adsorption du Fe(II) est systématiquement plus importante que celle du Mn(II), ce qui est cohérent avec l'influence notable du rapport molaire mise en évidence par le plan d'expériences. Les deux ions ayant des rayons ioniques proches, le Fe(II) semble disposer de davantage de sites préférentiels et former plus rapidement des complexes de surface que le Mn(II).

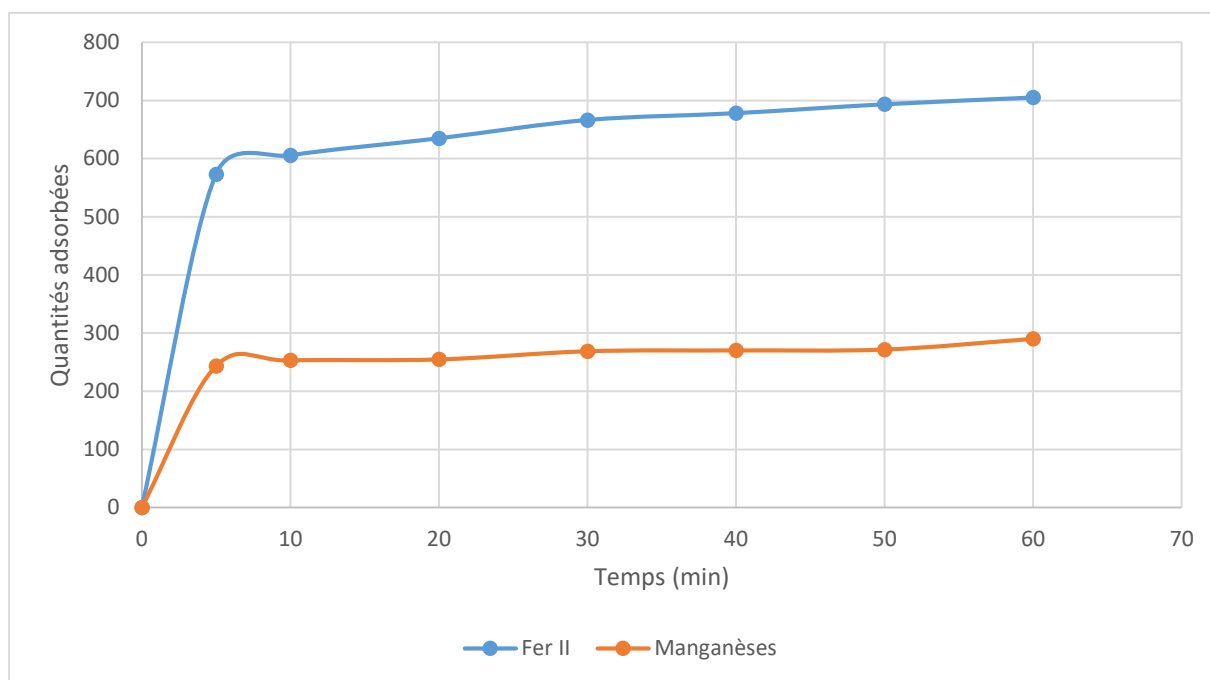


Figure 6: cinétique d'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II)

Tableau v : Paramètres des modèles cinétiques pour l'adsorption du Fe(II) et du Mn(II)

Modèle	Paramètre	Fe(II)	Mn(II)
Pseudo-premier ordre	k_1 (min ⁻¹) / Q_e (μmol/g) / R^2	-0,0832 / 382,98 / 0,88	0,0193 / 5,818 / 0,64
Pseudo-second ordre	k_2 (min·g/μmol) / Q_m (μmol/g) / R^2	0,012 / 1,218 / 0,99	0,00284 / 285,71 / 0,99
Diffusion intra-particulaire	k_{int} / R^2	0,0092 / 0,67	0,0221 / 0,63

Pour les deux ions, les coefficients de corrélation des modèles de pseudo-premier ordre et de diffusion intra-particulaire restent inférieurs à 0,90, tandis que le modèle de pseudo-second ordre présente des R^2 supérieurs à 0,99. L'adsorption du Fe(II) et du Mn(II) sur les peaux d'orange suit donc le modèle de pseudo-second ordre, ce qui suggère un mécanisme en deux étapes : la diffusion de l'adsorbat de la solution vers la surface du biosorbant, suivie de l'interaction (fixation) adsorbant-adsorbat.

Isothermes d'adsorption

Tableau VI : Paramètres des isothermes de Langmuir et de Freundlich

Modèle	Paramètre	Fe(II)	Mn(II)
Langmuir	KL / Q_m (μmol/g) / R^2	0,0123 / 333,333 / 0,7528	0,387 / 166,666 / 0,1324
Freundlich	KF / n / R^2	0,0308 / 1,064 / 0,9623	0,0124 / 0,989 / 0,9977

La comparaison des coefficients de détermination montre une très faible adéquation du modèle de Langmuir (R^2 de 0,75 et 0,13 pour le Fe(II) et le Mn(II) respectivement) au regard de celle du modèle de Freundlich, nettement supérieure pour les deux ions (R^2 de 96,23 % et 99,77 %). L'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II) sur les peaux d'orange activées est donc mieux décrite par l'isotherme de Freundlich, ce qui traduit une distribution hétérogène des sites d'adsorption à la surface du biosorbant. La valeur du coefficient n supérieure à 1 pour le Fe(II) indique une affinité assez forte entre cet ion et l'adsorbant, tandis que la valeur proche de 1 obtenue pour le Mn(II) traduit également une affinité satisfaisante avec le matériau.

Conclusion

Ce travail avait pour objectif la valorisation des peaux d'orange, sous-produit agro-industriel abondant à Ngaoundéré, comme biosorbant pour l'élimination simultanée du Fe(II) et du Mn(II) en solution aqueuse. La caractérisation des biosorbants a montré une porosité de 19,52 mg/g et une surface spécifique de 73,25 m²/g, nettement supérieures à celles du matériau non traité, et une meilleure adsorption des deux ions en milieu basique d'après l'étude du point de charge nulle. Le criblage des facteurs opératoires a révélé que le pH, la masse d'adsorbant et le rapport molaire Mn(II)/Fe(II) sont les facteurs les plus influents sur l'adsorption des deux polluants. L'optimisation par plan composite centré a permis de

déterminer les conditions optimales (pH 7,71 ; masse d'adsorbant 0,29 g ; rapport molaire 0,34), pour lesquelles les quantités adsorbées atteignent 699,99 µmol/g pour le Fe(II) et 232,81 µmol/g pour le Mn(II). L'étude cinétique confirme que le modèle de pseudo-second ordre décrit le mieux le processus, suggérant un mécanisme en deux étapes (diffusion puis interaction adsorbant-adsorbé), tandis que la modélisation des isothermes montre une meilleure corrélation avec le modèle de Freundlich pour les deux ions, révélatrice d'une distribution hétérogène des sites d'adsorption. L'ensemble de ces résultats démontre le fort potentiel des biosorbants issus des peaux d'orange comme adsorbants naturels, peu coûteux et efficaces pour le traitement des eaux polluées par le fer et le manganèse. Des travaux complémentaires pourraient porter sur l'optimisation des conditions de préparation du biosorbant, l'étude de la désorption des ions Mn²⁺ et Fe²⁺, ainsi que sur l'application de ce matériau au traitement d'effluents industriels réels.

Références

AFNOR. Essai des sols Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol. Norme NF P94-068, 1992.

Ayhan et al. Mise en œuvre dans un procédé de traitement d'eaux usées industrielles, 2008.

Bouafia. Adsorption simultanée du Cu(II) et Cd(II) des solutions aqueuses par les biomasses modifiées à l'acide mercapto-acétique, 2010.

Calvet R. Détermination de l'indice d'iode des matériaux adsorbants, 1980.

Crini G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. Bioresource Technology, 2006, 97, 1061-1085.

Crini G., Badot P.M. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Presses Universitaires de Franche-Comté, 2007.

Faria P.C.C., Órfão J.J.M., Pereira M.F.R. Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbons with different surface chemistries. Water Research, 2004, 38, 2043-2052.

Kaid Slimane N. Adsorption des métaux lourds en solution aqueuse par la chitine et le

chitosane. Thèse, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, 2017.

Kebaili Maya. Valorisation des déchets verts et de biomasses en traitement des eaux : extraction de la pectine des peaux d'orange comme adsorbant du colorant indigo carmin (IC), 2019.

Kumar U., Bandyopadhyay M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. Bioresource Technology, 2006, 97, 104-109.

Ruiz-Fernández M. et al. Modification chimique des précurseurs lignocellulosiques par activation à l'acide phosphorique, 2011.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

HOW TO CITE

Martial.T.P. Optimisation de l'adsorption simultanée du Fe(II) et du Mn(II) en solution aqueuse par des biosorbants de peaux d'orange activées à l'acide phosphorique. *IQ Research Journal : Vol. 005, Issue 003, 2026. IQRJ-V05I03-26009010.* www.iqresearchjournal.com