

Science **et** technique

Revue burkinabè de la recherche

Sciences naturelles et appliquées

Spécial hors-série n° 6 — Janvier 2022 — ISSN 1011-6028

Symposium International sur la Science et la Technologie
15 au 19 novembre 2021, Ouagadougou



Centre national de la recherche scientifique et technologique
03 B.P. 7047 Ouagadougou 03 – Burkina Faso

Science **et** technique

Revue burkinabè de la recherche

Sciences naturelles et appliquées

Spécial hors-série n° 6 — Janvier 2022 — ISSN 1011- 6028

Symposium International sur la Science et la Technologie
15 au 19 novembre 2021, Ouagadougou

Science et technique

Revue semestrielle de la recherche
du Centre National de la Recherche
Scientifique et Technologique (CNRST)

Série Sciences Naturelles et Appliquées

Spécial hors-série n° 6 – Janvier 2022

Prix : 3 000 F CFA



IRSAT

Directeur de publication

DRABO Koiné Maxime, Délégué général du CNRST

Directeurs adjoints de publication

Hamidou TRAORE

Emmanuel NANEMA

Comité de publication

- *Président* : Adama KABORE
- *Editeur scientifique* : Noufou OUEDRAOGO
- *Maquette et mise en forme* : Elie ZABRE
- *Secrétaire de rédaction* : Moustapha KABORE

Comité de rédaction

- *Coordonnateurs* : Hadja Oumou SANON
Charles PARKOUDA
- *Rédacteurs en Chef* : Djibril YONLI
Serges IGO
- *Rédacteurs en Chef adjoints* : Mariam Myriam DAMA
Rayim Wendé Alice NARE

Comité Scientifique du Symposium International sur la Science et la Technologie (SIST 2021)

1. ASSOGBA Lucien	Assistant	Droit public
2. AZOUMA Ouézou	Professeur Titulaire	Génie Industriel et Machinisme Agricole
3. BARRO Nicolas	Professeur Titulaire	Biochimie-Microbiologie/Virologie
4. BASSOLE Imaël Henri Nestor	Professeur Titulaire	Biochimie
5. BATIONO Babou André	Directeur de Recherche	Biologie et Ecologie végétales
6. BATIONO Jean-Claude	Professeur Titulaire	Didactique des langues et des cultures
7. BAYALA Balé	Professeur Titulaire	Physiologie animale
8. COMPAORE Ella	Maître de conférences	Nutrition
9. COMPAORE Halidou	Maître de recherche	Ecologie/Management des ressources naturelles
10. COMPAORE Maxime	Directeur de recherche	Histoire de l'éducation
11. COURTIN Fabrice	Chargé de recherche	Géographe
12. DABIRE Rock	Directeur de recherche	Entomologie médicale
13. DAKOURE Evariste	Maître de conférences	Sciences de l'Information de la communication
14. DEME El hadji Yoro	Assistant	Economie
15. DRABO Maxime	Directeur de recherche	Santé Publique
16. GLITOH A. Isabelle	Professeur Titulaire	Entomologie
17. GOMGNIMBOU Mustapha	Directeur de Recherche	Histoire
18. GOUDJO Mathieu Red Durde Traouré	Assistant	Droit public
19. GUIGMA Léandre	Maître-Assistant	Architecture

20.	HALPOUGDOU Martial	Chargé de recherche	Histoire
21.	HOUNHOUGAN Djidjoho Joseph	Professeur Titulaire	sciences et technologie des aliments
22.	IGO Serge	Directeur de recherche	Physique / Thermique
23.	KABORE Adama	Directeur de Recherche	Biologie et Santé animales
24.	KABORE Oumar	Maître de recherche	Géographie physique
25.	KABORE/SAWADOGO Séraphine	Chargée de recherche	Téledétection
26.	KIBORA Ludovic	Maître de recherche	Anthropologie, Ethnologie
27.	KINI Félix	Directeur de recherche	Chimie organique
28.	KOSSI-TITRIKOU Komi	Professeur Titulaire	Anthropologie
29.	KOUANDA Séni	Directeur de recherche	Epidémiologie, Santé Publique
30.	KOUHOUNDE Serge	Assistant	Biotechnologie/Microbiologie Alimentaire
31.	KOULIDIATI Jean	Professeur Titulaire	Physique
32.	LOMPO Marius	Directeur de recherche	Pharmacologie
33.	MAKAYA Joseph	Maître-Assistant	Biochimie/ Microbiologie
34.	METCHEBON TAKOUGANG Stéphane Aimé	Maître de conférences	Mathématiques appliquées
35.	NAKOULMA Goama	Maître de recherche	Géographie
36.	NANEMA Emmanuel	Directeur de Recherche	Energie solaire
37.	NEBIE Roger Ch. H.	Directeur de Recherche	Chimie organique
38.	NEYA Bouma James	Maître de recherche	Phytopathologie
39.	NEYA Oblé	Maître de Recherche	Biologie et physiologie végétales
40.	NIANGADO Oumar	Directeur de Recherche	Génétique
41.	OUEDRAOGO Idrissa	Professeur Titulaire	Economie
42.	OUEDRAOGO Jean Bosco	Directeur de Recherche	Parasitologie médicale
43.	OUEDRAOGO Mahamadou Lamine	Maître de conférences	Sciences du langage
44.	OUEDRAOGO Mahamoudou	Assistant	Communication
45.	OUEDRAOGO Moussa	Docteur	Génétique Forestière
46.	OUEDRAOGO Noufou	Directeur de recherche	Biochimie/Pharmacologie
47.	OUEDRAOGO Souleymane	Maître de recherche	Economie agricole
48.	OUEDRAOGO Sylvain	Directeur de recherche	Pharmacologie
49.	OUBA Youmanli	Maître de conférences agrégé	Economie de l'environnement
50.	SANKARA Philippe	Professeur Titulaire	Phytopathologie
51.	SANOOGO Mamadou Lamine	Directeur de recherche	Socio-linguistique
52.	SANOOGO Oumar	Directeur de Recherche	Physique
53.	SANON Hadja Oumou	Maître de Recherche	Productions animales
54.	SAWADOGO Louis	Directeur de recherche	Biologie et Ecologie végétale
55.	SAWADOGO/LINGANI Hagrétou	Directrice de recherche	Biochimie-Microbiologie/Technologie Alimentaire
56.	SEDOGO P. Michel	Directeur de Recherche	Agropédologie
57.	SEMDE Rasmané	Professeur Titulaire	Pharmacie galénique
58.	SEREME Drissa	Maître de Recherche	Virologie
59.	SEREME Paco	Directeur de Recherche	Phytopathologie
60.	SIE Oumarou	Professeur Titulaire	Informatique
61.	SIRPE Gnanderman	Maitre de conférences	Economie
62.	SOMDA Irénée	Professeur Titulaire	Phytopathologie
63.	TINTO Halidou	Directeur de recherche	Parasitologie
64.	TRAORE Alfred	Professeur Titulaire	Biochimie
65.	TRAORE Hamidou	Directeur de Recherche	Malherbologie
66.	TRAORE Mamoudou	Maître de recherche	Sciences du sol
67.	YAMBA Kassoum	Chargé de Recherche	Physique appliquée
68.	YAMEOGO Georges	Maître de recherche	Agroforesterie
69.	YAMEOGO Urbain	Assistant	Environnement
70.	YE Georges Siédouba	Maître de recherche	Mécanique Appliquée/ Machinisme Agricole
71.	YONLI Djibril	Maître de recherche	Malherbologie
72.	ZEBE Augustin	Chargé de recherche	Nutrition
73.	ZERBO Roger	Maître de recherche	Sociologie, Anthropologie de la santé
74.	ZIDA Didier	Maître de Recherche	Ecologie /Aménagement forestier
75.	ZIDA Elisabeth	Maître de recherche	Phytopathologie
76.	ZOUGMORE Robert Bellarmin	Directeur de recherche	Science du sol

Comité scientifique de la série

Dr SEREME Paco,	Directeur de recherche	Phytopathologie, INERA, Burkina Faso
Dr LOMPO François	Directeur de recherche	Agronomie/Science du Sol, INERA, Burkina Faso
Dr TAMBOURA H. Hamidou	Directeur de recherche	Génétique animale, INERA, Burkina Faso
Pr OUEDRAOGO Amadé	Professeur Titulaire,	Biologie et Ecologie végétales, UJKZ, Burkina Faso
Pr SANON Antoine	Professeur titulaire	Entomologie, UJKZ, Burkina Faso
Dr TRAORE Amadou	Directeur de recherche	Génétique animale, INERA, Burkina Faso
Dr SOME Koussao	Maître de recherche	Génétique, Amélioration des plantes, INERA, Burkina Faso
Pr BIELDERS Charles,	Professeur titulaire	Science des sols, Université Catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique
Dr BRUGIDOU Christophe,	Directeur de recherche	Inter action Plantes-Parasites, Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, France
Pr DIOUF Diaga,	Professeur titulaire	Technologie/Végétale, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal
Dr. SEREME Abdoulaye	Maître de recherche	Agronomie/Botanique, IRSAT, Burkina Faso
Dr. KONATE Yacouba,	Maître de conférences	Assainissement, 2iE, Burkina Faso
Dr PARKOUDA Charles,	Maître de recherche	Science des aliments/Biochimie, Burkina Faso
Dr OUATTARA/SONGRE Laurencia	Maître de recherche	Nutrition/Science des aliments, Burkina Faso
Pr. SISSOKO Grégoire,	Professeur titulaire	Physique/Energétique, Université Cheick Anta Diop, Sénégal
Pr. OUATTARA Frédéric	Professeur titulaire	Géophysique, Université Norbert ZONGO, Burkina Faso

Comité de lecture de la série

Dr ZIDA Elizabeth	Maître de Recherche	Phytopathologie, INERA, Burkina Faso
Dr BATIONO B. André	Maître de recherche	Agroforesterie, INERA, Burkina Faso
Dr KIEMA André	Maître de recherche	Pastoralisme, INERA, Burkina Faso
Dr ADJANOHOOUN Adolphe,	Directeur de recherche	Agropédologie, INRAB, Bénin
Dr BOUKAR Ousmane	Maître de recherche	Génétique végétale, IITA, Kano, Nigéria
Pr HOUINATO Marcel	Professeur titulaire	Production animale, Université Abomey Calavi, Bénin
Pr DIATTA Sekouna	Maître de conférences	Agroforesterie-Ecologie et Adaptation, Université Cheick Anta Diop, Sénégal
Pr TRAORE Karidia	Professeur titulaire	Malherbologie, Université Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Côte d'Ivoire
Dr WONNI Issa	Maître de recherche	Bactériologie, INERA, Burkina Faso
Dr BA Malick	Directeur de recherche	Entomologie, INERA, Burkina Faso
Dr SOME/DAO Mandjela	Maître de recherche	Biologie-Ecologie Végétales Virologie-Biotechnologie, INERA, Burkina Faso
Dr TIENDREBEOGO Fidèle	Maître de recherche	Virologie-Biotechnologie, INERA, Burkina Faso
Dr NACRO Souleymane	Directeur de recherche	Entomologie Agricole, INERA, Burkina Faso
Dr SAWADOGO Nerbéwendé	Maître de conférences	Génétique végétale, UJKZ, Burkina Faso
Pr TRAORE Salifou	Professeur titulaire	Science du sol, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso
Pr OUEDRAOGO Oumarou	Professeur titulaire	Biologie et Ecologie Végétales, UJKZ, Burkina Faso
Dr YE Siédouba Georges	Maître de recherche	Conception machinisme agricole, IRSAT, Burkina Faso
Dr KIBA Innocent	Maître de recherche	Agro pédologie, INERA, Burkina Faso
Dr KABORE Donatien	Maître de recherche	Microbiologie/Biochimie, IRSAT, Burkina Faso
Dr BA/FATOUMATA Hama,	Maître de recherche	Nutrition/Sciences des aliments IRSAT, Burkina Faso
Dr SANOGO Oumar	Directeur de recherche	Physique, IRSAT, Burkina Faso
Dr DIANDA Boureima	Maître de recherche	Physique, IRSAT, Burkina Faso
Dr OUEDRAOGO Issaka	Maître de recherche	Physique, IRSAT, Burkina Faso
Dr DIALLO/KONE Martine	Maître de recherche	Chimie, IRSAT, Burkina Faso

Dr BONKOUNGOU Isidore Dr SAVADOGO Salfo	Maître de conférences Maître de recherche	Biologie, IRSAT, Burkina Faso Biologie et Ecologie Végétales, IRSAT, Burkina Faso
Pr PADONOU Wilfrid Dr DAKO Enock G. Achigan	Professeur titulaire Maître de conférences	Biochimie, Université d'Agriculture de Kétou, Bénin Génétique et Sélection des plantes, Université Abomey Calavi, Bénin
Pr AMEYAPOH Yaovi Pr AZOUMA Yaovi Ouezou	Professeur titulaire Professeur titulaire	Microbiologie/Biochimie, Université de Lomé, Togo Conception machinisme agricole, Université de Lomé, Togo

Abonnement - Distribution

DIST/DGA-V/CNRST, 03 B.P. 7047 Ouagadougou 03

Rédaction et administration

- Comité de rédaction, INERA 03 B.P. 8645 Ouagadougou 03 Burkina Faso ; Tél : (00226) 25 34 02 70/ 25 34 71 12 ; Fax : (226) 25 34 02 71 ; Email : inera.direction@fasonet.bf

- Comité de rédaction, IRSAT 03 B.P. 7047 Ouagadougou 03 Burkina Faso ; Tél : (226) 25 35 60 31 ; Fax : (226) 25 35 70 29 ; Email : dirsat@fasonet.bf ; Site web : www.irsat-burkina-net

Impression : Presses Universitaires – Université Joseph Ki-Zerbo - Ouagadougou

Numéro tiré à 100 exemplaires

Sommaire

Kalifa PALM, Arouna KABORE, Boukaré OUEDRAOGO et Roland LANKOUANDE

Exploitation énergétique d'un four de combustion de gaz nocifs fonctionnant en régime forcé laminaire... 12

Geoffroy Romaric BAYILI, Christine KERE/KANDO, Mariam COULIBALY/DIAKITE, Safiatou TIENDREBEOGO et Roland Nâg-Tiero MEDA

Qualité physico-chimique, sensorielle et présence légale des huiles alimentaires vendues dans la ville de Bobo-Dioulasso 19

Issouf COULIBALY, AMADOU Hamadoun, CISSE Fousseyni, YATTARA Kalifa et DOUMBIA Djibril

Les stratégies d'adaptation au changement climatique par les producteurs en riziculture pluviale dans la région de Sikasso au sud Mali 35

Abalo Itolou KASSANKOGNO, Adama ZONGO, Kossi Essotina KPEMOUA, Gnawé Aristide ZONOU, Abdoulaye NANA, Bowendsom Clément NIKIEMA et Ibrahima OUEDRAOGO

Evaluation du niveau de résistance de quelques variétés de riz vis-à-vis des souches Multilocus de Magnaporthe grisea en milieu contrôlé au Burkina Faso 45

Honoré KAM, Pierre Alexandre Eric SOMBIE et Soumana KONE

Valeurs nutritionnelles des variétés de riz produites au Burkina Faso 57

Sylvestre Abiola CHAFFRA et Apollinaire Cyriaque AGBON

Analyse spatiale des changements de l'occupation des terres en zones humides dans les arrondissements de Grand-Popo et de Avlo au Bénin 70

Lassina SANOU, Rodrigue Sogotère KONATE, Souleymane OUEDRAOGO et Jonas KOALA

Perceptions des agriculteurs sur les pratiques agroforestières en zone agroécologique nord-soudanienne du Burkina Faso..... 85

Sèdjro Martin Arnauld DJISSOU, Aimé Richard TOSSOU et Didier Emile FIOGBE

Elevage de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) à base d'aliment local sans farine de poisson au Bénin ... 98

Mahamadi OUEDRAOGO, Bansé OUEDRAOGO et Bakari TRAORE

Effets de la substitution partielle du soja torréfié par la farine d'*Azolla pinnata* dans la ration alimentaire sur des paramètres de croissance et économiques des poulets métis au Burkina Faso 109

Ousmane ZONGO, Siédouba Georges YE, Abdel Kader Hounsouho LINGANI et Antoine Crépin KABORE

Analyse de l'utilisation des tracteurs et outillages agricoles acquis par la Société Nationale d'Aménagement des Terres et de l'Équipement Rural (SONATER) : contribution pour une utilisation durable du matériel agricole 121

Michel KABORE, Hadja Oumou SANON, André KIEMA, Aimé Joseph NIANOGO et Arahama TRAORE

Contribution des cultures à double objectif de sorgho et de niébé à l'amélioration du disponible fourrager en zone Nord-soudanienne au Burkina Faso 130

Florentin SANOU, Albert BARRO, Kalifa COULIBALY, Saidou SIMPORE et Hassane Bismarck NACRO

Perception paysanne des effets du travail du sol avec le pulvérisateur à disques ou "*cover crop*" sur le sol dans la zone de Sapouy (Burkina Faso)..... 146

Anderson Frédéric KONKOBO, Mamounata DIAO, Edwige Noëlle ROAMBA, Roger DAKUYO, Paul Windinpsidi SAVADOGO et Mamoudou Hama DICKO

Optimisation du pouvoir épuratoire des graines de *Moringa oleifera* dans le procédé de potabilisation des eaux au Burkina Faso 158

Jean GLAGO, Comlan Kintomagnimessè Célestin TCHEKESSI, Cocou Claude KPOMASSE, Nicodème Worou CHABI, Amivi Kafu TETE-BENISSAN, Makpondji Frédéric HOUNDONOUGBO, Jacob Kokou TONA et Christophe Achille Armand Mahussi CHRYSOSTOME

Comparative study of the effect antibiotics and feed ingredient containing probiotic bacteria from "*Tchoukoutou*" ferment on the immune status of local and exotic guinea fowl 173

Bouma THIO, Drissa TOE et Salam KIEMDE

Prévalence et abondance des nématodes parasites associés au bananier dans les grandes zones de production au Burkina Faso 184

Adama SANOU, Djibril YONLI, Nofou OUEDRAOGO, Honoré KAM, Souleymane DJELBEOGO, Karim TRAORE, Irénée SOMDA et Hamidou TRAORE

Criblage des lignées de riz mutant vis-à-vis du *Striga hermonthica*..... 194

Gbèmawonmèdé Paul Daniel TIME, Midimahu Vahid AISSI, Mardochée DEGUENON, Vénérande Yoffou BALLOGOU, Ifagbémi Bienvenue CHABI et Yénoukounmè Euloge KPOCLOU

Diversité et raisons de choix des emballages utilisés pour le conditionnement du *Olèlè* une pâte cuite de niébé 205

Serge SAMANDOULOGOU, Hamidou COMPAORE, Fidèle Wendbénédo TAPSOBA, Joubahan Marthe SINKONDO, André Jules ILBOUDO et Hagrétou SAWADOGO/LINGANI

Qualité sanitaire et nutritionnelle des foies de poulets consommés à Ouagadougou au Burkina Faso 221

Oumar SANOGO, Kayaba HARO, Roger Charles Mathurin COMPAORE, Reine Pélagie KOURAOGO et Kalifa PALM

Evolution du Facteur d'émission électrique des réseaux électriques des pays de l'Afrique Subsaharienne : cas du Burkina Faso 232

Analyse spatiale des changements de l'occupation des terres en zones humides dans les arrondissements de Grand-Popo et de Avlo au Bénin

Sylvestre Abiola CHAFFRA¹,
Apollinaire Cyriaque AGBON^{2,1*}

Résumé

Les écosystèmes humides du sud Bénin dominés par les mangroves et les plans d'eau sont soumis à une mauvaise exploitation. Cette recherche vise à analyser la dynamique de l'occupation des terres dans les arrondissements de Grand-Popo et de Avlo en vue de contribuer à la conservation des mangroves.

Le traitement des images satellites de 2005 et 2021 ont permis de produire les différentes cartes d'occupation des terres. Les facteurs et les taux de dégradation des écosystèmes ; et les inondations ont été respectivement analysés à partir des enquêtes de terrain et des données du milieu physique.

Au total, 13 classes d'occupation des terres ont été identifiées. Les mangroves, le sable littoral et les savanes ont régressé tandis que les cultures et jachères ont progressé. Ces classes ont régressé au profit des agglomérations et des marécages. Le taux de déforestation brute et nette est respectivement de 0,34 % et de 0,32 %. Le taux de la dégradation est de 0,19 %. La reconstitution naturelle est de 0,02 %. Les importants facteurs de dégradation de l'écosystème sont l'urbanisation, la pêche et la saliculture. Cette dégradation amplifie les inondations et concerne 78,03 % du milieu d'étude.

Mot clés : Inondation, télédétection, cartographie, Zone humide, Bénin

Spatial analysis of land cover changes in wetlands in the districts of Grand-Popo and Avlo in Benin

Abstract

Wetland ecosystems of southern Benin dominated by mangroves and water bodies are subjected to poor exploitation of their resources. This research is a diachronic analysis of land use in the districts of Grand-Popo and Avlo in Benin for the conservation of mangroves.

The processing of SPOT satellite images from 2005 and 2021 produced the different land use maps. The factors and rates of ecosystem degradation; and flooding were respectively analysed from field surveys, calculations and with data from the physical environment.

In total, 13 land use classes were identified. Among these classes, only five classes have strongly regressed. The regressed of these classes have benefited to agglomerations and swamp units. The rate of gross and net deforestation is 0.34% and 0.32% respectively. The rate of net degradation is 0.19%. Natural recovery is 0.02% and the rate of improvement is 0.19%. The major drivers of ecosystem degradation are urbanization, fishing and salt farming. This degradation amplifies flooding and affects 78.03% of the study area.

Key words: Flooding, remote sensing, mapping, wetlands, Benin

¹ Laboratoire des Applications Géomatiques et Gestion de l'Environnement, (LA2GE), CU-Adjara/FASHS Université d'Abomey - Calavi (Bénin), Tel. : 00229 61 81 83 47

² *Département de Géographie et Aménagement du Territoire, CU-Adjara/FASHS Université d'Abomey - Calavi (Bénin), E-mail : cyrrou_74@yahoo.fr, Tel. : 00229 97 60 55 93

Introduction

Les écosystèmes forestiers assurent des services écosystémiques d’approvisionnement et culturels pour le bien être des peuples (FAO, 2018). Ils assurent également la régulation de l’air, l’eau, le sol etc. qui sont les piliers du maintien de l’équilibre global de la planète (Ahononga *et al.*, 2020). Ils soutiennent la biodiversité terrestre à plus de 80 % (UNFCCC, 2014) et participent au développement socio-économique (Rasmussen *et al.*, 2020). Les forêts subissent de la dégradation liée à l’agriculture, l’exploitation forestière et la carbonisation. Ce qui a fait reculer sa superficie de 31,6 % en 1990 à 30,6 % en 2015 (FAO, 2018).

Au Bénin, le changement d’occupation des terres se traduit par la déforestation et la dégradation du couvert végétal qui s’accroît à un rythme inquiétant (Agbanou *et al.*, 2018). Selon FAO (2016), l’extension accrue des aires de cultures et des habitations provoque une diminution progressive de surfaces boisées. Ce changement d’affectation de terre se répercute sur la configuration du paysage du milieu (Bamba *et al.*, 2008). Ainsi, pour lutter contre ces pressions, la République du Bénin a adopté une politique participative de conservation des forêts en 1994, a adopté des textes et lois, et a signé des accords, des conventions et dispose d’un cadre juridique, institutionnel et réglementaire avec une multitude d’Organisations Non Gouvernementales. Malgré tous ces différents acteurs, textes, lois, conventions et accords très favorables pour la protection des ressources naturelles en général et des zones humides en particulier, les écosystèmes humides du sud Bénin sont toujours soumis à une mauvaise exploitation de leurs ressources. Ces écosystèmes abritent les oiseaux d’eau résidents comme migrateurs, des poissons, reptiles les plus menacés du bas Bénin. On assiste à la coupe rase des mangroves au profit des trous à poissons ou à l’exploitation des bandes de servitude le long des cours d’eau. Dans ce cas, il est normal et urgent de trouver des solutions pour sauver le reste des îlots forestiers, des mangroves et des prairies dans le milieu. Cette solution doit passer par la connaissance de la structure et de la modification du paysage dans le temps et dans l’espace face aux effets de l’urbanisation et de l’extension des terres agricoles. Au regard de ce contexte, la présente étude vise à évaluer les changements spatio-temporels de l’occupation des terres des arrondissements de Grand-Popo et de Avlo au Bénin par des enquêtes de terrain, l’application des outils de la télédétection et de la cartographie en vue de contribuer à une meilleure préservation des zones humides.

I. Matériel et méthodes

1.1. Milieu d’étude et critères de choix des arrondissements

La commune de Grand-Popo est subdivisée en 7 arrondissements que sont : Agoué, Avloh, Sasué, Grand-Popo, Djanglanmè Gbahouè et Adjaha. Les arrondissements de Avloh et Grand-Popo ont été choisis à cause de la présence des écosystèmes de mangroves qui dominent les formations végétales et des pressions qu’elles subissent. Ils sont situés entre 6°15’ et 6°21’ de latitude nord et 2°47’ et 2°58’ de longitude est et couvrent une superficie de 6579 ha (figure 1).

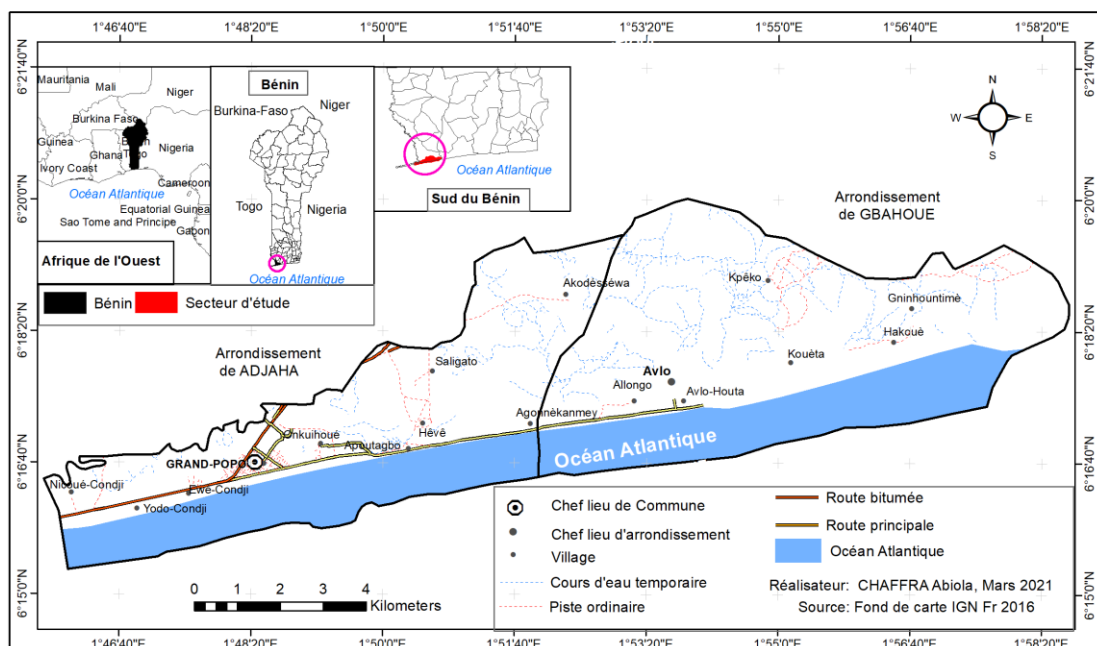


Figure 1 : Situation géographique du secteur de recherche

Le secteur d'étude est traversé par les cours d'eau permanents le long desquels ceinturent les mangroves et des prairies marécageuses.

1.2. Méthodes de collecte et de traitement des données

1.2.1. Techniques de collecte des données

La collecte des données a commencé par l'acquisition des images satellites et les enquêtes par questionnaire.

- **Matériel utilisé**

Le GPS et plusieurs images ont été utilisés pour la production des résultats de cette étude. Ce sont : SPOT-5 (10 m de résolution) de 2005 et SPOT- 7 (6 m de résolution) de 2014-2015 provenant de l'Observation Spatiale des Forêts de l'Afrique Centrale et de l'Ouest. Les images Google Earth de 2021 ont été utilisées pour la vérification des unités d'occupation des terres. Le Modèle numérique du Terrain et les images SRTM et ASTER (93 m de résolution) du secteur d'étude de 2019 ont été utilisés ainsi que les données vecteurs (shp) du réseau routier, de l'hydrographie, de la pédologie, de la géologie, de hauteurs de pluies, des localités et des limites des arrondissements extraites de la base de l'IGN France de 2018, de l'INRAB et de la Météo-Bénin.

- **Enquêtes de terrain**

Les enquêtes de terrain ont été faites par des entretiens individuels auprès des pêcheurs, agriculteurs et des saliculteurs au même moment que le contrôle terrain des traitements issus des images satellitaires. Ces personnes ont été interrogées par différentes méthodes. Les agriculteurs et les pêcheurs ont été interrogés de façon aléatoire. Les saliculteurs ont été identifiés et interrogés sous la base de la méthode de boule de neige. Les représentants des ONG et des associations des Aires Communautaires de la conservation de la biodiversité de la commune ont été également interrogés par des entretiens directs et individuels. Les types de données collectées sont essentiellement les facteurs de la dégradation des écosystèmes du milieu et les mesures possibles pour la gestion durable de ces écosystèmes. Au total, 25 pêcheurs, 30 agriculteurs, 15 saliculteurs, un agent de l'ONG Eco-Bénin et celui de Nature Tropicale ainsi que le secrétaire de l'Aire Communautaire de la Conservation de la Biodiversité de la Bouche du Roy ont été interrogés.

1.2.2. Techniques de traitement et d'analyse des données

Le traitement des données a été fait en deux étapes. Le traitement cartographique et celui des données des enquêtes de terrain.

1.2.2.1. Cartographie de l'occupation des terres et de ses changements de 2005 à 2021

L'analyse des changements de l'occupation des terres a été faite à l'aide des images SPOT-5 de 2005 et de 2015. Les données de 2015 ont été mises à jour à l'aide des images google de 2021 et du contrôle de terrain effectué en 2021. L'interprétation des images satellites a été faite de façon visuelle à l'écran. Cette approche est reconnue pour sa performance dans la détection, l'identification et de caractérisation des unités spatiales sur une image (Bah et *al.*, 2019) contrairement à la classification supervisée qui confond la signature spectrale de certaines classes (Mamane et *al.*, 2018 ; Sangne et *al.*, 2019). Il s'agit de créer des entités homogènes identifiables sur les images (Hammi et *al.*, 2007) et procéder à la délimitations par digitalisation avec le logiciel SIG sur un fond d'image satellitaire. Après l'interprétation des images de 2005, les données produites ont été superposées aux images de 2015 et 2021 pour procéder aux différentes modifications selon les changements observés. Les tables d'attribut pour chaque année ont été produites. Ce qui a permis de calculer les superficies de chaque occupation après agrégation des classes. Ces différentes opérations ont été réalisées sur le logiciel Arc GIS 10.5.

1.2.2.2. Evaluation de la précision thématique de l'occupation des terres

La validation des résultats d'interprétation des images sur le terrain est une étape nécessaire pour évaluer le niveau de précision thématique des résultats de l'interprétation. Cette étape permet d'identifier les sources d'erreur dont il faut tenir compte afin d'améliorer la qualité de l'information de la carte. La démarche d'évaluation de la précision consiste à définir un nombre d'échantillons de référence qui est identique aux catégories de la classification. Un échantillon point de référence a été choisi pour établir une matrice de confusion. En effet, cette matrice est un tableau de chiffres qui identifie le nombre d'échantillons polygones assigné à une catégorie de la classification et vérifié par des données de référence collectées au laboratoire et sur le terrain pendant la mission de contrôle de terrain. Les valeurs indiquées sur la diagonale de la matrice représentent la concordance entre l'interprétation et la réalité de terrain. Les autres sont les confusions intervenues pendant les interprétations des images. Comme son nom l'indique, la matrice d'erreurs est un outil pratique pour calculer les erreurs de l'interprétation par les méthodes conventionnelles notamment les erreurs de commission, d'omission, la précision globale de chaque classe, l'indice Kappa et l'incertitude de chaque classe.

1.2.2.3. Evolution spatio-temporelle de l'occupation des terres et de vulnérabilité des catégories de classes

L'évolution spatio-temporelle des superficies des différentes unités d'occupation des terres a été analysée sur la base d'une comparaison des données d'occupation des terres de 2005 et 2021. La méthode de détection des changements est utilisée car elle est simple et fournit l'information détaillée sur les conversions des différentes unités d'occupation des terres.

Une matrice des conversions est directement construite à l'aide de la fonction Arc-GIS : Outil d'analyse spatiale zonal Tabulate area. Ainsi il est obtenu une matrice des codes d'occupation des terres qui expriment et déterminent des récurrences et la nature des changements d'occupation du sol intervenus entre les deux dates d'analyse. Les superficies totales de l'occupation des terres de 2005 et de 2021 ainsi que les gains et pertes subies par chaque classe d'occupation des terres sont calculés à partir de cette matrice. Les analyses conduites sur les occupations des terres à partir de la matrice sont : l'analyse de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des terres, l'analyse des formations forestières naturelles, des plantations, des autres formations non forestières, de la déforestation et de la dégradation des couvertures forestières.

- Evolution temporelle de l'occupation des terres

L'évolution temporelle de l'occupation des terres et des catégories de classes entre deux dates t1 et t2 correspond au taux de changement ou d'évolution de l'occupation des terres ou des catégories de classe. Elle est déterminée à l'aide de l'équation suivante (OSFACO, 2019) : $S2-S1/S1 \times 100$. Avec S1 superficie en 2005 et S2 la superficie en 2021.

- Evolution spatiale de l'occupation des terres

L'analyse de l'évolution spatiale de l'occupation des terres est réalisée à l'aide de la matrice de conversion des classes d'occupation du sol entre deux périodes temporelles. Cette matrice montre dans la diagonale les zones de stabilité de l'occupation des terres. Elle permet de comprendre les redistributions de classes aux autres qui constituent les pertes et indiquent où sont allées les surfaces reclassées. Ces dernières représentent les gains des autres sous forme de contribution. Les analyses ont porté sur la redistribution et les contributions aux expansions des classes d'occupation des terres entre 2005 et 2021.

- Analyse de la vulnérabilité des classes d'occupation des terres de 2005 à 2021

La déforestation et la dégradation forestière ont été étudiées à partir d'un regroupement des transitions de classes d'occupation des terres. Les données de la matrice ont été donc définies et interprétées en catégorie de changement sous forme de - Dégradation : diminution de la densité des formations forestières naturelle ; - Déforestation : conversion des formations forestières naturelles en plantations et autres formations non forestière - Amélioration : augmentation de densité des formations forestières naturelles et ; - Reconstitution naturelle : conversion des plantations et autres formations non forestière en formations forestières naturelles (Ahononga et *al.*, 2020). Elles ont permis de calculer ces changements et d'analyser la déforestation et la dégradation forestière. Toutes ces données obtenues à partir de l'occupation des terres ont été utilisées pour produire des graphiques sur le tableur Excel 2013.

La vulnérabilité au changement de chaque classe d'occupation des terres est calculée à l'aide respectivement du ratio Gain/stabilité ($G_s = g/s$), le ratio Perte/Stabilité ($P_s = p/s$) et le ratio Changement net /stabilité ($N_s = G_s - P_s$). Les termes g, s et p représentent respectivement les gains, les stabilités et les pertes de superficie de chaque occupation des terres.

Le taux moyen annuel de dégradation exprime la proportion de chaque unité de végétation naturelle qui diminue annuellement. Le taux moyen annuel de dégradation des unités paysagiques a été calculé grâce à la formule suivante (OSFACO, 2019) : $TAD = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)/t \times 100$ avec TAD = taux annuel moyen de dégradation (%) ; S2 = Superficie totale de forêt perdue ; S1 = Superficie initiale de forêt et t = nombre d'années entre les deux dates).

1.2.2.4. Evaluation de la vulnérabilité du milieu aux risques d'inondation

L'évaluation du risque d'inondation a pris en compte principalement les zones urbaines. L'analyse de la vulnérabilité croisée à l'analyse des aléas a été faite. L'analyse de la vulnérabilité a consisté à combiner les données de la pluviométrie et d'occupation des terres et l'analyse de l'aléa a consisté à croiser les données hydrographiques, géologiques, pédologiques et la pente. Les données vecteurs représentant les villages, les réseaux routiers, les zones de culture, les images SRTM ont été également utilisées. Cette combinaison des données a été possible grâce au logiciel Arc GIS 10.5. Pour faciliter la lecture de la carte, la légende a été simplifiée en s'inspirant de la pondération de la vulnérabilité des biens aux inondations faite par ILWAC, DGPC et OSS (2013) (tableau I).

Tableau I : Pondération vulnérabilité aux inondations des biens exposés

Ecosystème exposé	Sensibilité (1-3)	Capacité d'adaptation (3- 1)	Vulnérabilité (1-6)	Classe de vulnérabilité	Rang
Agglomération	3	2	5	Fort	3
Zone de culture	1	1	2	Faible	1

Source : Adapté de ILWAC, DGPC et OSS (2013)

1.3. Traitement des données des enquêtes de terrain

Les données issues des enquêtes de terrain ont été dépouillées, codifiées sous le tableur Excel 2013. Ces données ont permis de mettre en place une base de données pour calculer les fréquences de réponses des personnes interrogées. Les fréquences ont été transformées en tableau et figures.

II. Résultats

Les changements spatio-temporels des unités d'occupation des terres du secteur d'étude ont été présentés et évalués à travers les cartes d'occupation des terres des années 2005 et 2021.

2.1. Résultat de la validation des interprétations des images satellites utilisées

Après les interprétations visuelles, l'indice de Kappa est de 0,81 pour la carte de 2005 et la précision globale est de 92,03 %. Pour celle de 2021, l'indice de Kappa est de 0,95 et la précision globale est de 96,17 %. A cet effet, ces résultats montrent une faible erreur de confusion entre les classes des champs et jachères sous palmier avec les plantations fruitières. Les résultats des interprétations ont permis de distinguer treize (13) classes d'occupation des terres. Ces classes sont les savanes arbustives et arborées, les forêts claires et savanes boisées, les champs et jachères, culture et jachère sous palmier à huile, les habitations, les plantations forestières, les plantations fruitières, les plans d'eau, les sols dénudés, les surfaces sableuses, les mangroves, les forêts galeries et les formations marécageuses.

2.2. Evolution spatio-temporelle des superficies d'occupation des terres de 2005 à 2021

La figure 2 présente les cartes d'occupation des terres du secteur d'étude en 2005 et 2021.

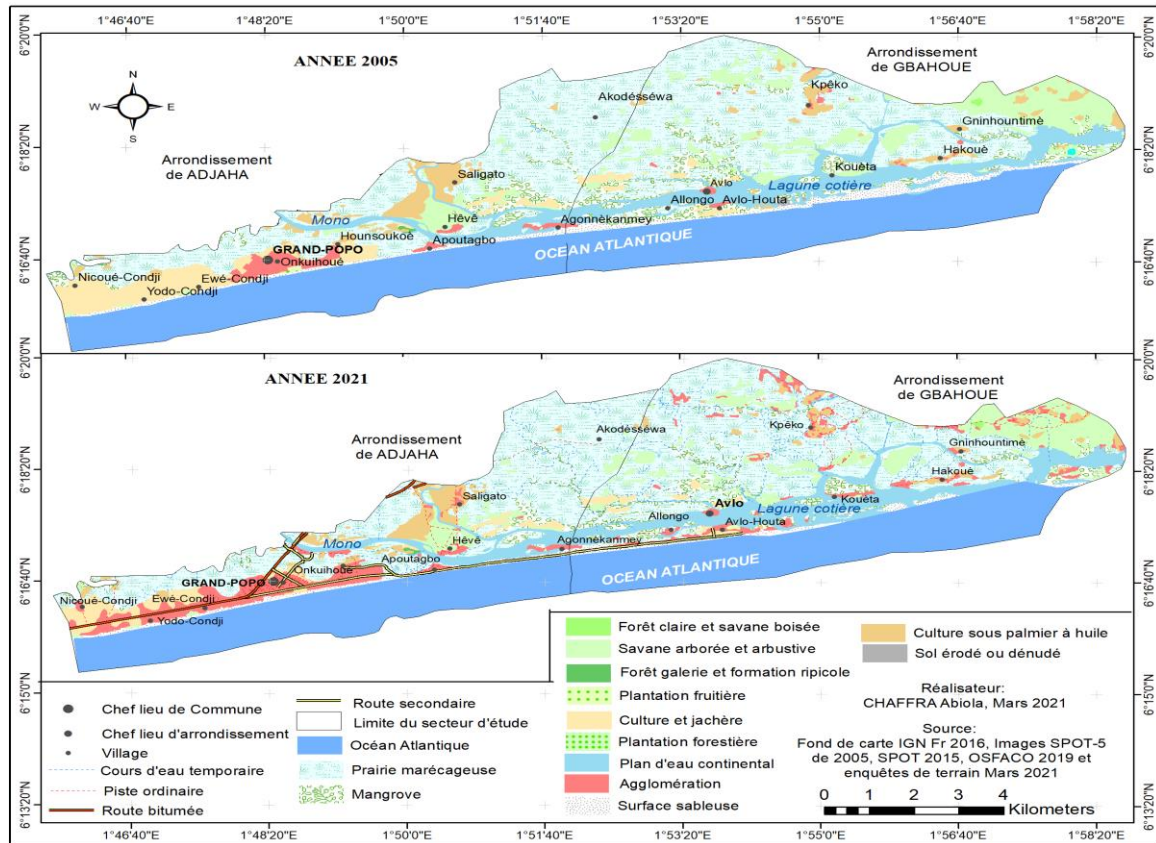


Figure 2 : Dynamique de l'occupation des terres du secteur d'étude entre 2005 à 2021

L'examen diachronique des cartes de la figure 2 montre de 2005 à 2021, la prédominance des formations marécageuses et des forêts claires et savanes boisées vers le nord du secteur de recherche sur les autres unités d'occupation des terres avec une mosaïque de champs et jachères. Le tableau II présente l'évolution temporelle de l'occupation des terres du secteur de recherche.

Tableau II : Evolution spatio-temporelle des unités d'occupation des terres

Unités d'occupation des terres	2005		2021		Evolution 2005-2021 (ha)
	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)	
Forêt galerie et Formation ripicole	3,46	0,05	3,46	0,05	0,00
Forêt claire et savane boisée	3,7	0,06	3,7	0,06	0,00
Prairie marécageuse	3242,90	49,29	3315	50,39	72,10
Savanes arborées et arbustives	774,71	11,78	677,1	10,29	- 97,61
Mangrove	566,2	8,61	440	6,69	-126,20
Plantation forestière	1,1	0,02	1,1	0,02	0,00
Plantation fruitière	5,54	0,08	3,015	0,05	-2,53
Culture et jachère	441,19	6,71	252,6	3,84	-188,60
Culture et jachère sous palmier à huile	342,29	5,20	303,8	4,62	-38,49
Plan d'eau	790,12	12,01	844,3	12,83	54,18
Habitation	144,84	2,20	531	8,07	386,16
Surface sableuse (plage)	256,64	3,90	204,8	3,11	-51,84
Sol érodé, dénudé	6,77	0,10	0	0,00	-6,77
Total	6579	100	6579	100	

Source : Traitement d'image SPOT 2005, et enquêtes de terrain, mars 2021

L'analyse du tableau II a révélé que les formations naturelles telles que les savanes arborées et arbustives, les forêts de mangrove, les surfaces sableuses (plage), les sols érodés, dénudés et les formations anthropiques telles que les cultures et jachères sous palmier à huile, les cultures et jachères et les plantations fruitières ont régressé au profit des habitations. Il faut retenir que les mangroves et les savanes arborées et arbustives ont considérablement régressé durant cette période. Ceci est dû aux différents usages que font la population de ces écosystèmes et surtout les mangroves. Le tableau III présente la matrice de transition de ces unités.

Tableau III : Matrice de conversion des unités d'occupation des terres dans le milieu

Unités	FGFR	FCSB	FSM	SASa	MG	PTFR	PTFT	CJ	CJP	PE	HA	SS	Total 2021
FGFR	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
FCSB	0	3,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
FSM	0	0	3228	0	0	0	0	0	0	0	14,82	0	3243
SASa	0	0	0	677,1	0	0	0	1,25	0,86	0	5,52	0	685
MG	0	0	86,59	0	433	0	2,99	0	0	9,53	34,29	0	566
PTFR	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	1
PTFT	0	0	0	0	0	0	0	5,54	0	0	0	0	6
CJ	0	0	0	0	0	0	0,02	244	3,1	0	193,6	0	441
CJP	0	0	0	0	0	0	0	0,45	299,9	0	41,99	0	342
PE	0	0	0	0	7,16	0	0	0	0	783	0	0	790
HA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144,8	0	145
SED	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0	0	5,91	0	7
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,85	0,034	204,75	257
Total	3	4	3315	677	440	1	3	253	304	844	441	205	6489

FGFR : Forêt galerie et formation ripicole, **FCSB** : Forêt claire et savane boisée, **SASa** : Savane arborée et arbustive, **FSM** : Prairie marécageuse, **PTFR** : Plantation forestière, **PTFT** : Plantation fruitière, **CJ** : Culture et jachère, **CJP** : Culture et jachère sous palmier, **PE** : Plan d'eau, **HA** : Habitation, **SED** : sol érodé et dénudé, **SS** : Surface sableuse.

Source : Traitement d'image 2021 et enquêtes de terrain, mars 2021

D'après ce tableau, ce sont les forêts de mangroves et les savanes arborées et arbustives qui ont beaucoup transité. En effet, 433 ha des mangroves sont restés stables pendant qu'une grande partie a transité vers les formations marécageuses et les agglomérations. La transition des mangroves vers les zones marécageuses s'explique par la coupe rase des mangroves pour le bois énergie et la saliculture.

2.3. Analyse de la vulnérabilité des occupations des terres de 2005 à 2021

L'analyse de la vulnérabilité des unités d'occupation a été faite à partir des pertes, gains, résistance, déforestation et la dégradation des écosystèmes.

- **Gains, pertes et résistances des écosystèmes**

Le tableau IV présente les gains, les pertes et les résistances de chaque écosystèmes faces aux différentes activités de la population dans le milieu d'étude de 2005 à 2021.

Tableau IV : Gains, pertes et résistances des écosystèmes de 2005 à 2021

Unités	Perte (ha)	Gain (ha)	Résistance (ha)
Forêt galerie et formation ripicole	0	0	3,46
Forêt claire et savane boisée	0	0	3,7
Prairie marécageuse	15	86,59	3228,08
Savanes arborées et arbustives	98	0	677,07
Mangrove	133	7	432,79
Plantation forestière	0	0	1,1
Plantation fruitière	6	3	0
Culture et jachère	197	8	244,49
Culture et jachère sous palmier à huile	42	4	299,85
Plan d'eau	7	61	782,96
Agglomération	0	368	144,84
Sol érodé, dénudé	7	0	0
Surface sableuse	52	0	204,76

Source : Traitement d'images SPOT 2005 et 2019 et enquêtes de terrain, mars 2021

Le tableau IV montre que les forêts de mangrove et les cultures et jachères ont fortement perdu durant la période de recherche considérée ; les savanes arborées et arbustives, les cultures et jachères sous palmier à huile et les surfaces sableuses ont moyennement perdu. Par contre, les agglomérations ont fortement gagné en superficie pendant que les formations marécageuses ont moyennement gagné. Pour la résistance des écosystèmes faces aux actions anthropiques, seuls les prairies marécageuses, les plans d'eau, les savanes arborées et arbustives et les écosystèmes de mangrove ont fortement résisté. Cette résistance des écosystèmes des zones humides est due aux différentes sensibilisations et des différentes actions des ONG présentes dans le milieu.

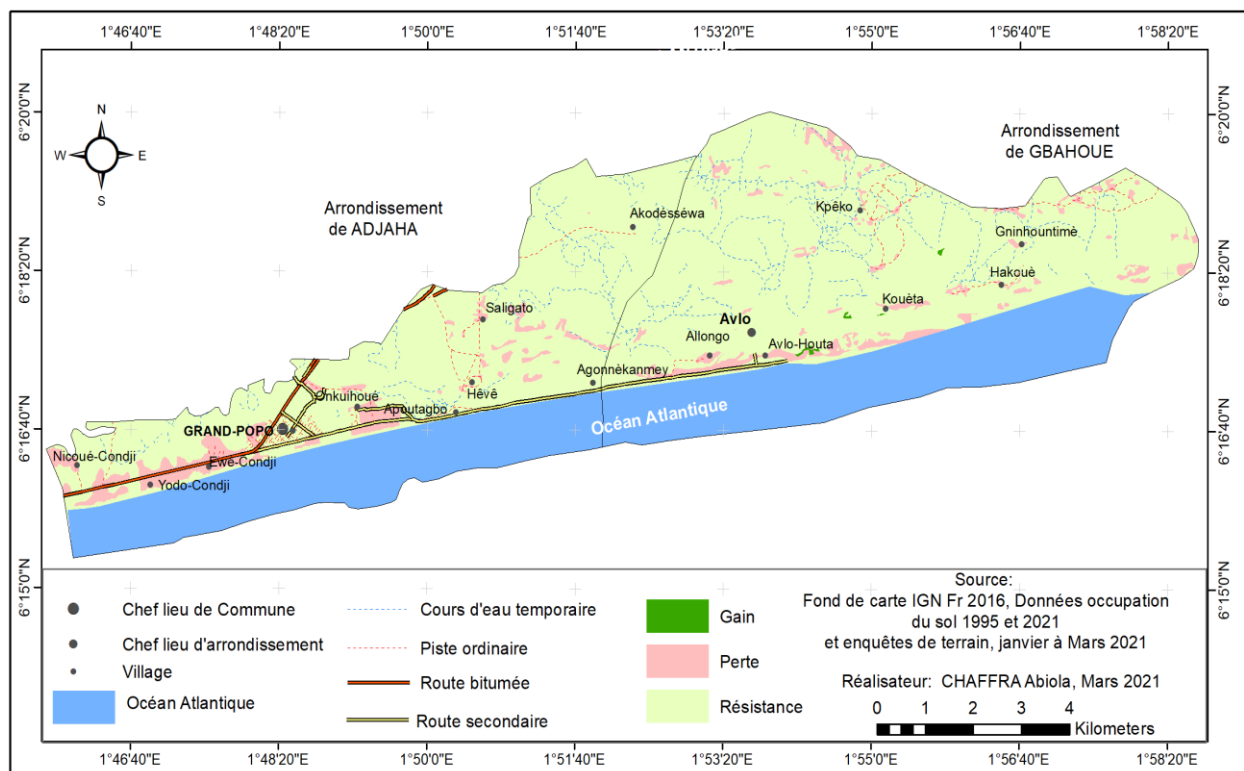


Figure 3 : Répartition spatiale des pertes, gains et résistance des écosystèmes dans le milieu

- **Analyse de la déforestation, de la dégradation et de la reconstitution forestière du milieu**

La figure 4 présente le niveau de la déforestation et de la dégradation des écosystèmes dans le milieu entre 2005 et 2021 aux différentes actions anthropiques.

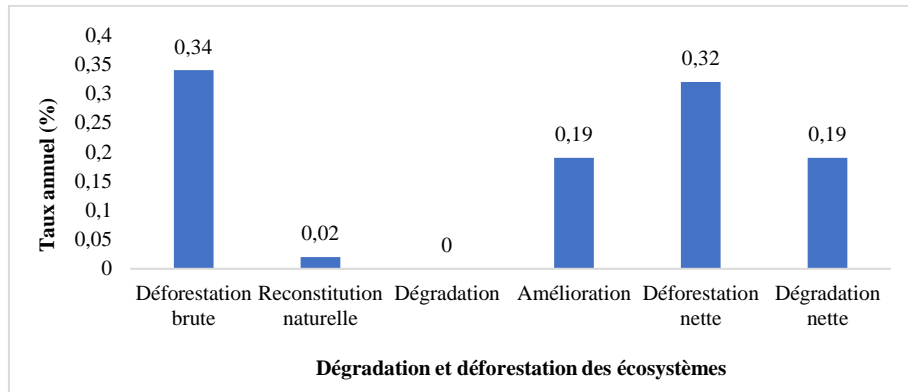
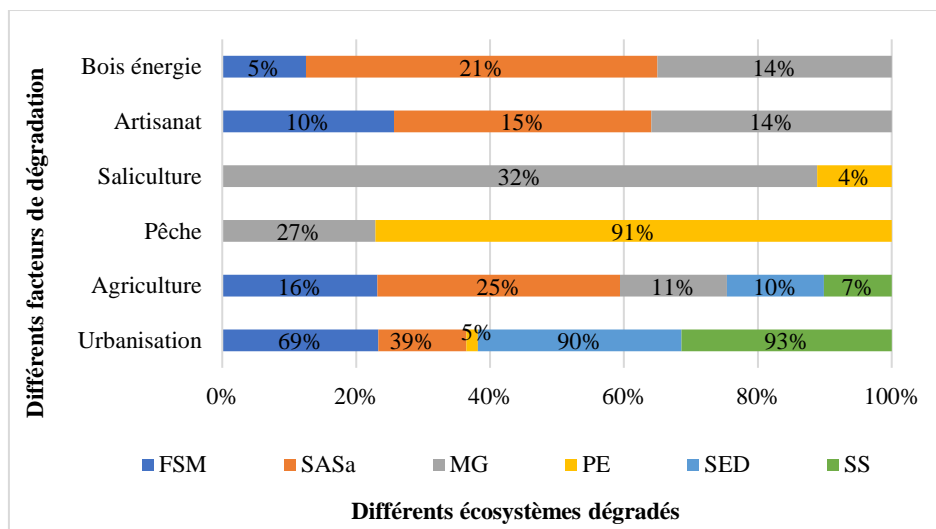


Figure 4 : Taux annuels de déforestation, de dégradation et reconstitution forestière
Source : Traitement d'image 2021 et enquêtes de terrain, mars 2021

Le taux de la déforestation brute des écosystèmes du milieu est de 0,34 % et la déforestation nette est de 0,32 %. Le taux de la dégradation nette est de 0,19 %. La reconstitution naturelle est de 0,02 % et le taux d'amélioration est de 0,19 %. Il faut retenir dans le milieu que le taux de reconstitution naturelle et d'amélioration des écosystèmes du milieu est faible.

2.4. Facteurs de la dynamique et de la vulnérabilité des écosystèmes dans le milieu

La dynamique des écosystèmes dans le milieu est causée par plusieurs facteurs qui sont principalement les activités de l'homme. Ces facteurs agissent différemment sur ces écosystèmes (figure 5).



Légende : SASa : Savane arborée et arbustive, FSM : Prairie marécageuse, PE : Plan d'eau, SED : sol érodé et dénudé, SS : Surface sableuse.

Figure 5 : Répartition des facteurs de dégradation en fonction des unités d'occupation des terres
Source : Enquêtes de terrain, mars 2021

L'utilisation des bois énergie dans les ménages du milieu dégrade fortement les savanes arbustives et arborées et les mangroves car l'artisanat s'est bien développé dans le milieu. Elle utilise les bois des savanes arborées et arbustives pour les sculptures ; les espèces végétales des prairies

marécageuses telles que *Cyperus papyrus* et *Typha domingensis* sont utilisées pour la fabrication des nattes ; les tiges des palétuviers sont utilisées pour fabriquer les pièges, les cages et pour la capture des oiseaux et poissons. Ce qui fait que l'artisanat agit fortement sur la destruction des prairies marécageuses, les savanes et les mangroves. La saliculture est très développée dans le milieu tout comme la pêche. La saliculture agit principalement sur les mangroves car ce sont ces tiges qui sont utilisées pour fabriquer du sel. La pêche quant à elle dégrade les plans d'eau et les mangroves. Les feuilles et les tiges des mangroves sont fortement utilisées pour la pêche (installation des acadja, une technique illicite sur les plans d'eau du Bénin). L'agriculture et l'urbanisation agissent sur tous les écosystèmes du milieu. Il est important à partir de cette analyse que les sensibilisations soient faites sur chaque facteur pour réduire la pression sur ces écosystèmes dans le milieu. La déforestation et la dégradation des écosystèmes du milieu amplifient les inondations.

- **Evaluation de la vulnérabilité du milieu aux risques d'inondation**

Les inondations représentent les catastrophes les plus fréquentes au Bénin et surtout au sud. Leur fréquence et leur intensité ont considérablement augmenté. Les plus marquantes sont celles de 2010. Les causes sont principalement la faible pente et les crues des fleuves. Dans le milieu de recherche, les causes sont les mêmes. Ces inondations sont dues aux débordements du fleuve Mono et ses affluents. La figure 6 présente la variation de l'altitude du terrain par rapport à l'horizontal de l'Ouest à l'Est.

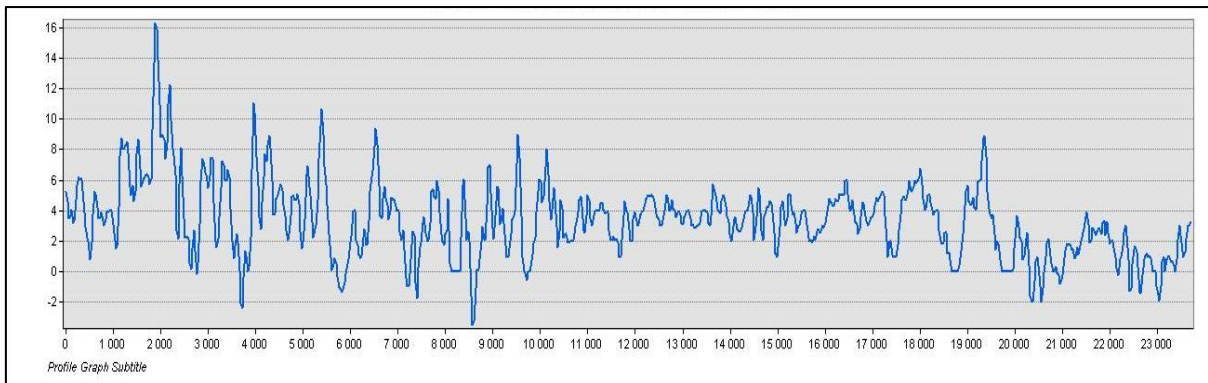


Figure 6 : Variation des altitudes de l'Ouest à l'Est dans le milieu
Source : Images SRTM de 2019 et enquêtes de terrain, mars 2021

L'analyse de la figure permet de constater que de l'Ouest à l'Est le niveau de la dénivellation baisse. Le niveau le plus élevé varie entre 15 et 3 m et le niveau le plus bas est entre 0 à -3 m par rapport au niveau 0 de la mer. La figure 7 complète la figure 8 et présente les différentes pentes des arrondissements.

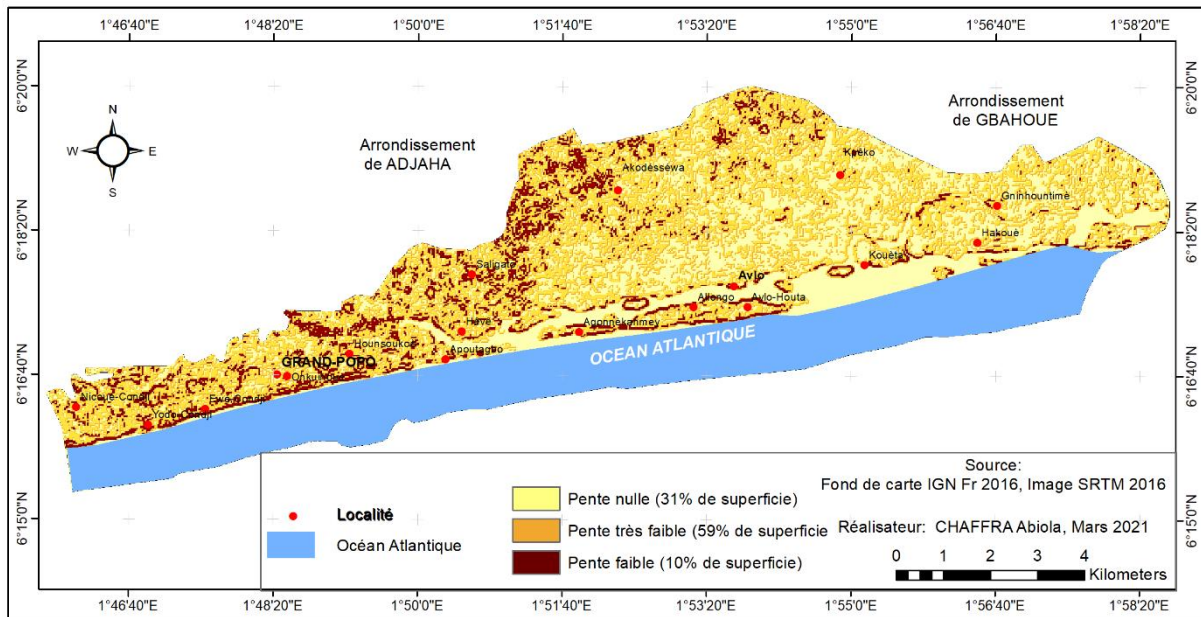


Figure 7 : Différentes pentes du milieu d'étude

L'analyse de la figure 7 montre que la pente est faible voire nulle sur l'ensemble du milieu d'étude. La pente nulle occupe 31 % de la superficie du secteur d'étude. Elle correspond aux zones très vulnérables aux inondations. La pente très faible (0 m à 3 m) occupe 59 % de la superficie des arrondissements. Elle correspond aux zones vulnérables aux inondations. La pente faible (3 m à 6 m) fait 10 % du milieu, correspond aux zones plus ou moins vulnérables aux inondations. Les résultats de cette analyse combinés aux pentes qui varient de 0,5 % à 1,5 % provenant des images SRTM du milieu montrent que la pente du milieu est très favorable à l'écoulement diffus des cours d'eau et favorable aux inondations pendant la crue surtout qu'il s'agit de la plaine côtière. Les analyses des aléas (hydrographie, pente, sols et géologie) et de la vulnérabilité (hauteur de pluie et occupation du sol) ont permis d'obtenir la figure 8 qui représente les zones d'inondation dans le milieu.

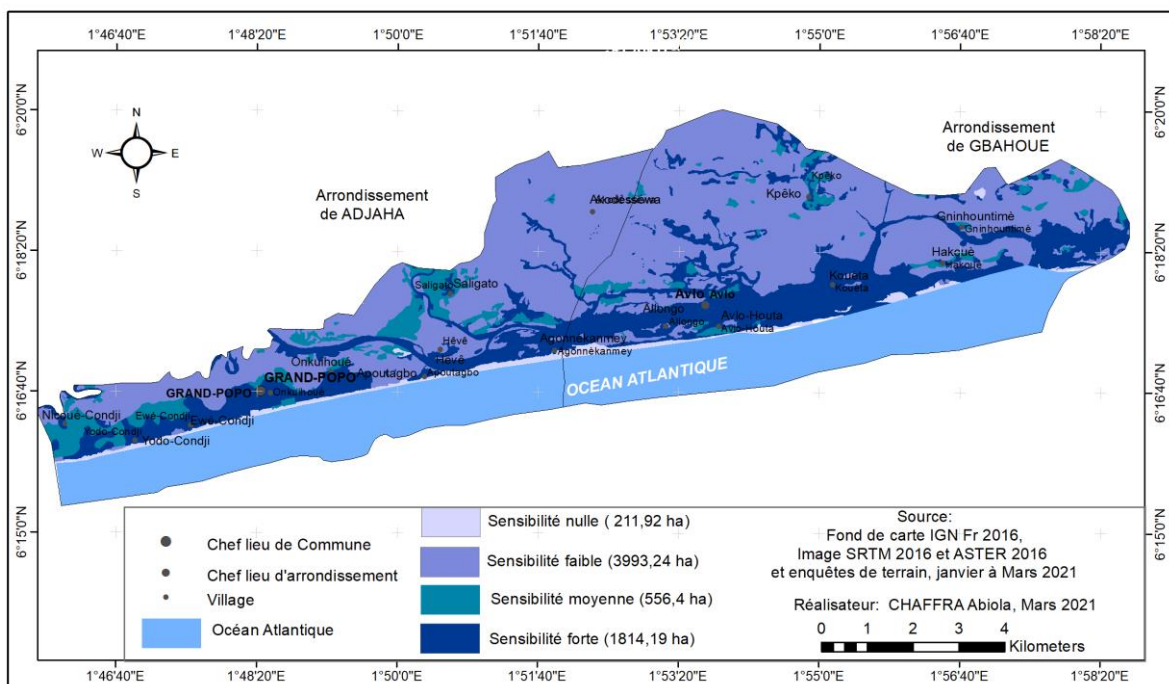


Figure 8 : Carte des zones de la vulnérabilité du milieu aux inondations

La portion des arrondissements exposée aux inondations est très importante. Ceci à cause de la topographie qui est très basse, l'occupation des lits des cours d'eau et de l'écoulement diffus des cours d'eau. Les biens naturels et artificiels tels que les infrastructures sociocommunitaires, les agglomérations, les champs etc. sont exposés aux inondations dans le milieu.

III. Discussion

4.1. Approches méthodologiques

Cette recherche a présenté la vulnérabilité des écosystèmes forestiers et surtout des mangroves dans les arrondissements de Grand-Popo et de Avlo au sud-est du Bénin. Ce sont des écosystèmes fragiles qui sont utilisés dans plusieurs domaines. L'analyse comparée des images satellites ont permis d'évaluer l'évolution du couvert végétal et de sa vulnérabilité. La photo-interprétation des images satellites a été faite par l'analyse visuelle. Cette approche est largement utilisée et reconnue pour sa performance dans la détection, l'identification et la caractérisation des unités spatiales sur une image (Bah *et al.*, 2019) contrairement à la classification supervisée qui confond la signature spectrale de certaines classes (Biaou *et al.*, 2019). Cette interprétation visuelle est suivie des contrôles de terrain pour réduire l'effet de l'interprétation intuitive. Cette approche est utilisée par plusieurs auteurs (Mama *et al.*, 2013 ; Mamane *et al.*, 2018 ; Sangne *et al.*, 2019 ; OSFACO, 2019 ; Ahononga *et al.*, 2020) pour raffiner l'analyse de la classification supervisée. Cette méthodologie a permis d'identifier 13 classes d'occupation des terres dans le milieu avec une précision statistique significative comme la montre l'indice de Kappa pour les deux dates. La confusion a été beaucoup plus observée au niveau de prairies marécageuses et les mangroves qui sont beaucoup plus observées le long des cours d'eau. Cette confusion a été corrigée avec les contrôles terrain. L'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes du milieu a été réalisée avec la méthode utilisée par FAO (2018) et Ahononga *et al.*, (2020) et l'analyse de la vulnérabilité face aux changements climatiques est inspirée de la méthode de ILWAC, DGPC et OSS (2013). Ces approches ont été également utilisées par Mbevo *et al.*, (2015), pour évaluer la vulnérabilité aux changements climatiques de la réserve de mangrove de Mabe, située à l'embouchure du fleuve Mounjo dans la Région administrative du Littoral (Cameroun).

4.2. Dynamique spatio-temporelle et vulnérabilité des classes d'occupation des terres

Les résultats de la dynamique de l'occupation des terres du milieu montrent les différentes formes de changements qui se sont opérées entre 2005 et 2021. En effet, de 2005 à 2021 les formations naturelles ont fortement régressé au profit des champs et jachères et surtout des agglomérations. Ceci à cause de la proximité de Cotonou et de Ouidah à l'est et de Aného au Togo à l'ouest. Un effet de conurbation est observé dans le milieu. La matrice de transition montre que ce sont les agglomérations qui consomment assez d'aires que les autres unités d'occupation et une forte anthropisation est observée. Ces résultats sont similaires à ceux de Ahononga *et al.*, (2020) au nord du Bénin ; FAO (2018) ; Mama *et al.*, (2013) dans la zone soudanienne du Bénin, de Avakoudjo *et al.*, (2014) et de Ousséni *et al.*, (2016). Ces travaux ont montré la régression des formations naturelles au profit des champs-jachères et des agglomérations à partir des études multi-dates. Les facteurs de ces régressions sont importants et varient selon le milieu. Les facteurs de cette régression identifiés par cette recherche sont spécifiques à chaque classe d'occupation. Les facteurs que les travaux antérieurs ont cités, sont l'agriculture, la poussée démographique, la carbonisation, l'exploitation forestière, les feux de végétation. Mais cette recherche a complété la saliculture, la pêche, l'artisanat et le bois énergie. Ces nouveaux facteurs cités sont en fonction du type d'écosystèmes en place. Ces nouveaux facteurs sont dus à la présence des forêts de mangroves surtout qui sont beaucoup utilisées dans la saliculture, l'artisanat et la pêche. D'emblée, la perte du couvert végétal et surtout des écosystèmes des mangroves va déséquilibrer l'écosystème des zones humides, les berges des cours d'eau, la destruction des habitats des oiseaux, des poissons, amplifier les érosions et surtout les impacts seront importants sur les activités socioéconomiques du secteur d'étude.

Au sud du Bénin, c'est l'urbanisation qui constitue le véritable facteur de la régression des formations naturelles. Compris comme tel, les formations naturelles notamment les prairies et les mangroves ont été les écosystèmes les plus vulnérables entre 2005 et 2021 à l'urbanisation. C'est dans ce sens que Mbevo *et al.*, (2015), expliquent que face aux changements climatiques et leurs impacts sur le milieu côtier, les écosystèmes de mangrove apparaissent particulièrement vulnérables. La dynamique marine, l'érosion côtière et les pressions anthropiques sont autant de menaces qui pèsent sur ces écosystèmes. Pour le même auteur, la nécessité de réguler l'installation des pêcheurs et la conception des technologies modernes de fumage de poisson s'impose, afin de limiter la consommation en bois de mangrove. Les savanes arbustives sont plus exposées et vulnérables aux feux de végétation et les agglomérations et les champs sont plus exposés aux inondations à cause du niveau d'altitude par rapport à la mer.

Conclusion

La présente étude a évalué les changements spatio-temporels de l'occupation des terres des arrondissements de Grand-Popo et de Avlo au Bénin par application des enquêtes de terrain, des outils de la télédétection et de la cartographie. Elle a révélé qu'au sud du Bénin et précisément dans les arrondissements de Grand-Popo et Avlo, les changements d'utilisation des terres induits par les pressions anthropiques ont participé fortement à la modification de la densité du couvert végétal. La demande de plus en plus importante des terres à construire liée à la croissance démographique et les feux de végétation ont entraîné une nette régression des écosystèmes forestiers et surtout des mangroves très fragiles. Les agglomérations, les champs et les biens matériels sont exposés aux inondations périodiques à cause de la dénivellation et des autres paramètres du milieu tels que la nature du sol, la pente, la pluie et le débordement des cours d'eau. Les phénomènes de déforestation et de dégradation de ces écosystèmes fragiles constituent une menace majeure pour la zone. Ces faits observés doivent réveiller l'attention des décideurs pour la prise de mesures de gestion et de restauration des mangroves dans le secteur d'étude. Les gestionnaires et les ONG devront se baser sur la gestion intégrée du territoire qui concilie la conservation et les activités économiques du milieu pour une planification efficace de l'occupation des terres afin de contribuer à réduire la déforestation et la dégradation de ces écosystèmes vulnérables, fragiles et irremplaçables.

Références bibliographiques

- Ahononga F. C., Gouwakinnou G. N., Biaou S. S. H., Biaou S., 2020.** Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015. Bois et Forêts des Tropiques, 346 : 35-50. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2020.346.a36295>
- Avakoudjo, J., Mama, A., Toko, I., Kindomihou, V., & Sinsin, B. (2014).** Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 8(6), 2608–2625.
- Bah, O. A., Kone, T., Yaffa, S., & Ndiaye, M. L., 2019.** Land Use and Land Cover Dynamics in Central River Region of the Gambia, West Africa from 1984 to 2017. American Journal of Modern Energy, 5(2), 5–18. doi: 10.11648/j.ajme.20190502.1
- Biaou S., Houéto O. F., Gouwakinnou G. N., Biaou Samadori Sorotori H., Awessou B., Tovihessi S. M., Tete R., 2019.** Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin ; Actes de la Conférence OSFACO 2019, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, pp 13-32.

- Bamba, I., Mama, A., Neuba, D. F. R., Koffi, K. J., Traore, D., Visser, M., Bogaert, J., 2008.** Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas Congo (République Démocratique du Congo). *Sciences & Nature*, 5, 49–60
- FAO., 2016.** Forêts et agriculture : défis et possibilité concernant l'utilisation des terres. Rome (Italie), 137p. ISBN : 978-92-5-209208-7 FAO. (2018). La situation des forêts du monde. Les forêts au service du développement durable, Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO,158 p.
- Hoang K. H., 2007.** Les changements de l'occupation du sol et ses impacts sur les eaux de surface dans le bassin versant : le cas du bassin versant de la rivière Càu (Viêt-nam), Doctorat dissertation, Université de Québec, Institut national de la recherche scientifique, 127p.
- ILWAC, DGPC et OSS, 2013.** Gestion intégrée de la terre et de l'eau pour l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au Mali ; Guide Méthodologique Cartographie de la vulnérabilité face aux risques climatiques au Mali, 38 p.
- Mama, A., Sinsin, B., Cannière, C. De, & Bogaert, J., 2013.** Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *TROPICULTURA*, 31(1), 78–88.
- Mamane, B., Amadou, G., Barage, M., Comby, J., & Ambouta, J. M. K., 2018.** Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (4) 1667-1687 doi :10.4314/ijbcs.v12i4.13.
- Mbevo Fendoung P., Tchindjang M., Fongzossie Fedoung E., 2015.** Analyse par télédétection de la vulnérabilité de la réserve de mangrove de Mabe face aux changements climatiques, entre 1986 et 2014, Territoire d'Afrique, pp 53-65.
- Météo-Bénin, 2020.** Base de données météorologiques du Sud Bénin de la station de Cotonou de 1985 à 2015. Cotonou, Bénin
- OSFACO, 2019.** Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique ; Actes de la conférence scientifique internationale, 13 – 15 mars 2019 Hôtel Azalaï, Cotonou, Bénin, 546 p.
- Ousséni, A., Gervais, E. C., & Dramane, I. (2016).** Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 108,10543–10552.
- Rasmussen L. V., Fagan M. E., Ickowitz A., Wood S. L. R., Kennedy G. et Powell B., 2020.** Forest pattern, not just amount, influences dietary quality in five African countries. *Global Food Security*, 25: 100331. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100331>.
- Sangne, C. Y., Sadaïou, Y., Barima, S., Bamba, I., & Doumé, A. N., 2019.** Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire) Dynamique forestière post-conflits armés de la Forêt classée du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). [VertigO] *La Revue Électronique En Sciences de l'environnement*, 15(3), 1-18.
- UNFCC, 2014.** Forests Action Statements and Action Plans. The New York Declaration on Forests. Climate summit 2014, United nations, 18 p. https://unfccc.int/sites/default/files/new-york-declarationon-forests_26-nov-2015.pdf
- Yuan F. K. E., Sawaya B. C., Loefehlz et Bauer M.E., 2005.** Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, Vol.98, n°2-3, pp317-328.