Revue Internationale DAMBE

ISSN :1987-1996

Volume 2 – Numéro 2 - Juin 2026

Valorisation des Savoirs Endogènes et Promotion de la Recherche Scientifique

Revue semestrielle multidimensionnelle du CERFDES
Bamako - Mali
https://revuedambe.cerfdesconsulting.com/

CC BY

Revue Internationale DAMBE

Valorisation des savoirs endogènes et promotion de la recherche scientifique.

ISSN :1987-1996

PRESENTATION

Tirant son nom du mot bambara « **Dambé** », qui signifie la dignité, la revue Internationale « **Dambé** » vise à promouvoir la recherche scientifique en mettant en valeur les savoirs endogènes en Afrique et ailleurs. C'est une revue semestrielle adossée au Centre d'études, de Recherche et de Formation sur les Dynamiques Économiques, Environnementales et Sociales (CERFDES). À l'exception des numéros spéciaux dont la publication est conjoncturelle, la revue publie deux numéros par an (Juin et Décembre).

Ayant un intérêt particulier pour les sciences sociales, elle reçoit des contributions de doctrine livrant des réflexions sur toutes les questions ou problématiques actuelles dans des domaines tels que, la géographie, l'économie, le droit, la santé et tout autre sujet concernant les sciences sociales, humaines et environnementales.

Les articles soumis à la revue Dambé sont évalués de façon rigoureuse par un comité scientifique et de lecture composés de chercheurs et d'enseignants-chercheurs de diverses nationalités et de spécialités variées. Tous les articles publiés restent accessibles librement par les auteurs ainsi que par les lecteurs sur le site de la revue.

COMITE EDITORIAL

Président du Comité Scientifique

Pr Balla DIARRA, Professeur titulaire en Géographie, École Nationale d'Administration

Coordinateur Scientifique

Dr Issa DIALLO, Maître de conférences en sociologie de la santé, INFTS

Rédacteur en Chef

Dr Idrissa DEMBELE, Maître assistant en droit, USJPB

Rédacteur en Chef Adjoint

Dr Adama Koné, Géographe, CERFDES

Coordonnateur des Rubriques Sciences de la Santé

Dr Abdoul Salam DIARRA, Maître assistant en Santé Publique, CNRST, Bamako, Mali

Directeur de publication

Dr Malick TIMBINE, Maître assistant en Géographie, environnement et santé, ISH

COMITE SCIENTIFIQUE

Pr Balla DIARRA, Géographie, Ecole Nationale d'Administration, Mali

Pr Flatie OUATTARA, philosophie, Université Joseph K. Zerbo, Burkina Faso

Pr Seydou MARIKO, Géographie, Ensup de Bamako, Mali

Pr Cheich Hamala TOURE, Professeur titulaire, Université des Sciences Juridiques et Politiques de Bamako (USJPB), Mali

Pr Brema Ely DICKO, Sociologue, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Pr Aboubacar Sidiki COULIBALY, littérature anglaise, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Pr Belco OUOLOGUEM, Philosophie, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Bazoumana DIARRASSOUBA, Géographie, Maître de conférences, CAMES, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d'Ivoire

Dr Nouhoum TANDINA, Maitre de Conférences CAMES, USJPB

Dr Amadou TRAORE, Maître de conférences CAMES en sociologie, Université de Ségou.

Dr Fodié TANDJIGORA, Sociologie, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Ibrahima TRAORE, Sciences de l'Education, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Boureima TOURE, Anthropologie, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Seydou LOUA, Sciences de l'Education, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Abdoulaye GUINDO, Anthropologie médicale, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Kawélé TOGOLA, Anthropologie, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Almamy SYLLA, Anthropologie, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Arouna DEMBELE, Géographie, Maître de conférences, USSGB Mali

Dr Amadou BAMBA, Maître de conférences en Économie, USSGB, Mali

Dr Baba COULIBALY, Géographie Maître de Recherche à l'ISH. Mali

Dr Aimé Assué YAO, Géographie, Maître de conférences CAMES, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte D'ivoire.

Dr Tuo PEGA, Géographie de la santé, Maître de conférences CAMES, Université Félix Houphouët Boigny.

Dr Papa Fara DIALLO, Maitre de conférences en sciences politiques, Université Gaston Berger de saint Louis, Sénégal

Dr Boubacar dit Dédé TRAORE, Archéologie, Maître de conférences à l'ISH.

Dr N'Gna TRAORE, anthropologie, Maître de conférences à l'ISH.

Dr Issa DIALLO, Maitre de conférences en sociologie de la santé, INFTS.

Dr Souleymane KEITA, Maître de conférences, philosophe, USLHB.

Dr Moctar SIDIBE, Maitre-assistant CAMES, Maitre de conférences, sciences de l'éducation, USLHB.

Dr Mory DIALLO, Maitre-assistant CAMES, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Allaye NIANGALY, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Abdoul SOGODOGO, Maitre-assistant CAMES, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Oumar Toumaly DIALLO, Maitre de conférences, USJPB

Dr Samba SOGOBA, Maître de Conférences, USJPB

Dr Yamadou CAMARA, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Ahmed SAMAKE, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Mariam SIDIBE, Maitre-assistant CAMES, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Fousseyni DOUMBIA, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Sounko SISSOKO, Maitre de Conférences, Université de Ségou

Dr Lamine SANDY, Sociologie, Maitre de recherche, INFTS, Mali

COMITE DE LECTURE

Dr Bazoumana DIARRASSOUBA, Géographie, Maître de conférences, CAMES, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d'Ivoire

Dr Arouna DEMBELE, Géographie, Maître de conférences, USSGB Mali

Dr Issa DIALLO, Maître de conférences des Universités du CAMES en sociologie de la santé, INFTS

Dr Souleymane KEITA, Maître de conférences, philosophe, USLHB.

Dr Moctar SIDIBE, Maitre-assistant CAMES, Maitre de conférences, sciences de l'éducation, USLHB

Dr Tuo PEGA, Géographie de la santé, Maître de conférences CAMES, Université Félix Houphouët Boigny.

Dr Ibrahima TRAORE, Sciences de l'Éducation, Maitre de conférences CAMES, Université des Lettres et des Sciences Humaines de Bamako (ULSHB), Mali

Dr Mory DIALLO, Maitre-assistant CAMES, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Mariam SIDIBE, Maitre-assistant CAMES, Maitre de Conférences, USJPB

Dr Yacouba TENGUERI, Maître-assistant CAMES Sociologie, Université de Dédougou, Burkina Faso.

Dr Amadou BAMBA, Maitre-assistant CAMES, Maître de conférences en Économie, USSGB, Mali

Dr Yéo LANZENI, Maître-assistant CAMES en Géographie, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan.

Dr Mesmer Luther GUEUYOU, Centre d'études de droit international de l'université Paris Ouest, Enseignant chercheur à l'université de Nantes.

Dr Solim ALEKA, Docteur en Droit public, Ministère de la Santé du TOGO.

Dr Hamidou NAPARE, Sciences de l'éducation, Chargé de Recherches à l'INFSS.

Dr Bakaye TOGOLA, Anglais, études africaines et postcoloniales, UCAD

Dr Issa TOGOLA, Maître assistant en Géographie, Institut de sciences humaines, Bamako.

Dr Soufiana Souleymane MAIGA, didactique des langues université de touba Arabe.

Dr Drissa TRAORE, Maître assistant CAMES, Université de Daloa, RCI.

Dr Tiecoura Hamed COULIBALY, Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo.

Dr Siaka DOUMBIA, Maître assistant en Géographie, Université de Ségou.

Dr Francis Birama Daba SARR, philosophe, Université cheikh Anta Diop de Dakar.

Dr Falingué KEITA, Économie, USSGB.

Dr Harouna BAGAYOKO, Géographie, USSGB.

Dr Adama KONÉ, Géographie, Université de gestion et de développement durable de Bamako.

Dr Amadou SOW, Droit, Centre d'Etudes, de Recherche et de Prospective en Afrique – CERPA (Mali).

Dr Ibrahima BAMBA, Droit, Institut de pédagogie universitaire de Bamako (IPU)

Dr Lassine DIARRA, Maître-Assistant USJPB.

Dr Adama KONE, Géologie, Maître-Assistant à la FST

Dr Issa OUATTARA, Maître assistant en Géographie, INFTS de Bamako.

Dr Oumar DEMBELE, Géographie, point SUD.

Dr Oumar KONÉ, philosophie, USLHB.

Dr Abdou Bougoury TRAORE, Économie de l'environnement, USSGB.

Dr Lassina TOGOLA, logisticien, USSGB.

Dr Ousmane DOUMBIA, Marketing communication, USSGB.

Dr Toumani KANTE, sciences agronomiques, IER.

Dr Youssouf GUINDO, Géographie de l'environnement, ENSUP.

Dr YAO Koffi Bertrand, Maître assistant CAMES en Géographie, Université Félix Houphouet Boigny d'Abidjan.

Dr Abdoulaye MAIGA, Économie politique, USSGB.

Dr Abdoul wahab Issiaka MAIGA, Administration Éducative et planification. Université privée Attaoune (UPA), BAMAKO

Dr Ousmane Famagan KONATE, Droit public.

Dr Malick TIMBINE, Géographie, environnement et Santé, Maître-Assistant à l'ISH.

Dr Moussa FOFANA, anthropologie de la santé, Maître-Assistant à L'ISH.

Dr Lala Aïché TRAORE, Lettre Moderne, Maître- Assistant à l'ISH.

Dr Yaya SIDIBE, Économie, Maître Assistant à l'USSGB.

Dr Mamoutou BERTHE, Philosophie à l'ENSup.

Dr Abdoulaye N'Tigui KONARE, économiste, Maître- Assistant à l'USSGB.

Dr Boubacar KONATE, Maître-Assistant à l'INFTS.

Dr Ousmane SY, Maître de recherche, Epidémiologiste, Direction Générale de la Santé et de l'Hygiène Publique, Bamako, Mali.

Dr Abdoul Salam Diarra, Maître assistant en Santé Publique, CNRST, Bamako, Mali.

Dr Idrissa DEMBELE, droit, Maitre-Assistant, USJPB

Dr Bengaly GUINDO, Science politique, Maitre-Assistant USJPB

Dr Sory Ibrahim Maiga, Science politique, Maitre-Assistant USJPB

Dr Mohamed BERTHE, droit Maitre-Assistant, École supérieur de journalisme et des sciences de la communication, Bamako

Dr Seydou MALLET, droit, USJPB

Dr Oumar CAMARA, droit, Maitre-Assistant en droit USJPB

Dr Bakary KONE, Maitre-Assistant à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako.

Dr Lamine Boua COULIBALY, Géographie, Maitre-Assistant à l'Université de Ségou.

Dr Soumaila COULIBALY, Psychologie, Enseignant chercheur à l'université des sciences sociales et de gestion de Bamako.

Dr Seydou Soungalo COULIBALY, Sciences de l'éducation, à l'IPU de Bamako.

Dr Ibrahim Amara DIALLO, Philosophie politique et morale, ULSHB.

Dr Ibrahim KONE, relations internationales, FSAP, Bamako

Dr Moïse Jean, Docteur en droit public à l'Université de Nanterre, Chercheur postdoctoral à l'Université de Genève.

SOMMAIRE

Diakaridia SIDIBE, Yaya DOGONI, Bakary DAGNO

ANALYSE DE L'EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DENSITE, LA STRUCTURE ET LA PRODUCTION LIGNEUSE DANS LA FORET CLASSEE DES MONTS MANDINGUES AU MALI 1

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE DENSITY, STRUCTURE AND WOOD PRODUCTION IN THE CLASSIFIED FOREST OF THE MANDINGUE MOUNTAINS IN MALI..... 1

ADJAWOUTO Kossi Tozo, DANDONOUGBO Iléri, HETCHELI Follygan

MAUVAIS ETAT DU RESEAU ROUTIER ET LA PRODUCTION DU SODABI (BOISSON LOCALE) DANS LES MILIEUX RURAUX DE LA PREFECTURE DU MOYEN-MONO AU TOGO 13

POOR CONDITION OF THE ROAD NETWORK AND THE PRODUCTION OF SODABI (LOCAL DRINK) IN RURAL AREAS OF THE MOYEN-MONO PREFECTURE IN TOGO..... 13

Komi DOSSE, Koudzo SOKEMAWU

LES DÉTERMINANTS DE LA CONSOMMATION DU LAPIN D'ÉLEVAGE DANS LA DISTRICT AUTONOME DU GRAND LOMÉ AU SUD-TOGO..... 32

DETERMINANTS OF FARMED RABBIT MEAT CONSUMPTION IN THE GREATER LOMÉ AUTONOMOUS DISTRICT, SOUTHERN TOGO..... 32

Bakary BERTHE, Boubacar SY, Abdoulaye KEITA, Houdou Attikou DIALLO, Bokary DIALLO

ANALYSE DU PROCESSUS D'ORGANISATION ET DE GESTION DES ÉVACUATIONS SANITAIRES AUX SERVICES D'ACCUEIL DES URGENCES (SAU): CAS DU CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE (CHU) DE GABRIEL TOURE 43

ANALYSIS OF THE ORGANIZATION AND MANAGEMENT PROCESS OF MEDICAL EVACUATIONS IN EMERGENCY DEPARTMENTS (EDS) : CASE OF THE GABRIEL TOURE UNIVERSITY HOSPITAL CENTER (CHU) 43

Tantely Aro Tafika Notahina Anjarasoa RAKOTONINDRINA, Tantely Ny Andry Nomena Anjarasoa RAKOTONINDRINA, Tantely Oliva RAKOTONINDRINA, Faly Tinasoa ANDRIANANDRASANIRINA

IMPACT DE L'USAGE DES LEARNING LABS SUR L'INNOVATION PÉDAGOGIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : CAS DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE L'UNIVERSITÉ DE FIANARANTSOA, MADAGASCAR) 58

IMPACT OF LEARNING LAB USE ON PEDAGOGICAL INNOVATION IN HIGHER EDUCATION: CASE OF THE ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE OF THE UNIVERSITY OF FIANARANTSOA, MADAGASCAR 58

KOUAKOU Amenan Ester, DAGNOGO Gnéré Laeticia Blama

PETITES ÉPARGNES, GRANDES VICTOIRES »: POUR UNE ANALYSE COMMUNICATIONNELLE DU PROGRAMME FILETS SOCIAUX PRODUCTIFS DANS LA COMMUNE DE SOUBRÉ EN CÔTE D'IVOIRE 70

SMALL SAVING, BIG VICTORIES »: A COMMUNICATION ANALYSIS OF THE PRODUCTIVE SOCIAL SAFETY NET PROGRAMM IN THE COMMUNE OF SOUBRÉ IN IVORY COAST 70

Tantely Ny Andry Nomena Anjarasoa RAKOTONINDRINA, Tantely Aro Tafika Notahina Anjarasoa RAKOTONINDRINA, RATSIMBAZAFY, Tantely Oliva RAKOTONINDRINA

MODERNITÉ, ÉDUCATION FAMILIALE ET RÉSULTATS SCOLAIRES : LE CAS DE LA RÉGION DIANA À MADAGASCAR 85

MODERNITY, FAMILY EDUCATION AND ACADEMIC ACHIEVEMENT: THE CASE OF THE DIANA REGION IN MADAGASCAR 85

Djibril Abdoulaye SABANE, Boubacar SY

EFFETS DES POLITIQUES DE SUBVENTIONS AGRICOLES SUR LA CROISSANCE ECONOMIQUE AU MALI 102

EFFECTS OF AGRICULTURAL SUBSIDY POLICIES ON ECONOMIC GROWTH IN MALI 102

NGBANGA MOSALA CLAUDE

ANALYSE DES BESOINS DU PEUPLE BUDJA À TRAVERS LE VÉCU DES PHÉNOMÈNES ‘’PSI ‘’ 110

ANALYSIS OF THE NEEDS OF THE BUDJA PEOPLE THROUGH THEIR EXPERIENCE OF PSI PHENOMENA 110

TSHIKAMA KALAMBA Alfred

ENTREPRENEURIAT CULTUREL À KINSHASA: ENJEUX ET PERSPECTIVES DE CRÉATION D'UNE INDUSTRIE CRÉATIVE (CAS DE L'ATELIER ALTSHIK. C.A.F) 124

CULTURAL ENTREPRENEURSHIP IN KINSHASA: ISSUES AND PROSPECTS FOR CREATING A CREATIVE INDUSTRY (CASE OF THE ALTSHIK WORKSHOP. C.A.F) 124

IPOBA MENAKUNTIMA Léonard, LONGI MASALA Rachel, MATAND TUILWENG Alphonse, KIPALA ESANGO Nestor

EVOLUTION DE L'HABITAT DANS L'AIRE URBAINE DE KINSHASA : ETAT DE LIEUX ET PERSPECTIVES 132

HOUSING TRENDS IN THE KINSHASA URBAN AREA : CURRENT SITUATION AND OUTLOOK 132

Issoufou COULIBALY

APPORTS DES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES ET NUMÉRIQUES DANS L'AGRICULTURE MALIENNE 145

EMERGING ECOLOGICAL TRANSITION: CONTRIBUTIONS OF INTELLIGENT AND DIGITAL TECHNOLOGIES TO MALIAN AGRICULTURE 145

LUKUBAMA MUMBELA Reddy, BAKUMBA MANGITUKULU Guy

DE LA PRÉCARITÉ À L'AUTOFINANCEMENT DU FONCIER : LE REMEMBREMENT FONCIER COMME LEVIER DE TRANSFORMATION DES QUARTIERS SPONTANÉS À KINSHASA 158

FROM PRECARITY TO LAND SELF-FINANCING: LAND READJUSTMENT AS A LEVER FOR TRANSFORMING INFORMAL SETTLEMENTS IN KINSHASA 158

Issa Koné

CARBONE POREUX HIÉRARCHIQUE DOPÉ AVEC DU FER, DE L'AZOTE ET DU SOUFRE (FENS/HPC) POUR LA RÉACTION DE RÉDUCTION DE L'OXYGÈNE (ORR) 179

HIERARCHICAL POROUS CARBON DOPED WITH IRON, NITROGEN, AND SULFUR (FENS/HPC) FOR THE OXYGEN REDUCTION REACTION (ORR) 179

CAMARA Soumaila, COULIBALY Souleymane

ÉVALUATION DES PERFORMANCES D'UN SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT À ABSORPTION À SIMPLE EFFET ENTRAÎNÉ PAR UN CAPTEUR SOLAIRE À DOUBLE ACTION EN CLIMAT CHAUD 193

PERFORMANCE EVALUATION OF A SINGLE-EFFECT ABSORPTION COOLING SYSTEM DRIVEN BY A DUAL-ACTION SOLAR COLLECTOR IN A HOT CLIMATE 193

Natié COULIBALY

RÉSILIENCE ÉDUCATIVE AU MALI: QUELLES STRATÉGIES DES ACTEURS DE L'ÉCOLE EN CONTEXTE D'INSÉCURITÉ? 210

EDUCATIONAL RESILIENCE IN MALI: WHAT STRATEGIES DO SCHOOL ACTORS ADOPT IN A CONTEXT OF INSECURITY?.....210

Darcy LUTUMBA NKANGA

ARBRE DE DÉCISION: FONCTIONNEMENT ET IMPACT DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ.....220

DECISION TREE: HOW IT WORKS AND ITS IMPACT IN THE HEALTHCARE SECTOR.....220

KONAN Kouakou Gildas

L'IMAGINATION MATÉRIELLE CHEZ JOSUÉ GUÉBO : UN PROCÈS EN COURS DANS SONGE À LAMPEDUSA.....229

MATERIAL IMAGINATION IN JOSHUA GUEBO : A TRIAL IN PROGRESS IN A DREAM IN LAMPEDUSA.....229

Darcy LUTUMBA NKANGA, Richard KITONDUA LUBANZADIO, Cédric KABEYA TSHISEBA, Pierre KAFUNDA KATALAY, Josué NZUZI TSASA, Tommy BUKASA MUTOMBO, Merveil LUMBALA KATUMBA

OPTICS: FONCTIONNEMENT ET IMPACT DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ.....240

OPTICS: HOW IT WORKS AND ITS IMPACT IN THE HEALTHCARE SECTOR.....240

Oumar DEMBELE, Issa OUATTARA, Adama KONE, Mounérou DJIRE

EMIGRATION ET CHANGEMENTS SOCIOÉCONOMIQUES DE LA VILLE DE KITA - MALI.....250

EMIGRATION AND SOCIO-ECONOMIC CHANGES IN THE CITY OF KITA-MALI.....250

Dabiré Der, Fayama Tionyélé, Ouiminga Idrissa, Sondé T Larissa, Berre David, Toé Patrice

TYPOLOGIE DES INTERACTIONS EN JEU DANS LA GOUVERNANCE DES RESSOURCES PASTORALES POUR S'ADAPTER AUX EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE RURALE DE KOUMBIA AU BURKINA FASO: ENTRE HIÉRARCHIE, MÉDIATION, COOPÉRATION ET CONFLIT.....264

A TYPOLOGY OF INTERACTIONS INVOLVED IN THE GOVERNANCE OF PASTORAL RESOURCES TO ADAPT TO THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN THE RURAL COMMUNE OF KOUMBIA, BURKINA FASO: BETWEEN HIERARCHY, MEDIATION, COOPERATION, AND CONFLICT.....264

Mahmoud Ag ALY, Cheick Kader M'BAYE, Falingué KEITA

INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE AU MALI 274

INVESTMENT IN ENERGY INFRASTRUCTURE AND ECONOMIC GROWTH IN MALI 274

Sékou Dit Karamoko KEITA, Boubacar SY

RÔLE DE LA FIXATION DU PRIX DU COTON ET LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE DU MALI 284

THE ROLE OF COTTON PRICING IN MALI'S ECONOMIC GROWTH 284

Oumar SK DEMBELE, ABDOUL Karim CAMARA

HÉTÉROGÉNÉİTE ÉNONCIATIVE ET CONSTRUCTION DU SENS: UNE LECTURE DISCURSIVE À LA LUMIÈRE DES TRAVAUX DE JACQUELINE AUTHIER-REVUZ..... 294

ENUNCIATIVE HETEROGENEITY AND THE CONSTRUCTION OF MEANING: A DISCURSIVE ANALYSIS IN LIGHT OF THE WORK OF JACQUELINE AUTHIER-REVUZ..... 294

OPTICS: FONCTIONNEMENT ET IMPACT DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ

OPTICS: HOW IT WORKS AND ITS IMPACT IN THE HEALTHCARE SECTOR

Darcy LUTUMBA NKANGA[3,4], Richard KITONDUA LUBANZADIO [1], Cédric KABEYA TSHISEBA[1], Pierre KAFUNDA KATALAY [2], Josué NZUZI TSASA[3], Tommy BUKASA MUTOMBO [5], Merveil LUMBALA KATUMBA [3]

[1] Département de Mathématique, Statistique et Informatique, Faculté de Sciences, Université Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa-RDC

[2] Département de Mathématiques, Statistique et Informatique, Faculté de Sciences, Université de Kinshasa (UNIKIN), Kinshasa-RDC

[3] Centre de Recherche Interdisciplinaire de l'Université Pédagogique Nationale (CRIDUPN), Kinshasa-RDC,

[4] Centre de recherche sur l'enseignement de Mathématiques (CREM), Kinshasa –RDC

[5] Centre de Recherche Géologiques Minières (CRGM) Kinshasa-RDC

Auteur correspondant: Darcy LUTUMBA NKANGA

lutumbadarcy04@gmail.com

Résumé

OPTICS (Ordering Points to Identify the Clustering Structure) est un algorithme d'intelligence artificielle permettant de regrouper automatiquement des données similaires sans qu'il soit nécessaire de définir à l'avance le nombre de groupes à identifier. Appliqué dans le cadre du projet E-Santé-Smart au suivi de la croissance de 7 000 enfants congolais de 0 à 60 mois, il a permis de distinguer automatiquement trois profils nutritionnels distincts croissance normale, malnutrition modérée et malnutrition sévère avec un degré de concordance de 0,79 par rapport aux diagnostics médicaux établis cliniquement, et un partage d'information de 0,80.

Ces résultats illustrent le potentiel considérable de cet outil pour renforcer la détection précoce de la malnutrition infantile en République Démocratique du Congo, sans recourir à l'expertise d'un médecin spécialiste.

Mots clés: OPTICS, regroupement automatique, anomalies de croissance, E-santé, malnutrition infantile, apprentissage non supervisé, RDC.

Abstract

OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure) is an artificial intelligence algorithm that automatically groups similar data without requiring the number of groups to be defined in advance. Applied within the E-Santé-Smart project to monitor the growth of 7,000 Congolese children aged 0–60 months, it automatically distinguished three distinct nutritional profiles — normal growth, moderate malnutrition, and severe malnutrition — with an agreement score of 0.79 against clinically established medical diagnoses and a mutual information score of 0.80. These results illustrate the considerable potential of this tool for early detection of child malnutrition in the Democratic Republic of Congo, without requiring specialist medical expertise.

Keywords: OPTICS, automatic clustering, growth anomalies, e-health, child malnutrition, unsupervised learning, DRC.

INTRODUCTION

La surveillance de la santé infantile et la lutte contre la malnutrition figurent parmi les priorités mondiales de santé publique. Dès les travaux fondateurs de Mitchell (1997), l'apprentissage

automatique a été reconnu comme une discipline capable de transformer la manière dont les systèmes informatiques analysent et interprètent des données complexes. Dans le domaine médical, cette transformation prend une dimension particulière: il ne s'agit plus seulement de classer des courriels ou de recommander des contenus numériques, mais d'aider à détecter précocement des maladies, à stratifier des populations de patients et à orienter des ressources médicales limitées vers les personnes qui en ont le plus besoin.

Face à la complexité et au volume croissant des données cliniques et anthropométriques, les méthodes d'analyse traditionnelles montrent leurs limites. C'est dans ce contexte que l'apprentissage automatique non supervisé qui permet à une machine de trouver des structures dans les données sans qu'on lui indique à l'avance ce qu'elle doit chercher s'est imposé comme une alternative puissante et prometteuse pour la santé publique.

Dès 1990, Kaufman et Rousseeuw ont posé les bases méthodologiques du clustering (regroupement automatique), soulignant sa capacité à révéler des structures cachées dans des données biomédicales. Ils définissent le clustering comme le regroupement d'observations similaires en sous-ensembles homogènes, de sorte que les éléments d'un même groupe se ressemblent davantage entre eux qu'avec ceux des autres groupes.

Ester et al. (1996) ont représenté une avancée décisive en proposant DBSCAN, algorithme fondé sur la densité locale des observations plutôt que sur une métrique globale. Contrairement à K-Means, qui suppose que les groupes ont une forme sphérique et des tailles similaires, DBSCAN peut identifier des groupes de formes arbitraires et signaler les points isolés comme des anomalies. Cette propriété est précieuse en santé publique, où les profils pathologiques sont souvent des minorités statistiques qu'il est impératif de détecter. Cependant, comme le notent Xu et Tian (2015) dans leur étude comparative de dix-sept algorithmes de clustering, DBSCAN reste sensible à un paramètre global (epsilon) qui doit être fixé manuellement, limitant son applicabilité aux données médicales présentant des sous-groupes de densités différentes.

C'est dans ce contexte qu'Ankerst et al. (1999) ont proposé OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure), capable d'identifier des groupes de densités variables sans fixer à l'avance leur nombre ni leur densité minimale. OPTICS produit un ordonnancement enrichi de tous les points de données, révélant leur structure sous forme d'un graphique visuel le reachability plot dont les vallées correspondent aux groupes naturels et les pics aux frontières entre groupes. Campello et al. (2013) ont approfondi ce cadre, démontrant la supériorité d'OPTICS pour les données à structures hiérarchiques, situation courante en épidémiologie. Ces avancées ont ouvert la voie à des applications médicales concrètes en Afrique; la Commission de l'Union Africaine (2021) souligne dans sa stratégie E-Santé 2021–2030 l'urgence de développer des outils d'analyse automatisée adaptés aux réalités sanitaires du continent.

Dans un système de santé idéal, chaque enfant bénéficierait d'un suivi régulier permettant de détecter précocement tout retard de croissance ou signe de malnutrition. Des outils automatisés, capables d'analyser rapidement les mesures anthropométriques poids, taille, périmètre brachial et de classer chaque enfant dans un profil nutritionnel approprié, permettraient aux agents de santé de concentrer leurs interventions sur les cas prioritaires et de rationaliser l'usage des ressources disponibles. Cette vision est celle que défend l'Organisation Mondiale de la Santé dans ses recommandations sur le suivi de la croissance infantile (OMS, 2006): un outil simple, rapide, et interprétable par des agents sans formation médicale spécialisée.

La réalité en République Démocratique du Congo est tout autre. Selon les données épidémiologiques récentes, environ 43 % des enfants de moins de cinq ans souffrent d'un retard

de croissance chronique (stunting) et plus de 8 % présentent une malnutrition aiguë sévère (OMS, 2023). Selon le rapport conjoint UNICEF/OMS/Banque Mondiale (2023), la RDC figure parmi les pays les plus touchés de toute l'Afrique subsaharienne.

Le suivi pédiatrique repose encore sur des procédures majoritairement manuelles et discontinues. L'absence d'outils numériques d'aide à la décision rend la détection précoce difficile, surtout dans les zones rurales où la couverture médicale est faible. De plus, la diversité des profils nutritionnels observés sur le terrain des enfants en bonne santé côtoyant des enfants en malnutrition modérée ou sévère rend l'identification visuelle des cas prioritaires particulièrement ardue pour des agents de santé non spécialisés. Cette situation appelle le développement et le déploiement d'outils automatisés capables d'analyser rapidement des données anthropométriques simples pour générer des alertes fiables.

Dans quelle mesure l'algorithme OPTICS peut-il contribuer à la détection automatisée et précoce des anomalies de croissance chez les enfants congolais de 0 à 60 mois, à partir de données anthropométriques simples?

La présente étude vise à analyser le fonctionnement de l'algorithme OPTICS et à évaluer sa contribution à la détection précoce des anomalies de croissance infantile dans le contexte sanitaire de la RDC, à travers le projet E-Santé-Smart.

I. MÉTHODOLOGIE

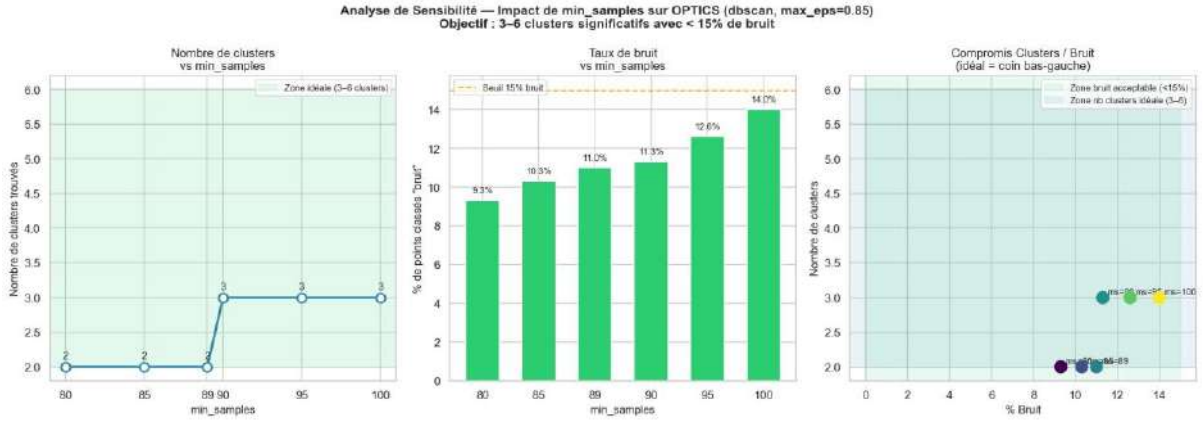
La démarche méthodologique adoptée s'articule autour de trois approches complémentaires : la méthode analytique, qui permet de décomposer le fonctionnement d'OPTICS en ses éléments constitutifs et d'en expliquer chaque étape de manière accessible ; la méthode comparative, qui permet de situer OPTICS par rapport aux algorithmes existants et d'évaluer ses avantages spécifiques dans le contexte des données pédiatriques ; et la méthode documentaire, qui fournit les bases théoriques à partir de la littérature scientifique internationale en intelligence artificielle et en santé publique.

1.1.1. Fonctionnement général d'OPTICS

OPTICS procède en deux temps. Dans un premier temps, il explore systématiquement le voisinage de chaque enfant dans l'espace des données: pour chaque enregistrement, il identifie les 90 enfants dont les mesures anthropométriques sont les plus proches (paramètre min_samples = 90) et mesure la densité locale de la zone correspondante. Un enfant dont les 90 plus proches voisins présentent des Z-scores très similaires se trouve dans une région dense, caractéristique d'un groupe nutritionnel cohérent. En revanche, un enfant très différent de ses voisins est désigné comme profil atypique (bruit ou outlier).

Dans un second temps, OPTICS ordonne tous les enfants selon leur ordre de visite et représente graphiquement leur distance d'accessibilité une mesure qui combine à la fois la proximité géométrique à ses voisins et la densité de la zone où il se trouve. Ce graphique, appelé reachability plot, forme un paysage intuitif: les vallées profondes révèlent les groupes denses (clusters), les pics élevés marquent les frontières entre groupes, et les points isolés à grande hauteur sont les outliers. La figure ci-dessous présente l'analyse de sensibilité réalisée pour calibrer les paramètres d'OPTICS sur le dataset pédiatrique.

Figure 1: Analyse de sensibilité du paramètre min_samples d'OPTICS. La valeur min_samples=90 offre le meilleur compromis: 3 clusters médicalement cohérents avec un taux de bruit de 11,3 % (en dessous du seuil acceptable de 15 %).



Source: Darcy LUTUMBA NKANGA, 2026

L'analyse de sensibilité a testé les valeurs de min_samples de 80 à 100. Pour min_samples inférieur à 90, seuls 2 clusters émergent, ce qui ne reflète pas la réalité clinique tri-partite (normale / modérée / sévère). Pour min_samples supérieur à 90, le taux de bruit dépasse 12,6 %, réduisant la couverture clinique. La valeur de 90 a donc été retenue comme le meilleur compromis, conformément à la règle empirique sqrt(N) ≈ 84 pour N = 7 000 observations.

1.1.2. Population

La population cible est constituée des enfants congolais âgés de 0 à 60 mois (de la naissance jusqu'à l'âge de cinq ans), suivis dans les services pédiatriques et centres de santé de la République Démocratique du Congo. Cette tranche d'âge correspond à la période critique du développement infantile identifiée par l'OMS, durant laquelle les retards de croissance sont à la fois les plus fréquents et les plus lourds de conséquences sur la santé à long terme.

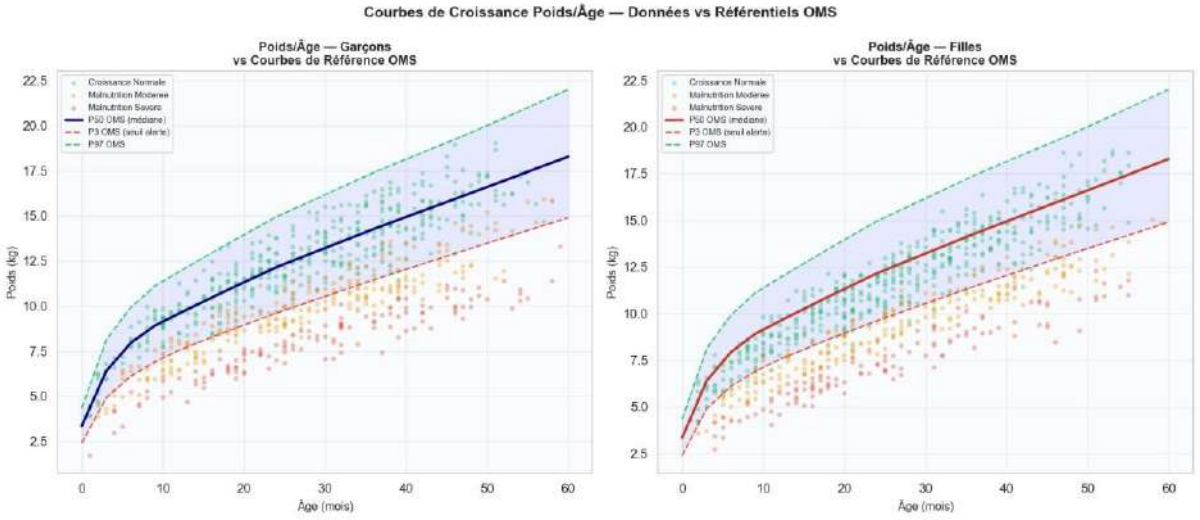
1.1.3. Échantillon

L'analyse porte sur un échantillon de 7 000 enfants, répartis uniformément sur la tranche d'âge 0–60 mois, avec une distribution équilibrée entre garçons (49,8 %) et filles (50,2 %). Le dataset a été généré de manière synthétique à partir des standards de croissance OMS (2006) et des distributions épidémiologiques réelles de la RDC pour la période 2020–2025. Ce choix garantit la confidentialité des données tout en reproduisant fidèlement les profils cliniques observés dans les services pédiatriques congolais.

Chaque enregistrement comprend dix variables anthropométriques et biologiques (poids, taille, périmètre brachial MUAC, périmètre crânien, poids de naissance, âge, Z-scores OMS WAZ, HAZ, WHZ, BAZ) et six variables socio-économiques (milieu de résidence, source d'eau potable, niveau d'éducation maternelle, statut vaccinal, rang de naissance, sexe). Pour le clustering par OPTICS, seuls les Z-scores anthropométriques ont été utilisés normalisés par StandardScaler afin de découvrir des profils purement nutritionnels sans biais contextuel.

La figure ci-dessous illustre les courbes de croissance poids/âge observées dans le dataset, comparées aux courbes de référence OMS, séparément pour les garçons et les filles montrant clairement la dispersion des profils entre enfants en croissance normale et enfants en situation de malnutrition à différents niveaux de sévérité.

Figure 2: Courbes de croissance poids/âge données du dataset vs référentiels OMS, pour garçons (gauche) et filles (droite). Les points verts correspondent aux enfants en croissance normale; orange, malnutrition modérée; rose, malnutrition sévère.

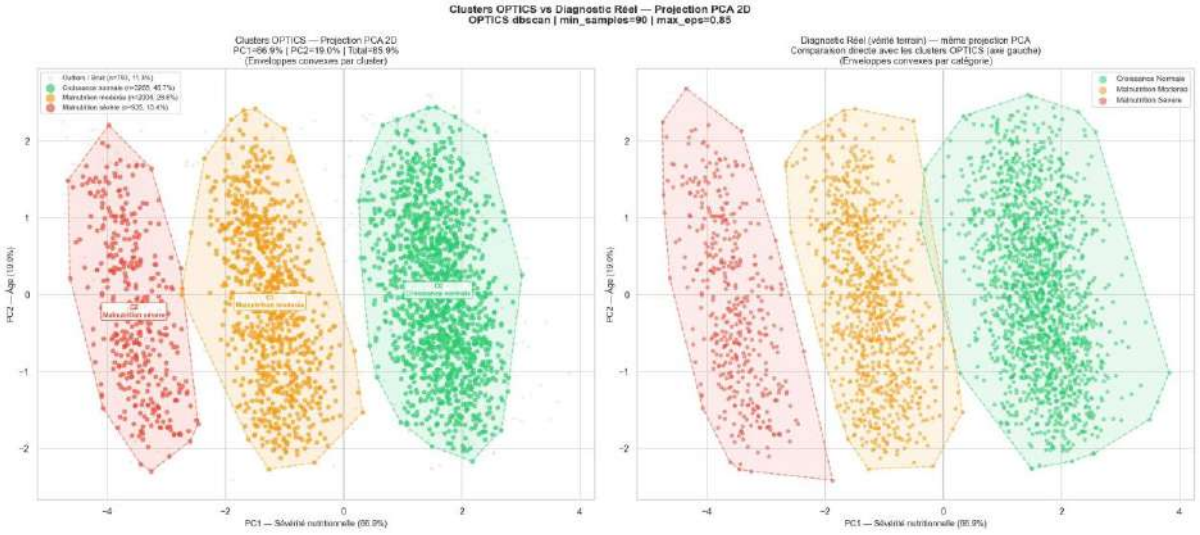


Source: Darcy LUTUMBA NKANGA, 2026

II. RÉSULTATS

L'application de l'algorithme OPTICS aux données anthropométriques de l'échantillon a produit des résultats à la fois clairs et médicalement interprétables. L'algorithme a distingué quatre ensembles: trois clusters denses correspondant à des profils nutritionnels reconnus, et un ensemble de profils atypiques. La figure ci-dessous compare visuellement les groupes découverts par OPTICS (à gauche) aux diagnostics médicaux réels établis cliniquement (à droite), en projetant les données dans un espace à deux dimensions grâce à une Analyse en Composantes Principales (ACP).

Figure 3 : Clusters OPTICS (gauche) vs diagnostics médicaux réels (droite) — projection ACP 2D. La quasi-superposition des deux représentations confirme la pertinence clinique des groupes identifiés automatiquement par OPTICS.



Source : Darcy LUTUMBA NKANGA, 2026

La quasi-superposition des deux représentations celle de l'algorithme et celle des médecins illustre de façon frappante la pertinence clinique d'OPTICS : sans connaître les diagnostics, la machine a reconstruit des groupes qui correspondent aux catégories médicales établies. Le tableau ci-dessous détaille les quatre groupes identifiés et leur interprétation clinique :

Groupe identifié	Effectif	Proportion	Profil Z-scores moyen	Interprétation clinique
Groupe 0 — Croissance normale	3 268 enfants	46,7 %	WAZ ≈ 0,00 / HAZ ≈ 0,00 / WHZ ≈ -0,02	Développement conforme aux standards OMS
Groupe 1 — Malnutrition modérée	2 004 enfants	28,6 %	WAZ ≈ -2,10 / HAZ ≈ -2,10 / WHZ ≈ -2,10	Z-scores au seuil d'alerte OMS (-2)
Groupe 2 — Malnutrition sévère	935 enfants	13,4 %	WAZ ≈ -3,71 / HAZ ≈ -3,72 / WHZ ≈ -3,73	Z-scores en dessous du seuil d'urgence (-3)
Profils atypiques (bruit)	793 enfants	11,3 %	Profils variés, transition nutritionnelle	Bilan complémentaire recommandé

Source : Darcy LUTUMBA NKANGA, 2026

Une analyse détaillée de chaque groupe apporte des éclairages cliniques importants :

Le Groupe 0 (Croissance normale) regroupe les enfants dont tous les Z-scores gravitent autour de 0. Un Z-score de 0 signifie que l'enfant se situe exactement dans la médiane de la population de référence OMS. Ces enfants présentent un poids, une taille et un périmètre brachial conformes aux normes attendues pour leur âge et leur sexe. Ils ne nécessitent pas d'intervention particulière, mais un suivi trimestriel de routine reste recommandé pour détecter toute évolution défavorable.

Le **Groupe 1 (Malnutrition modérée)** regroupe les enfants dont les Z-scores gravitent autour de -2,10. Un Z-score de -2 correspond au seuil d'alerte de l'OMS, il indique que l'enfant se situe deux écarts-types en dessous de la médiane de référence. Ces enfants présentent un déficit nutritionnel modéré qui, sans intervention, risque d'évoluer vers une malnutrition sévère avec des conséquences durables sur le développement physique et cognitif. Un conseil nutritionnel rapproché et une réévaluation dans les quatre semaines constituent la réponse médicale appropriée.

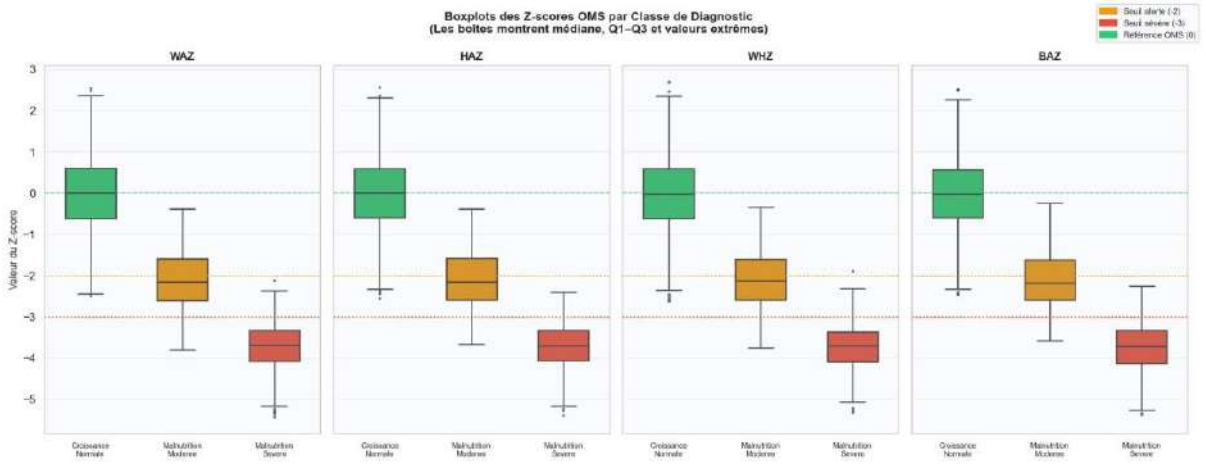
Le **Groupe 2 (Malnutrition sévère)** regroupe les enfants dont les Z-scores sont inférieurs à -3,70, bien en dessous du seuil d'urgence de l'OMS (-3). Ces enfants souffrent d'une malnutrition multi-dimensionnelle touchant simultanément le poids, la taille et la corpulence. Leur situation nécessite une prise en charge thérapeutique immédiate dans un centre de santé ou centre de récupération nutritionnelle (CRENAS/CRENI). Sans intervention urgente, le risque de mortalité infantile est élevé.

Les **Profils atypiques** (793 enfants, 11,3 %) regroupent principalement des enfants en situation de transition nutritionnelle (amélioration ou dégradation en cours), ainsi que des mesures présentant des particularités individuelles. L'analyse montre que 76,7 % de ces profils atypiques

ont en réalité une croissance normale, suggérant qu'ils représentent des cas aux frontières entre groupes plutôt que des pathologies rares. Un bilan complémentaire et une réévaluation dans deux semaines sont systématiquement recommandés pour ces enfants.

La figure ci-dessous (boxplots des Z-scores OMS par classe diagnostique) illustre visuellement la séparation entre les trois groupes pour chacune des quatre mesures anthropométriques principales :

Figure 4 : Boxplots des Z-scores OMS (WAZ, HAZ, WHZ, BAZ) par classe de diagnostic. Les lignes en pointillé indiquent le seuil d'alerte OMS (-2) et le seuil de sévérité (-3). La séparation nette entre les trois groupes confirme la cohérence médicale des clusters.



Source : Darcy LUTUMBA NKANGA, 2026

Les boîtes vertes (croissance normale) se concentrent autour de 0, les boîtes orange (malnutrition modérée) autour de -2, et les boîtes rouges/foncées (malnutrition sévère) bien en dessous de -3. Cette séparation visuellement claire confirme que les groupes identifiés par OPTICS correspondent à des réalités biologiques distinctes et cliniquement significatives.

2.1.1. Métriques de validation

La qualité du clustering a été évaluée à l'aide de quatre métriques statistiques complémentaires. Le Score de Silhouette (0,40) mesure la compacité et la séparation des groupes : un score de 0,40 est acceptable pour des données formant un continuum dense (85,9 % de variance expliquée sur deux composantes ACP), où la frontière entre profils nutritionnels est par nature progressive plutôt qu'abrupte.

L'indice de Davies-Bouldin (1,04) mesure le ratio compacité/séparation : une valeur proche de 1,0 confirme une séparation inter-groupes correcte. L'Adjusted Rand Index (ARI = 0,79) est la métrique la plus significative de l'étude : il mesure la concordance entre les groupes d'OPTICS et les diagnostics médicaux établis par des cliniciens. Une valeur de 0,79 sur une échelle de 0 à 1 indique une très forte correspondance, comparable à ce qu'on obtient en comparant les diagnostics de deux médecins indépendants. Enfin, la Normalized Mutual Information (NMI = 0,80) confirme qu'OPTICS et le diagnostic médical partagent 80 % d'information mutuelle.

Au niveau du détail, la cohérence est quasi-totale : 100 % des enfants du Groupe 0 présentent un diagnostic de croissance normale, 99,7 % du Groupe 1 correspondent à une malnutrition modérée, et 100 % du Groupe 2 à une malnutrition sévère.

III. DISCUSSION

3.1.1. Analyse et interprétation des résultats

Les résultats confirment pleinement l'hypothèse formulée: le score de concordance de 0,79, supérieur au seuil de 0,70 fixé, atteste qu'OPTICS identifie des profils nutritionnels cliniquement significatifs à partir de simples mesures anthropométriques, sans aucune annotation médicale préalable.

Ce résultat s'inscrit dans la continuité des travaux d'Ankerst et al. (1999) et de Campello et al. (2013), qui soulignaient la supériorité d'OPTICS pour les données présentant des densités inégales précisément le cas des données de croissance infantile, où les profils de malnutrition sévère sont minoritaires mais essentiels à détecter. Par rapport à K-Means, OPTICS ne requiert pas la connaissance préalable du nombre de groupes. Par rapport à DBSCAN, il gère mieux les clusters de densités variables, ce que souligne Xu et Tian (2015) dans leur étude comparative.

Sur le plan pratique, les trois groupes identifiés se traduisent directement en protocoles médicaux différenciés. Les 793 profils atypiques (11,3 %) constituent une information précieuse : leur proportion stable d'un paramétrage à l'autre suggère qu'ils représentent de véritables situations de transition nutritionnelle, justifiant un bilan individuel approfondi.

3.1.2. Vérification : confrontation avec les travaux antérieurs

Nos résultats s'inscrivent dans un paysage de recherche en pleine expansion autour de l'utilisation du Machine Learning pour la surveillance nutritionnelle infantile. Plusieurs travaux ont abordé des problématiques proches, dont il convient de situer les apports et les limites par rapport à notre contribution.

Ankerst et al. (1999), créateurs de l'algorithme OPTICS, en ont posé les fondements théoriques dans le cadre général du clustering basé sur la densité. Leur objectif était de segmenter des populations de données tout en identifiant les anomalies, sans labellisation préalable. La principale limite de leur travail était l'absence d'application à des données anthropométriques de croissance infantile. Notre étude représente ainsi l'une des premières applications d'OPTICS spécifiquement à des données pédiatriques dans un contexte africain à ressources limitées, comblant cette lacune explicitement identifiée dans la littérature.

Yamasari et al. (2025), dans leur analyse de l'application des algorithmes de Machine Learning à la classification du statut nutritionnel des enfants à partir de données anthropométriques, ont vérifié que les approches supervisées peuvent remplacer ou compléter les méthodes traditionnelles de diagnostic. Ils soulignent toutefois une limite importante: la faible capacité de ces modèles à traiter les cas atypiques, qui sont pourtant les plus urgents à détecter. Notre application d'OPTICS répond directement à cette lacune en isolant les profils rares avant toute classification améliorant ainsi la détection des anomalies rares.

Tesfaye et al. (2024), dans leur étude sur la prédiction de l'anémie infantile par Machine Learning à partir des enquêtes démographiques et sanitaires éthiopiennes, ont démontré la pertinence des approches automatisées pour identifier les enfants à risque nutritionnel. Ils notent cependant un manque d'interprétabilité clinique des modèles utilisés — une limite que notre approche hybride (OPTICS + arbre de décision) surmonte directement, en produisant des règles de décision lisibles et immédiatement applicables sur le terrain.

En résumé, si les travaux existants ont démontré la pertinence du Machine Learning pour la surveillance nutritionnelle, ils présentent deux lacunes récurrentes: la gestion insuffisante des cas atypiques et le manque d'interprétabilité des résultats. Notre modèle E-Santé-Smart répond

précisément à ces deux lacunes en combinant OPTICS pour la détection des anomalies et l'arbre de décision pour la prédiction interprétable.

CONCLUSION

Cette étude a montré qu'OPTICS constitue un outil pertinent, efficace et médicalement pertinent pour la détection automatique des anomalies de croissance infantile en RDC. Appliqué à un échantillon de 7 000 enfants, il a identifié trois profils nutritionnels distincts croissance normale, malnutrition modérée et malnutrition sévère avec un degré de concordance de 0,79 par rapport aux diagnostics médicaux établis, confirmant pleinement l'hypothèse de départ.

L'apport scientifique principal réside dans la démonstration qu'un algorithme d'intelligence artificielle non supervisé peut, à partir de quelques mesures simples et peu coûteuses à collecter (poids, taille, périmètre brachial), produire une classification nutritionnelle fiable, médicalement interprétable, et directement exploitable sur le terrain. Cela ouvre des perspectives concrètes pour l'intégration de tels outils dans les systèmes de surveillance sanitaire en RDC et, plus largement, dans les pays à ressources limitées confrontés à des défis nutritionnels similaires.

La prochaine étape consistera à valider ces résultats sur des données cliniques réelles collectées dans plusieurs centres de santé pilotes en RDC, avant de combiner OPTICS avec un modèle de classification interprétable l'arbre de décision pour produire un guide terrain médical directement utilisable par les agents de santé. C'est précisément l'objet du second article de la présente série de publications.

REFERENCES BIBIOGRAPHIQUE

Ankerst, M., Breunig, M. M., Kriegel, H. P., & Sander, J. (1999). OPTICS : Ordering points to identify the clustering structure. ACM SIGMOD Record, 28(2), 49–60.

Campello, R. J. G. B., Moulavi, D., & Sander, J. (2013). Density-based clustering based on hierarchical density estimates. In Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 160–172). Springer.

Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96) (pp. 226–231). AAAI Press.

Tesfaye, S. H., Seboka, B. T., & Sisay, D. (2024). Application of machine learning methods for predicting childhood anaemia: Analysis of Ethiopian Demographic Health Survey of 2016. PLOS ONE, 19(4).

Xu, R., & Tian, Y. (2015). A comprehensive study of clustering algorithms. Annals of Data Science, 2(2), 165–193.

Yamasari, Y., Yogiyanti, E., & Yohannes, E. (2025). Analysis of the application of machine learning algorithms for classification of toddler nutritional status based on anthropometric data. Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering and Medical Informatics, 7(4), 594–604.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The Elements of Statistical Learning (2e éd.). Springer.

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. John Wiley & Sons.

Mitchell, T. M. (1997). Machine Learning. McGraw-Hill Education.

Commission de l'Union Africaine. (2021). Stratégie E-Santé pour l'Afrique 2021–2030. Addis-Abeba.

Organisation Mondiale de la Santé. (2006). WHO Child Growth Standards. WHO Press.

Organisation Mondiale de la Santé. (2023). Niveaux et tendances de la malnutrition dans le monde. WHO Press.

UNICEF, OMS, & Banque Mondiale. (2023). Niveaux et tendances de la malnutrition infantile: estimations conjointes. Genève.