



**Université d'Abomey-Calavi**

**FA**culté des **S**ciences **H**umaines et **S**ociales

**(FASHS)**

**ANNALES DE LA FASHS**  
**Edition spéciale**

**Les Actes JPO 2023**

**Volume I**

**GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

**Décembre 2023**

**Adresse de contact**

Annales de la FASHS

*Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), 01 BP 526  
Cotonou, Rép. du Bénin, Tél./Fax +229 21360074*

**Adresse de soumission d'articles**

[annaes.fashs.uac@gmail.com](mailto:annaes.fashs.uac@gmail.com)

Toute reproduction, même partielle de cette revue est rigoureusement interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi 84-003 du 15 mars 1984 relative à la protection du droit d'auteur en République du Bénin.



## ANNALES DE LA FASHS

---

Revue publiée par la Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS)

### COMITE DE PUBLICATION

---

**Directrice de publication** : Professeure Monique OUASSA KOUARO

*Doyen de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS)*

**Rédacteur en Chef** : Professeur Charles Lambert BABADJIDE

*Vice-Doyen de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS)*

**Rédacteur en Chef-adjoint** : Dr (MC) Joseph P.N. SAHGUI, Vice Doyen FLASH ADJARRA

*Vice-Doyen de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH) Adjarra*

**Coordonnateur Délégué et Rapporteur scientifique** : Professeur Vincent O. A. OREKAN,  
*Chef Service Coopération, Planification et Communication de la FASHS*

**Secrétariat et mise en page** :

Dr (MC) Dieudonné A. AWO, *Chef Division Communication SCPC/ FASHS.*

Dr Friard HOUNDJI, *Secrétaire général de la FASHS*

Mme Miranda Audrey GNONLONFOUN, *Chef Service Informatique de la FASHS*

M. Habib ALLASANE, *Chef Secrétariat Administratif FASHS*

M Abel ADEGBOLA, *Secrétariat Particulier du Doyen*

Dr Clément ADJIRE, *Assistant au LABEE*

Drs Josiane Nadège KPOHA, *LABEE*

### CONSEIL SCIENTIFIQUE

---

N'BESSA Benoît (Professeur Emérite), HOUNDÉNOU Constant (Professeur Titulaire), HOUNSOUNON-TOLIN Paulin (Professeur Titulaire), CLÉDJO Placide (Professeur Titulaire), DOSSOU GUÈDÈGBÉ Odile (Professeure Titulaire), OGOUWALÉ Euloge, (Professeur Titulaire), TENTÉ A.H. Brice (Professeur Titulaire), VISSIN Expédit Wilfrid (Professeur Titulaire), AMOUZOUVI H. Dodji (Professeur Titulaire), KPATCHAVI Adolphe (Professeur Titulaire), TOHOZIN Antoine Yves (Professeur Titulaire), BAKO-ARIFARI Nassirou (Professeur Titulaire), FOURN Elisabeth (Maître de Conférences), ORÉKAN O. A. Vincent (Professeur Titulaire), ADANHOUNME Eustache (Maître de Conférences), ODOULAMI Léocadie (Professeure Titulaire), AZONHE Thierry (Professeur Titulaire), DJOSSOU SEGLA Ariane (Maître de Conférences), GIBIGAYE Moussa (Professeur Titulaire), HEDIBLE C. Sidonie (Professeure Titulaire), HOUNGNIHIN Roch A. (Maître de Conférences), IMOROU Abou-Bakari (Professeur Titulaire), OUASSA KOUARO Monique (Professeure Titulaire), TCHIBOZO Romuald (Professeur Titulaire), TOKO I. Ismaëla (Professeur Titulaire), VIGNINOU Toussaint (Professeur Titulaire), YABI Ibouaïma (Professeur Titulaire), de CHACUS Sylvie (Maître de Conférences), HOUNMENOUE Jean-Claude (Professeur Titulaire), HOUÉSSOU Patrick (Professeur Titulaire), N'DAH Didier (Maître de Conférences), TOSSOU Rogatien (Professeur Titulaire), ABDOU Mohamed (Professeur Titulaire), TCHIBOZO Eric Alain M. (Professeur Titulaire), TOKO IMOROU Ismaël (Professeur Titulaire), ETENE Cyr Gervais (Professeur Titulaire), DOSSOU-YOVO Coffi Adrien (Professeur Titulaire), HOUÉNOUE Didier Marcel (Professeur Titulaire), AHOLOU Cyprien (Professeur Titulaire), NANGBE Florentin (Maître de Conférences), FOURN Elisabeth (Maître de Conférences), MEDEGNON Désiré (Maître de Conférences), ASSOGBA Raymond C. (Maître de Conférences), DENON Barnabé (Maître de Conférences), HOUINSOU Auguste T. (Maître de Conférences), CHABI IMOROU Azizou (Maître de Conférences), BALOUBI David M. (Maître de Conférences), SAHGUI Pomidiri Joseph N. (Maître de Conférences), BOTOYIYE Geoffroy A.D. (Maître de Conférences),



HOUEDENOU Florentine A. (Maître de Conférences), COOVI Gilbert (Maître de Conférences), AKINDELE Akibou A. (Maître de Conférences), TOWOU Alain Corneille (Maître de Conférences), ALI Rachad K. F. M. (Maître de Conférences), CHOGOLOU ODOUWO Guillaume A. (Maître de Conférences), ALLAGBE Benjamin (Professeur Titulaire), GBENOU Victorin V. (Maître de Conférences), KOMBIENI Hervé A. (Maître de Conférences), KOUIN Barnabé J. (Maître de Conférences), OGOUWALE Romaric (Maître de Conférences), TAKPE Auguste K. (Maître de Conférences), NAPPORN Clarisse K. J. (Maître de Conférences), TEBA Sourou Corneille (Maître de Conférences).

### **COMITE DE LECTURE FASHS**

---

Professeur VISSOH A. Sylvain, Chef du Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT)

Dr (MC) ABDOULAYE Djafarou, Chef Adjoint du Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT)

Dr (MC) TINGBE-AZALOU Emilia, Cheffe du Département de Sociologie et Anthropologie (DS-A)

Dr (MA) BENON Monra Abdoulaye, Chef Adjoint du Département de Sociologie et Anthropologie (DS-A)

Dr (MC) EFFIBOLEY Patrick Emery, Chef du Département d'Histoire et Archéologie (DHA)

Dr (MA) ADJIVESSODE Patrick Joël, Chef Adjoint du Département d'Histoire et Archéologie (DHA)

Dr (MC) AKODJETIN Euloge, Chef du Département de Philosophie (DPH)

Dr (MA) BONON Kléber, Chef Adjoint du Département de Philosophie (DPH)

Dr (MC) TOSSOU TATA Jean Chef du Département de Science de l'Education et de la Formation (DSEF)

Dr (A) ZANOOU Kouassi Valentin, Chef Adjoint du Département de Science de l'Education et de la Formation (DSEF)

Dr (MC) ZOUNON Ornheilila, Cheffe du Département de Psychologie

Dr (MC) de CHACUS Sylvie, Coordinatrice PTO

### **BUT ET PUBLICATION**

---

Les annales de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales (Nouvelle édition) est une revue scientifique annuelle qui vise à publier des articles originaux dans les domaines des sciences géographiques, sociologiques, psychologiques, de l'éducation, historique et philosophique. La présente édition, *Les Actes JPO 2023*, publie uniquement les communications présentées lors des **Journées Portes Ouvertes de la FASHS**, dans le cadre du cinquième anniversaire de sa création. Les articles sont rédigés en Français ou en Anglais avec un résumé détaillé en une demi-page au maximum. Les auteurs bénéficient du tiré à part de leurs articles après publication du numéro.

### **FRAIS DE PUBLICATION**

---

La publication de tout manuscrit (édition ordinaire) est conditionnée par le règlement préalable des frais de publication par les auteurs. Les frais de publication sont fixés à 50000 FCFA ou 77 € par manuscrit accepté.

**ISSN : 1840-8583**

Dépôt légal n° 10104 du 16 Janvier 2018. Bibliothèque nationale du Bénin, 1<sup>er</sup> trimestre



## SOMMAIRE

Titres	Pages
<p><b>DIVERSITE ET IMPORTANCE SOCIO-ECONOMIQUE DES PLANTES ORNEMENTALES DANS LA VILLE DE PORTO-NOVO</b></p> <p>GBESSO Florence Koussi</p>	7
<p><b>DIVERSITE ET CRITERES DE CHOIX DES ESPECES LIGNEUSES AUTOCHTONES DANS LES ESPACES VERTS D'ACCOMPAGNEMENT DE LA VILLE DE OUIDAH (BENIN)</b></p> <p>OSSENI Abdel Aziz ; MEGNIKPA Liliane Symphorose</p>	24
<p><b>POPULATION DE L'AGGLOMERATION DU GRAND NOKOUE (SUD BENIN) ET PERCEPTION DU RISQUE D'INONDATION</b></p> <p>HOUESSINON David Roméo B., TCHIBOZO Eric Alain M. &amp; YABI Ibouaïma</p>	40
<p><b>EFFETS DES CANTINES SCOLAIRES SUR LE RENDEMENT DES APPRENANTS DES ECOLES PRIMAIRES PUBLIQUES DE LA COMMUNE D'ABOMEY</b></p> <p>KOMBIENI Hervé A.</p>	57
<p><b>EFFETS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION ET DE LA COMMERCIALISATION DU RIZ DANS L'ARRONDISSEMENT DE OUEDEME</b></p> <p>KADJEBIN Toundé Roméo Gislain, EGBETOWOKPO Kokou Mawussi, TOHOZIN Antoine Yves</p>	77
<p><b>EXTERNALITES POSITIVES DES ZONES HUMIDES : CAS DU LAC NOKOUE AU BENIN</b></p> <p>MOUZOUN Séraphin</p>	99
<p><b>EFFETS DES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LE CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'ARRONDISSEMENT DE ATOME (COMMUNE D'APLAHOUE) AU BENIN</b></p> <p>CHABI Ayédèguè Biaou Philippe, WOKOU Guy, BADAMELI Pyalo Atina, ETENE Cyr Gervais, YABI Ibouaïma, OGOUWALE Euloge, et VISSIN W. Expédit</p>	110



<b>CONTRAINTES LIÉES À L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DANS L'ARRONDISSEMENT D'AGOUNA</b>  GBAÏ Nofodo Innocent, ABDOULAYE Djafarou, AKOBI Rodrigue, TENTE Brice A. H.	<b>125</b>
<b>CARTOGRAPHIE DE LA BIOMASSE DE MANGROVE A AVLO PAR TELEDETECTION RADAR</b>  SOSSOU Mariano Davy, ABDOULAYE Djafarou, OREKAN O. A. Vincent, ZANVO M. Z. Serge	<b>140</b>
<b>EFFICACITE DE LA MISE EN ŒUVRE DES OUTILS DE PLANIFICATION ET DE DEVELOPPEMENT LOCAL : CAS DU PLAN DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL (PDES) ET DU SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT COMMUNAL (SDAC) DE LA COMMUNE DE KPOMASSE AU SUD-BENIN</b>  AGBO Finagnon Elvis Constant, QUENUM Irené Eustache, GNELE José Edgard, DOSSOU GUEDEGBE V. Odile Viliho	<b>160</b>
<b>EFFET DE LA CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE SUR L'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE LOKOSSA</b>  AISSI Jean-Roïtinos, DAHOUE K, Eusèbe, TCHAOUSSI Foussemi Ayouba, MONTCHO Bruno, ABDOULAYE Djafarou	<b>178</b>
<b>MOBILITÉ RÉSIDEN TIELLE ET RECOMPOSITION DES ESPACES PÉRIURBAINS : LE CAS D'AZITO DANS LA COMMUNE DE YOPOUGON (ABIDJAN, COTE D'IVOIRE)</b>  KOUASSI Patrick Juvet	<b>192</b>
<b>ANALYSE DES OCCURRENCES DES EXTREMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE BASSIN DU ZOU A ATCHERIGBE</b>  AVAHOUNLIN Ringo F., KOUDERIN A. Lucie, MITCHOZOUNOU Renaud, KELOME Carine Nelly, ALAMOU Eric, VISSIN Expédit W.	<b>208</b>
<b>AMENAGEMENT ET ACTIVITES ECONOMIQUES BALNEAIRES A JACQUEVILLE</b>  GOZE Thomas	<b>221</b>



<b>CONTRAINTES HYDROCLIMATIQUES ET STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE ADAPTEES DANS LA PLAINE D'INONDATION DU FLEUVE NIGER DANS LA COMMUNE DE MALANVILLE AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)</b>	<b>237</b>
AZIAN Déhalé Donatien, SODJI Jean, SOVI Emmanuel et GIBIGAYE Moussa	
<b>DIVAGATION DES ANIMAUX ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : LE CAS DE LA VILLE DE PORTO- NOVO</b>	<b>255</b>
HOUNKPATIN Agossou Cosme Z. Vincent	
<b>PRATIQUES DES ACTEURS ET GOUVERNANCE FONCIERE DANS L'ESPACE PERIURBAIN DE LA COMMUNE D'AVRANKOU (SUD BENIN)</b>	<b>268</b>
TOGNON Mivossin Philippe	
<b>INSTRUCTIONS AUX AUTEURS</b>	<b>286</b>



pp. 140 – 159

## CARTOGRAPHIE DE LA BIOMASSE DE MANGROVE A AVLO PAR TELEDETECTION RADAR

**SOSSOU Mariano Davy<sup>1 & 2</sup>, ABDOULAYE Djafarou<sup>1</sup>, OREKAN O. A. Vincent<sup>1</sup>, ZANVO M. Z. Serge<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>. Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE), Institut de Cadre de Vie (ICAV), Université d'Abomey-Calavi (UAC)

<sup>2</sup>. Chaire Internationale de Physique, Mathématique et Applications (CIPMA-Chaire UNESCO), Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC)

<sup>3</sup>. Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières (LABEF), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC)

\* Auteur correspondant, E mail : marianosossou@gmail.com

### Résumé

À l'instar des autres étendues de mangrove du littoral béninois, celle de Avlo est mal maîtrisée, régresse sous le poids des actions anthropiques et libère ainsi une importante quantité de carbone séquestré dans l'atmosphère. Une cartographie de la biomasse aérienne des mangroves de Avlo a été donc réalisée pour aider à évaluer la contribution de ces écosystèmes forestiers à la lutte contre les impacts du changement climatique. Pour y arriver les archives de télédétection Sentinel 1A accompagnés de données in situ ont été utilisés. Sur le terrain, des placettes de 10 x 10 m ont été installées, les informations relatives au taxon, à la hauteur et au dbh des plants de mangrove ont été collectées. Le radar s'illustrant comme un produit de télédétection permettant d'obtenir les valeurs de biomasse, elle a subi les traitements successifs que sont le calibrage, les corrections radiométrique et géométrique et le despeckling pour générer la quantité de biomasse de mangrove dans l'arrondissement d'Avlo. Pour les trois classes de mangroves identifiées sur le terrain (*Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans*, mixte), les valeurs de biomasse spatialisées varient en 0,02 et 18,64 tonnes. Une biomasse totale de 53114 tonnes a été estimée pour 518,62 ha de mangroves, avec les *Rhizophora racemosa* mobilisant 37815 tonnes sur une superficie de 373,44 ha. La carte de la biomasse des mangroves d'Avlo servira de référence pour mener des actions en vue de la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+) de mangroves à Avlo.

**Mots clés :** Mangrove, biomasse, télédétection radar, Avlo



## Abstract

*Like the other mangrove areas of the Beninese coast, that of Avlo is poorly controlled, regressing under the weight of anthropic actions and thus releasing a significant amount of carbon sequestered in the atmosphere. A mapping of the aerial biomass of the mangroves of Avlo was therefore carried out to help assess the contribution of these forest ecosystems to the fight against the impacts of climate change. To achieve this, Sentinel 1 remote sensing products accompanied by in situ data were used. In the field, 10 x 10 m plots were installed, and information on the taxon, height and dbh of mangrove plants was collected. As the radar is a remote sensing product allowing to obtain biomass values, it underwent successive treatments such as calibration, radiometric and geometric corrections and despeckling to generate the quantity of mangrove biomass in the Avlo district. For the three classes of mangroves identified in the field (*Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans*, mixed), the spatialized biomass values vary between 0.02 and 18.64 tons. A total biomass of 53114 tons was estimated for 518.62 ha of mangroves, with *Rhizophora racemosa* mobilizing 37815 tons over an area of 373.44 ha. The Avlo mangrove biomass map will serve as a reference for actions to reduce emissions from deforestation and forest degradation (REDD+) of mangroves in Avlo.*

**Keywords :** *Mangrove, biomass, radar remote sensing, Avlo*

## Introduction

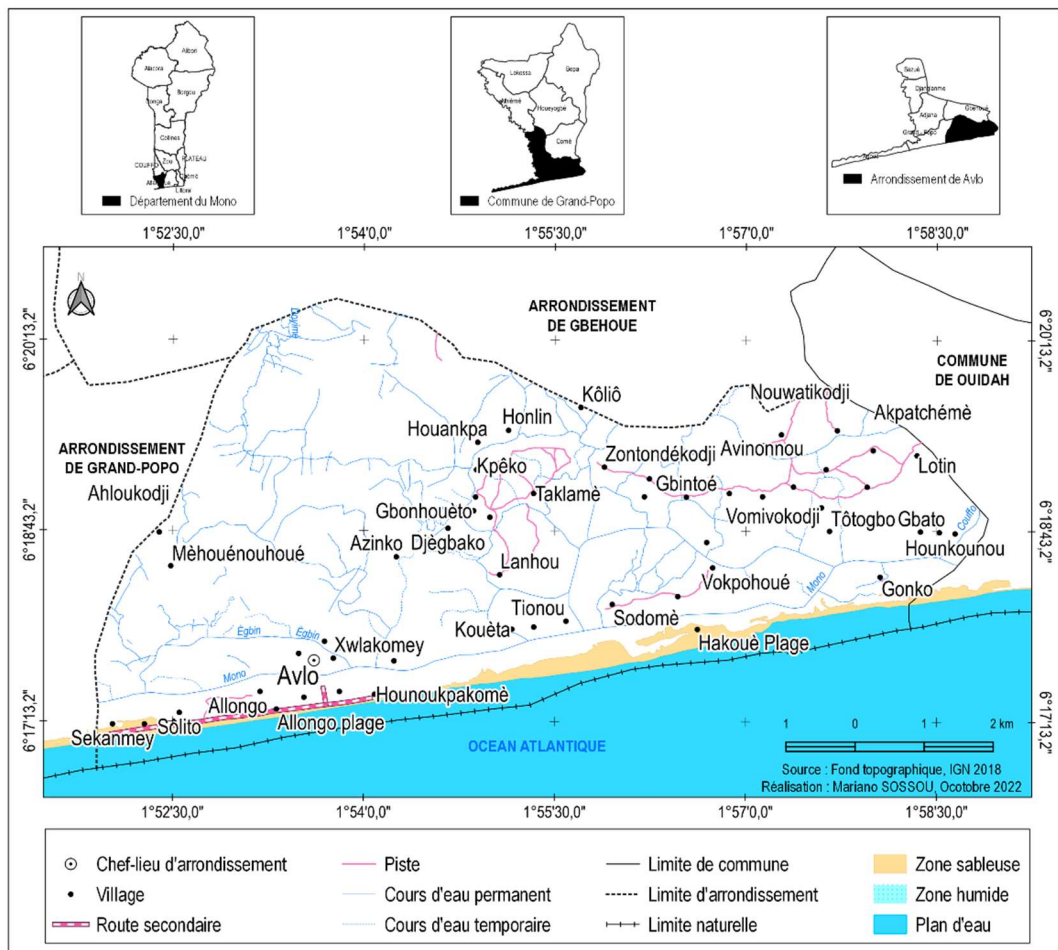
Les forêts de mangroves sont l'un des écosystèmes tropicaux les plus menacés au monde (Ahmed and Glaser, 2016). Plus de 3,6 millions d'hectares de mangroves ont disparu entre 1980 et 2005 au bénéfice de l'agriculture, de l'aquaculture, de la surexploitation, de la pollution, du tourisme et de l'urbanisation (Ahmed et al., 2017). Pourtant, les mangroves prennent de l'avance sur les autres écosystèmes côtiers et marins, les marais salants et les herbiers marins quand il s'agit de séquestration du carbone bleu. On estime que chaque hectare de sédiments de mangrove contient quelques 700 tonnes de carbone par mètre de profondeur (Pollisco and Simorangkir, 2013). Les initiatives REDD+ permettraient de restaurer les mangroves, ce qui augmenterait les possibilités d'adaptation au changement climatique grâce à la séquestration du carbone bleu (Ahmed et al., 2017). Toutefois, l'apport de la REDD+ ne saurait être efficace sans une meilleure connaissance de l'étendue des forêts de mangrove. La recherche d'informations actualisées sur l'étendue et l'état de ces écosystèmes est une aide essentielle à la gestion et aux processus d'élaboration des politiques et de prise de décision (Kuenzer et al., 2011). Les outils de surveillance et de



cartographie à grande échelle qui sont disponibles grâce à la télédétection sont les seuls capables d'aider à mesurer l'étendue des forêts de mangrove. Même si la question de la délimitation des mangroves revient très souvent quand il s'agit de cartographie de cet écosystème (Taureau, 2017), la réponse aux réalités climatiques actuelles, pose comme défi de pouvoir spatialiser la biomasse et le stock de carbone contenu dans les mangroves. Des estimations fiables de l'accumulation de la biomasse dans les mangroves sont essentielles pour évaluer le rendement des produits commerciaux des forêts, et pour le développement de bonnes pratiques sylvicoles (Kairo *et al.*, 2009). De nombreuses études ont estimé la biomasse des mangroves au cours des 30 dernières années (Pham *et al.*, 2017). Les mesures de terrain sont la manière la plus précise de collecter des données de biomasse, mais cette méthode est généralement très coûteuse, longue, laborieuse et difficile à appliquer dans des zones éloignées et étendues (Hastuti *et al.*, 2017). C'est dans ce contexte que la télédétection s'illustre pour amoindrir les contraintes d'accès à l'information. Elle offre l'avantage de fournir les informations nécessaires rapidement, complètement et à un coût relativement faible. La couverture nuageuse persistante dans les régions tropicales et subtropicales fait que l'imagerie radar est une option appropriée par rapport aux données optiques de télédétection (Kuenzer *et al.*, 2011) pour la cartographie des mangroves. À plus grande échelle, son utilisation semble recommandée pour la cartographie de la biomasse à cause de sa capacité à pénétrer le couvert forestier à une certaine profondeur (Loubota Panzou *et al.*, 2016). Pour cela, plusieurs récentes études en Afrique tropicale, on fait usage du radar pour l'estimation de la biomasse. Avlo est un arrondissement de la commune de Grand-Popo au sud-ouest du Bénin. Dans cet arrondissement, un cadre juridique pour la gestion des mangroves est inexistant, ce qui conduit à un prélèvement massif et à une coupe anarchique des palétuviers. Face à l'importante contribution des mangroves à la séquestration du carbone, il est important d'agir pour leur sauvegarde. Mais puisque toute sauvegarde et toute autre action de protection nécessite en amont une maîtrise de la biomasse et du stock de carbone mangroves, cette étude trouve toute son sens.

## 1. Présentation du milieu de recherche

La recherche est menée sur les mangroves du littoral béninois et plus précisément sur ceux de l'arrondissement d'Avlo. Ce dernier est l'un des sept arrondissements de la commune de Grand-Popo situé dans le département du Mono au Bénin. La figure 1 présente situation géographique de l'arrondissement d'Avlo dans les subdivisions administratives successives du Bénin ainsi que les informations topographiques observables à la surface de cet arrondissement.

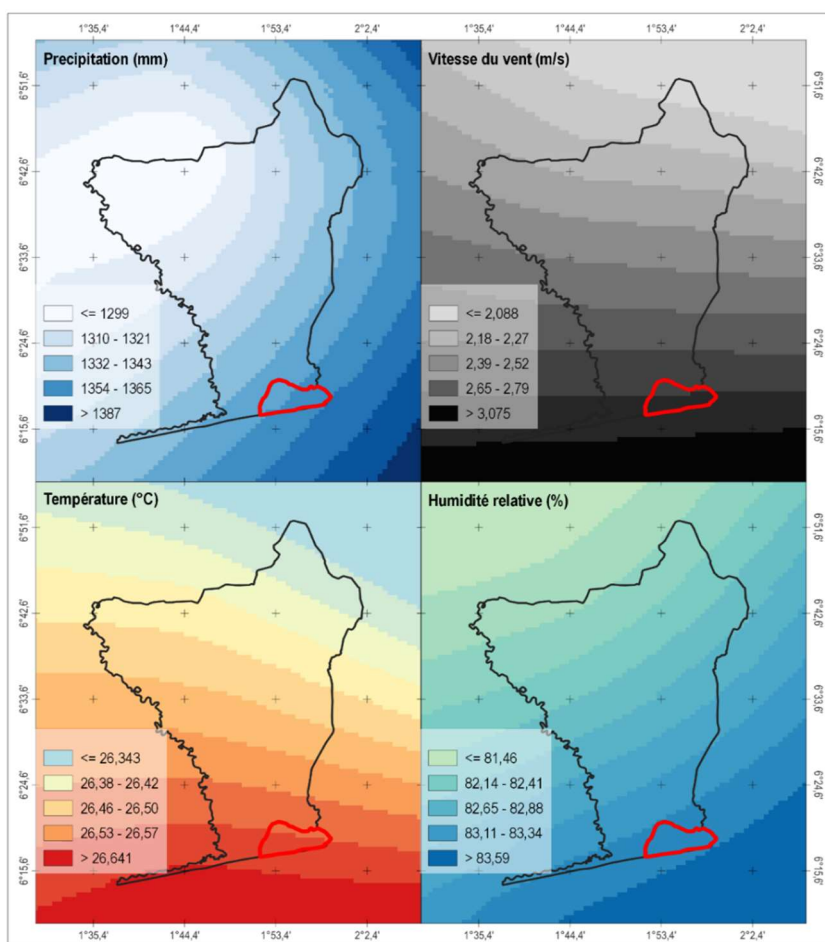


**Figure 1 : Situation géographique de l'arrondissement de Avlo**

Occupant la partie sud-est de la commune de Grand-Popo sur une superficie d'environ 56 km<sup>2</sup>, Avlo s'étend entre 1°50' et 1°60' longitude est et 6°16 et 6°21 latitude nord. Il est limité au nord par l'arrondissement de Gbéhoué, au sud par l'océan atlantique, à l'ouest par l'arrondissement de Grand-Popo et à l'est par la commune de Ouidah. Selon le RGPH 4, six villages composent cet arrondissement, il s'agit de Allongo, Avlo-Centre, Avlo-Plage, Hakoué, Kouéta et Kpéko. La savane boisée, la savane arborée et arbustive, la formation marécageuse, le plan d'eau, le sable, les champs et jachères sous palmiers à l'huile, les champs et jachères et l'agglomération sont les unités d'occupation observables à la surface de l'arrondissement d'Avlo (Ahononga *et al.*, 2021). Bien évidemment les forêts de mangroves se retrouvent aux abords des plans d'eau et dans les zones marécageuses. La présence des agglomérations est un indicateur des pressions anthropiques que subissent les forêts de mangrove et qui entraînent

leur régression. La zone humide occupe 2785,07 ha soit 53 % de la superficie totale de l'arrondissement de Avlo. C'est une nouvelle fois le signe que cet arrondissement est lacustre. Outre la savane arborée et arbustive qui prend aussi une grande proportion, l'agglomération constitue 5,99 % de l'arrondissement pour une superficie de 314 ha (Ahononga *et al.*, 2021).

Avlo est influencé par un climat subéquatorial de type guinéen. Il est marqué par quatre saisons, une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars, une grande saison de pluies de mi-mars à mi-juillet, une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre et une petite saison de pluies de mi-septembre à mi-novembre. La figure 2 montre le comportement de quelques paramètres climatiques à l'échelle du département du Mono. Ces paramètres sont la précipitation, la vitesse du vent, la température et l'humidité relative.



**Figure 2 :** Paramètres climatiques du département du Mono

Source ; WordClim 2022

Le maximum des précipitations s'observe dans le courant du mois de juin durant la grande saison pluvieuse qui court de mars à juillet. Elles peuvent aller à 1380 mm. Il faut reconnaître que ces dernières années, le dérèglement climatique modifie le cycle global de l'eau rend moins précises les estimations climatiques. Compte tenu de sa proximité avec l'océan atlantique, les vitesses de vent à Avlo ne sont pas des moindres, elles vont au-delà de 2,5 m/s et peuvent atteindre 3 m/s. Il faut préciser que la vitesse moyenne du vent sur la côte béninoise est de 4,4 m/s avec des valeurs maximales atteignant 5,6 m/s entre juillet et août. Comme sur toute la côte, la température de l'air varie très peu. À Avlo, elle est de 26,5 °C. Dans le même arrondissement, l'humidité relative est de l'ordre de 83 %.

## 2. Matériel et méthodes

La nécessité d'estimer le stock de carbone et de maîtriser son extension spatiale n'est plus à démontrer qu'il s'agisse des forêts de mangrove ou de n'importe quelle forêt tropicale. Les données utilisées et les différents traitements qui ont permis d'aboutir à la réalisation de la carte de biomasse des mangroves de Avlo sont présentés ici.

### 2.1. Données planimétriques utilisées

La télédétection a le mérite d'offrir une vue synoptique de toutes les surfaces terrestres qui portent un intérêt pour l'homme. Des années durant, les images optiques ont été celles utilisées dans les travaux liés à la végétation. Mais ces dernières années, c'est l'imagerie radar qui ont suscité un intérêt croissant dans les analyses de biomasse végétale. Cela est dû à sa capacité à pénétrer le couvert forestier jusqu'à une certaine profondeur. Dans le cadre de ce travail, une image Sentinel 1A a été utilisée. Téléchargée sur le site <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, l'identification précise de la scène est la suivante :

S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20220314T181008\_20220314T181033\_042321\_050B7B\_605F. Les caractéristiques précises de l'image sont indiquées dans le tableau I.

**Tableau I** : Caractéristiques de l'image satellitaire Sentinel 1

ID	Résolution spatiale	Date d'acquisition	Fréquence	Polarisations
S1A_IW_GRDH_1SDV	10 m	14/03/2022	Bande C (5,405 GHz)	VV - VH

À la lecture des informations du tableau IV, il faut retenir que l'image radar utilisée provient de la bande C et possède une résolution spatiale de 10 mètres.

Les polarisations présentées, VV et VH sont très sensibles à la biomasse forestière. Pour réussir la cartographie de la biomasse, l'imagerie radar a toutefois été complétée par des paramètres dendrométriques des mangroves des relevés installés sur le terrain.

## 2.2. Collecte des paramètres forestiers

Des travaux d'inventaire forestier ont complété les résultats de traitement d'images satellitaires. À cet effet, 17 placettes de 100 m<sup>2</sup> ont été installées dans le secteur étudié. Une première prospection a été réalisée et a permis de sillonner le secteur pour identifier les lieux propices à l'installation des placettes. Au laboratoire, l'espace a donc été maillé et les coordonnées des placettes récupérées et enregistrées dans le GPS. Les paramètres dendrométriques des mangroves ont été collectés au niveau de chaque placette. Il s'agit entre autres du nombre d'espèces, du diamètre à hauteur de poitrine des espèces (dbh), des coordonnées des centroïdes des placettes, etc. En guise de matériel de collecte, une barque a été utilisée pour le déplacement sur le fleuve. Des fiches d'inventaires ont permis de recueillir les informations. D'autres outils tels que le coupe-coupe, le pentadécamètre et le clinomètre et des bottes ont été utiles durant la collecte. La photo qui suit illustre la collecte des paramètres forestiers sur le terrain.



**Photo 9** : Prise du diamètre d'un plant d'*Avicennia germinans*

**Source** : Travaux de terrain, Décembre 2022

Il est aisément constaté avec la photo 1, la mesure du diamètre d'un palétuvier à *Avicennia germinans* dans l'une des placettes. Il faut préciser que les services d'une guide autochtone ont été sollicités pour les déplacements à travers les mangroves. La maîtrise du secteur par ce dernier a permis d'atteindre certaines placettes difficiles d'accès, par des circuits vraiment insoupçonnés.

### 2.3. Traitement des données satellitaires et de terrain

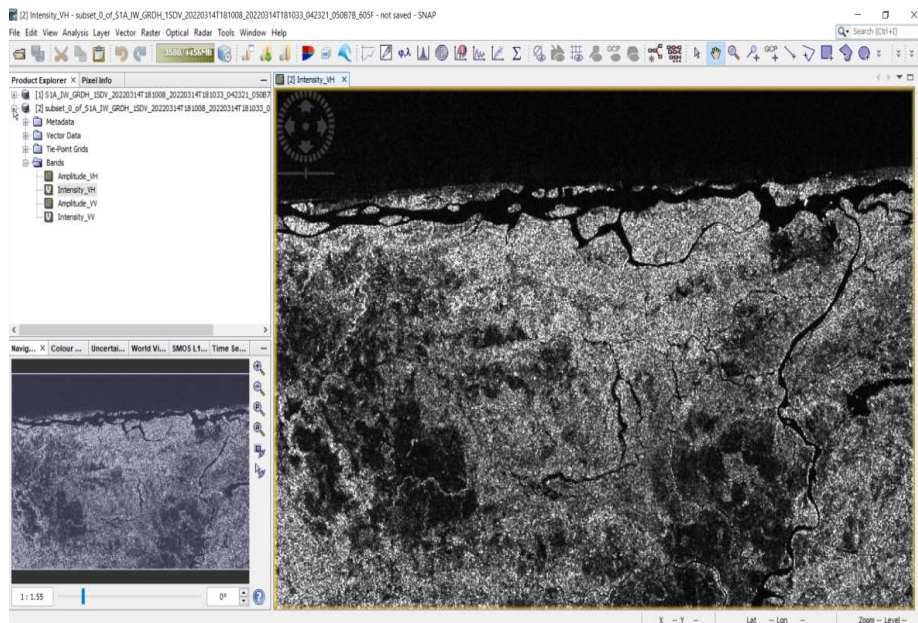
Il est décrit ici dans un premier temps, le traitement de l'image radar qui a permis d'obtenir les valeurs de biomasse de Avlo. Dans un second, le traitement des informations collectées sur le terrain a aussi été présenté.

- **Étapes de traitement de l'image Sentinel 1**

Tout comme dans le cas des images optiques de télédétection, les images radar subissent aussi un prétraitement. Le prétraitement part de l'extraction de la zone concernée à la conversion en décibels en passant par la calibration, les corrections radiométrique et géométrique et le filtrage du bruit. Le logiciel SNAP de l'ESA a été utilisé dans le cadre de cette recherche pour le prétraitement de l'image radar. SNAP est une boîte à outils open source utilisé pour la lecture, le traitement, l'analyse et la visualisation des images satellitaires et en particulier ceux radar.

- **Extraction du secteur étudié (subset)**

Bien avant d'arriver aux étapes de prétraitement les plus sensibles, il est recommandé d'extraire la zone d'intérêt sur une image radar. Puisque les traitements radar sollicitent fortement les ressources de l'ordinateur, extraire la zone au début permettra d'optimiser les capacités et d'accélérer les traitements de l'ordinateur. La figure 3 montre l'extraction du secteur d'Avlo depuis le logiciel SNAP.



**Figure 3 :** Extraction du secteur d'Avlo dans le logiciel SNAP



La figure 3 présente un zoom sur l'arrondissement d'Avlo. La correction géométrique n'étant pas encore appliquée, il est constaté une orientation contraire à la réalité de l'image. Les étapes de traitement à venir corrigeront cela.

### ➤ **Calibration**

Les images de la gamme GRD de Sentinel 1 sont des produits dont les pixels n'ont pas été objets de correction radiométrique. Par la calibration, l'image radar est normalisée vers des valeurs qui permettent de l'exploiter aisément pour diverses applications. Ce traitement vient corriger l'intensité du signal en tenant compte des caractéristiques du capteur et de l'angle d'incidence local. Pour la calibration, la polarisation VH a été privilégiée car elle présente une meilleure fiabilité pour l'estimation de la biomasse végétale.

### ➤ **Correction radiométrique**

La correction radiométrique a pour but de corriger l'impact de la topographie sur l'image radar. Cette manipulation peut être considérée comme un aplanissement radiométrique du terrain. Dans le menu *Radar* et le sous-menu *Radiometric*, la commande *Radiometric Terrain Flattening* permet de procéder à cette correction.

### ➤ **Correction géométrique**

Jusqu'à ce niveau, l'image peut être encore mal positionnée par rapport à la réalité du terrain. Dans notre cas précis, l'orientation était encore incorrecte avec la mer qui se retrouvait au nord. La correction géométrique vient repositionner l'image qui était encore en géométrie de visualisation radar (distance oblique) dans un cadre correspondant à la réalité. À ce niveau, il est important de faire intervenir le DEM et la projection géographique du milieu d'intérêt pour avoir une correction géométrique optimale. Il suffit juste de cocher l'option DEM dans les paramètres pour que le logiciel SNAP se charge de le télécharger et de le considérer pendant le processus de correction. La projection dans notre cas est le WGS 84 / UTM zone 31 N.

### ➤ **Filtrage du bruit (Speckle)**

Sur une image radar, chaque pixel contient un signal qui renvoie aux rétrodiffusions d'un grand nombre de réflecteurs présent à surface captée. Le nombre élevé de réflecteurs crée donc des interférences entre les signaux rétrodiffusés, ce qui crée le chatoiement ou encore effet Speckle constaté sur les images radar. Le filtrage vient donc atténuer ses bruits pour rehausser la lisibilité de l'image. De nombreux filtres à intensité diverse existent dans le logiciel SNAP. Celui utilisé dans ce cas est le filtre de Lee avec comme taille de cellule 5 X 5.



### ➤ Conversion de l'amplitude linéaire en décibels (dB)

La dernière étape du prétraitement des images Sentinel 1, revient à transformer les coefficients de rétrodiffusion en décibels dB en utilisant une transformation logarithmique.

$$\sigma^0 [dB] = 10 \times \log_{10}(DN)^2 + CF \text{ (Shimada et al., 2009)}$$

Avec  $\sigma^0$  comme coefficients de rétrodiffusion et  $CF$  est le facteur de calibration. Pour les polarisations HH et HV,  $CF = -83$  dB. L'équation convertit les valeurs linéaires DN de chaque pixel en  $\sigma^0$  correspondant aux décibels (dB). Cette conversion est aussi indiquée pour pouvoir continuer le traitement de l'image dans un autre logiciel de télédétection au cas où cela intéresserait.

### ➤ Calcul de la biomasse

L'image radar convertie en décibels a été appelée dans le logiciel QGIS pour le calcul de la biomasse. Plusieurs équations allométriques reliant la biomasse de mangroves à la rétrodiffusion radar existe. Celle utilisée provient de Simard, 2019. et s'applique à l'image radar convertie en décibels ( $\sigma^0$ ).

$$AGB = 0.5 * 10 * (40.2 * 10^{(\frac{RasterImage}{10})})$$

*RasterImage* n'est rien d'autre que l'image précédemment prétraitée dans le logiciel SNAP et converti en décibels. La biomasse s'exprime ici en tonne (t).

Une panoplie de travaux scientifiques a montré que la teneur en carbone varie entre 0,47 et 0,51. Ici, la teneur en carbone de la biomasse totale sera obtenue en la multipliant par le facteur de conversion qui est égale à 0,475 selon les recommandations de Metz and IPCC, 2005.

### • Traitement des données d'inventaire floristique

À partir des données dendrométriques et floristiques, la biomasse a été calculé. À cet effet, les équations allométrique de Komiyama et al., 2005 pour l'estimation de la biomasse aérienne et racinaire ont été utilisée et se présentent comme suit.

$$W_{agb} = 2.251pD^{2.46}$$

$$WR = 0.1999pD^{2.22}$$

Avec ***W<sub>agb</sub>*** est la biomasse aérienne (kg)

***WR*** est la biomasse racinaire (kg)

***p*** la densité spécifique de l'espèce

***D*** le diamètre à hauteur de poitrine

## 2.4. Évaluation de la performance du calcul de biomasse

Pour évaluer la performance et comparer aux données in situ, les résultats de la méthode d'extraction de la biomasse de mangrove depuis l'image radar, la racine de l'écart quadratique moyen (RMSE) et le coefficient de détermination ( $R^2$ ) ont été utilisés (Pham et al., 2017, p. 8). Ces équations ont été très souvent utilisées pour évaluer l'écart entre les résultats observés et ceux prédits.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{(i=1)}^n \frac{(ye_i - ym_i)^2}{n}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ye_i - \bar{ye})(ym_i - \bar{ym})}{\sum_{i=1}^n (ye_i - \bar{ye})^2 (ym_i - \bar{ym})^2}$$

$ye_i$  est la valeur de biomasse estimée à partir du modèle radar

$ym_i$  est la valeur de biomasse mesurée sur le terrain,

$n$  est l'échantillon total utilisé

$ye$  et  $ym$  sont respectivement les valeurs moyennes de la biomasse estimée et de la biomasse mesurée.

## 3. Résultats

### 3.1. Structure et composition des forêts de mangroves de Avlo

L'échantillonnage de terrain qui s'est fait sur 17 placettes de 10 x 10 a permis d'inventorier les plants de palétuviers et d'effectuer des mesures relatives à la hauteur et au diamètre. Les caractéristiques de chaque placette sont consignées dans le tableau II.

**Tableau II** : Caractéristiques des placettes de validation de la cartographie de biomasse

Placettes	Taille	Nombre d'individus	Espèces	X	Y	Hauteur (m)	DBH (cm)	Biomasse (t/100m <sup>2</sup> )
1	10*10	16	Mixte	384443	697250	5,00	17,88	6,69 ± 8,93
2	10*10	15	Avicennia germinans	384458	696897	4,87	12,20	2,21 ± 3,25
3	10*10	11	Rhizophora racemosa	383950	697464	7,00	36,91	12,59 ± 4,74

4	10*10	8	Avicennia germinans	384197	697983	4,75	8,25	1,43 ± 2,62
5	10*10	16	Mixte	383103	698471	4,88	12,63	2,22 ± 3,14
6	10*10	17	Rhizophora racemosa	382321	697935	3,18	4,47	0,10 ± 0,12
7	10*10	12	Rhizophora racemosa	382744	696861	5,00	13,00	1,18 ± 0,45
8	10*10	27	Mixte	379750	696304	4,04	8,67	0,98 ± 1,74
9	10*10	17	Rhizophora racemosa	380509	697251	6,00	12,00	0,97 ± 1,86
10	10*10	8	Rhizophora racemosa	378528	696652	7,25	39,50	15,56 ± 7,40
11	10*10	5	Mixte	381327	698004	4,40	2,40	0,02 ± 0,02
12	10*10	18	Rhizophora racemosa	375725	695488	3,89	12,78	1,21 ± 0,94
13	10*10	11	Mixte	374672	695674	6,00	16,00	1,96 ± 1,01
14	10*10	13	Rhizophora racemosa	382997	696817	5,46	43,31	18,64 ± 5,71
15	10*10	14	Mixte	381618	696627	6,07	25,93	9,33 ± 9,00
16	10*10	13	Rhizophora racemosa	381039	696410	6,62	36,85	12,49 ± 4,36
17	10*10	14	Rhizophora racemosa	379460	696415	4,64	18,43	4,85 ± 5,90

Le tableau II présente pour chaque placette, la taille, le nombre de plants dénombré, l'espèce à mangrove dominante, la hauteur moyenne, le diamètre moyen, les coordonnées en longitude et latitude et la biomasse calculée. Sur une superficie totale de 1700 m<sup>2</sup>, 235 individus répartis en deux espèces de mangroves ont été inventoriés. Le tableau III qui contient les séries statistiques de chaque

paramètre mesuré a permis de faire une meilleure appréciation de la structure des mangroves de Avlo.

**Tableau III** : Paramètres statistiques des mangroves échantillonnés à Avlo

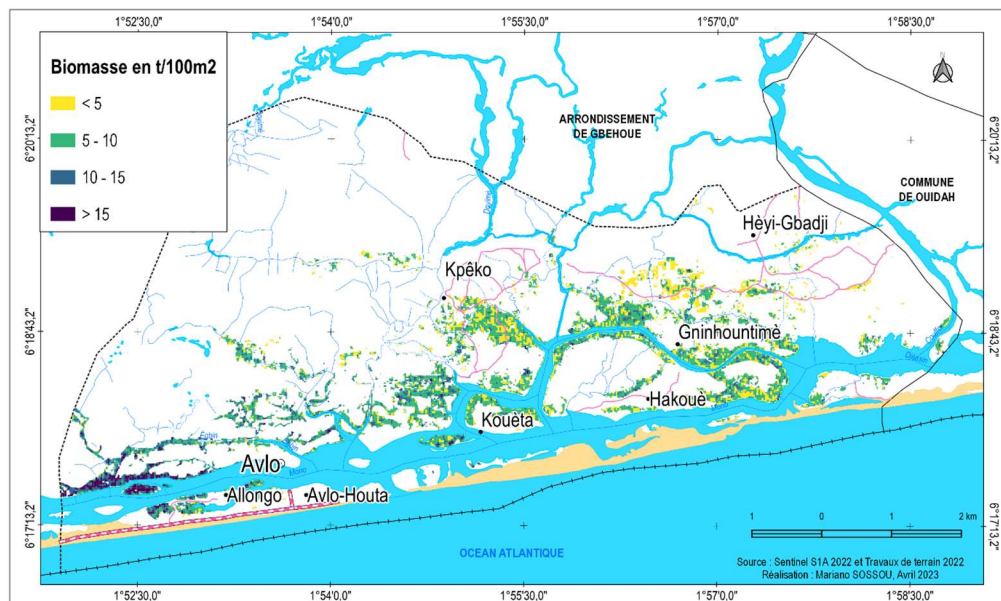
Statistiques	Nombre d'individus	Hauteur (m)	DBH (cm)	Biomasse (Tonne)
Minimum	5	3,18	2,4	0,02
Maximum	27	7,25	43,31	18,64
Moyenne	13,82	5,23	18,89	5,43
Ecart-type	4,78	1,08	12,43	5,82
Médiane	14	5	13	2,21
Somme	235	89,05	321,21	92,42
n	17	17	17	17

**Source** : Travaux de laboratoire (Adapté de Akendengue et *al.*, 2021)

Le tableau III indique qu'une moyenne de 13,82 individus ont été rencontrée dans les placettes lors de la collecte sur le terrain. La hauteur minimale observée pour un plant de palétuviers dans la zone d'étude est de 3,18 m tandis que la hauteur maximale est de 7,25 m. La série statistique des hauteurs indique que la hauteur moyenne des pieds de palétuviers à Avlo est de 5,23 m, la hauteur la plus observée est d'ailleurs 5 m. Concernant le dbh, elle varie entre 2,4 cm et 43,31 cm avec un diamètre moyen de 18,89 cm. La somme des dbh de l'ensemble des échantillons est de 321,21 cm. La biomasse calculée à partir de la relation mettant en jeu le dbh présente une valeur moyenne de 5,43 tonnes. La biomasse totale des 1700 m<sup>2</sup> échantillonnés s'élève à 92,42 tonnes.

### 3.2. Cartographie de la biomasse des mangroves de Avlo

L'existence d'une forme spatialisée de la biomasse végétale est une avancée scientifique importante qui facilite les actions et décisions allant dans le sens de la lutte contre le changement climatique. La rétrodiffusion radar du satellite Sentinel 1 a permis d'extraire les valeurs de biomasse de la mangrove située dans l'arrondissement d'Avlo. L'extension spatiale de ces dernières est présentée par la figure 4.



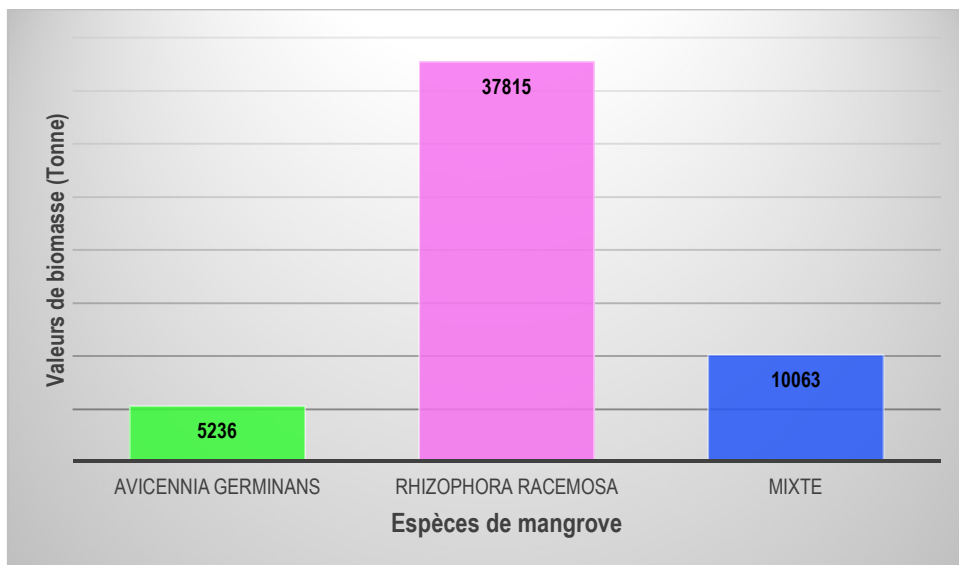
**Figure 4 :** Biomasse des mangroves de l'arrondissement d'Avlo

La carte de biomasse des mangroves de Avlo présente quatre classes. La première prend en compte, les valeurs de biomasse inférieures à 5 tonnes. Elles se localisent beaucoup plus au nord dans des espaces occupés aux *Rhizophora racemosa* et à la mangrove mixte. L'analyse la répartition spatiale des valeurs indique sensiblement que les valeurs croissent du nord-est vers le sud-ouest. Les valeurs les plus élevées sont répandues à l'ouest de la zone d'étude et vont au-delà de 15 tonnes au 100m<sup>2</sup>. Il a été possible d'estimer la quantité totale de biomasse des mangroves de l'arrondissement de Avlo. Les quantités par classe sont reportées dans le tableau IV.

**Tableau IV :** Estimation de la biomasse totale de mangroves à Avlo

Classe	Superficie (ha)	Biomasse (t/100m <sup>2</sup> )
< 5	151,90	7726
5 - 10	120,63	24650
10 - 15	244,70	14932
> 15	110,28	5806
<b>Total</b>	<b>518,62</b>	<b>53114</b>

Le tableau IV présente les superficies de chaque classe de la carte de biomasse ainsi que la quantité de biomasse associée à chacune de ces classes. Les valeurs de biomasse comprise entre 5 et 10 tonnes occupent une surface de 120,63 ha et mobilisent une quantité de biomasse qui est de 24650 tonnes. Cette classe est suivie de celle des valeurs de biomasse oscillant en 10 et 15, elles couvrent 244,70 ha pour 14932. Il est possible de dire que la quantité totale de biomasse contenue dans la mangrove de Avlo est de 53114 tonnes. La quantité totale par espèces de mangrove a été déterminée et se présente comme suit (Figure 5).



**Figure 5 :** Quantité de biomasse selon les espèces de mangroves

La figure 5 renseigne sur la quantité de biomasse identifiée au niveau de chaque type de mangrove identifié dans l'arrondissement d'Avlo. Les mangroves à *Rhizophora racemosa* qui naturellement occupe la plus grande superficie présente une quantité élevée de biomasse soit 37815 tonnes de biomasse. Les mangroves mixtes présentent 10063 tonnes de biomasse tandis que l'*Avicennia germinans* présente 5236 tonnes. Les analyses nous ont permis de constater une importante corrélation en la quantité de biomasse et la superficie de chaque type de mangrove. On peut déduire de cela que la biomasse produite par une même superficie de *Rhizophora racemosa* et de *Avicennia germinans* est sensiblement égale. L'estimation de la biomasse a permis de déduire le stock de carbone présent dans les mangroves de Avlo (Tableau V).

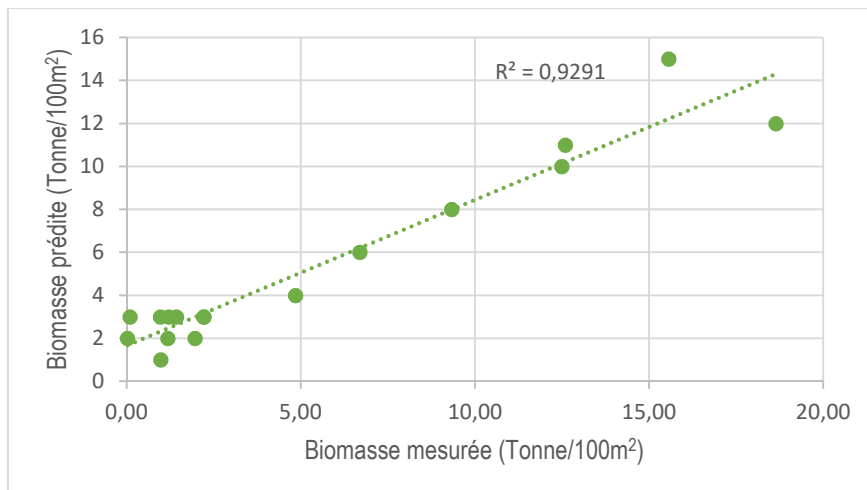
**Tableau V** : Stock de carbone total de mangroves à Avlo

Classe	Superficie (ha)	Carbone en Tonne
< 5	151,90	3669,85
5 - 10	120,63	11708,75
10 - 15	244,70	7092,71
> 15	110,28	2757,85
<b>Total</b>	<b>518,62</b>	<b>25229,15</b>

À la lecture du tableau V, il faut dire que les mangroves de Avlo stockent un total de 25229,15 tonnes de carbone. Il s'agit d'un stock qui serait certainement plus élevé si ces écosystèmes n'étaient pas sujets à la destruction pour la satisfaction des besoins de l'homme.

### 3.3. Évaluation de la cartographie de biomasse des mangroves de Avlo

La biomasse mesurée et celle estimée ont été comparées par les procédures de validation croisée que sont le RMSE et le  $R^2$ . La figure 6 en présente la tendance.

**Figure 6** : Relation entre les valeurs estimées de biomasse et celles mesurées

Les valeurs issues de l'image radar présentent donc une forte corrélation avec les valeurs de biomasse calculée grâce aux données de terrain. La racine de l'erreur quadratique moyenne indique 2,71 tonnes tandis que coefficient de détermination  $R^2$  renvoie une valeur de 0,92, ce qui explique que le résultat de prédiction présente une validité de 92 %.



## Discussion

L'utilisation du radar pour la cartographie de la biomasse de mangrove et des forêts tropicales est une méthodologie qui a déjà fait ses preuves dans beaucoup de travaux de recherche. Pour avoir utilisé les images radar ALOS-2 PALSAR dans l'estimation de la biomasse des mangroves de la côte nord du Vietnam, Pham *et al.*, 2018 ont validé leur résultat avec un coefficient de détermination égale à 0,596 obtenu à partir du modèle de Machine Learning Support Vector Regression (SVR). Wong *et al.*, 2020 ont estimé la perte de biomasse des mangroves dans le nord de Bornéo en Malaisie à partir d'images SRTM et Landsat. Ils ont eu à tester une panoplie de modèle allométrique pour retenir celle qui donnait un résultat probant à partir de ces deux images, le meilleur coefficient de détermination obtenu équivaut à 0,61. Nous présenterons aussi le cas de Nguyen, 2010 qui a estimé et cartographié la biomasse aérienne et le stock de carbone de la forêt d'Afram Headwaters au Ghana à partir d'images radar Envisat et ALOS PALSAR. Il a validé son modèle avec un coefficient de détermination égale 0,65. Nous constatons que les cas de coefficient de détermination présentés ici sont bien en dessous du nôtre qui est égale à 0,92. Ne disposant pas d'une matrice formelle d'appréciation de cette valeur, les travaux donnés en exemple viendront prouvés que le nôtre est nettement acceptable. Toujours est-il que le coefficient de détermination est meilleur quand il est proche de la valeur 1.

La taille des placettes utilisées dans le cadre de notre recherche est 100 m<sup>2</sup>. Il ne s'agit pas d'une taille communément rencontrée dans les travaux d'inventaires floristiques, mais pour le cas des mangroves qui sont une végétation typique, cette taille de placettes ne saurait être rejetée. Tenant compte des espèces et des caractéristiques des mangroves, des chercheurs ont utilisé de plus petites tailles de placettes. C'est ainsi qu'il est possible de rencontrer des placettes de 2 m x 2 m (soit 12,56 m<sup>2</sup>) ou de 7 m x 7 m (soit 154 m<sup>2</sup>) pour des sites où les plants de mangroves sont très petits et ne dépassent pas 5 m de hauteur. Pendant qu'ils estimaient la biomasse de mangrove dans la commune de Vinh Quang, Bao and Hoa, 2018 ont utilisé 15 placettes de 10 m x 10 m pour en même temps correspondre à la résolution spatiale des images Sentinel 1 et Sentinel 2 qui ont servis à leurs analyses. La façon de procéder dans le cadre de notre recherche est plutôt proche de celle de ces auteurs. Il faut reconnaître que certains auteurs posent des placettes plus grandes, mais elles ne vont généralement pas au-delà de 50 m x 50 m s'il s'agit des forêts de mangrove.

L'utilisation de la télédétection pour l'estimation de la biomasse améliore la possibilité d'avancer une quantité de biomasse totale pour la zone étudiée. Il n'est plus question de communiquer uniquement les valeurs minimales et celles maximales de biomasse. Pour une aire de mangrove de 1004 ha, Bao and Hoa, 2018 ont estimé 67983,12 tonnes de biomasse tandis que Nesha *et al.*, 2020 ont



estimé 13719 tonnes pour un domaine de 105 ha de mangrove. En comparaison à cela, notre résultat de 53114 tonnes pour des mangroves d'une superficie de 518,62 ha est vraisemblable.

## Conclusion

La possibilité de spatialiser la biomasse est une avancée scientifique majeure offerte par les outils de télédétection. Elles permettent de gagner du temps, d'économiser des ressources et couvrir de grandes étendues de terre dans des espaces de temps réduit. La cartographie des valeurs de biomasse a été possible grâce au traitement de l'image radar Sentinel 1 depuis le logiciel SNAP. Cette image datant de 2022 a subi les traitements successifs qui ont abouti au calcul en décibel de la rétrodiffusion  $\sigma^0$ . Les valeurs de biomasse ont été calculées depuis  $\sigma^0$  à partir de l'équation mathématique la reliant la biomasse. Les données de données de terrain ont été au préalable collecté dans au sein de 17 placettes pour vérifier les valeurs renvoyées par le traitement radar. L'évaluation de la prédiction par la racine de l'erreur quadratique moyenne et le coefficient de détermination renvoie respectivement 2,71 tonnes et 0,92. À ce seuil, les résultats de traitement sont acceptables et il est possible d'utiliser les données radar pour estimer la biomasse de la mangrove côtière au Bénin. Les valeurs de biomasse issues du traitement varient entre 0,02 et 18,64 t/100m<sup>2</sup>. Il a été constaté que les plus faibles biomasses se retrouvent au nord des aires de mangrove bien éloignées des plans d'eau. Les valeurs les plus élevées sont constatées à l'ouest bien avant l'îlot aggloméré de Avlo. Une estimation globale indique que les mangroves de Avlo contiennent en tout 53114 tonnes de biomasse. Pour accentuer la contribution des mangroves à la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts, il est proposé que la déforestation des mangroves soit évaluée, que soit mis en place un programme de restauration des mangroves, qu'un substitutif soit trouvé au bois de la mangrove, qu'une sensibilisation à une meilleure compréhension du mécanisme REDD+ soit faite qu'un système MNV soit développé.

## Références bibliographiques

- Ahmed, N., Cheung, W.W.L., Thompson, S., Glaser, M., 2017. Solutions to blue carbon emissions: Shrimp cultivation, mangrove deforestation and climate change in coastal Bangladesh. *Mar. Policy* 82, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.007>
- Ahmed, N., Glaser, M., 2016. Coastal aquaculture, mangrove deforestation and blue carbon emissions: Is REDD+ a solution? *Mar. Policy* 66, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.011>
- Ahononga F.C., Awessou B. K., Kouton M. D., Plagbéto H. A., Orékan O.V., Toko Imorou I., Pinet C. & Mertens B., 2021. Atlas cartographique de la



- dynamique de l'occupation du sol au Bénin entre 2005 et 2015, ISBN: ISBN 978-99982-0-734-9. Dépôt légal N°12881 du 09/02/2021
- Akendengue, I., Okanga-Guay, M., Ondo Assoumou, E., Mombo, J.-B., 2021. Estimation de la biomasse aérienne du genre *Rhizophora* des mangroves des rivières Lowé et Igoumié à Owendo (Gabon). *REV RAMRES, Science de la vie, de la terre et agronomie* 09, 38–46.
- Bao, T.Q., Hoa, L.S., 2018. Using Sentinel satellite image to estimate biomass of mangrove forest in vinh quang commune, Tien Lang District, Hai Phong City. *J. For. Sci. Technol.* 19 pp.
- Hastuti, A.W., Suniada, K.I., Islamy, F., 2017. Carbon stock estimation of mangrove vegetation using remote sensing in Perancak Estuary, Jembrana District, Bali. *Int. J. Remote Sens. Earth Sci.* 137–150.
- Kairo, J.G., Bosire, J., Langat, J., Kirui, B., Koedam, N., 2009. Allometry and biomass distribution in replanted mangrove plantations at Gazi Bay, Kenya. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 19, S63–S69. <https://doi.org/10.1002/aqc.1046>
- Komiyama, A., Pongpan, S., Kato, S., 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *J. Trop. Ecol.* 21, 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T.V., Dech, S., 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sens.* 3, 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>
- Loubota Panzou, G.J., Doucet, J.-L., Loumeto, J.-J., Biwole, A., Bauwens, S., Fayolle, A., 2016. Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnol Agron Soc Env.* 20, 508–522.
- Metz, B., Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.), 2005. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press, for the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- Nesha, M.K., Hussin, Y.A., van Leeuwen, L.M., Sulistioadi, Y.B., 2020. Modeling and mapping aboveground biomass of the restored mangroves using ALOS-2 PALSAR-2 in East Kalimantan, Indonesia. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 91, 102158. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102158>
- Nguyen, T. N., 2010. Estimation and mapping of above ground biomass for the assessment and mapping of carbon stocks in tropical forest using SAR data - A case study in Afram Headwaters Forestn Ghana.



- Pham, T. D., Yoshino, K., Bui, D.T., 2017. Biomass estimation of *Sonneratia caseolaris* (L.) Engler at a coastal area of Hai Phong city (Vietnam) using ALOS-2 PALSAR imagery and GIS-based multi-layer perceptron neural networks. *GIScience Remote Sens.* 54, 329–353. <https://doi.org/10.1080/15481603.2016.1269869>
- Pham, T.D., Yoshino, K., Le, N.N., Bui, D.T., 2018. Estimating aboveground biomass of a mangrove plantation on the Northern coast of Vietnam using machine learning techniques with an integration of ALOS-2 PALSAR-2 and Sentinel-2A data. *Int. J. Remote Sens.* 39, 7761–7788. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1471544>
- Pollisco, F., Simorangkir, D., 2013. The economics of ecosystems and biodiversity, reddy+ and climate change in mangrove ecosystems of southeast asia. *Int. J. Rural Law Policy* 6.
- Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., Isono, K., 2009. PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47, 3915–3932. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2023909>
- Simard, M., 2019. Radar Remote Sensing of Mangrove Forests. <https://doi.org/10.25966/33ZM-X271>
- Taureau, F., 2017. Cartographie harmonisée des mangroves de l’Outre-mer français.
- Wong, C.J., James, D., Besar, N.A., Kamlun, K.U., Tangah, J., Tsuyuki, S., Phua, M.-H., 2020. Estimating Mangrove Above-Ground Biomass Loss Due to Deforestation in Malaysian Northern Borneo between 2000 and 2015 Using SRTM and Landsat Images. *Forests* 11, 1018. <https://doi.org/10.3390/f11091018>