



**GEOSPATIAL SCIENCES,  
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
AND SECURITY IN AFRICA**

••••

**SCIENCES GEOSPATIALES,  
GESTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET SECURITE EN AFRIQUE**

Edited By \_\_\_\_\_  
**Joseph Oloukoi**  
**Adewale O. Akingbade**  
**Ozien P. Mamudu**  
**Glory O. Enaruvbe**

**GEOSPATIAL SCIENCES, ENVIRONMENTAL  
MANAGEMENT AND SECURITY IN AFRICA**

---

**SCIENCES GÉOSPATIALES, GESTION DE  
L'ENVIRONNEMENT ET SÉCURITÉ EN  
AFRIQUE**

The African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology  
(AFRIGIST), Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria.

A Publication of the AFRIGIST Research group on 'Environment, Water Resources  
Management and Climate change'

© The African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST), Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, 2022

*First Published 2022 by:*

The African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST), Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria

ISBN: 978-978-59025-0-1

*All rights reserved*

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, photocopying, recording or otherwise, without permission in writing from the Publisher.

Printed in Nigeria by:

JOGMA PRINTS AND TECHNOLOGIES LTD  
+234 803 784 9682 , +234 803 922 0229

## CONTENTS

<b>Acknowledgements</b>	<b>ix</b>
<b>Review/ scientific Committee</b>	<b>x</b>
<b>Foreword</b>	<b>xi</b>
<b>Preface</b>	<b>xiii</b>
<b>SECTION ONE: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT</b>	<b>1</b>
<b>EVALUATION PAR LA TELEDETECTION ET LA CARTOGRAPHIE DE LA DEGRADATION DES SOLS DANS LA COMMUNE D'ALLADA (BENIN)</b>	<b>3</b>
<i>OGUEBOULE A. Ahad;TCHIBOZO Eric Alain M.;AGBON Apollinaire Cyriaque OGNONDOUN Azize</i>	
<b>GIS-BASED ANALYSIS OF LEAD CONCENTRATION IN THE SOILS OF ANKA, ZAMFARA STATE, NIGERIA</b>	<b>23</b>
<i>F. N. Buba; O. S. Aboyeji and A. O. Akingbade</i>	
<b>OCCUPATION DES TERRES ET RISQUES D'INSTABILITE DES SOLS AU GABON : CAS DE LA COMMUNE D'OWENDO</b>	<b>37</b>
<i>L. R. Essono Mbegha, D. MouketouTarazewicz, M. Okanga-Guay, J. Djeki, J. B. Mombo</i>	
<b>PARTICIPATORY MAPPING TO SUPPORT NAGLANOU FOREST MANAGEMENT ALONG MONO RIVER IN BENIN REPUBLIC, WEST AFRICA</b>	<b>67</b>
<i>Abdel Aziz OSSENI</i>	
<b>POLLUTION DE L'AIR A LIBREVILLE (GABON): VARIABILITE TEMPORELLE ET CONDITIONS METEOROLOGIQUES ASSOCIEES AUX FORTES CONCENTRATIONS DES PM</b>	<b>85</b>
<i>Robert Vancelas OBIANG ZOGO, SigrideVenceslaJenniska ASSEKO, Médard OBIANG EBANEGA, Jean-Bernard MOMBO</i>	
<b>APPORT DE LA SIMULATION MATHEMATIQUE ET DES SIG A L'ANALYSE DU POTENTIEL EN ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET EOLIENNE A BAFOU (OUEST CAMEROUN)</b>	<b>109</b>
<i>Vadel ENECKDEM TSOPGNI, Odovie TSOMO, Evaliste Rémi JIAGHO, Rodrigue Aimé FEUMBA et Mesmin TCHINDJANG</i>	

<b>CARTOGRAPHIE COMPARATIVE DES TETES DE SOURCE ET BAS-FONDS DANS LE SOUS BASSIN VERSANT DE L'OTI INFERIEUR AU BENIN: IMPLICATION SOCIO- ENVIRONNEMENTALE DE LEUR MISE EN VALEUR</b>	<b>135</b>
<i>SouberouKafilatou T.</i>	
<b>ANALYSE DE L'IMPACT DE LA DYNAMIQUE URBAINE SUR LE CADRE ECOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE OUAGADOUGOU</b>	<b>153</b>
<i>TOHOZIN Coovi Aimé Bernadin et ZONGO Ilyasse</i>	
<b>CARTOGRAPHIE PAR IMAGERIES SATELLITAIRES ET UAV DE LA DEGRADATION DES MANGROVES SUR LES RIVES DU CHENAL GBAGA ENTRE LE BENIN ET LE TOGO</b>	<b>169</b>
<i>Obognon Emile EDEA, Joseph OLOUKOI</i>	
<b>POST-CONFLICT DYNAMICS AND RECONSTRUCTION OF GREATER MONROVIA DISTRICT, LIBERIA</b>	<b>185</b>
<i>Ozien P. Mamudu and James Z. Barzon Jnr</i>	
<b>SECTION TWO: AGRICULTURE AND WATER RESOURCES MANAGEMENT</b>	<b>195</b>
<b>CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES AGROSYSTEMES DANS LE PÔLE DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE II DU BÉNIN</b>	<b>197</b>
<i>André KINDJINOÛ, Barnabé HOUNKANRIN, Hervé KOUMASSI, Bernadette ADOUGAN, Patrice BOKO, Cyr ETENE, Gilbert ATINDOGBE, Vincent EZIN, Ismaïla TOKO IMOROU, Ibouaïma YABI et Euloge OGOUWALE</i>	
<b>REMOTESENSING APPLICATION IN AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT: EXAMPLE FROM AFRICA</b>	<b>221</b>
<i>Oluwafemi, F.A., Olubiyi, R.A., Adeleke, O.A., Ola-Fadunsin, F.J., Ologun- Adeleke, M.A.</i>	
<b>MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'INFORMATION AGRICOLE POUR LA GESTION DE LA CULTURE DU FONIO DANS LES HAUTS BASSINS (BURKINA FASO)</b>	<b>241</b>
<i>TIENDREBEOGO Pingdwendé Aristide, TOKO MOUHAMADOU Inoussa</i>	
<b>MONITORING CHANGES IN WATER EXTENT IN LAKE NGAMI, BOTSWANA: USING DIGITAL EARTH AFRICA'S SANDBOX</b>	<b>261</b>
<i>Kenneth Mubea; Kelebogile B Mfundisi and Edward Boamah Lesego Peter</i>	

<b>DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE ET MODÉLISATION PAR WEAP DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MÉFOU AU CAMEROUN</b>	<b>273</b>
<i>Anne Rosine Eve NJOGI BELLA; EKOSSO EBOUELE Yolande; Abdou Nasser NGOUH</i>	
<b>VARIATION IN WATER QUALITY ACROSS DIFFERENT WATER SOURCES IN LAGOS MEGACITY, NIGERIA</b>	<b>291</b>
<i>D. B. Alaigha and O. J. Taiwo</i>	
<b>SECTION THREE: DISASTER MANAGEMENT</b>	
<b>ASSESSMENT OF FLOOD VULNERABILITY IN OPA RIVER BASIN CATCHMENT, ILE-IFE, NIGERIA</b>	<b>313</b>
<i>Bolarinwa Olutayo BALOGUN and Wilson Buma GWANFOGBE</i>	
<b>URBANISATION ET EXPOSITION SPATIO-TEMPORELLE AUX INONDATIONS DANS LE NORD DE LIBREVILLE (1990-2020)</b>	<b>333</b>
<i>Dimitri ESSONO MILLA, Moïse TSAYEM DEMAZE, Nadine Nicole NDONGHAN IYANGUI, Jean-Bernard MOMBO</i>	
<b>SECTION FOUR: SECURITY MANAGEMENT</b>	
<b>CONTRIBUTION OF AFRIGIST TOWARDS A CAPACITY BUILDING CURRICULUM IN GEOSPATIAL INTELLIGENCE AND NATIONAL SECURITY IN NIGERIA</b>	<b>357</b>
<i>Adewale AKINGBADE, Joseph OLOUKOI, Abdoulaye BELEM</i>	
<b>INSECURITY IN AFRICA: BANE TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION</b>	<b>375</b>
<i>Adewale Akingbade; Olayinka Ajala and Afolabi Olabamiji</i>	
<b>SECTION FIVE: HEALTH AND SOCIAL DEVELOPMENT</b>	
<b>MAPPING THE INCIDENCE OF COVID-19 HOTSPOTS IN NIGERIA FOR EFFECTIVE DISTRIBUTION AND MANAGEMENT OF VACCINE</b>	<b>391</b>
<i>Adebayo. H. Oluwasegun</i>	
<b>UTILISATION DE LA GÉOSTATISTIQUE POUR L'ANALYSE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DE L'ONCHOCERCOSE AU GABON</b>	<b>415</b>
<i>Ndonghanlyanguï Nadine Nicole; MourouJean-Romai; Atsame Julienne; Owono-Medang Mathieu; Mouidi Pacôme; BalogounAfoussatouAdouké;</i>	

*OboneMba Hermance; Mouhissi Jeanne; Tsona Solange ; Ntsame Ella Sylvie;  
Tombetttsouhou Armel Sévérin; AnguéMakaya Fabrice;  
MenguèMinkohChantal; Obiang Jean Luc; Ella Ndoh Gildas  
;MissokoMinlama Marcellin; MbaAkono Léon; EngoneAmvene Daniel;  
Essono Ondo Antoine Prosper; Simbou Jeanne; Dindji  
Christiane; BakoneLallé; KoulibalyOula; Kuété Thomas; Zouré Honoré ;  
Bouyou-Akotet Marielle*

**MAPPING AND MODELLING OF ACCESSIBILITY TO  
GOVERNMENT HEALTHCARE SERVICES IN BENIN  
METROPOLIS** **433**

*T. F. Balogun and K. A. Abdulrazak*

**EFFECTS OF VEHICULAR EMISSION ON AMBIENT AIR QUALITY  
AND HUMAN HEALTH ALONG NNAMDI AZIKIWE BYE PASS,  
KADUNA METROPOLIS, NIGERIA** **453**

*Daful, M.G. and Adewuyi, T.O.*

**GEOSPATIAL ASSESSMENT OF MALARIA RISK IN THE SOUTH  
OF THE SAKETE PLATEAU, BENIN REPUBLIC** **481**

*Parfait A. AHOHOUNDO; Hubert YADJEMI; Aser S. HONVO; Virgile N. S.  
AYIMADE*

**MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN EXPANSION IN  
GREATER MONROVIAMETROPOLITAN AREA, LIBERIA** **499**

*Torwon Tony Yantay*

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

First, we wish to acknowledge the United Nations Economic commission for Africa (UNECA) for the establishment of the institute with the mandate to provide skilled manpower in geospatial technologies for Africa. We recognize the constant support of UNECA in providing opportunities for the institute to establish her presence in Africa. We especially wish to acknowledge the contribution of the member countries of AFRIGIST and the efforts of the members of the AFRIGIST governing council who have tirelessly sought to improve the academic and research standing of the institute. We specially appreciate Surv. Alain Sourou Kiki, the Chairman of AFRIGIST Governing Council and Representative of Benin and Surv. Abuduganiyu Adeyemi Adebomehin, the Surveyor General of the Federal Republic of Nigeria, 1<sup>st</sup> Representative of Nigeria and chairman of the AFRIGIST Standing Committee.

Special appreciation goes to the Management of AFRIGIST, particularly the Executive Director, Dr. A. O. Akingbade and the Deputy Executive Director, Surv. A. Belem. They first recognized the need for research teams within the institute and have constantly supported the research outputs from these teams. It is important to acknowledge other members of the management; the Dean of Academics and Research, the Head of Administration, Head of Accounts, all Heads of Departments and Units in the institute for their support in keeping the research teams active. We also appreciate the staff of AFRIGIST, both academic and non-academic, for their commitment to the progress of the academic activities in the institute

We wish to recognize the authors of each chapter in the book who have contributed to making the publishing of this book possible. The efforts put into research, data collection, analysis, result presentation and paper writing in the book are impressive. We know that paper writing is difficult, and getting quality outputs are even more tasking. Therefore, we thank all the contributors while encouraging them to keep at the efforts or innovative research writing. We also wish to thank all our reviewers and the scientific committee members for their immense contributions towards ensuring quality in the research content of the book.

We especially thank the Guest Lecturer, Prof. Temi Emmanuel Ologunorisa for his contributions towards the success of the book and the 50<sup>th</sup> Anniversary celebrations.

Finally, we appreciate the efforts of all persons, mentioned or not, who contributed in any way to the success of this book, the staff and students of AFRIGIST, our benefactors, the publishers and all who will find the contents of this book useful.

**Prof Joseph OLOUKOI**

Dean of Academics and Research, AFRIGIST

## **REVIEW/ SCIENTIFIC COMMITTEE**

Prof F.A. Adesina, Obafemi Awolowo University (OAU), Ile-Ife, Nigeria  
Prof O. Kufoniyi, Obafemi Awolowo University (OAU), Ile-Ife, Nigeria  
Prof C.O. Adeofun, Federal University of Agriculture, Abeokuta (FUNAAB), Nigeria  
Prof Placide F.G.A Cledjo, Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin  
Prof T. Odekunle, Obafemi Awolowo University (OAU), Ile-Ife, Nigeria  
Prof. O.A. Ajala, Obafemi Awolowo University (OAU), Ile-Ife, Nigeria  
Prof Vincent O.A. Orekan, Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin  
Prof Ibouraima Yabi, Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin  
Prof Toko Ismaila, Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin  
Prof T. F. Balogun, University of Benin (UNIBEN), Nigeria  
Prof. J. Oloukoi, AFRIGIST  
Prof Ousseni Arouna, Université Nationale des Sciences, Technologie, Ingénierie et  
Mathématiques d'Abomey, Bénin  
Dr. S.O. Aboyeji, AFRIGIST  
Dr. Abdel Ossen Aziz, Université Nationale d'Agriculture de Porto Novo, Bénin  
Dr. I. Toko-Mouhamadou, AFRIGIST  
Dr. G.O. Enaruvbe, AFRIGIST  
Dr. C.A.B. Tohozin, AFRIGIST  
Dr. O.P. Mamudu, AFRIGIST  
Dr. Emile Edea, Université d'Abomey Calavi (UAC), Bénin  
Mr. M. Soumah, AFRIGIST  
Ms. D.B. Alaigba, AFRIGIST  
Surv. A. Adzandeh, AFRIGIST  
Mr. D. B. Johnson, AFRIGIST  
Mr. M. Dieng, AFRIGIST  
Mr. P. Borisade, AFRIGIST  
Mr. F.O. Adeoti, AFRIGIST

## FOREWORD

This book is a timely compilation of researches, centered on Geospatial Sciences, Environmental Management and Security in Africa, appropriately published to mark the 50<sup>th</sup> Anniversary of an institute of excellence, the African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST) formerly known as Regional Centre for Training in Aerospace Surveys (RECTAS). AFRIGIST was established in 1972 by the United Nations Economic Commission for Africa (UNECA) with a core mandate to provide an educational “one-stop” solution to train highly skilled manpower in geospatial information science and technology and its applications, particularly for Africa. Over the years, the Institute has trained many geospatial professionals across Africa, who are making impact globally. The Institute is also invested in emerging geospatial technologies, undertaking researches and consultancy in various application areas including, Land Administration, Climate Change, Natural Resources Management, Agriculture and food Security, Disaster Management, Security and Conflict Management, and Environmental Management.

As part of the efforts to advance the goals of the Institute, the research group on ‘Environment, Water Resources Management and Climate change’ has focused on researches using the capacities of geospatial technologies to manage various aspects of our environment as embodied in the various chapters in the book, divided into sections; environmental management, agriculture and water resources management, disaster management, security management, and health and social development. The discourse in this book focuses on crucial societal issues imperative to the development of Africa, as embodied in the African Union’s Agenda 2063 goals, the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) and other strategic planning documents at country, continent and international level. Thus, the various sections bring together research studies from various authors, within the institute and across Africa, with models and techniques that proffer solutions to some of the challenges we face, using geospatial techniques.

Some of the distinct characteristics of the chapters in this book are the attention to data collections, research methods, as well as the spatial analysis and modelling, many using very recent tools and techniques. Issues presented include land degradation, soil assessment, land use changes, forest and forest resources management, air pollution, renewable energy, agriculture, disaster management, water resources, geospatial education, insecurity, and health using remote sensing, geographic information systems, geostatistical and mathematical models, scripting and other emerging geospatial techniques. Significantly, these studies cut across various spatial scales, from localities to countries. As some of these issues are not limited by locality or country, methods used here may potentially be useful in solving similar challenges across Africa, while leaving room for future research and development.

The content of this book will be of immense value across all levels of academia and research, industry and governance, across Africa and beyond. The baselines identified in the contents of this book will help future researchers in understanding emerging issues. The research problems addressed and identified gaps in research may form basis for future investigation. The solutions proffered can help alleviate identified issues while forming the basis for policy actions.

I wish to congratulate the Management and Staff of AFRIGIST for the insight to publish such important content in this book, as well as the milestone of her 50<sup>th</sup> anniversary. I wish to appreciate the editors for the honour and opportunity to write this foreword for such an important book which is a vital instrument for the development of Africa. The relationship I have had with the institute has been impactful. I believe this book will set the stage for an

institutional legacy in providing researches in geospatial technologies that will feature prominently in the development of Africa.

**Professor Amadou Tahirou Diaw**  
Département de Géographie  
Université Cheikh Anta Diop de Dakar-Sénégal

## PREFACE

Geospatial sciences and technologies embrace all the disciplines both technical and theoretical, that collect and analyse information of the earth, given a location and time. Spatial data collecting, processing and analysing, spanning biophysical, human, social, and economic dimensions, is at the core of this field of study. Applications of geospatial technologies can be seen in diverse fields of inquiry, including disaster management, public and spatial epidemiology, economics and social services, environmental management, climate change, and in more traditional applications like natural resource management, demography and planning. All these applications rely on earth observation data such as satellite imageries at different spatial, spectral and temporal resolutions.

Since the establishment of the African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST), formerly Regional Centre for Training in Aerospace Surveys (RECTAS), various studies and researches have been carried out in areas of remote sensing/photogrammetry, cartography, geographic information science (GIS). As part of the efforts to advance the goals AFRIGIST, the research group on environment, water resources management and climate change has focused the book on researches centered around the environment, resource management, disaster management, health and security. The book contains research outputs from African countries, using a pull of spatial technologies and applications.

This 26-chapter book is divided into various five sections for applications of GIS on environmental management, agriculture and water resources management, disaster management, security management, and health and social development.

The first section examines environmental degradation, challenges in urbanization, land use and land cover. The section also considers erosion, air pollution, and environmental contamination, and examines its threat to property, people and the environment. It further looks at the potential for the identification of land units that are susceptible to environmental degradation and government perceptions on the implementation of a sustainable development management policy of the United Nations.

Section two contains six chapters on geospatial applications in agricultural and water resources management. The section provides an insight to agricultural systems and their dynamics. It also emphasizes the need for preservation of water quality through intensified water purification processes across all sources, continuous water quality monitoring and remediation measures as well as replenishment of ground water reserves through direct groundwater recharge.

Section three focuses on the applications of remote sensing and photogrammetry techniques for tackling some fundamental environmental problems and citizens increasingly vulnerable based on flooding. Flood vulnerability assessment has been carried out and its magnitude determined in Nigeria and Gabon. Factors that trigger flooding were identified to include slope, elevation, Stream drainage density, curvature, land use/land cover (LULC), normalized difference vegetation index (NDVI), topographic wetness index (TWI), and rainfall intensity.

The section four examines the contribution of African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST) towards the capacity building curriculum on geospatial intelligence and national security in Africa. The section shows contribution to

applications of geoinformatics to military intelligence, the use of remote sensing techniques, data acquisition techniques, image analysis, terrain analysis, geospatial analysis, military scenarios and production of maps for military operations.

Section five concentrates on health and social development. Studies in this section assessed the incidence of COVID 19, spatial distribution of Onchocerciasis, accessibility to healthcare services, and assessment of malaria risk. Methods used include geostatistical techniques, hotspot analysis and other spatial analytical methods.

Environmental, water resources management and climate change are continually evolving area of challenges as the use geospatial sciences and techniques is the way forward in order to attain sustainable development. The book gives a substantial coverage of data and methods, as well as results that not only encourages best practices in decision making, but provides replicable ideas for other parts of Africa.

We encourage the usage of this book as a springboard into exploration of conducting research in GIS and also as a veritable tool in geospatial analysis and other disciplines.

# 1

## EVALUATION PAR LA TELEDETECTION ET LA CARTOGRAPHIE DE LA DEGRADATION DES SOLS DANS LA COMMUNE D'ALLADA (BENIN)

<sup>1</sup>OGUEBOULE A. Ahad; <sup>1,2</sup>TCHIBOZO Eric Alain M.; <sup>1,2</sup>AGBON Apollinaire Cyriaque;  
<sup>1</sup>OGNONDOUN Azize

<sup>2</sup> Département de Géographie et Aménagement du Territoire, CU-Adjarra/FASHS/  
Université d'Abomey - Calavi (Bénin); <sup>1</sup>Laboratoire des Applications Géomatiques et  
Gestion de l'Environnement, (LA2GE), CU-Adjarra/FASHS/ Université d'Abomey - Calavi  
(Bénin)

ahadogueboule39@gmail.com;tchibalain@gmail.com;cyrrou\_74@yahoo.fr;  
azizeognondoun12@gmail.com

### Résumé

La dégradation des terres est un phénomène socio environnemental dont les impacts affectent négativement les populations qui vivent de l'agriculture. La présente recherche consiste à utiliser les techniques de la télédétection pour évaluer et cartographier la dégradation des terres dans la commune d'Allada. La méthode utilisée combine la télédétection et la cartographie. Les enquêtes et les entretiens auprès de 95 ménages agricoles ainsi que les observations directes ont été effectués au moyen de questionnaire, du guide d'entretien et de grille d'observation et ont porté sur les facteurs de dégradation des sols. Le traitement numérique des images satellites Landsat 8 OLI/TIRS de 2020 par calculs d'indices tels que ceux de brillance des sols, de coloration des sols, d'humidité par différence normalisée et de transformé de végétation ajustée au sol a permis d'apprécier l'état de dégradation des sols dans la Commune d'Allada. Le croisement des différentes cartes des indices du sol et celle de la sensibilité du sol à l'érosion a permis d'obtenir une carte générale de dégradation montrant ainsi les différents niveaux de dégradation. Les contrôles sur le terrain ont permis de valider cette carte de dégradation obtenue. Les résultats obtenus ont révélé que 30 % de la Commune d'Allada sont faiblement dégradés et concernent les arrondissements de Aghanou, Wadon et Soyo ; 45 % du territoire communal sont moyennement dégradés et les arrondissements cibles sont Gbéto, Dekpota, Houlékanto, AtogonGbegame, Tohoutomé, Sékou. Enfin 25 % de la Commune d'Allada sont fortement dégradés et concernent les arrondissements de KpodjiTokpa, Boli, Avakpa, Ayou et Lisségazoun. Plusieurs facteurs comme l'érosion, l'agriculture et l'installation humaine se cumulent pour dégrader les terres. Cette dégradation constitue une menace sérieuse pour les biens, la population et l'environnement. Elle mérite d'être suivie à l'aide de la télédétection et de la cartographie.

**Mots clés :** Télédétection, cartographie, dégradation, sol, Allada.

### Abstract

Land degradation is a socio-environmental phenomenon whose impacts negatively affect the populations that live from agriculture. The present research consists of using remote sensing techniques to assess and map land degradation in the commune of Allada. The method used combines remote sensing and mapping. Surveys and interviews of 95 farm households as well as direct observations were carried out using a questionnaire, interview guide and observation grid and focused on land degradation factors. Digital processing of satellite images (Landsat 8 OLI/TIRS) from 2020 by calculating indices such as soil brightness, soil colouring, moisture by normalised difference and vegetation transformation adjusted to the soil made it possible to assess the state of soil degradation in the Commune of Allada. The cross-referencing of the different soil index maps and the map of soil

*sensitivity to erosion made it possible to obtain a general degradation map showing the different levels of degradation. Field checks validated the degradation map obtained. The results obtained revealed that 30% of the Commune of Allada is slightly degraded and concerns the districts of Aghanou, Wadon and Soyo; 45% of the communal territory is moderately degraded and the target districts are Gbéto, Dekpota, Houlékanto, AtogonGhegame, Tohoutomé and Sékou. Finally, 25% of the Commune of Allada is highly degraded and concerns the districts of KpodjiTokpa, Boli, Avakpa, Ayou and Lisségazoun. Several factors such as erosion, agriculture and human settlement combine to degrade the land. This degradation constitutes a serious threat to property, the population and the environment. It deserves to be monitored using remote sensing and mapping.*

**Key words:** Remote sensing, mapping, degradation, soil, Allada.

## 1. Introduction

La dégradation des terres est toute réduction ou perte de la capacité productive organique ou économique de la base des ressources des terres du fait d'activités humaines. Elle peut être provoquée par plusieurs facteurs comme l'érosion, la pollution et la déforestation (Tengberg, 2016). L'état de dégradation des sols a été surestimé, en particulier en Afrique et en Asie à cause du manque de références pour l'évaluer. Par exemple, un même état d'érosion n'est pas considéré comme ayant le même degré de gravité au Gabon et au Sénégal. Selon Weicheng (2003), l'augmentation de la pression anthropique en général, entraîne inévitablement un impact sur l'environnement et sur les ressources disponibles (Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, 2008). Selon A. Ghram-Messedi (2007), la dégradation des paysages arides se traduit sur le terrain par des modifications des composantes de la surface du sol. Selon Pelletier (2008), le phénomène d'érosion hydrique présente la forme de dégradation physique des sols la plus importante affectant les reliefs, la production du sol et la stabilité des versants. Les formes de dégradation des terres peuvent être variées et dépendent du type de couverture du sol, de l'utilisation des terres, de la nature du sol (Genesis, 2013).

Le continent africain est l'une des régions la plus vulnérable à la dégradation et la plus gravement touchée. Près de 55 % de la superficie touchée présente un risque élevé ou très élevé d'aggravation de la dégradation (Gonzalez-Roglich, 2015). Dans le cadre de l'analyse du coût économique de la dégradation des terres en Afrique de l'Est, elle touchait respectivement 51 %, 41 %, 23 % et 22 % de la superficie terrestre de la Tanzanie, du Malawi, de l'Éthiopie et du Kenya ; et le coût de cette dégradation représentait respectivement près de 14 %, 7 %, 23 %, et 5 % du PIB de ces même pays (Kirui, 2015). De tels niveaux de dégradation sont nocifs à la production agricole, la préservation de la biodiversité, la conservation et la purification de l'eau. A l'horizon 2030, l'inaction face à l'érosion des sols peut entraîner une perte des éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium d'environ 4,74 millions de tonnes/an, d'une valeur approximative de 72,40 milliards USD (Nkonya, 2011). En Afrique, la dégradation des terres constitue un problème économique, social et environnemental grave dans les pays où les majorités des populations vivent de l'agriculture. Cette dégradation des terres affecte tous les secteurs du bien-être humain, dont les plus importants sont la résilience agricole, les nouvelles maladies des cultures, la sécurité alimentaire, le changement climatique, la pauvreté croissante, la tolérance à la sécheresse et la perte de biodiversité (RDC, 2017). Au cours des 25 années à venir, la dégradation des terres pourrait réduire la production vivrière mondiale allant jusqu'à 12 %, d'où une augmentation possible de 30% du prix mondial des denrées alimentaires (UNCCD, 2016). Par ailleurs, selon FAO en 2003, en Afrique, l'augmentation de la population rurale et les ressources en terre limitées entraînent la pénurie de celle-ci, la pauvreté des populations qui font usage des méthodes de gestion non durables des terres agricoles (Beucher et Bazin, 2012, p. 51). En conséquence, durant les 10 prochaines

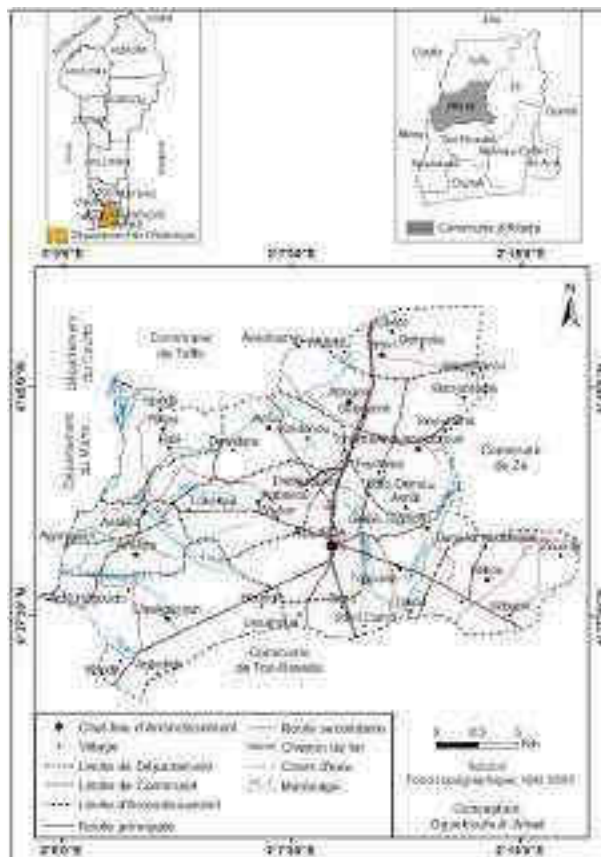
années, 60 millions de personnes risqueraient d'être forcées de quitter des terres dégradées et de se déplacer tant à l'intérieur du continent qu'en-dehors de ce dernier.

Au Bénin, le secteur agricole occupe environ 70 % de la population active. Ce secteur occupe une place de choix dans l'économie du pays (MAEP, 2009) et contribue pour environ 33,2 % au Produit Intérieur Brut (INSAE, 2008). Cependant, la pression démographique a occasionné la raréfaction des terres cultivables et de pâturages au profit des habitations et en même temps une augmentation galopante de la demande en produits alimentaires d'origine agricole. De même, les terres fertiles se font ainsi rares et se limitent actuellement aux zones hydromorphes, notamment les bas-fonds (Tchibozeo Domingo, 2014). En effet, les traits de limitations constatés des sols de la dépression médiane sont dus à la surexploitation des terres et des phénomènes climatiques extrêmes qui se manifestent, principalement, par les inondations et les sécheresses. Ainsi, le Bénin continue d'importer massivement certains produits notamment le riz de l'Asie, des produits maraîchers de contre saison des pays voisins tels que le Nigéria, le Burkina Faso et le Togo malgré les conditions climatiques et édaphiques favorables à la diversification de la production agricole (MAEP, 2017). Cette situation est liée entre autres à la dégradation des terres agricoles qui fait régresser les rendements agricoles. La Commune d'Alladane fait pas exception et est aussi touchée par la dégradation des terres.

Face à cette situation alarmante, la télédétection et les systèmes d'informations géographiques peuvent aider à chercher les origines, les causes, les facteurs renforçant ce problème et permettent éventuellement le suivi de son évolution (Allam et al., 2012). Les techniques de télédétection surmontent des imperfections grâce aux satellites ou les avions qui peuvent régulièrement balayer la surface de la terre ou le secteur intéressé et acquérir des informations multi-temporelle sur la dynamique de l'environnement (Weicheng (2003). Selon Khali Issa (2016), la détection des zones érodées, ainsi que l'évaluation des facteurs qui contrôlent l'érosion et leurs caractéristiques, sont des tâches complexes mais pouvant être résolues avec l'intégration de plusieurs données spatiales, mesures et enquêtes sur le terrain. La Commune d'Allada fait partie des communes dont les ressources en sols cultivables sont menacées. C'est donc dans cette optique que l'évaluation par télédétection de la dégradation des sols constitue l'objet principal de cette recherche. Le plan de rédaction de cet article se présente comme suit : présentation du secteur d'étude, méthodologie de recherche, résultats, discussion.

## **2. Présentation et justification du Secteur d'étude**

La Commune d'Allada est localisée dans le Département de l'Atlantique. Elle est située entre 6°33'25'' et 6°47'20'' de latitude nord et entre 1°59'30'' et 2°17'26'' de longitude est. Elle est distante de 54 km de la ville de Cotonou. D'une superficie de 381 Km<sup>2</sup> soit 0,34% de celle du Bénin. La figure 1 présente la situation géographique de la Commune d'Allada.



*Figure 1 : Situation géographique et administrative de la Commune d'Allada*

La commune d'Allada est limitée au Nord par la Commune de Toffo ; au Sud par la Commune de Tori-Bossito ; à l'Est par la Commune de Zè ; et à l'Ouest par le Département du Mono. Située sur le plateau d'Allada au sud de la dépression de la Lama, la Commune d'Allada compte douze (12) Arrondissements.

### 3. Méthodologie de recherche

La méthodologie utilisée a consisté en la collecte des données quantitatives et qualitatives et leurs traitements.

#### 3.1. Type de données et informations utilisées

Plusieurs types de données ont été collectés pour la réalisation du présent travail. Il s'agit des données socio-économiques issues des travaux de terrain qui ont permis d'avoir une connaissance sur les différents systèmes d'exploitation des ressources des terres et leurs impacts. Les images satellites Landsat 8 OLI/TIRS Path192-Row 55 de juillet 2020 et le fond de carte topographique, IGN, 2018 ont été utilisées. La carte pédologique de Volkoff 1979 et les images DEM (SRTM, Février 2000) sur le secteur d'étude ont été également exploités. Toutes ces données sont collectées grâce à des outils et des matériels appropriés.

**Outils et matériels utilisés**

Pour collecter les données sur le terrain, les matériels ont été utilisés. Il s’agit d’un GPS qui a permis de prendre des coordonnées géographiques de quelques secteurs des terres dégradées afin de les superposés sur les cartes. La figure 2 présente la localisation GPS des secteurs fortement dégradés dans la commune d’Allada.

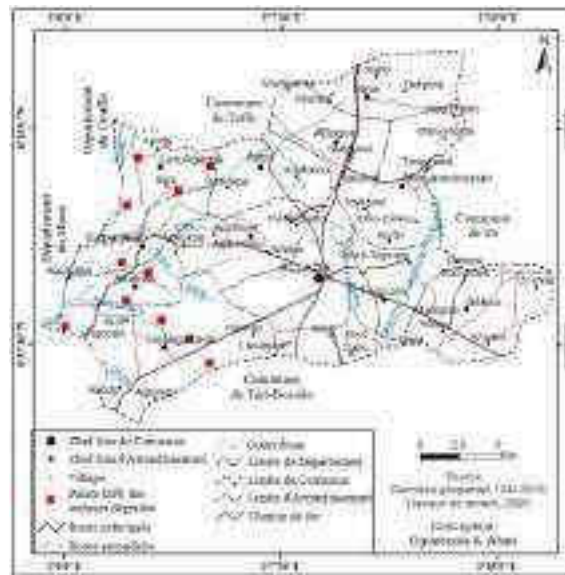


Figure 2 : Localisation GPS des secteurs dégradés dans la commune d’Allada

Au total, 11 points GPS ont été collectés sur le terrain afin de contrôler les résultats de traitement d’image et de réalisation cartographique obtenus sur les secteurs fortement dégradés au laboratoire.

Par ailleurs, un questionnaire et un guide d’entretien ont permis de collecter des données socio-économiques. Une grille d’observations a servi d’observation directe des manifestations de la dégradation sur le terrain. Enfin, un appareil photo a servi à la prise des vues sur le terrain et une moto a facilité les déplacements sur le terrain. Des logiciels de traitement d’image et de SIG ont été aussi utilisés. Le tableau 1 récapitule le matériel et les logiciels utilisés ainsi que les utilités.

Tableau 1: Matériel et logiciels utilisés

Logiciel	Matériel	Description	Utilité
ArcGIS 10.3.1		Logiciel SIG	Réalisation des différentes cartes
Envi 5.0		Logiciel de traitement d’image	Traitement d’image

Google chrome		Logiciel de Navigation Web	Recherches sur Web
Excel 2013		Traitement informatique	Réalisation de graphique
	GPS	Garmin 64	Prise des waypoints des secteurs dégradés

Source : Travaux de laboratoire LA2GE, 2020

### 3.2. Collecte des données

#### 3.2.1. Recherche documentaire et acquisition des images satellites

Elle a été faite à travers la recherche documentaire et les enquêtes de terrain. En effet, la recherche documentaire a consisté en la lecture des ouvrages et travaux publiés précédemment aussi bien sur la zone d'étude que sur les études de la dégradation des terres. Cette première étape a permis de cerner les contours de la problématique et d'avoir des données quantitatives et qualitatives sur le sujet.

Les images satellitaires Landsat 8 OLI/TIRS Path192-Row 55 de juillet 2020 ont été téléchargées sur la plateforme de Earth Explorer et les images DEM SRTM, Février 2000 sont obtenues sur le site <https://dwtkns.com/srtm30m/>. Le tableau 2 présente les données spatiales exploitées.

**Tableau 2:** Différentes données spatiales exploitées

Types de données	Format	Echelle/résolution spatiale	Dates de téléchargement des données	Sources
Image satellite Landsat 8 OLI/TIRS	Numérique (raster)	30m	Juillet 2020	USGS/Earth Explorer
Image DEM (SRTM)	Numérique (raster)	30m	Février 2000	<a href="https://dwtkns.com/srtm30m/">https://dwtkns.com/srtm30m/</a>
Données IGN Bénin	Numérique (vecteur)	1/200000	Mars 2018	IGN

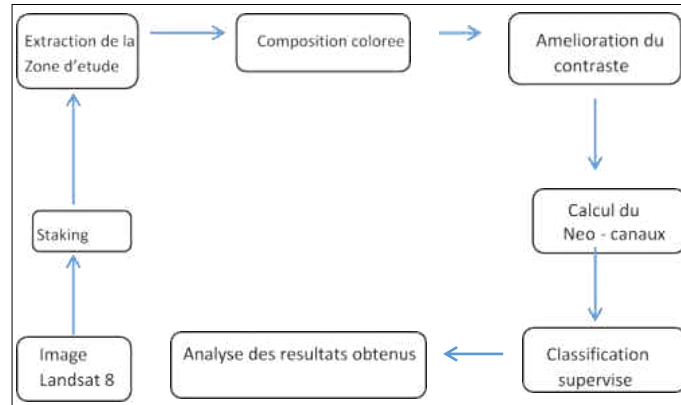
Source : Acquisition de données, LA2GE, 2020

De l'analyse du tableau II, il ressort que plusieurs images satellitaires ont été téléchargées et exploitées dans le but de réaliser la carte d'occupation du sol ; les cartes des différents indices tels que la coloration, la brillance, l'humidité, la végétation et la sensibilité à l'érosion.

Les différentes informations collectées lors de cette recherche documentaire sont complétées par les informations obtenues lors des investigations en milieu réel.

### 3.2.2. Traitement des images satellites

Le traitement des images satellites a été faite en huit étapes (figure3).



**Figure 3 : Méthode de traitement d'image**

Source : Travaux de recherche, LA2GE, 2020

#### **Assemblage des bandes (Stacking)**

Le *Stacking* est une opération indispensable car elle permet d'assembler en un fichier image toutes les bandes importées afin de mieux effectuer les opérations ultérieures. Il se fait avec toutes les bandes de la même scène ayant une résolution spatiale identique. De ce fait, l'information contenue dans toutes ces bandes est utilisée pour maximiser la teneur du résultat. Il se réalise grâce à la fonction *Stacking* de la fenêtre *basic tools*. A cet effet, il s'avère judicieux de sélectionner uniquement les bandes qui sont importantes et de les réordonner, cela permet de continuer la suite des opérations de façon plus aisée.

#### **Extraction de la zone d'étude et composition colorée**

L'opération d'extraction de la zone d'étude consiste à charger le stacking de l'image satellite Landsat 8 dans le logiciel ENVI 5.0 et à l'exporter avec l'outil *chip view to ArcMap*. Le fichier *shapefile* de la zone d'étude est chargé sur l'image Landsat 8 et enfin l'extraction de la zone d'étude est faite à l'aide de l'outil *Extract by mark*. La composition colorée avec les bandes 4, 3, 2 a été aussi faite et permet de mieux différencier les unités d'occupation du sol.

#### **Amélioration du contraste et interprétation visuelle**

L'amélioration du contraste permet d'avoir une image nette qui facilitera l'interprétation visuelle. Cette dernière est l'identification et la reconnaissance des détails des éléments contenus sur l'image satellite, à l'œil nu, à partir d'une clé d'interprétation indiquant la correspondance entre chaque objet et une couleur spectrale. Les résultats de cette interprétation visuelle ont été utilisés pour la classification de l'image. De plus pour une précision accentuée, il a été nécessaire d'effectuer une reconnaissance des unités d'occupations de sol présentes dans le secteur d'étude.

#### **Classification assistée**

La classification assistée (supervisée) a été utilisée compte tenu de la connaissance du terrain. Elle a consisté à identifier visuellement au préalable un certain nombre d'éléments ou objets naturels ou artificiels qui peuvent-être ponctuels, linéaires ou surfaciques sur l'image. Ladite

classification sous le logiciel de traitement d'image ENVI 5.0 s'est déroulée en cinq phases que sont : la définition de la légende ou le renseignement du ROI (*Regions Of Interest*), la sélection des échantillons de parcelles d'entraînement (ou *Regions*), la description et renseignement des différentes classes et le choix de l'algorithme de classification. La définition de la légende ou ROI, dans ENVI 5.0 a été faite grâce à la fonction *ROI tool* de l'outil *Region of interest*. Par ailleurs, l'algorithme *Maximum Likelihood* (maximum de vraisemblance) de l'outil *supervised classification* a été choisi pour la classification.

### **Opérations de post classification**

L'étape de post classification a été constituée de trois opérations à savoir : le filtrage appliqué à l'image classifiée, la validation par la matrice de confusion et la vectorisation. Les opérations de filtrage sont : *Sieve classes* (pour éliminer les pixels isolés) ; *Clump classes* (pour homogénéiser les classes). L'évaluation de la classification est basée sur la matrice de confusion et le calcul de l'indice Kappa. Ainsi la procédure a consisté à la *Classification / Post Classification Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs*. La vectorisation est faite par la procédure *classification to vector*, suivie d'*Export to shapefile*.

### **3.2.3. Investigation sur le terrain**

Les observations directes de terrain ont permis entre autres d'apprécier les manifestations de la dégradation, les pratiques auxquelles la population s'adonne sur les terres, le niveau de dégradation des terres, les outils utilisés de même que les techniques, ce qui a permis d'évaluer leurs incidences sur les terres agricoles.

La collecte des données a été également réalisée à partir de différents d'entretiens structurés et semi-structurés. Ces entretiens ont permis de collecter des données socio-économiques auprès des chefs de ménage. L'échantillonnage est obtenu par la méthode de Schwartz tel que  $N = Z\alpha PQ / d^2$  ; soit donc  $N =$  taille de l'échantillon.  $Z\alpha = 1,96$  qui correspond à un degré de confiance de 95 % ;  $P =$  la proportion d'individu par arrondissement ;  $Q = 1 - P$  et  $d =$  marge d'erreur fixé à 5 %. Au total 95 personnes ont été interviewées.

### **3.2.4. Traitements SIG**

Les couches vectorisées des images satellites après traitement sont exportées en format shapefile dans ArcMap pour la symbolisation des différents thèmes à partir de File Export Active/Layer to Shapefile de la même fenêtre. Les étapes de la sémiologie graphique et de la mise en page ont achevé le processus.

## **3.3. Méthodologie de réalisation de la carte de dégradation des terres dans la Commune d'Allada**

Les cartes d'occupation du sol, des indices de dégradation des sols et de sensibilité des sols à l'érosion ont été utiles dans la réalisation de la carte générale de la dégradation des terres.

### **3.3.1. Réalisation de la carte d'occupation du sol de la zone d'étude**

Les images satellitaires Landsat 8 OLI/TIRS Path 192-Row 55 de juillet 2020 de résolution 30m ont été utilisées pour la réalisation de la carte d'occupation des sols.

### **3.3.2. Détermination des zones dégradées du cadre d'étude à partir des différents indices de sol**

Les indices d'images sont calculés à partir de plusieurs canaux. Cette approche a été aussi utilisée par Ghram-Messedi, 2007 ; Allam, et al., 2012 ; Ponce, 2012 ; Genesis, 2013 et Kpedenou K. D. et Koumoi Z., 2019. Les indices utilisés dans le cadre de cette étude sont : l'indice de brillance des sols, l'indice de coloration des sols, l'indice d'humidité par différence normalisé, Indice transformé de végétation ajustée au sol (TSAVI).

#### **Indice de Brillance des sols (IB)**

Pour les domaines du visible et du proche infrarouge, cet indice rend compte de l'albédo des surfaces et permet de dissocier les couvertures végétales des étendues minérales nues, et cela d'autant mieux que les sols sont clairs. Ainsi la végétation, qu'elle soit verte ou sèche, est souvent plus sombre que les sols sur lesquels elle se développe, et elle apporte en plus une certaine quantité d'ombre malgré ses faibles taux de recouvrement. Dans certains cas, cet indice permet aussi de distinguer différents états pour un même sol nu en fonction de sa rugosité (parcelle labourée ou abandonnée recouverte par des pellicules de battance) et de sa teneur en eau. Elle permet de montrer après les zones les plus dégradées par une réflectance bien claire.

$IB = \sqrt{R^2 + PIR^2}$  ; où V : canal vert ; R : canal rouge ; PIR : proche infra-rouge.

#### **Indice de Coloration des sols (IC)**

Cet indice traduit la présence de matériaux de couleur rouge dans les sols, comme par exemple les oxy-hydroxydes de fer qui recouvrent souvent les grains de sable par opposition aux croûtes et encroûtements gypseux qui sont d'une couleur blanchâtre. Plus le sol est dégradé, plus cet indice est faible.

$IC = R - V / R + V$  avec  $IC \in [-1, 1]$  ; où V : canal vert ; R : canal rouge.

#### **Indice d'Humidité par Différence Normalisé (NDMI)**

C'est un moyen d'évaluer l'état de la réserve en eau d'un sol, par rapport à sa réserve optimale (réserve utile). Il utilise les canaux NIR et SWIR pour créer un ratio conçu pour atténuer l'éclairage et les effets atmosphériques. Lorsque le SWI est voisin de 1, voire supérieur à 1, le sol est humide et tend vers la saturation. Lorsque le SWI tend vers 0, voire passe en dessous de 0, le sol est en état de stress hydrique, voire très sec. SWI est à rapprocher du rapport R/RU, avec une réserve utile qui varie avec le type de sol (la texture contrôlant la capacité du sol à garder l'eau et donc les 2 paramètres  $W_{wilt}$  et  $W_{fc}$ ). Par ailleurs, cela montrera les zones regorgeant une quantité importante d'eau, ce qui entraînera un lessivage des sols considéré comme une forme de dégradation.  $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$  NIR = valeurs de pixel du canal proche infrarouge SWIR = valeurs de pixel du canal d'onde courte infrarouge.

#### **Indice Transformé de Végétation Ajustée au Sol (TSAVI)**

L'indice transformé de végétation ajusté pour le sol TSAVI est basé sur la détermination préalable de la droite des sols à partir des bandes spectrales du capteur. Il utilise la pente a et l'ordonnée à l'origine b de la droite, plutôt que les valeurs arbitraires fixées pour l'indice SAVI. Celui-ci permet de dégager les sols nus de la végétation pour mieux apprécier les espaces couverts par la végétation.

$TSAVI = a (Pir - aPr - b) / Pr + Pir - ab + 0,08(1 + a^2)$  avec : a = 1,22 et b = 0,03

L'assemblage de ces quatre indices calculés a permis de faire ressortir à la fin une carte générale de dégradation des sols de la zone de recherche afin de mieux apprécier les niveaux de dégradation des sols de ladite zone d'étude (tableau3).

**Tableau 3** : Liste des indices utilisés

Appellations des indices	Significations	Formules
IB	Indices de brillance des sols	$IB = \sqrt{\frac{R}{R+Pr} + \frac{PIR}{PIR+R}}$
IC	Indices de coloration des sols	$IC = \frac{R-v}{R+V}$ IC ∈ [-1, 1]
NDMI	Indice d'humidité par différencenormalisé	$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R}$
TSAVI	Indice transformé de végétation ajustée au sol	$TSAVI = a \left( \frac{PIr - aPr - b}{Pr + Pirab + 0,08(1+a^2)} \right)$

Source : Travaux de Laboratoire, LA2GE 2020

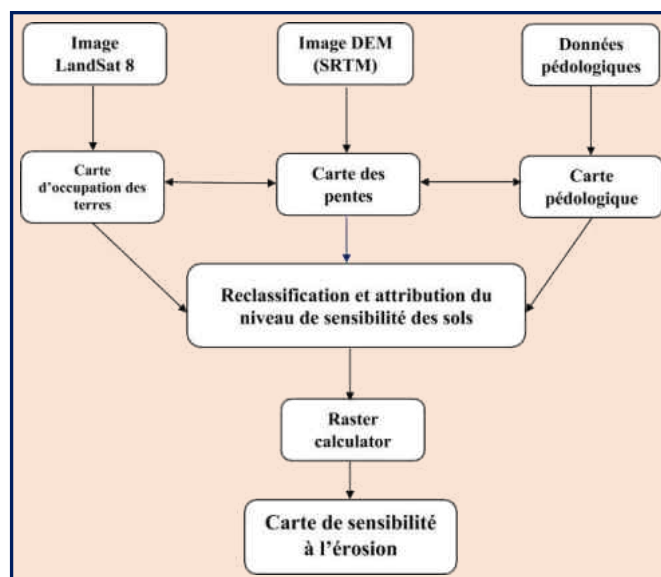
Le tableau III regroupe l'ensemble des indices utilisés pour analyser la dégradation des terres.

**3.3.3. Méthode d'identification des facteurs de dégradations des terres**

Dans le cas de cette étude, les éléments essentiels favorables à la dégradation des sols sont le relief, la pédologie, la population, l'occupation du solet l'agriculture.

**3.3.4. Méthode de la réalisation de la carte de sensibilité à l'érosion**

La carte de sensibilité à l'érosionà consister à croiser les données sur la pente, la pédologie,



l'occupation du sol et les traces de l'érosion (Pelletier, 2008). En effet, cette méthodologie s'est

basée sur une combinaison pondérée (Agbon, 2015). Elle a été réalisée à l'aide de l'outil raster calculator dans le logiciel ArcGis 10.3.1. La figure 4, présente la méthodologie adoptée.

Figure 4: Méthode de cartographie de la sensibilité à l'érosion

Les pentes sont générées à partir du MNT. Les valeurs affectées aux pentes de la Commune d'Allada sont estimées en pourcentage (%) et se répartissent en trois (03) classes pour mieux apprécier la morphologie de la Commune d'Allada. Elle s'est faite en tenant compte de la platitude et /ou des mouvements géomorphologiques sur l'ensemble du terrain. La carte est réalisée au moyen de l'outil raster calculator dans le logiciel ArcGis 10.3.1.

3.3.5. Méthode de Cartographie de la dégradation des terres dans la commune d'Allada

La structuration et l'attribution des couches thématiques ont conduit à identifier quatre indices calculés ainsi que celle de la sensibilité du sol à l'érosion. En effet, le critère est l'élément de base d'une décision. Pour chacun des critères identifiés, l'approche consiste à réaliser une carte spécifique (Prévil et al., 2004 ; Chakhar, 2006 et Iris, 2009). Ceci aboutit à une série de cartes qui sont agrégées par combinaison linéaire pondérée en vue d'établir la carte de dégradation. Une fois standardisés, les critères sont comparés et combinés. Le poids des facteurs indique leur importance relative par rapport à tous les autres. Si le nombre de facteurs est élevé, il est souvent difficile d'estimer le poids relatif de chacun d'eux. En effet, le croisement d'une carte contenant n unités et d'une carte contenant p unités donnerait théoriquement n x p nouvelles unités. Dans le traitement des problèmes courants, il n'est pas rare de se retrouver avec un très grand nombre de combinaisons. La solution consiste à croiser chaque carte critère avec une autre, une combinaison par paires et de déduire ensuite leur poids total résultant par calcul statistique (Agbon, 2015). L'assemblage des cartes indices et de celle de la sensibilité du sol à l'érosion a permis de réaliser la carte de dégradation des terres est inspiré de Chakhar, 2006 présenté par la figure 5.

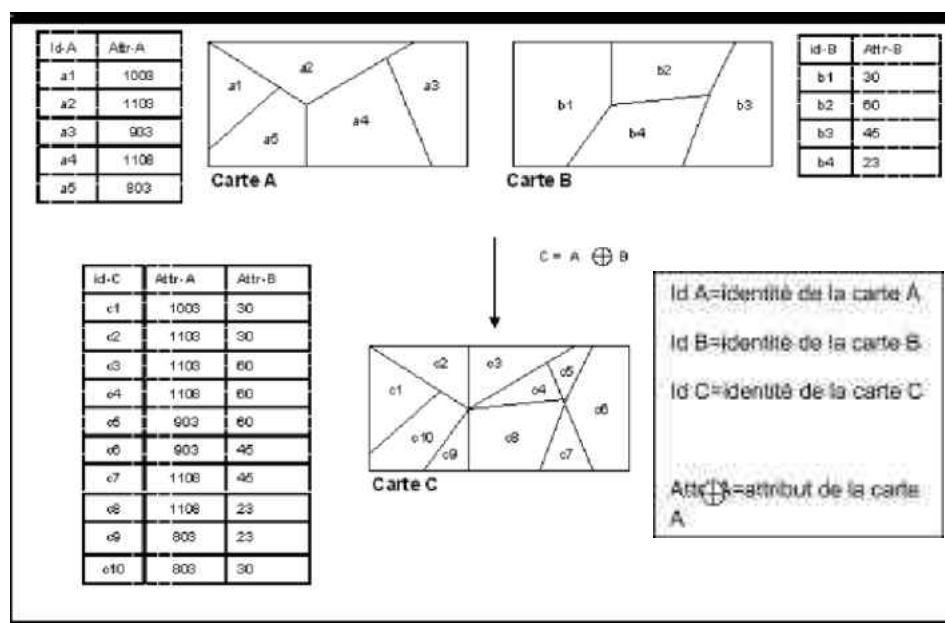


Figure 5: Approche de la cartographie de la dégradation des terres agricoles  
 Inspiré de Chakhar, 2006

La figure 5 montre l'opération de croisement de trois cartes critères (A, B et C). Chaque carte est une représentation vectorielle où les unités spatiales sont des polygones. L'attribut qui accompagne la carte représente les pixels. Cette opération a conduit à l'élaboration d'une carte intermédiaire. Elle est donc obtenue par croisement par paire des cartes critères composites (cartes de NDVI, de l'IC, de l'IB et du SWI). Les résultats de cette opération est croisé avec la carte de sensibilité des sols à l'érosion. Ces dernières sont également réalisées suivant le même procédé à partir des cartes critères initiales. La méthode de croisement des cartes thématiques a été utilisée par les techniques SIG (Bouchetata, 2006 ; KêdowidêGuézo, 2010; Branbant, 2010, Souidiet al., (2014) et Agbon, 2015). Cette approche est flexible, étant donné que les différents critères indépendamment les uns des autres peuvent être croisés ou combinés à l'aide de l'outil raster calculator dans le logiciel ArcGis 10.3.1.

#### 4. Résultats et discussion

Les terres de la commune d'Allada se dégradent selon les conditions d'utilisation, la nature des sols et les conditions climatiques. Les résultats de la présente recherche prennent en compte les cartes d'occupation du sol, de sensibilité à l'érosion et celle de dégradation des terres.

##### 4.1. Cartographie des effets de dégradation des sols par les indices de sol

###### ■ Indice de coloration de sol (IC) et Indice de Brillance (IB)

Les indices de coloration sont indispensables dans l'appréciation des terres dégradées (figure 6) alors que les indices de brillances le sont dans l'appréciation de la réflectance des terres dégradées (figure 7).

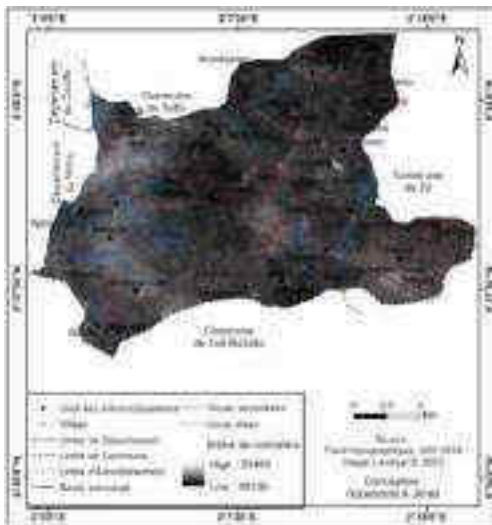


Figure 6 : Carte de l'indice de coloration de sol

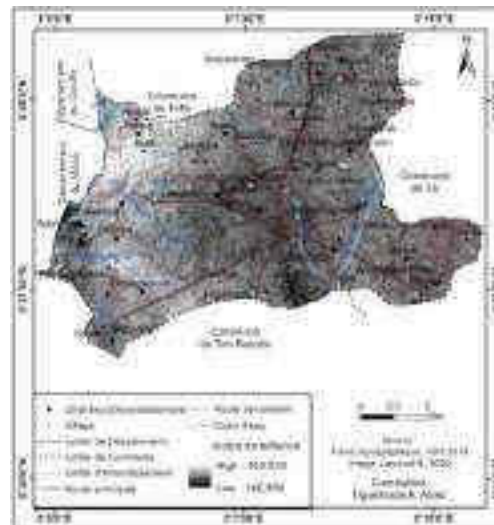


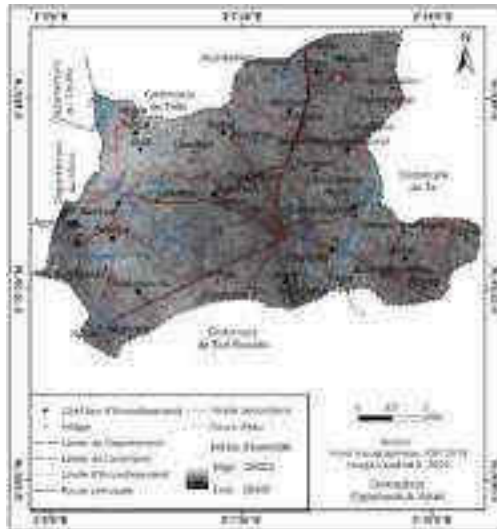
Figure 7 : Carte de l'indice de brillance

La lecture de la figure 6 montre que l'indice de coloration est plus élevé dans les chef-lieux d'arrondissement de la commune qu'ailleurs. Ce constat signifie que les sols sont plus dégradés dans ces chef-lieux d'arrondissement. La figure 7 montre que les zones les plus dégradées de

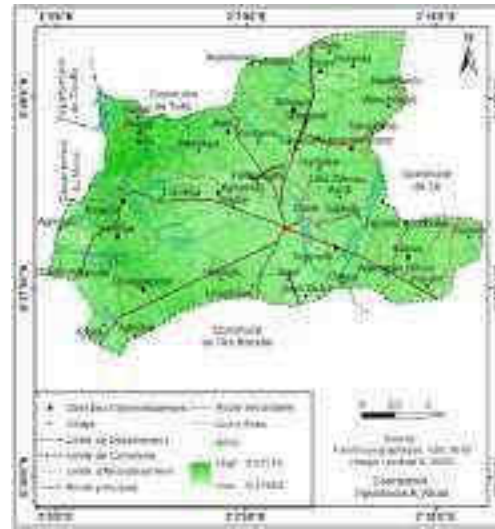
la Commune d'Allada sont caractérisées par une réflectance bien claire. Ces zones sont donc des entités caractérisées par la présence des sols nus.

- *Indice d'humidité par différence normalisé (NDMI) et Indice Transformé de Végétation ajustée au Sol (TSAVI)*

L'indice d'humidité par différence normalisé permet d'apprécier l'état d'humidité des terres (figure8). Aussi, l'indice transformé de végétation ajusté au sol est-il nécessaire dans l'appréciation du couvert végétal (figure9).



**Figure 8:** Carte d'Indice d'humidité par différence normalisé (NDMI)



**Figure 9 :** Carte de l'indice transformé de végétation ajustée au sol

De l'analyse de la figure 8, il ressort que très peu d'entités de sols regorgent d'une forte humidité. Ceci témoigne donc de l'enjeu de la topographie, de la pédologie et du rôle dans l'attribution des caractères spécifiques aux sols de ces milieux, et du rôle des différents cours d'eau. En effet, les entités pédologiques du cadre de recherche pourraient être victimes d'une forme de dégradation des sols caractérisée par la saturation ou le lessivage des sols compte tenu de la nature des sols de ladite zone.

Au niveau de la carte de l'indice transformé de végétation ajustée au sol, les espaces fortement couverts dominent l'espace de recherche, ce qui rend un peu difficile l'appréciation des sols nus, détachés de la végétation. Le couvert végétal est donc un facteur important dans l'appréciation de la dégradation des sols car sa présence permet de minimiser les effets de la dégradation sur la commune d'Allada.

#### 4.2. Carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol montre les différentes entités d'occupation de sol dans la Commune d'Allada (figure 10).

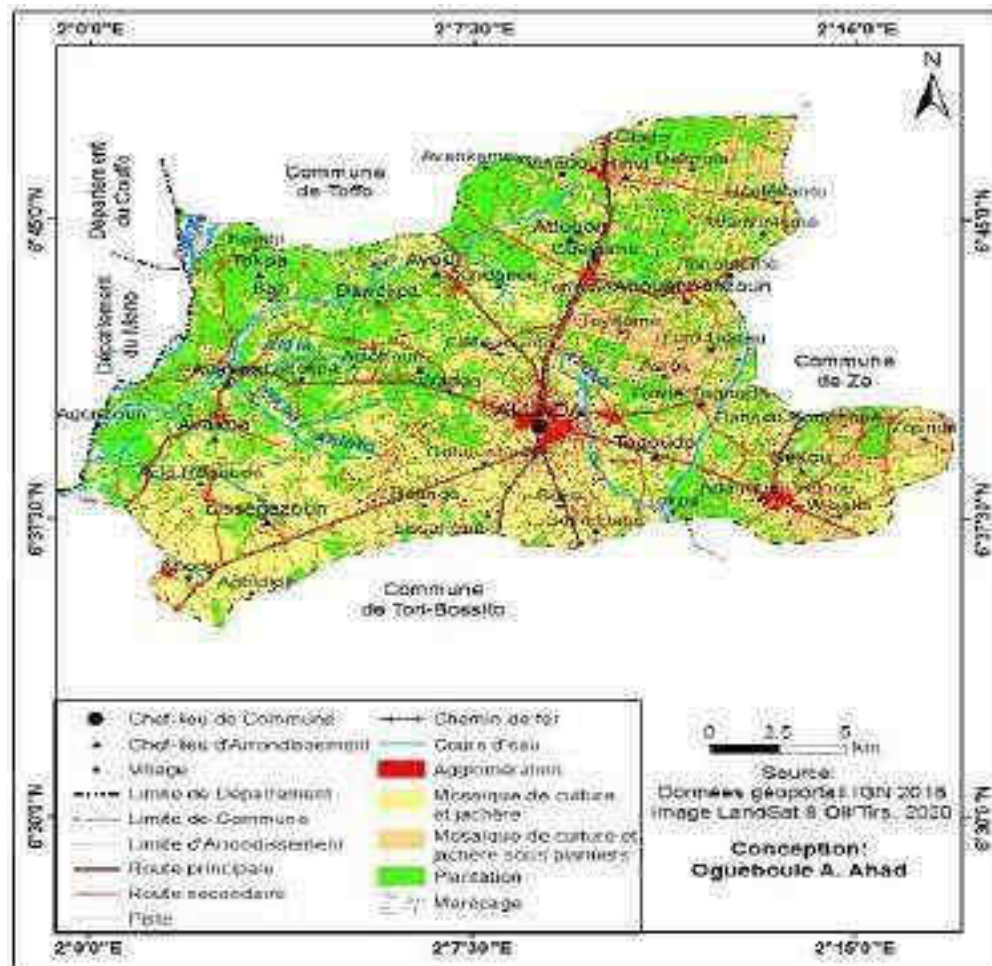


Figure 10 : Carte d'occupation du sol de 2020

L'analyse de la figure 10, indique que l'occupation du sol dans la commune d'Allada est constituée des agglomérations ; des marécages ; des plantations et des mosaïques de culture. Les agglomérations, les mosaïques de culture sont réparties de façon inégale car ils se concentrent au centre de la Commune d'Allada.

Le couvert végétal est principalement caractérisé par des mosaïques de culture et jachère. Les plantations recouvrent plus de 20 % de la Commune et sont principalement observées dans la portion Nord. Il s'agit des plantations coopératives et privées de palmiers à huile, de plantations forestières. L'agriculture constitue l'activité la plus pratiquée dans la commune d'Allada. Elle occupe environ 80 % de la population (RGPH3). Les agriculteurs se retrouvent dans tous les arrondissements de la commune mais dans des proportions variables. Les Arrondissements de Tokpa-Avagoudo, Lon-Agonmè et Agbanou sont les plus agricoles. La planche 1 montre les différentes cultures agricoles importantes dans la Commune d'Allada.



*Photo 1 : Culture d'ananas*



*Photo 2 : Culture de maïs*

**Prise de vue :** Ogueboule A.A, Novembre, 2020

Les principales cultures produites dans la Commune d'Allada sont : le maïs, le niébé, l'arachide, le gombo, la tomate, le manioc, l'ananas, la patate douce, la tomate, le piment et le gombo. Parmi ces cultures, le maïs est la principale céréale et occupe en moyenne 73 % des superficies emblavées annuellement. La culture d'ananas est la culture de rente de la Commune d'Allada, elle occupe en moyenne 1.3 % des superficies emblavées et est fortement pratiquée sur le plateau d'Allada (Sékou, Togoudo, Lisségazoun). Les autres cultures de rentes sont essentiellement le maïs local et amélioré, le manioc (23,2 % des superficies), la tomate, le piment et les autres cultures maraîchères.

#### **4.3. Carte de sensibilité à l'érosion.**

La carte de sensibilité à l'érosion permet d'apprécier la répartition des zones sensibles aux risques d'érosion des sols dans la Commune d'Allada (figure 11).

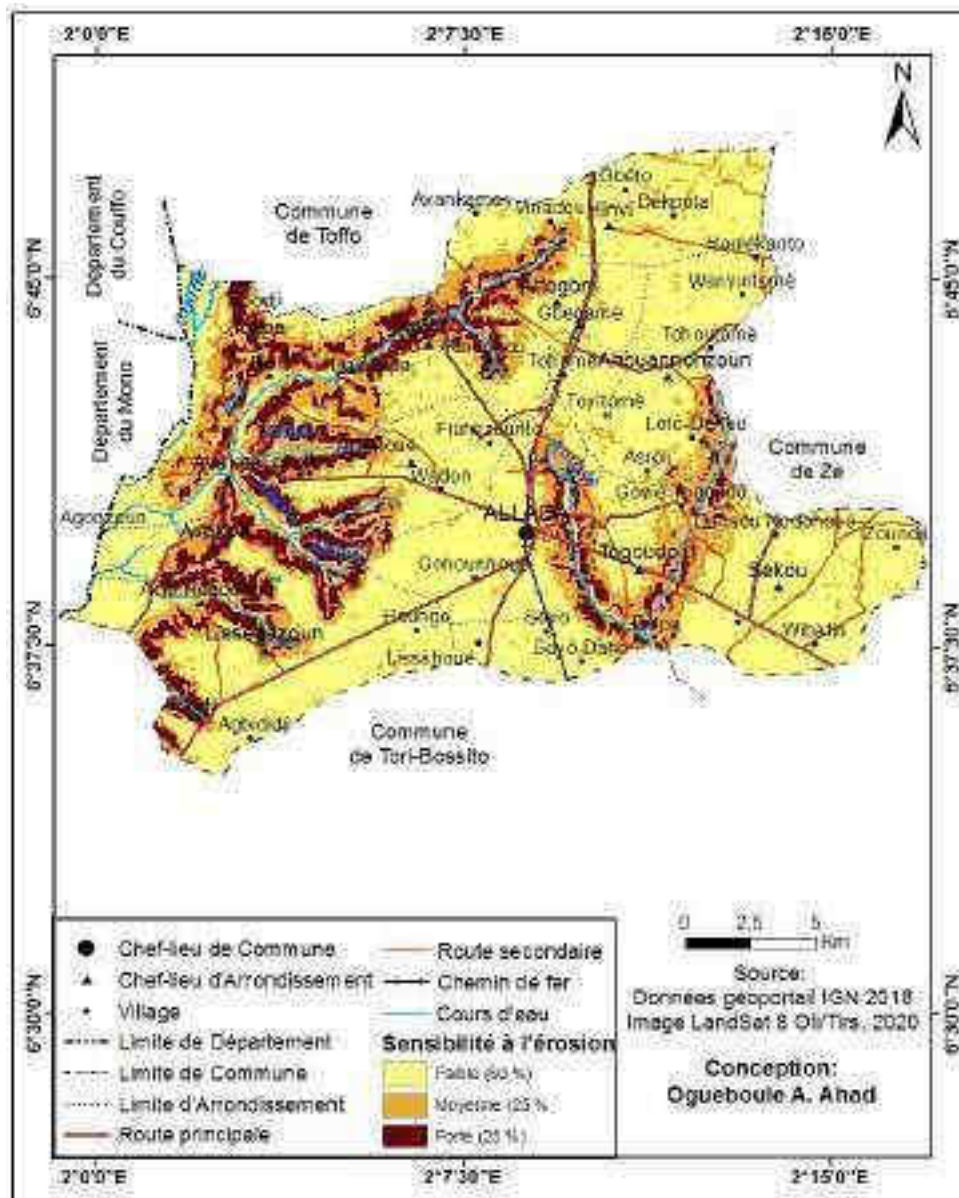


Figure 11: Carte de sensibilité à l'érosion de la zone d'étude

L'analyse de la figure 11 montre que le risque de sensibilité à l'érosion est fort (25 %) dans les arrondissements d'Allada, de Togoudo, d'Avakpa, de Lisségazoun. Le risque est moins remarquable dans 60 % du territoire communal, soit dans les arrondissements de Sékou, Wadon et Hinvi.

L'érosion est très active dans la grande dépression d'Allada, elle est influencée par plusieurs facteurs naturels et anthropiques. Ce phénomène constitue une menace sérieuse pour les biens, la population et l'environnement. Dans le cas de cette étude, les éléments essentiels favorables à la dégradation des sols sont : la topographie (allure du relief), Sensibilité des sols à l'érosion, l'agriculture et l'occupation du sol.

#### 4.4. Carte de la dégradation des sols du cadre d'étude

La carte de la dégradation des terres représente l'ensemble des indices de dégradation calculé combiné des différentes cartes thématiques. La figure 12, représente la carte générale de la dégradation des sols de la zone d'étude.

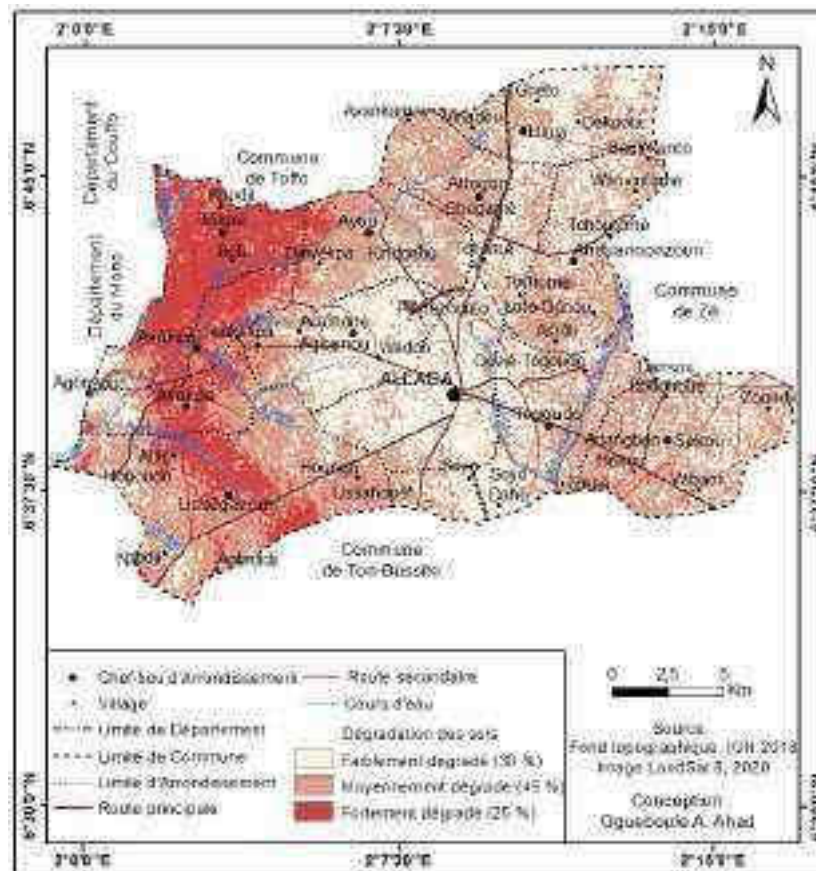


Figure 12 : Carte de la dégradation des terres

La figure 12, représente la carte générale de la dégradation des sols de la Commune d'Allada. La lecture de cette carte permet de dire que les zones fortement dégradées à l'ouest de la commune et représentent 25 % de la superficie de la commune et concernent les arrondissements de KpodjiTokpa, Boli, Avakpa, Ayou, Agbanou et Lisségazoun. Cela s'explique par la pression humaine sur l'espace rural d'une part et par les fortes pentes qui caractérisent le relief de ces localités de la Commune. Les arrondissements de Gbéto, Dekpota, Houlékanto, AtogonGbegamè, TohoméAhouannozoun, Tohoutomé, Sékou, AdangbanHonon et autres sont moyennement dégradés (45%). Enfin les arrondissements de Agbanou, Wadon et Soyo sont faiblement dégradés (30%). Ces arrondissements doivent être suivis par les techniques de télédétection afin de minimiser la pression des facteurs anthropiques, principalement agricole sur les terres de cette zone. C'est un outil d'aide à la décision.

#### 4.5. Discussion

Les résultats de cette étude corroborent ceux des travaux de Kpedenou et Koumoi, (2019) qui arrivent à la conclusion selon laquelle les terres dans le sud-est du Togo fortement dégradées représentent 54,9 % de l'ensemble des terres contre 41 % pour les terres modérément dégradées. Aussi, Komadanet *al.*, (2021) trouvent que 59 % de la superficie des sols du doublet Lokossa-Dogbo sont des sols fortement dégradés et 36 % moyennement dégradés. Ces résultats confirment de même ceux des études réalisées par le CILSS (Comité inter-Etats de lutte contre la sécheresse au sahel) en Novembre 2010, qui indiquent que sur les 3 805 000 ha de terres arables dont dispose le Sénégal, 2 400 000 ha, soit 63% sont fortement dégradées et (Ndiaye, 2015) selon lesquels les zones en état dégradé et très dégradé couvrent 34 % de la superficie du bassin versant. En dehors de ce dernier cas, il faut remarquer que les résultats de la présente recherche sont moins alarmistes que ceux obtenus par les auteurs précédemment cités. Son échelle plus réduite pourrait justifier cette différence.

La répartition inégale des terres agricoles dégradées dans la Commune d'Allada est liée à l'occupation du sol, aux conditions d'utilisation des terres et leur potentialité. Cette conclusion est similaire à celle du rapport définitif du Programme de définitions des cibles nationales de la Neutralité de dégradation des Terres (PDC NDT, 2018). Ce rapport estime que les principales causes des tendances négatives de dégradation des terres sont entre autres, la croissance démographique rapide, les pratiques d'une agriculture extensive et minière, l'exploitation incontrôlée du bois, l'urbanisation anarchique, etc. De même, les résultats du présent article sont semblables à ceux de Houngbo, (2015) qui estime que la dégradation des terres agricoles résulte de causes diverses telles que la surexploitation due à l'accroissement de la population et l'expansion des villes.

La présente étude pourrait être approfondie si la qualité des images Landsat 8 OLI/TIRS utilisées était meilleure vu que le travail est fait à l'échelle des arrondissements donc dans un cadre d'étude plus petit. Il faut souligner que les études en milieu rural effectuées à l'aide de la télédétection suggèrent une résolution de 10 à 15 m. Cependant, ces données utilisées ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants.

#### 5. Conclusion

Le phénomène de dégradation des terres de la Commune d'Allada varie du faible au fort. Les 25 % de la zone de recherche présente un risque de forte dégradation. Cette dégradation est inégalement répartie dans l'espace compte tenu de l'occupation du sol, des conditions d'utilisation des terres et de leur potentialité, la topographie, l'érosion, l'augmentation de la population et l'agriculture et la nature des sols. L'évaluation de la dégradation des terres par la télédétection et la cartographie est un engagement pour les connaître, mieux les protéger, restaurer et les gérer. Elles constituent donc des outils d'aide à la décision. La gestion des espaces est une préoccupation quotidienne pour toute autorité qui exerce son pouvoir sur une localité.

Les résultats présentés dans cette étude montrent bien que les indices spectraux permettent de discriminer différents niveaux de dégradation des sols et possèdent un potentiel important pour l'identification des unités de terrain susceptibles à la dégradation.

## 6. Références bibliographiques

- Agbon A. C., (2015). Cartographie prospective des dynamiques de l'espace frontalier, Aplahoué (Bénin)-Tohou (Togo). Thèse de Doctorat Unique, UAC/EDP, Bénin, 191 p.
- Allam A., Hamou A., Rahilla. M. F et Idda S., (2012). Utilisation de la télédétection et des SIG pour la cartographie des sols dégradés et le suivi du phénomène de salinité : Cas de la plaine de M'léta Oran (Algérie), Researchgate, 9 p.
- Beucher O. et Bazin F., (2012). L'agriculture en Afrique face aux défis du changement climatique (Synthèse), Etudes prospectives 5, Négociation Climat pour Toute l'Afrique Réussie (NECTAR), OIF, IEPF 56, Québec, Canada, 98 p.
- Bouchetata A. (2001). Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols par l'utilisation du SIG: cas du sous-bassin de l'oued Fergoug. Thèse de magister, Centre Universitaire de Mascara (Algérie), 83 p.
- Branbant P. (2010). Une méthode d'évaluation et de cartographie de la dégradation des terres. Proposition de directives normalisées. Les dossiers thématiques du CSFD. N°8. Août 2010. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France, 52 p.
- Chakhar S. (2006). Cartographie décisionnelle multicritères : formalisation et implémentation informatique. Thèse de doctorat. Université de Paris Dauphine, France, 300 p.
- Genesis Y. (2013). Détection des changements phénologiques tout en tenant compte des tendances brusques et graduelles des séries chronologiques d'images satellites. *Télédétection de l'environnement*, 114(12), 2970-2980.
- Ghram-Messedi A. (2007). Les états de surface en zone aride à partir d'indices radiométriques et de classification multi temporelles d'images Landsat TM prises sur la région de Menzel Habib (Tunisie méridionale); *Sècheresse*, 18(4), 306 p.
- Gonzalez-Roglich M. (2015). Application des renseignements écologiques sur les sites aux changements transformateurs sur les parcours de broussailles du Grand Bassin. *Les parcours*, 38(6), 379-388.
- Houngbo E. N., (2015). Pauvreté chronique, la véritable cause de la dégradation des sols en Afrique, Agriculture durable à faibles apports externes, *AGRIDAPE*, 31(1), 32-34.
- Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) (2013). Analyse des résultats du RGPH 3 (Tome 1) : répartition spatiale, Cotonou, Bénin.
- Iris J. (2009). Contribution de la méthodologie et de la technologie géodécisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France. Doctorat, Ecole des Mines, Paris, 221 p.
- Kédowidé-Guéo C. M. (2010). Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou [*Vertigo*]*La revue électronique en sciences de l'environnement*, 10(2), 21p.
- Khali I. (2016). Télédétection des ressources en sols arides ; décembre 1995 ; 19 p.
- Kirui O. (2015). Costs of land degradation in Eastern Africa, in ZEF Working Paper Series 128, ISSN 1864-6638.
- Komadan M, Akiyo O. L. R., Agbon A. C. et Yabi I., (2021). Dégradation des terres dans les Communes de Lokossa et de Dogbo". In Revue scientifique MIRD, En hommage à Monseigneur Nicolas OKIOH, *Volume spécial, Numéro spécial*, Juillet 2021, 279-296 pp.
- Kpedenou K. D. et Koumoi Z., (2019). Cartographie et analyse spatiale de la dégradation des terres dans le sud-est du Togo : une approche basée sur la télédétection, *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.* 9 (1), 67-78.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP) (2017). Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017 – 2021, Bénin, 331 p.
- Ndiaye M., (2015). La dégradation des terres au Sénégal : la réponse à partir des Arbres fertilisateurs, *Agriculture durable à faibles apports externes*, *AGRIDAPE*, 31(1), 14-15.
- Nkonya E. (2011). The economics of desertification, land degradation, and drought: toward an integrated global assessment. 2011, *ZEF Discussion Papers on Development Policy*. 125p.

- PDC/NDT, (2018). Programme de définitions des cibles nationales de la Neutralité de dégradation des Terres, Rapport définitif, Bénin, 35 p.
- Pelletier J. (2008). Erosion des terres agricoles du Nord – Pas de calais. SRAE. Université de Lille. 40 p.
- Ponce H. (2012). Surveillance du changement graduel des écosystèmes à l'aide des analyses de séries chronologiques Landsat : études de cas dans certains écosystèmes forestiers et de parcours. *Télédétection de l'environnement*, 122, 92-105 pp.
- Prévil C., Benoit St-O. et Waaub J-P. (2004). Aide au processus décisionnel pour la gestion par bassin versant au Québec : étude de cas et principaux enjeux. *Cahiers de géographie du Québec*, 48(134), 209-238. (<http://id.erudit.org/iderudit/011682ar>)
- RDC, (2017). Land degradation a threat to sustainable rural development in northern highlands of Pakistan. Rural Development Conference, 9- 11 july 2017, 136 p.
- Souidi Z., Hamimed A. et Donze F. (2014). Suivi du risque de dégradation des sols par télédétection : Application au bassin versant d'oued Fergoug dans les monts des Béni-Chougrane en Algérie. Conférence Paper, Capítulo 3.1: Riscos Geológicos E Geomorfológicos, November 2014, 221-225.
- Tchibozo E. A. et Domingo E., (2014). Occupation du sol et analyse de la structure spatiale des forêts classées : Cas de DOGO-KETOU, dans le Centre-est du Bénin. *Revue de géographie du Laboratoire Leïdi- ISSN 0851-2515-N°12, Décembre 2014, 137-153.*
- Tengberg A. (2016): Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 258-270.
- UNCCD, (2016). Neutralité en matière de dégradation des terres, sécurité alimentaire et des personnes (LDN, food security and people safety), Paris, 8 p.
- Weicheng W. (2003). Application de la Géomatique au Suivi de la Dynamique Environnementale en Zones Arides : Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia Nord et du Shaanxi Nord en Chine du Nord-Ouest ; Décembre 2003; 24 p.