



Review paper

# Sequestration Du Carbone Des Ligneux Dans Le Systeme Agroforestier Dans L'arrondissement D'agondji (Commune De Djidja)

## Carbon Sequestration from Woody Plants in the Agroforestry System in the District of Agondji (Djidja Commune)

ABDOULAYE Djafarou<sup>1</sup>, DJAUGA Mama<sup>2</sup>, GBAI N. Innocent<sup>1</sup>, TCHAOUSSE FOUSENI Ayoub\*<sup>1</sup>, KOUTA Aron Gbémiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE) BP 677 Abomey Calavi; DGAT/FASHS/UAC/Cotonou République du Bénin

<sup>2</sup> Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des Systèmes d'Information Géographique; DGAT/FASHS/UAC/Cotonou République du Bénin

### MOTS - CLES

séquestration du carbone  
ligneux  
systèmes agroforestiers  
télédétection  
SIG  
Agondji

### RESUME

La dynamique des espaces agroforestiers constitue un indicateur essentiel des transformations des paysages ruraux et des interactions entre les pratiques agricoles et le couvert végétal. Dans l'arrondissement d'Agondji, l'évolution spatiale des ligneux reflète les phases culturelles, les jachères et les pressions anthropiques, influençant la structure des systèmes agroforestiers et leur capacité de séquestration du carbone. Cette étude analyse les systèmes agroforestiers d'Agondji à l'aide des outils de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) afin d'identifier la distribution spatiale des ligneux, d'évaluer leur potentiel ligneux et leur contribution à la séquestration du carbone, et de proposer des zones de gestion durable. La méthodologie repose sur l'exploitation des images satellitaires Sentinel, l'application d'équations allométriques et les analyses spatiales sous SIG. Les résultats révèlent un potentiel ligneux important, avec 78 809 arbres recensés et une biomasse totale estimée à 59 840 812,08 kg (8 855,86 kg/ha), correspondant à un stock de carbone séquestré de 32 682 679,23 kg (4 279,47 kg/ha). Cette dynamique met en évidence des zones de forte concentration ligneuse, favorables à la séquestration du carbone, mais aussi des secteurs en régression du couvert arboré, soulignant la nécessité de mesures adaptées pour une gestion durable des espaces agroforestiers d'Agondji. L'intégration future des données LiDAR pourrait permettre d'affiner ces analyses.



\*Corresponding author: TCHAOUSSE FOUSENI Ayoub

DOI [105281/ijisr-2320726](https://doi.org/10.23811/ijisr-2320726)



**KEYWORDS**

carbon sequestration  
woody plants  
agroforestry systems  
remote sensing  
GIS  
Agondji

**ABSTRACT**

The dynamics of agroforestry spaces constitute an essential indicator of transformations in rural landscapes and of interactions between agricultural practices and vegetation cover. In the arrondissement of Agondji, the spatial evolution of woody species reflects cropping phases, fallow periods, and anthropogenic pressures, influencing the structure of agroforestry systems and their carbon sequestration capacity. This study analyzes the agroforestry systems of Agondji using remote sensing tools and Geographic Information Systems (GIS) in order to identify the spatial distribution of woody species, assess their woody potential and their contribution to carbon sequestration, and propose zones for sustainable management. The methodology is based on the exploitation of Sentinel satellite images, the application of allometric equations, and spatial analyses using GIS. The results reveal a significant woody potential, with 78,809 trees inventoried and a total biomass estimated at 59,840,812.08 kg (8,855.86 kg/ha), corresponding to a sequestered carbon stock of 32,682,679.23 kg (4,279.47 kg/ha). This dynamic highlights areas of high woody concentration, favorable to carbon sequestration, as well as sectors experiencing regression of tree cover, emphasizing the need for appropriate measures to ensure sustainable management of agroforestry spaces in Agondji. The future integration of LiDAR data could help refine these analyses.

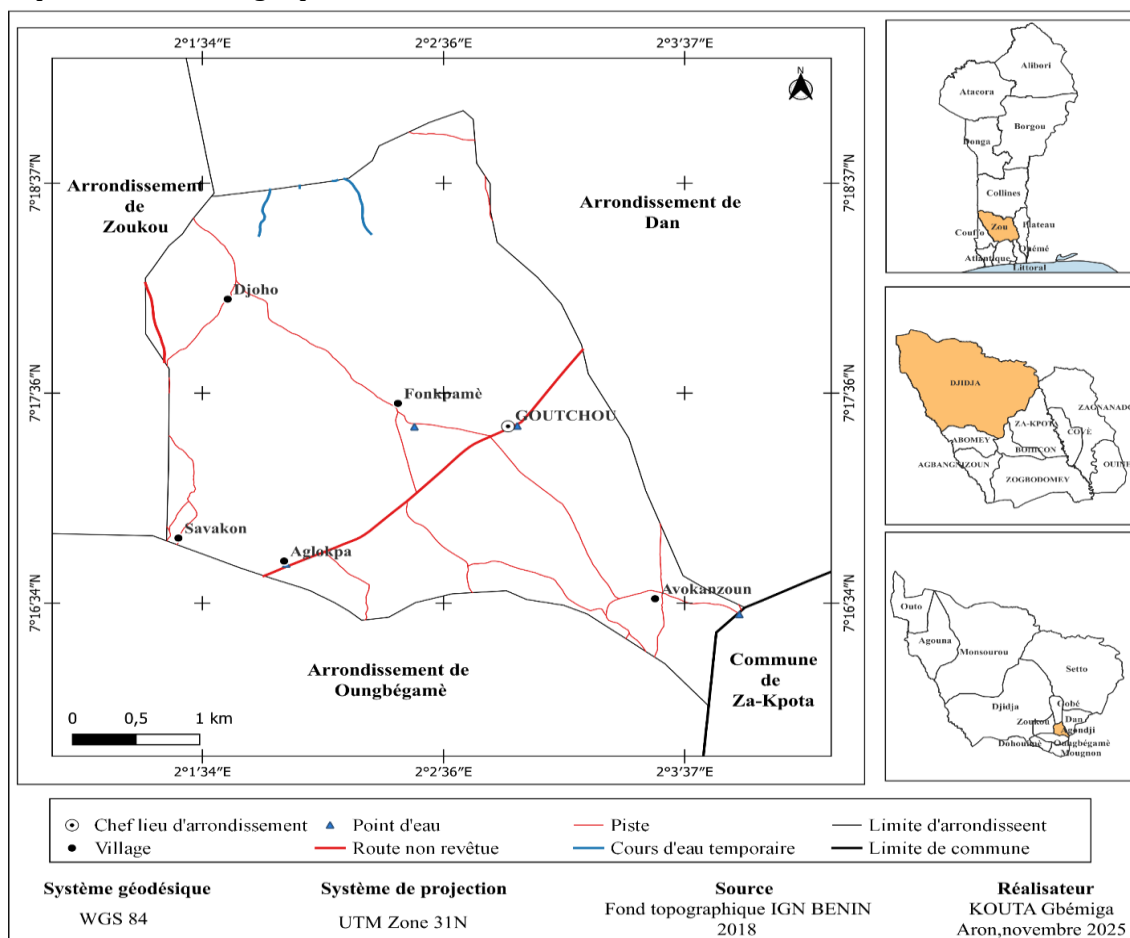
**1. Introduction**

Les systèmes agroforestiers jouent un rôle important dans la promotion de la durabilité environnementale. Ils offrent non seulement des avantages économiques aux agriculteurs, mais présentent également un potentiel remarquable pour la séquestration du carbone, contribuant ainsi à l'atténuation du changement climatique (José et al., 2009, p. 151). Leur capacité à intégrer des ligneux dans des systèmes agricoles constitue une stratégie efficace pour capter le carbone atmosphérique (Nair, 2011, p. 76). Ce lien entre agroforesterie et séquestration du carbone souligne l'importance de la recherche dans le cadre des efforts mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est dans cette optique qu'Albrecht et Kandji (2003, p. 12) ont mis en évidence le potentiel des systèmes agroforestiers à stocker entre 0,2 et 3,1 tonnes de carbone par hectare et par an. Les écosystèmes forestiers absorbent le CO<sub>2</sub> atmosphérique, alors que l'utilisation des produits boisés libère le carbone stocké. Le stockage du carbone constitue ainsi un moyen d'éviter des émissions de gaz à effet de serre, en remplaçant des matériaux à forte intensité énergétique ou, dans le cas du bois-énergie, en substitut direct aux énergies fossiles. Grâce au processus de photosynthèse, les ligneux captent le CO<sub>2</sub> atmosphérique et le stockent dans les racines, les troncs, les branches ainsi que dans le sol. Une forêt en pleine croissance peut absorber entre 11 et 37 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare et par an. Selon le Rapport Stern (2006, p. 6), les écosystèmes terrestres, notamment par la réduction des émissions liées à la déforestation, pourraient contribuer entre 15 et 30 % des réductions nécessaires pour limiter le réchauffement climatique à +3 °C d'ici 2050. En cartographiant la contribution des arbres dans les paysages agricoles, il est possible de constater que les systèmes agroforestiers pourraient représenter jusqu'à 50 % du carbone séquestré dans certains contextes. Les variations interannuelles de l'assimilation nette de CO<sub>2</sub> peuvent s'expliquer par une pluviométrie plus importante, renforçant ainsi la capacité de séquestration des savanes arborées. Chaque écosystème possède cependant sa propre sensibilité aux fluctuations climatiques (Brümmer et al., 2008, p. 314). La teneur totale en carbone des écosystèmes forestiers représente environ la moitié de la biomasse forestière, soit une quantité supérieure à celle du carbone actuellement présent dans l'atmosphère. Toutefois, le déboisement et la dégradation du couvert forestier engendrent d'importantes émissions de carbone provenant du secteur forestier, représentant environ 12,4 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (Nations Unies, 2009, p. 23). En Afrique de l'Ouest, et plus précisément au Bénin, plusieurs recherches ont été menées pour caractériser les systèmes agroforestiers (Natta et al., 2012, p. 45 ; Seidou et al., 2012, p. 58 ; Bidou et al., 2019, p. 103 ; Housse et al., 2020, p. 92 ; Soumanin et al., 2022, p. 75). Ces travaux ont utilisé des images à haute résolution spatiale et spectrale, ainsi que des techniques de systèmes d'information géographique (SIG) pour analyser ces systèmes.

**1.1 Situation géographique**

L'arrondissement d'Agondji est l'un des arrondissements de la commune de Djidja, située dans le département du Zou au centre du Bénin. Il est compris entre 7°14'36" et 7°18'37" de latitude Nord et entre 2°13'34" et 2°23'37" de longitude Est. Sur le plan administratif, il est limité au Nord par l'arrondissement de Dan, au Sud par celui d'Oungbégamè, à l'Est par la commune de Za-Kpota et à l'Ouest par l'arrondissement de Zoukou. Le

chef-lieu de l'arrondissement est Goutchou, situé de façon centrale, et il regroupe plusieurs villages dont Djoho, Fonkpamè, Savakon, Agokpa et Avokanzoun.



**Fig. 1** Carte de la situation géographique de l'arrondissement d'Agondji

La figure 1 présente la carte de situation de l'arrondissement d'Agondji situé dans la commune de Djidja qui s'inscrit dans le cadre spatial de l'étude sur la séquestration du carbone des ligneux dans les systèmes agroforestiers. Elle permet de localiser précisément la zone d'étude et de la situer par rapport aux unités administratives voisines, offrant ainsi une compréhension globale du contexte territorial dans lequel s'inscrivent les dynamiques agroforestières.

## 1.2 Caractéristiques biophysiques

### 1.2.1 Caractéristiques Climatiques

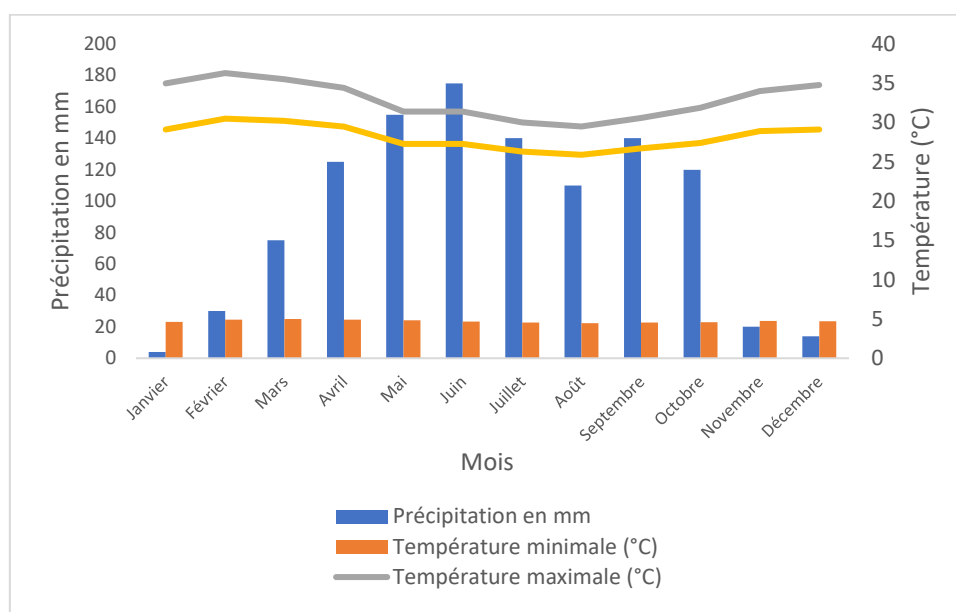
Le climat d'Agondji appartient à la région à climat subéquatorial. Les données climatiques utilisées pour caractériser la région climatique sont celles de la station météorologique de Bohicon car elle est plus proche du secteur d'étude. Les précipitations, l'évapotranspiration et la température constituent des éléments du climat qui peuvent avoir d'influence sur la végétation

### 1.2.2 Précipitation et température

Les précipitations sont étudiées grâce à l'intensité et à la répartition des pluies à la surface du globe précisent dans la station de Bohicon. La répartition des pluies est d'une importance capitale car elle permet de connaître les périodes humides favorables à la végétation mais surtout à la période sèche au cours de laquelle les plantes sont soumises à des conditions de vie très difficiles qui menace leur existence. Selon Aubreville (2019), la moyenne annuelle des pluies et la durée de la saison sèche sont les principaux facteurs climatiques influençant la végétation forestière. La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur 30ans (1881 à 2010) est de 1065,54 mm. La plus faible pluviosité a été enregistrée en 1996 (520mm) et la plus forte en 1989(1470,7mm). Une variation sensible de la pluviométrie ne se fait pas sentir dans la commune même si les pratiques culturelles tendent à perturber cette dernière. Les températures moyennes annuelles varient entre 25 et 30°C. La température moyenne au cours de la période (1981 à 2010) est de 28,09°C. La moyenne maximale est de 32,90°C tandis que celle minimale est de 23,27°C.

### ☑ Bilan climatique

Le bilan climatique est établi à travers une combinaison des précipitations et de l'évapotranspiration (ETP). L'ETP permet d'exprimer la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par une formation végétale couvrant bien le sol, en phase active d'augmentation en eau de manière optimale (Trochin et al,1980), le bilan climatique permet de diviser l'année en des périodes bioclimatiques successives correspondant à des périodes de crue (Figure 2).



**Fig. 2**

Source : ASECNA,2023

Le graphique ci-dessus illustre la variation mensuelle des précipitations et des températures (minimales, maximales et moyennes) dans l'arrondissement d'Agondji. On observe que la période la plus humide s'étend de mai à juillet, avec un pic en juin atteignant près de 180 mm de précipitations. À l'inverse, les mois de décembre, janvier et février présentent des niveaux de précipitations très faibles. La température moyenne reste relativement constante tout au long de l'année, oscillant entre 26 °C et 30 °C, ce qui reflète un climat tropical typique. Ce climat, caractérisé par une saison pluvieuse bien marquée et des températures modérées, joue un rôle fondamental dans la croissance des ligneux au sein des systèmes agroforestiers. En effet, les fortes précipitations des mois de mai à juillet favorisent la régénération naturelle des essences ligneuses et soutiennent les pratiques de reboisement. De plus, les températures constantes assurent un développement continu de la biomasse, condition essentielle à une bonne séquestration du carbone. Ainsi, le régime climatique d'Agondji constitue un atout écologique majeur pour optimiser la séquestration du carbone dans les systèmes agroforestiers, en favorisant à la fois la croissance des arbres et la stabilité des écosystèmes.

### ☑ Géologie et pédologie

L'arrondissement d'Agondji repose sur le continental terminal qui porte les sols ferrallitiques du Sud et le socle cristallin du crétacé qui porte des sols ferrugineux (Figure 3).

De l'analyse de cette figure, il faut noter que c'est la diversité des types de sols qui caractérisent cette zone. On distingue principalement quatre grands ensembles pédologiques. Les sols ferrallitiques appauvris sur grès et matériau colluvial occupent une grande partie du centre et du sud-est de l'arrondissement, notamment autour des localités de Goutchou, Avokanzoun et Fonkpmè. Ces sols, issus d'une forte altération des roches siliceuses, présentent une fertilité moyenne et conviennent bien aux cultures pérennes et agroforestières.

### ☑ Végétation

La carte de la végétation de l'arrondissement d'Agondji montre une mosaïque de formations végétales dominées par les cultures en jachère avec arbres et les palmeraies cocoteraies, traduisant une forte activité agricole associée à la présence de ligneux dispersés. On observe également des zones de forêts claires et de forêts denses localisées au centre et au sud, notamment autour de Goutchou et Avokanzoun, ainsi que des savanes arborées vers le sud-ouest, témoignant d'une transition entre formations naturelles et anthropiques. Cette structure paysagère confirme les observations d'Adomou et al. (2006) qui décrivent le district phytogéographique du Zou comme composé de forêts claires, galeries et savanes boisées.

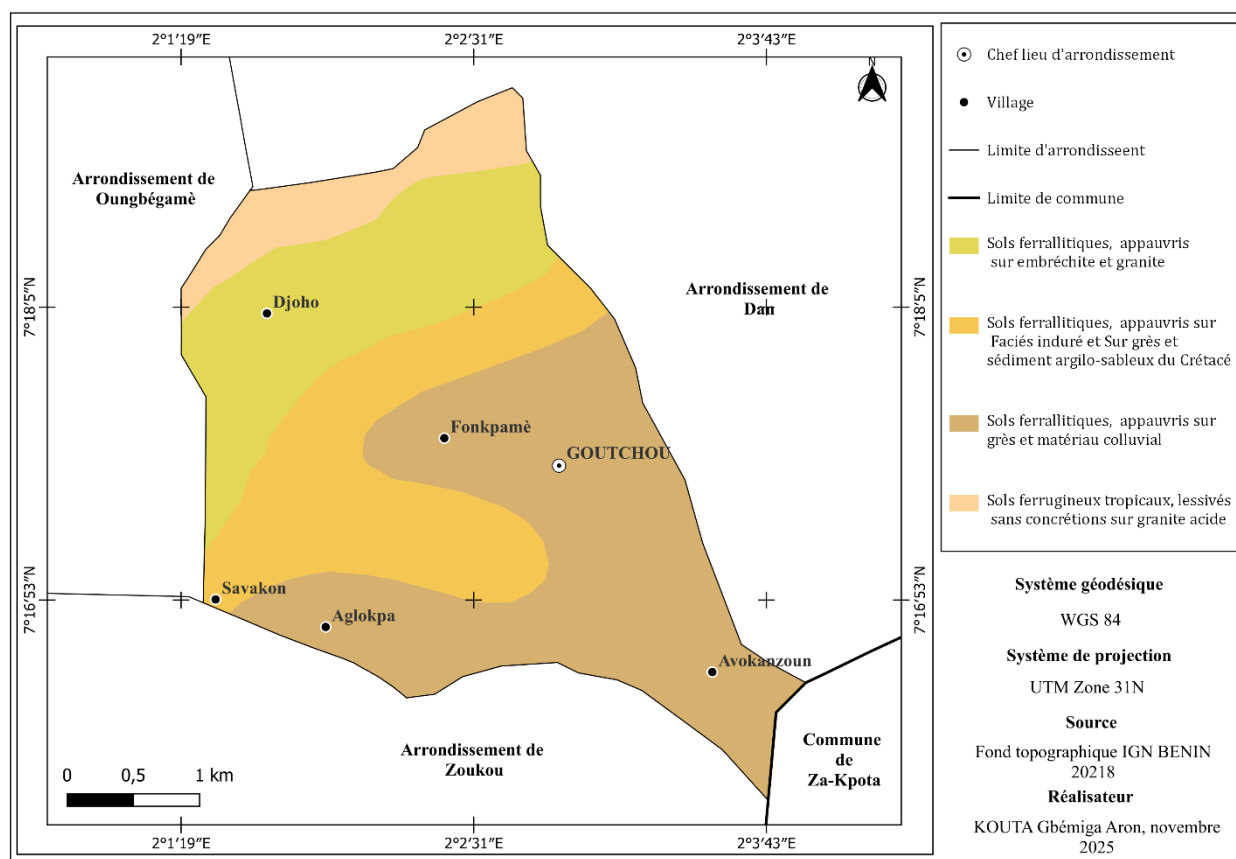


Fig. 3 Formation pédologique

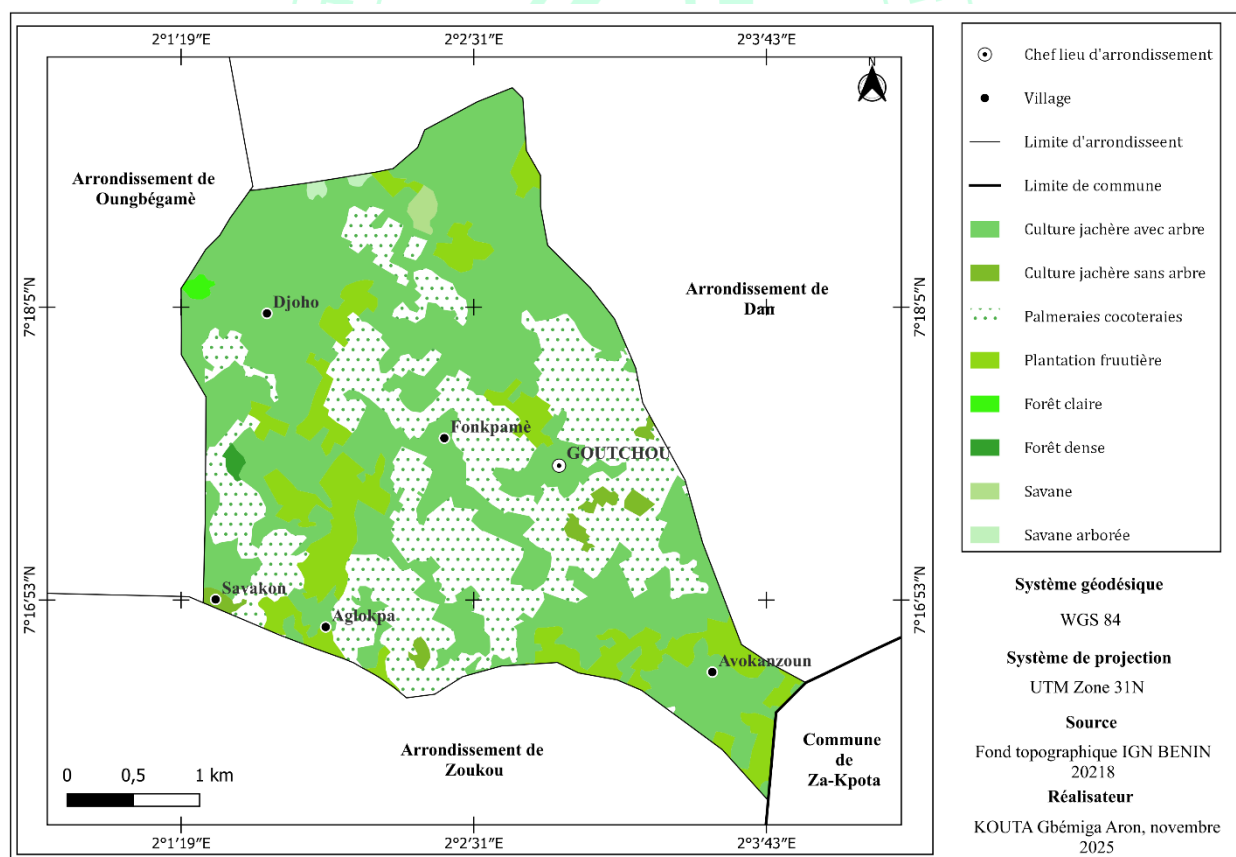


Fig. 4 Carte de végétation de l'arrondissement d'Agondji

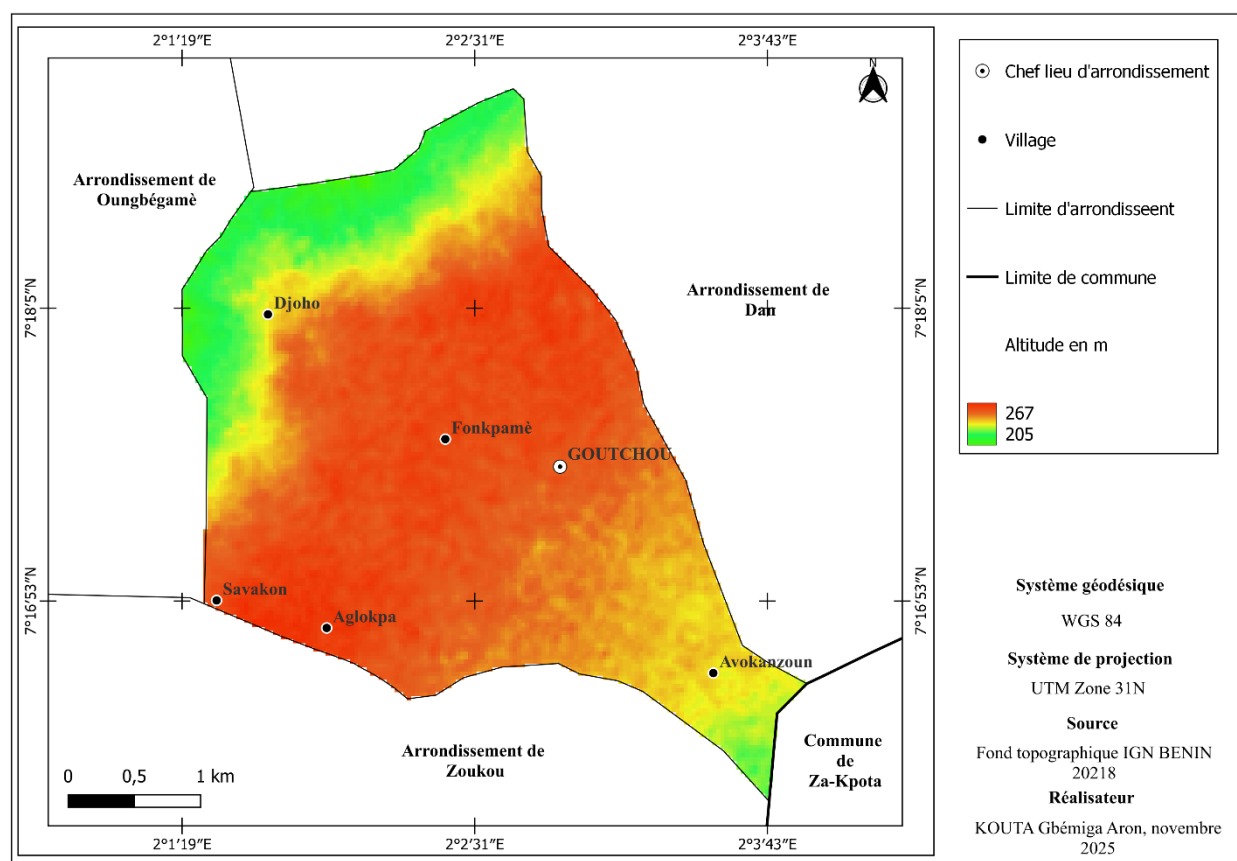
La carte présente illustre la végétation de l'arrondissement d'Agondji. Elle révèle une grande diversité de formations végétales comprenant des forêts claires, des forêts denses, des savane arborées, des plantations fruitières et des palmeraies-cocoteraies, ainsi que des zones de culture et de jachère avec ou sans arbres. Cette



répartition traduit une forte influence des activités humaines, notamment agricoles, sur la couverture végétale, tout en témoignant du maintien de certains îlots naturels. Les formations boisées les plus denses se concentrent principalement dans le centre et le sud de l'arrondissement, notamment autour de Goutchou et Avokanzoun, tandis que les savanes et jachères dominent les zones plus ouvertes. Sur le plan environnemental, cette diversité de formations végétales joue un rôle clé dans la séquestration du carbone, en particulier grâce aux espèces ligneuses présentes dans les forêts, les jachères arborées et les plantations. Ces formations constituent d'importants puits de carbone, stockant ce dernier à la fois dans la biomasse aérienne et dans le sol.

### ☑ Relief

L'analyse du milieu physique d'Agondji nécessite aussi une présentation de son relief qui structure l'organisation du territoire et déterminent en grande partie les potentialités agricoles et environnementales.

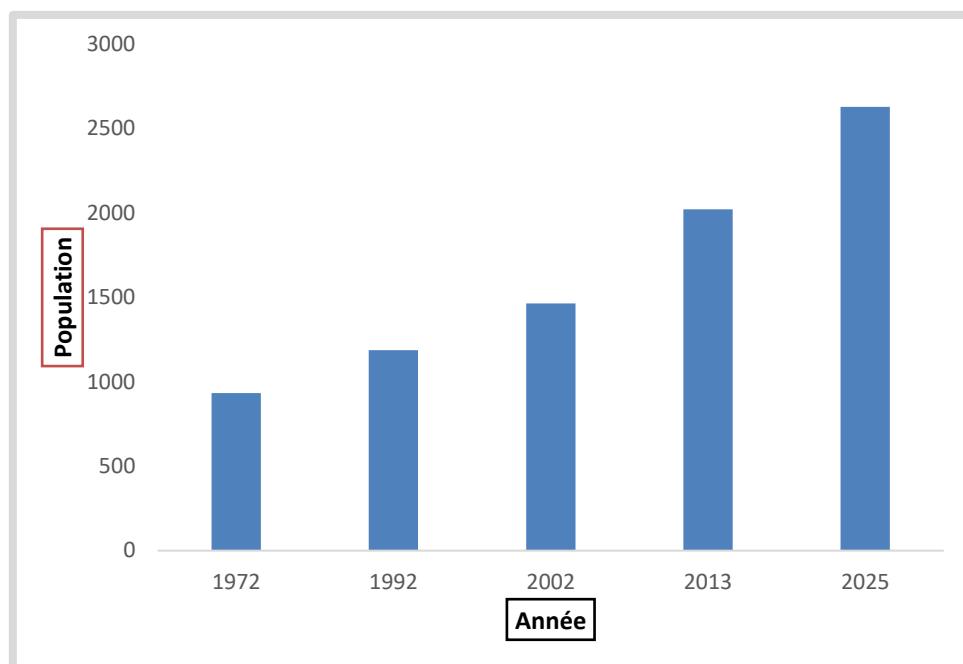


**Fig. 5** Carte du relief de l'arrondissement d'Agondji

La carte présente la répartition altitudinale de l'arrondissement d'Agondji. L'analyse visuelle de cette carte montre que l'ensemble du territoire est caractérisé par un relief faiblement accidenté, typique des plaines du département du Zou. Les zones les plus élevées, représentées en rouge orangé se situent principalement au centre de l'arrondissement ; tandis que les altitudes les plus basses en vert apparaissent autour des limites du sud-est.

### 1.2.3 Croissance démographique

Les groupes sociolinguistiques dans la commune de Djidja sont le Fon, les Agou, les Mahi ainsi que d'autres groupes sociolinguistiques majoritaires numériques tels que les Adja, les Peulhs, les Haoussa, les Yoroubas et les Ibo. Selon le dernier Recensement Général de la population et de l'Habitation, la population de la commune de Djidja est estimée à 123542 habitants. Cette population était à un effectif de 43 870 en 1979, elle passe à 50629 en 1992 pour atteindre 84 590 habitants en 2002 soit une augmentation de 92,81% en 24ans. En considérant le taux d'accroissement de la population (INSAE,2013), la population de cette commune sera de 146 328 à l'horizon 2025. Cette forte augmentation de la population constitue une forte ressource humaine pour des programmes de reboisement dans la commune. La figure 6 ci-après montre l'évolution générale de la population de la commune de Djidja ces douze dernières années



**Fig. 6** Evolution démographique de l'arrondissement

Source : RGPH, 2013

Le graphique illustrant l'évolution de la population de l'arrondissement d'Agondji entre 1979 et 2013 montre une croissance démographique soutenue, passant d'environ 934 habitants en 1979 à 2021 habitants en 2013. Cette forte augmentation exerce une pression croissante sur les terres agricoles et forestières, entraînant souvent la réduction des espaces boisés au profit de l'habitat et de l'agriculture extensive. Une telle dynamique démographique a un impact direct sur la séquestration du carbone, notamment à travers la diminution du couvert végétal constitué de ligneux, essentiels pour le stockage du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans les systèmes naturels. Cependant, cette situation représente aussi une opportunité pour promouvoir les systèmes agroforestiers, qui consistent à intégrer des arbres ligneux dans les exploitations agricoles afin de concilier productivité et durabilité. En effet, ces systèmes permettent non seulement de répondre aux besoins alimentaires et économiques d'une population croissante, mais aussi de maintenir, voire d'augmenter, le stock de carbone grâce à la présence d'espèces arborées.

### **1.3 Cartographier la dynamique des espaces agroforestiers de l'arrondissement d'Agondji**

#### **1.3.1 Données utilisées**

La principale donnée acquise dans le cadre de cet objectif est d'ordre de sources spatiales

- Fond topographique IGN 2015 contenant les limites administratives
- Image sentinel 2A de 2015
- Image sentinel 2B de 2025
- Image Google Earth de résolution 0,29 m obtenu via le logiciel Arc Gis Pro au format Tif en date de 20/10/2025. Ces images ont été acquises dans le spectre du visible.

#### **1.3.2 Matériel**

Le logiciel ArcGis Pro a été utilisé pour l'acquisition et le traitement des images.

le logiciel ArcGis 10.8 pour l'édition des cartes

le tableur Excel a été utilisé pour le traitement statistique.

#### **1.3.3 Traitement des données**

##### **1.3.3.1 Traitement d'image**

Pour un traitement optimal et supportable par la capacité de l'ordinateur, l'image principale de zone d'étude a été découpée en onze sous-zones de 30 km<sup>2</sup>. Chacune des images de taille réduite ont subi le même traitement. La classification d'images basée sur des objets (OBIA) avec des algorithmes d'apprentissage automatique dans ArcGis Pro a été utilisée.

## Segmentation d'image

La segmentation multi-résolution a été implantée dans le logiciel Arc Gis Pro en utilisant la valeur 25 pour le paramètre d'échelle, 0,8 pour la création de formes et 0,5 pour le critère de compacité. Il faut rappeler qu'un petit échantillon d'image a été traité au préalable pour pouvoir valider ces trois paramètres. Après, une segmentation de différence spectrale a été appliquée à l'image segmentée pour regrouper les objets voisins selon la moyenne de leur valeur d'intensité. On dénombre au total 190992 arbres dans l'arrondissement d'Agondji mais après le tri, 78809 sont retenus pour les ligneux le travail

### 1.3.3.2 Création de classe et de données d'entraînement pour la classification d'images basée sur les objets.

Deux classes ont été définies, la classe arbre (couronnes) et la classe autres qui a regroupée tous les autres objets détectés sur l'image.

### 1.3.3.3 Classification d'images segmentée

Deux paramètres ont été considérés dans la classification, il s'est agi de la moyenne et de déviation standard de la valeur des couches (RGB). La photo 1 suivante montre un aperçu de la segmentation.

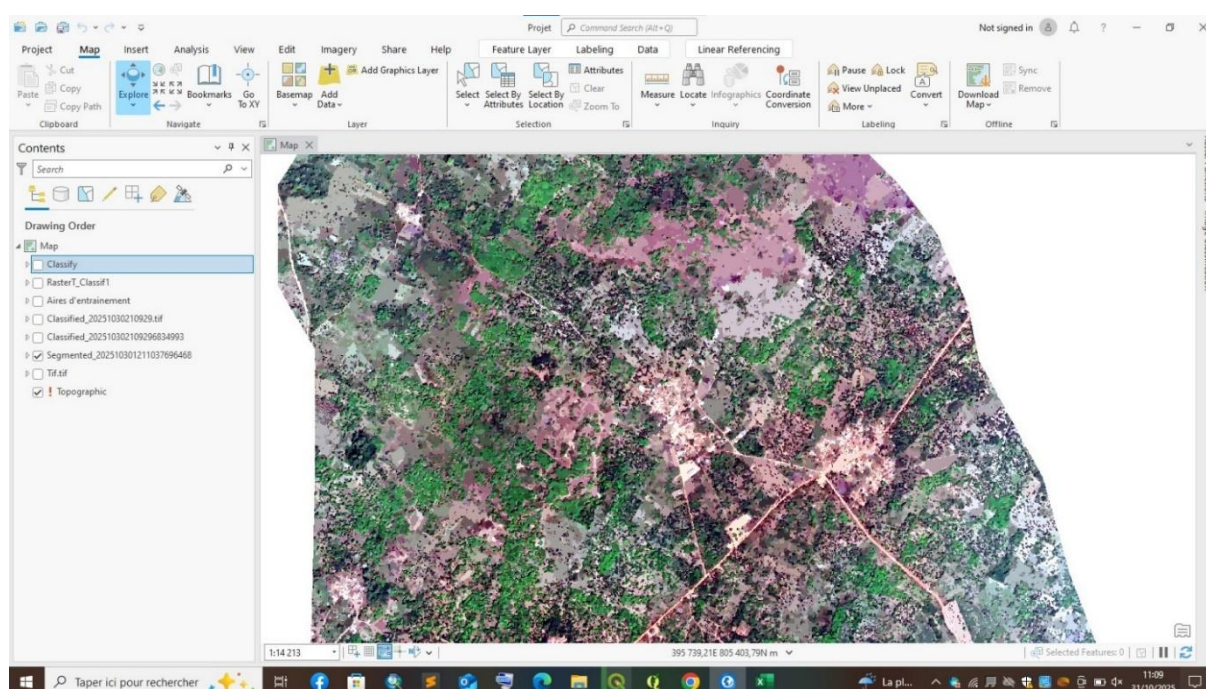


Photo 1 Classification des ligneux

### 1.3.3.4 Traitement post traitement d'image (vecteur)

Le post traitement d'image opéré dans ArcGis a consisté à faire un filtrage en extrayant les polygones (couronnes d'arbre) qui ont une superficie comprise entre 3, 14 m<sup>2</sup> et 314,28 m<sup>2</sup>. Cette classe correspond aux couronnes qui ont un diamètre supérieur à 2 m et inférieur à 20 m (Baguéré, 2024). Cette extraction est faite pour réduire les biais liés au chevauchement des couronnes. En plus, les zones agglomérées, les zones de monticule, les galeries des cours d'eau et les couloirs qui ne sont pas cultivés n'ont pas fait objet d'analyse dans le traitement.

## Choix de l'équation allométrique

La région soudano – guinéenne du centre Bénin, d'après plusieurs investigations (Natta et al., 2012 ; Ahamidé et al., 2017 ; Koukperé, 2022) est caractérisée par deux espèces le néré et le karité. Selon Natta et al. (2012) le *Vitellaria paradoxa* (karité) représente 43% des ligneux épargnés dans les champs et jachères des parcs agroforestiers. Konate et al. (2022) sur la base de mesure de terrain et de drone sur le *Vitellaria paradoxa* ont mis sur pieds une équation allométrique pour une évaluation rapide des stocks de carbone forestier. C'est d'ailleurs, le premier critère de choix. En effet, cette équation de régression met en relation la hauteur et la surface houppier mesurée :

$$\ln (DBH) = 1,85019 + 0,4683 \ln (SH) \text{ Equation1}$$

DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme ; SH= surface houppier



Le second critère est que n'ayant pas utilisé des données de Modèle Numérique de Surface et de Terrain pour pouvoir calculer la hauteur totale des arbres, nous ne disposons que la surface du houppier (SH). Avec cette équation qui met en relation la hauteur et la surface houppier mesurée. Par déduction il a été procédé au calcul des autres paramètres dendrométriques (Diamètre, Hauteur, total).

### Diamètre des arbres

De l'équation 1 il a été déduit le Diamètre (DBH) :

$$DBH = \exp^{(1,85019 + 0,4683 \ln(SH))} \text{ Équation 2}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme, SH= surface houppier et exp=exponentiel

### Hauteur des arbres

Toujours Konate et al. (2022) ont pu mettre en relation le diamètre à hauteur de poitrine d'homme (DBH) et la hauteur mesurée par drone (H) traduite par l'équation suivante :

$$\ln(DBH) = 1,27769 + 1,1430 \ln(H) \text{ Équation 3}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme : H=hauteur et exp=exponentiel

De l'équation 3 par déduction on peut écrire

$$H = \exp^{(\ln(DBH) - 1,27769) / 1,1430} \text{ Équation 4}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme : H=hauteur et exp=exponentiel

### Estimation du potentiel du carbone séquestré

Pour rester dans la même logique d'analyse, la formule allométrique mise en place par Kao la (2016) dans les écosystèmes de savane en zone soudanienne du Burkina Faso a été utilisée :

$$\ln(AGB) = \ln(a) + b \times \ln(X) \text{ Equation 5}$$

où  $\ln(a)$ -3,05;  $b$ -2,66;  $X$ = diamètre à hauteur de poitrine d'homme, AGB : Aboveground Biomass

La biomasse aérienne est alors :

$$AGB = \exp^{(-3,05 + 2,66 \ln X)} \text{ Equation 6}$$

AGB=Aboveground Biomass, avec  $X$ = diamètre à hauteur de poitrine d'homme

Ensuite, de la biomasse aérienne le stock de carbone a été déterminé en appliquant le facteur de conversion établi par (Goussanou et al., 2018) utiliser par d'autres auteurs (Djaouga et al., 2021). Il est traduit par l'équation suivante :

$$C \text{ séq-ABG} \times 0,487 \text{ Equation 7}$$

La spatialisation du carbone séquestré est faite par interpolation IDW des valeurs du carbone séquestré calculer pour chaque arbre isolé.

## 2. Résultats

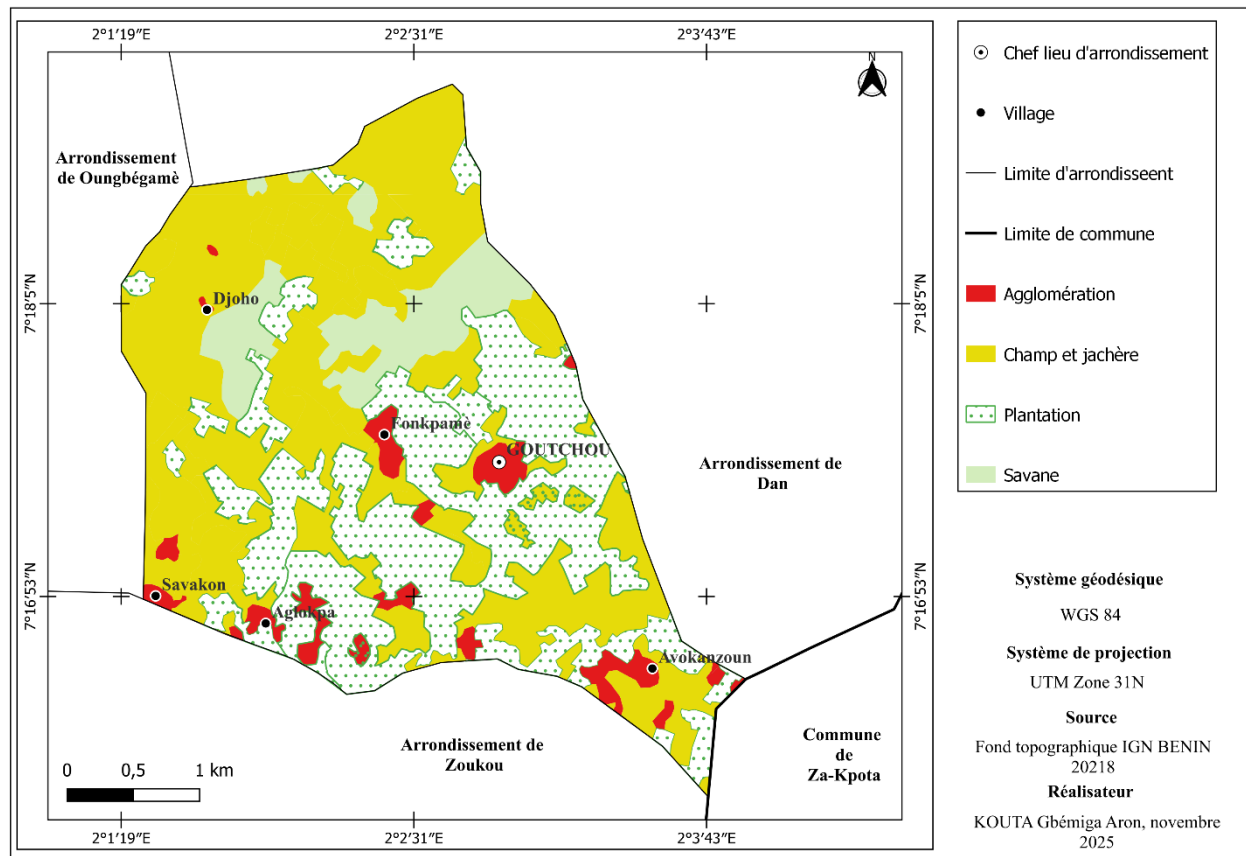
### 2.1 Cartographie de la dynamique des espaces agroforestiers de l'arrondissement d'Agondji

Pour évaluer la conversion d'affectation des terres, une cartographie de la dynamique de l'occupation des terres a été effectué entre 2015 et 2025.

#### 2.1.1 Occupation des terres en 2015

La figure 7 présente la carte d'occupation des terres en 2015.

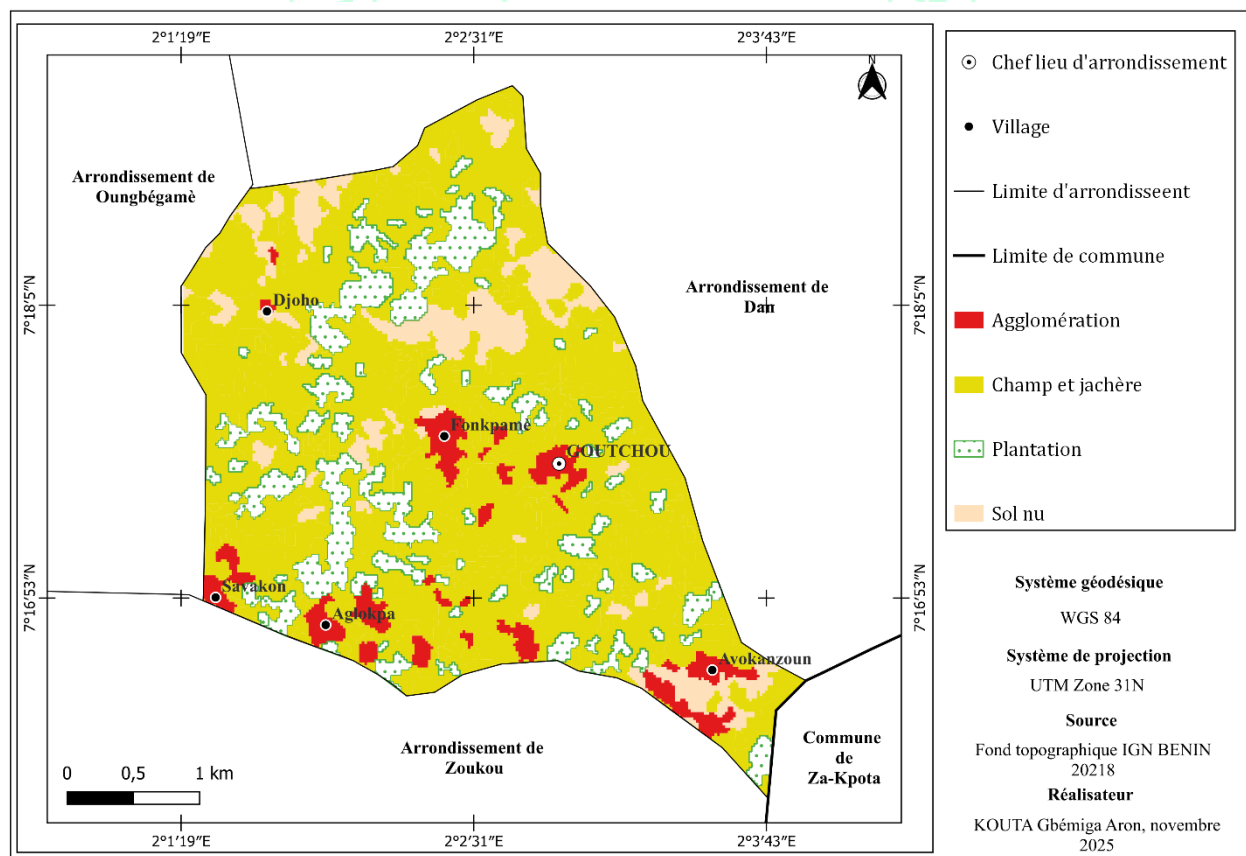
La carte suivante montre l'occupation du sol dans l'arrondissement d'Agondji. Elle révèle une forte domination des champs et jachères qui couvrent la majeure partie du territoire, tandis que les agglomérations sont concentrées autour des principaux villages comme Avokanzoun, Agbokpa et Fonkpame. Les plantations apparaissent dispersées, traduisant une mise en valeur progressive des terres, alors que la zone de savane est très limitée, signe d'une forte pression humaine sur la végétation naturelle. Cette situation influence directement la séquestration du carbone par les ligneux : la diminution des forêts réduit le potentiel de stockage, mais la présence de plantations et de systèmes agroforestiers offre encore des possibilités de fixation du carbone dans les paysages agricoles.



**Fig. 7** Occupation du sol de l'arrondissement en 2015

### 2.1.2 Occupation des terres en 2025

La figure 8 présente la carte d'occupation des terres en 2015.



**Fig. 8** Occupation du sol de l'arrondissement en 2025

La figure 9 présente la carte d'occupation du sol de l'arrondissement d'Agondji en 2025. Cette figure met en évidence une forte prédominance des champs et jachères qui couvrent la majeure partie du territoire. Cette situation traduit une exploitation agricole intensive des terres. Les agglomérations sont concentrées autour des principaux villages tels que Douthou, Fonkpame, Savakon, Agbokpa et Avokanzoun, témoignant d'une densité humaine relativement élevée. Les plantations apparaissent sous forme de taches dispersées, correspondant à des zones de cultures pérennes ou de systèmes agroforestiers intégrant des ligneux. On observe également des zones de sol nu, notamment autour des agglomérations, résultant probablement du défrichement, du surpâturage ou de la déforestation. L'ensemble de ces éléments traduit une pression croissante sur les ressources naturelles et une dégradation progressive du couvert végétal. Cette situation influence directement la séquestration du carbone, car la réduction du couvert ligneux limite la capacité du milieu à stocker le carbone, même si les plantations et les systèmes agroforestiers demeurent des zones clés pour la fixation et la conservation du carbone.

### 2.1.3 Analyse des changements entre 2015 et 2025

**Tableau I** Changement des unités d'occupation du sol entre 2015 et 2025

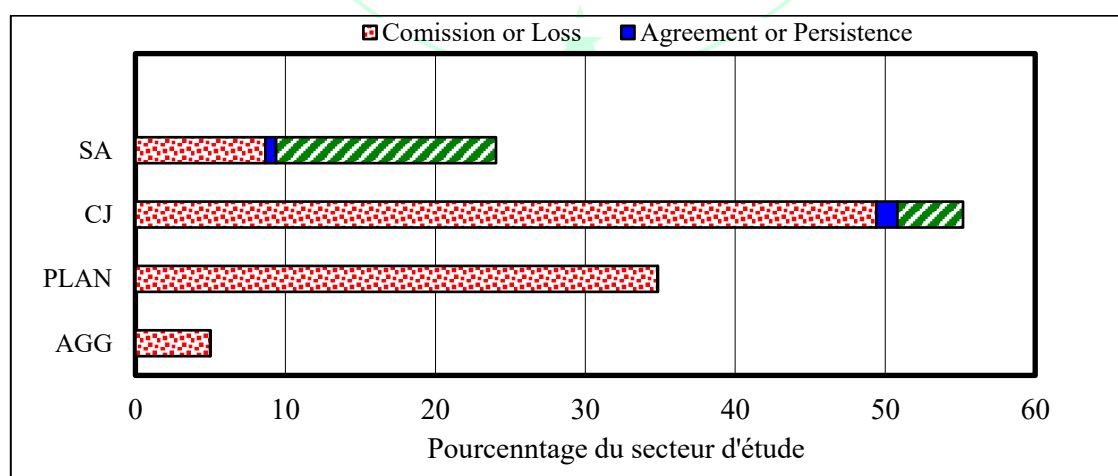
UOT 2015	UOT 2025				Sup 2025
	AGG	PLAN	CJ	SN	
AGG	45,1364659	0,80600832	14,8585882	3,57447168	64,3755341
PLAN	11,2140288	111,754806	319,109207	6,90363648	448,981678
CJ	18,2227968	76,5707904	494,363451	66,1277261	655,284764
SA	0	8,90113536	63,5344819	48,4656307	120,901248
Sup 2015	74,5732915	198,03274	891,865728	125,071465	1289,54322

Avec AGG : Agglomération, CJ : Champ et jachère, PLAN : Plantation, SA : Savane, SN : Sol nu

La matrice de transition des unités d'occupation du territoire (UOT) entre 2015 et 2025 met en évidence l'évolution des différentes classes d'occupation du sol dans l'arrondissement d'Agondji. Elle révèle une dynamique marquée par une conversion importante des terres cultivées et en jachère (CJ) et des zones de plantations (PLAN) au détriment des formations naturelles. En 2015, les champs et jachères occupaient 69,16 % du territoire, confirmant leur forte domination. En 2025, cette catégorie régresse légèrement à 50,82 %, tandis que les plantations connaissent une progression notable, passant de 15,36 % à 34,82 %, traduisant une intensification des systèmes agricoles intégrant des ligneux. Les agglomérations (AGG) se maintiennent relativement stables, avec une légère baisse de 5,78 % à 4,99 %, traduisant une croissance urbaine modérée. Les sols nus (SN) représentent 9,70 % en 2015 et 9,38 % en 2025, témoignant d'une persistance des zones dégradées, probablement liées à la pression agricole et à l'exploitation des terres.

### 2.1.4 Analyse de l'intensité de changement dans l'ensemble du secteur d'étude

La figure 10 présente l'intensité de changement par catégorie d'occupation entre 2015 et 2025.



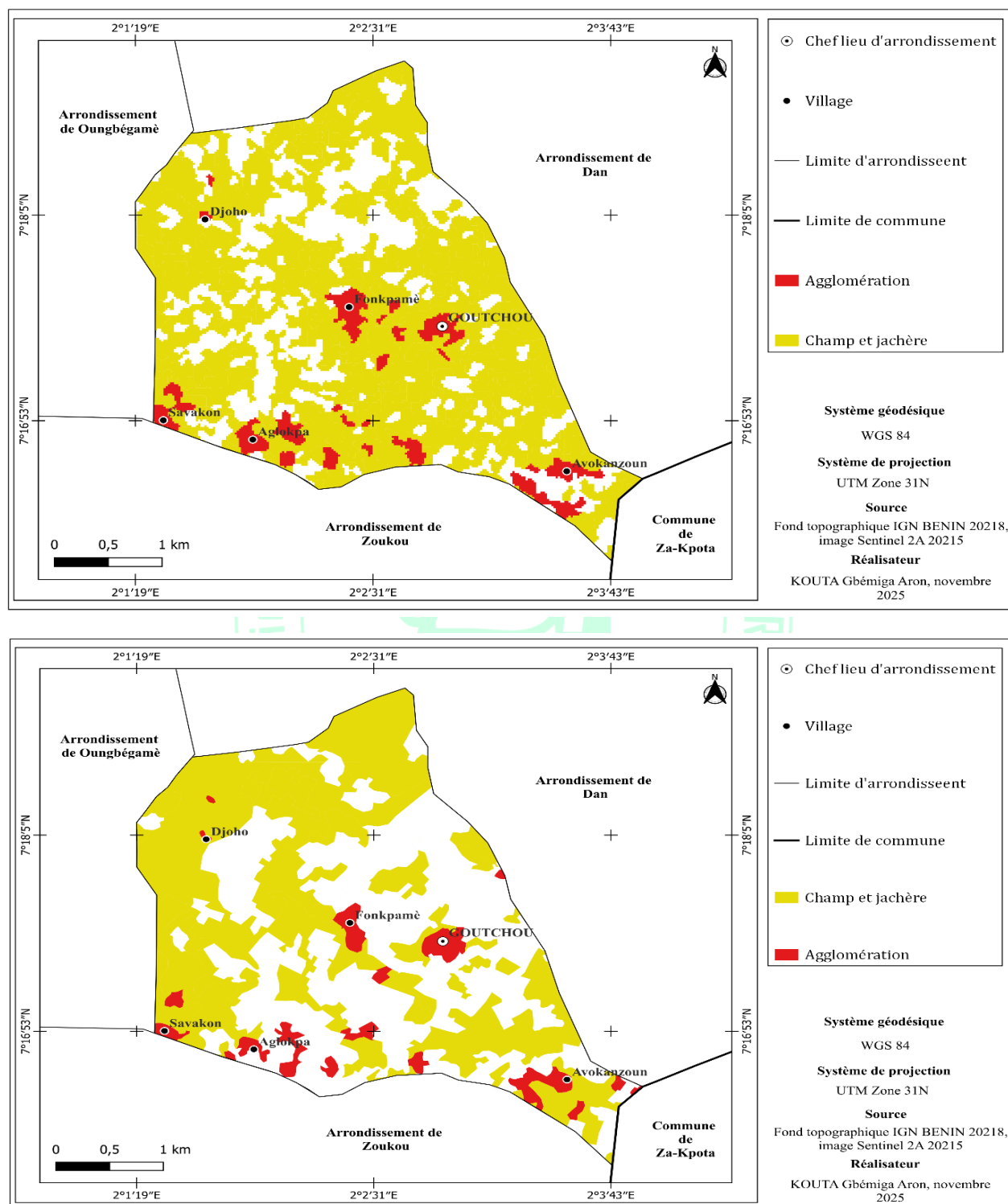
**Fig. 9** Intensité de changement des terres

Avec AGG : Agglomération, CJ : Champ et jachère, PLAN : Plantation, SA : Savane, SN : Sol nu

La figure 8 présente la comparaison entre les pertes (ou commissions) et les zones de persistance (ou accords) des différentes classes d'occupation du sol entre 2015 et 2025 dans l'arrondissement d'Agondji. On observe que la catégorie des champs et jachères (CJ) enregistre les plus fortes pertes, ce qui traduit une importante conversion de ces surfaces vers d'autres types d'occupation, notamment les plantations et les zones de sol nu. Les plantations (PLAN) montrent également une

### 2.1.5 Dynamique ligneuse dans le système agroforestier

La dynamique des ligneux dans le système agroforestier traduit l'évolution spatio-temporelle de la structure, de la densité et de la composition des espèces ligneuses, sous l'influence conjointe des pratiques agricoles, des facteurs environnementaux et des pressions anthropiques, constituant ainsi un o=indicateur cl du fonctionnement et de la durabilité de ces systèmes. La figure 11 suivante montre dynamique ligneuse du secteur d'étude.



**Fig. 10** Dynamique ligneuses des espaces agroforestiers

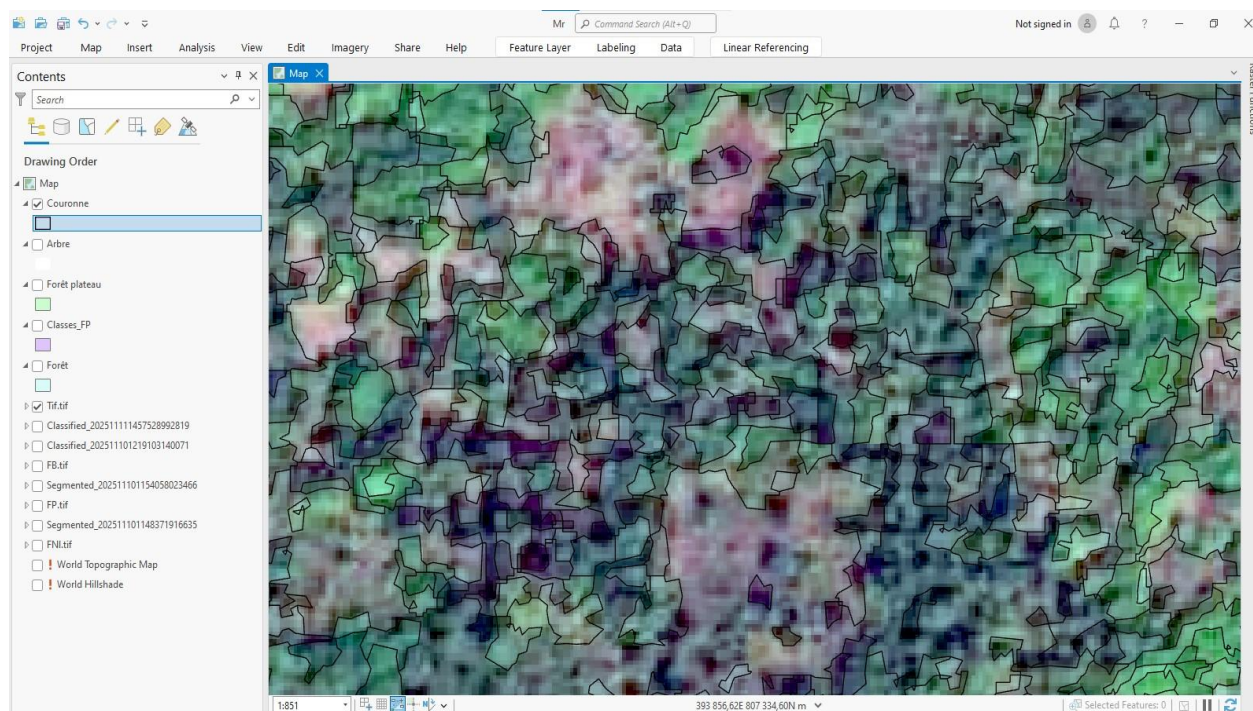
La figure 11 met en évidence la dynamique spatiale des champs et jachères, qui constituent les principaux espaces agroforestiers de la zone d'étude, marquées par une forte hétérogénéité et une forte extension sur le territoire. Cette organisation traduit l'alternance entre phase de culture et la période de jachères, favorisant la régénération et le maintien des ligneux au sein des parcelles agricoles. Ces informations agroforestières constituent ainsi des réservoirs importants de biomasse ligneuse dont l'évolution spatio-temporelle influence directement la capacité de séquestration du carbone.



## 2.2 Estimation du potentiel de ligneux et la capacité de séquestration de carbone

### 2.2.1 Extraction de la couronne des arbres

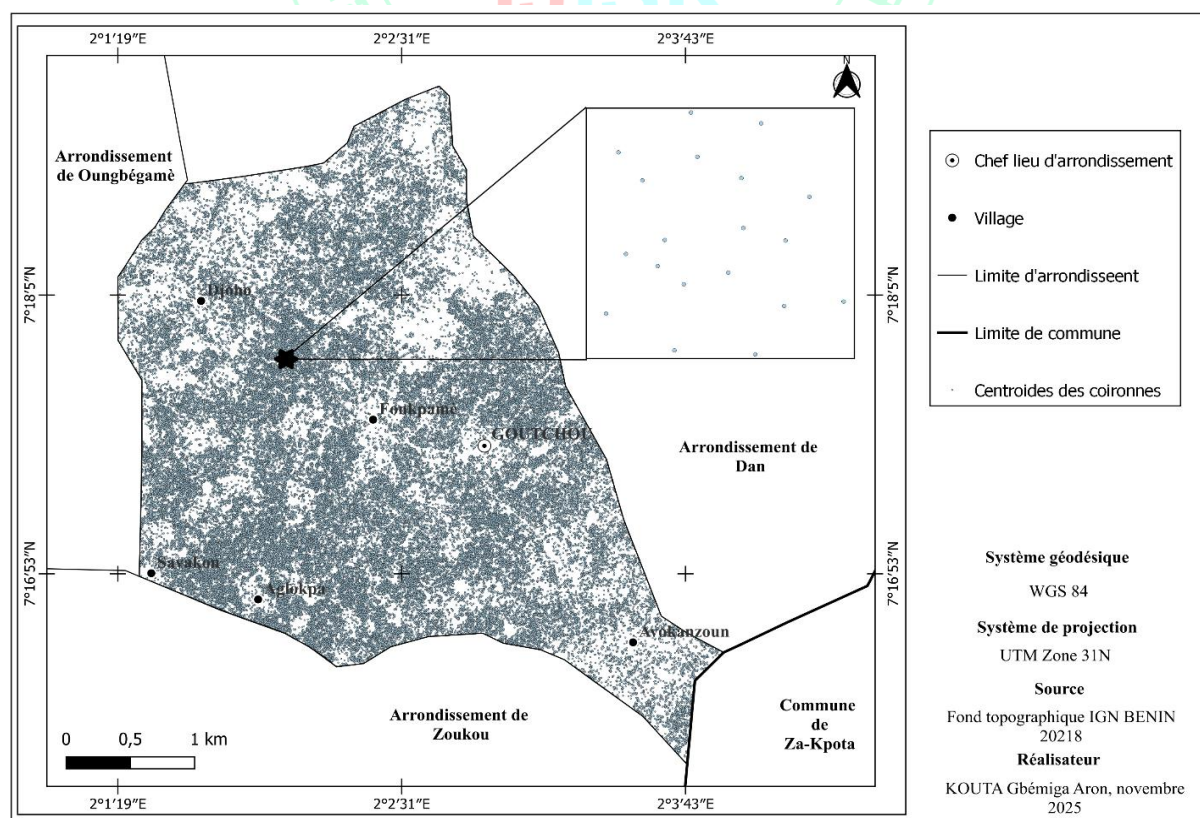
La classification binaire de l'image segmentée a permis d'obtenir la couronne des arbres sur la photo qui est la suivante.



**Photo 2** Extraction de la couronne des arbres

Cette photo montre les arbres extraits à l'image Google Earth dans l'environnement de ArcGIS Pro conduisant ainsi à l'extraction de la couronne des arbres de diamètre comprise entre 2m et 20 m. De cette extraction, on décompte 78 809 arbres.

La cartographie des systèmes agroforestiers de l'arrondissement nous a permis de spatialiser les ligneux. La figure suivante présente la cartographie de l'ensemble des ligneux du système agroforestier de Agondji.



**Fig. 11** Couronne des arbres

L'analyse de cette figure montre que l'ensemble de l'arrondissement est cultivé. Les zones sans couronnes sur la carte témoignent les zones non cultivées, les agglomérations, les galeries, la couronnes des ligneux ayant une superficie inférieure à  $3,14\text{m}^2$  ou supérieure à  $314,28\text{m}^2$ .

## 2.2.2 Estimation du stock de carbone séquestré

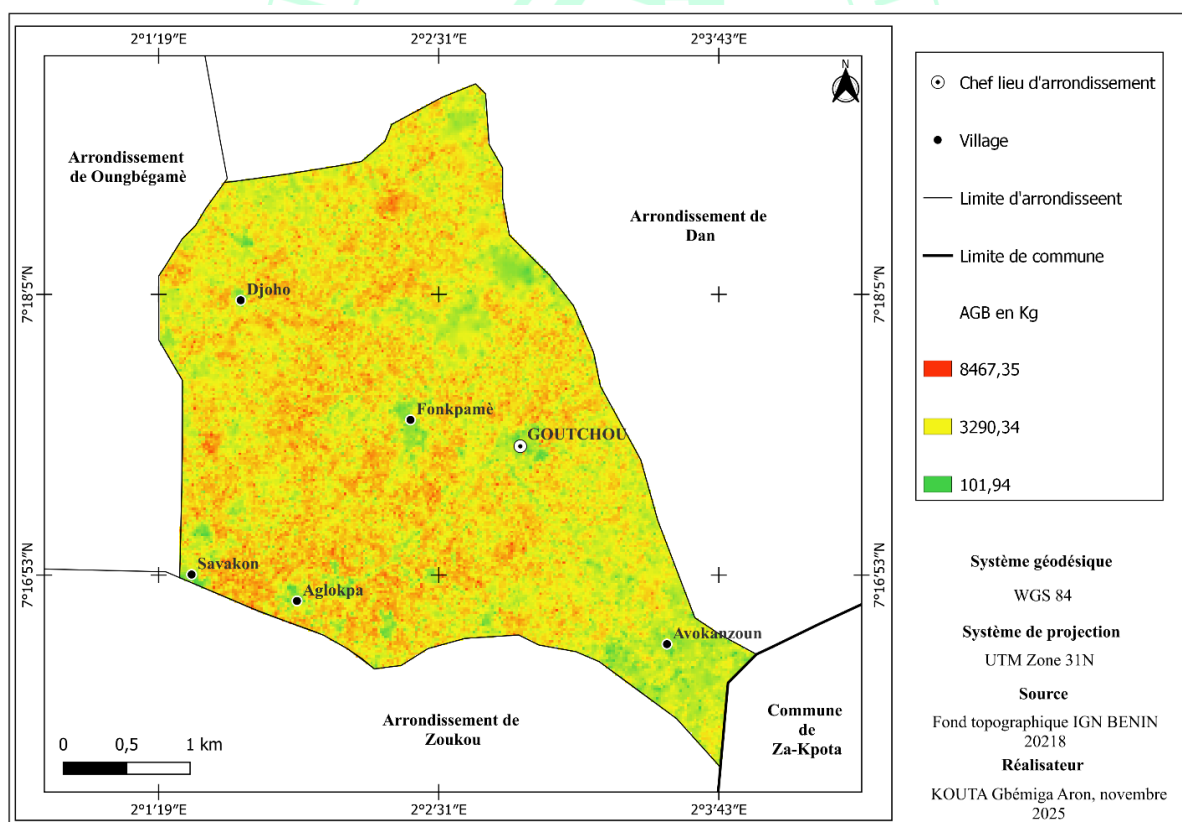
Après avoir étudié la répartition et la structure des ligneux dans l'arrondissement d'Agondji à partir des données précédemment utilisées, il devient essentiel d'estimer le stock de carbone séquestré afin de quantifier la contribution de cette végétation à la capture du carbone et à la régulation du climat local. Cette étape permet de transformer les informations géospatiales des arbres en indicateurs fonctionnels, offrant ainsi une évaluation précieuse pour la gestion durable des ressources forestières et la planification environnementale.

**Tableau II** Biomasse globale des ligneux AGB : Aboveground Biomass C: Carbone

AGB en kg			Carbone séquestré	
Classe de DBH	Quantité	Moyenne	Quantité	Moyenne
$\leq 20$	155959,98	27,51	73418,23	12,95
[ 20 - 40]	1078018,9	27,64	5064933,85	129,87
[ 40 - 60]	21411636,4	971,32	10062778	456,96
[60 - 80]	20501802,5	2543,33	9635387,48	1195,16
> 80	16693394,3	5286,06	7846161,67	2484,53
<b>Total</b>	<b>59840812,08</b>	<b>8855,86</b>	<b>32682679,23</b>	<b>4279,47</b>

Source : KOUTA, 2025

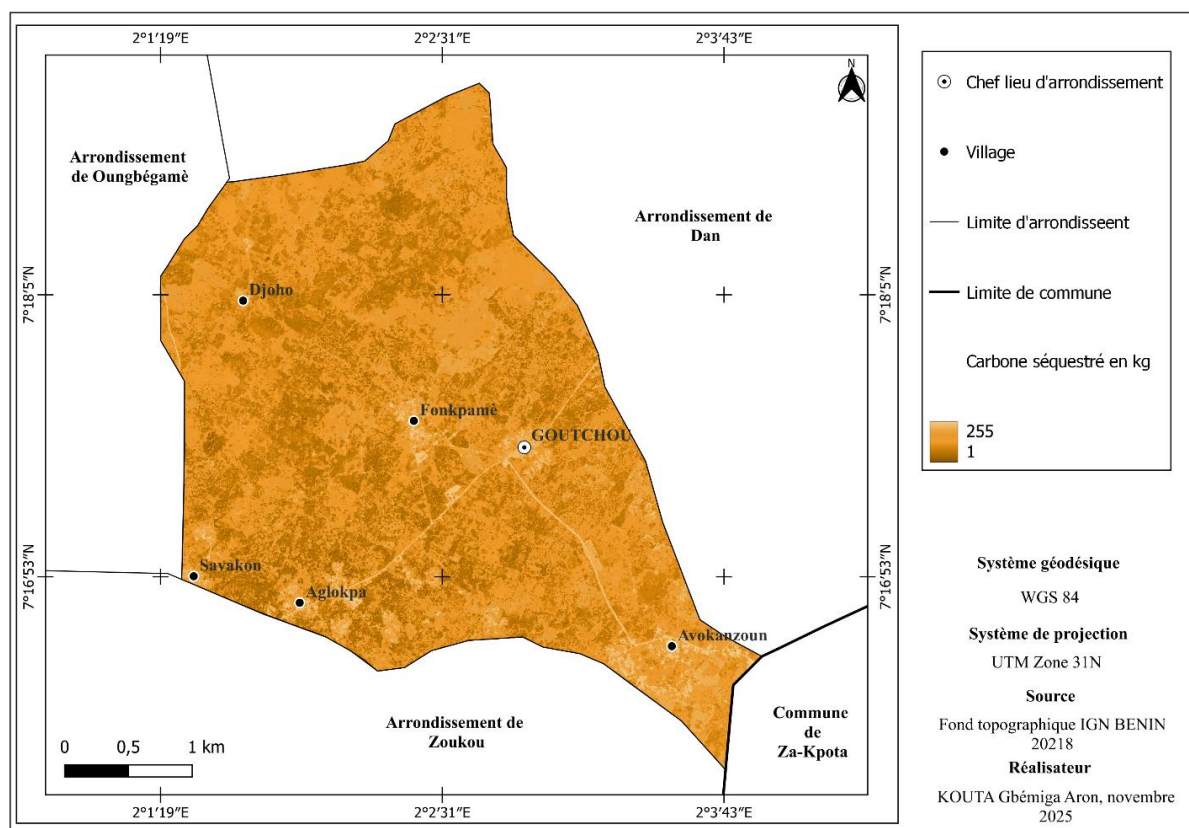
De l'analyse de ce tableau, il ressort la biomasse des espaces agroforestier de l'arrondissement d'Agondji est de 59840812,08 Kg soit une séquestration de 32682679,23 Kg. En moyenne la biomasse aérienne est de 8855,86 Kg par hectare pour une quantité de séquestration du carbone de 4279,47 Kg. La quantité de biomasse et de séquestration du carbone sont spatialement figurées.



**Fig. 12** Biomasse aérienne (ABG) des ligneux

La figure 12 montre la zone d'étude caractérisée par une faible quantité de biomasse aérienne. La figure suivante montre la spatialisation du carbone séquestré.





**Fig. 13** Carbone séquestré des ligneux

La figure 13 montre le carbone séquestré au niveau de la zone d'étude. De l'analyse de cette figure, il est constaté une quantité de séquestration de carbone importante caractérisée par la quantité suffisante ligneuse dans la zone.

### 3. Conclusion

Cette étude constitue une contribution majeure à la connaissance et à la caractérisation écologique des espaces agroforestiers de l'arrondissement d'Agondji, en mobilisant de manière intégrée les outils de télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG) et les méthodes dendrométriques. L'exploitation combinée des images satellitaires de haute résolution issues de Google Earth et de Sentinel-2, associée aux outils d'analyse spatiale disponibles dans ArcGIS Map et ArcGIS Pro, a permis d'obtenir une cartographie fine et fidèle de la distribution spatiale des ligneux au sein des systèmes agroforestiers locaux. Cette démarche intégrée a favorisé une meilleure compréhension de l'organisation spatiale du couvert arboré en milieu rural. L'extraction des couronnes d'arbres et leur traitement à l'aide d'équations allométriques adaptées ont permis d'estimer des paramètres dendrométriques essentiels, notamment le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la hauteur totale des ligneux. Ces paramètres constituent une base indispensable pour l'estimation de la biomasse aérienne et, par conséquent, pour l'évaluation du potentiel de séquestration du carbone. Dans le contexte de l'arrondissement d'Agondji, où les systèmes agroforestiers jouent un rôle central dans les moyens de subsistance des ménages, cette estimation met en évidence leur importance en tant que puits de carbone et levier d'atténuation du changement climatique.

Les analyses floristiques et structurales réalisées dans la zone d'étude révèlent une transition marquée entre les formations végétales naturelles et celles fortement influencées par les activités anthropiques. Cette dynamique met en évidence la pression croissante exercée par l'agriculture extensive, le défrichement et l'augmentation de la demande en ressources ligneuses, notamment pour le bois-énergie, le fourrage et les matériaux de construction. À Agondji, ces pressions se traduisent par une fragmentation progressive du couvert arboré et une diminution notable du nombre d'arbres adultes, pourtant essentiels au maintien des stocks de carbone et à la résilience écologique des agroécosystèmes.

Par ailleurs, l'intégration des données Sentinel-2 à haute résolution a significativement amélioré la précision spatiale de la classification du couvert ligneux. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de capteurs multispectraux récents permet une meilleure discrimination des structures arborées dans les paysages agroforestiers, renforçant ainsi la fiabilité du zonage proposé pour l'arrondissement d'Agondji.

## Références bibliographiques

1. Agyeman, Kwame, Mensah, Kwesi et Ofori, Michael (2021). *Application of GIS and remote sensing for carbon stock estimation in West African agroforestry systems*. Accra : University of Ghana Press, p. 102.
2. Aholoukpè, Victor, Assogba, Rodrigue et Houssou, Michel (2022). *Structure et densité des couronnes dans les systèmes agroforestiers du Bénin*. Cotonou : Institut National de Recherche Agricole, p. 47-52.
3. Ahononga, Rodrigue, Houssou, Michel (2025). *Impacts of land-use change on carbon storage in Benin*. Cotonou : Université d'Abomey-Calavi, p. 1025-1027.
4. Albrecht, Andreas et Kandji, Sileshi T. (2003). *Carbon sequestration in tropical agroforestry systems*. Nairobi : World Agroforestry Centre, p. 12.
5. Alemayehu, Tadesse, Bekele, Samuel et Tesfaye, Daniel (2022). *Spatial integration of satellite imagery for improved agroforestry planning in Ethiopia*. Addis Ababa : Ethiopian Institute of Agricultural Research, p. 145.
6. Amadji, Patrice, Koutou, Rodrigue et Houssou, Michel (2020). *Enhancing soil productivity and carbon sequestration through tree integration in tropical agroecosystems*. Cotonou : Institut National de Recherche Agricole, p. 78.
7. Assogba, Rodrigue, Houssou, Michel et Aholoukpè, Victor (2022). *Analyse de la biomasse aérienne et séquestration du carbone dans les agroécosystèmes béninois*. Cotonou : Université d'Abomey-Calavi, p. 6-7.
8. Assogbadjo, Achille E., Sinsin, Bachir et Glèlè Kakaï, Rodrigue (2012). *Biodiversity and carbon sequestration in West African agroforestry systems*. Cotonou : Université d'Abomey-Calavi, p. 45.
9. Bidou, Augustin, Houssou, Michel et Gbénou, Rodrigue (2019). *Characterization of agroforestry systems in southern Benin using remote sensing and GIS*. Cotonou : Université d'Abomey-Calavi, p. 103.
10. Brümmer, Benjamin, Schmitz, Christian et Müller, Franz (2008). *Interannual variability of CO<sub>2</sub> assimilation in savanna ecosystems*. Journal of Tropical Ecology, 24, p. 314.
11. Brundtland Report (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford : Oxford University Press, p. 8.
12. Brown, Sandra (2002). *Carbon release from forest degradation and implications for climate change*. London : Earthscan, p. 10.
13. Campbell, James B. et Wynne, Randolph H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. 5e éd. New York : Guilford Press, p. 5. CIFOR-ICRAF (2023). *Agroforestry and carbon mitigation policy brief for Benin*. Bogor : CIFOR-ICRAF, p. 5-6.
14. Coulibaly, Moussa, Traoré, Issa et Diarra, Alassane (2023). *Policy frameworks and spatial data for sustainable agroforestry in West Africa*. Bamako : West African Development Press, p. 209.
15. Dale, V.H. et McLaughlin, S.B. (1999). *Land use policy and integrated management*. Washington, D.C. : Island Press, p. 46.
16. Daouda, Idriss, Saïdou, Amadou et Alassane, Moussa (2017). *Organic carbon stock in cashew plantations along a climatic gradient in Benin*. Cotonou : Université d'Abomey-Calavi, p. 3602-3603. de Smith, Michael J., Goodchild, Michael F. et Longley, Paul A. (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide*. 6e éd. Leicester : Troubador Publishing, p. 102.
17. ESRI (2020). *Understanding GIS: The ArcGIS System and Spatial Analysis*. Redlands, CA : ESRI Press, p. 12.
18. FAO (2011). *Land tenure and management policies for sustainable agriculture*. Rome : FAO, p. 22.
19. Glasson, John, Therivel, Riki et Chadwick, Andrew (2012). *Introduction to Environmental Impact Assessment*. 4e éd. London : Routledge, p. 55.
20. Goodchild, Michael F. (2007). *Citizens as sensors: The world of volunteered geography*. GeoJournal, 69, p. 61.