



Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (ENSAE-Pierre Ndiaye)



Amicale des Elèves et Stagiaires de l'ENSAE



Bureau des Statistiques de l'AES

Rapport du projet pour le Hackathon stat en Action

Soumis par :

ATCHOU Amavi Anna Joyce

DIEME Moussa

KONLAMBIGUE L. Youdan-yamin

Elèves Ingénieurs Statisticiens à l'ENSAE

13 Avril 2025

Table des matières

I.	Présentation du projet GeoForestGuardian	3
II.	Contexte général	3
III.	Problématique.....	3
IV.	Objectifs du projet.....	4
V.	Livrables.....	4
VI.	Source des données et méthodologie	4
1.	Source des données	4
2.	Méthodologie.....	5
VII.	Impacts du projet	7
3.	Sur l'écosystème environnemental.....	7
4.	Sur l'écosystème des données	8
VIII.	Perspectives de développement	8
IX.	Profil des membres de l'équipe	9
XI.	Un aperçu de l'application.....	10

I. Présentation du projet GeoForestGuardian

GeoForestGuardian (traduit littéralement en « Gardien des forêts de nos terres ») est une application innovante de surveillance environnementale, conçue pour analyser la densité forestière et suivre l'évolution du couvert végétal des forêts classées du Sénégal. La plateforme centralise des données précises sur les forêts classées et permet de suivre les dynamiques de d'évolution au fil du temps en vue de détecter d'éventuelles dégradations.

II. Contexte général

En Afrique d'une manière générale, et au Sénégal en particulier, la perte de superficies forestières se fait à un rythme important. Ce dernier, pays sahélien, couvre une superficie de 196 712 km² avec une population estimée à 13 508 715 habitants soit une densité moyenne de 69 habitants/km² avec un indice de développement humain (IDH) de 0,47 en 2012 (ANSD, 2014).

Sur le plan biophysique, la superficie terrestre du Sénégal, selon LADA (*Land Degradation Assessment in Drylands*), est de 20 179 118 ha et la superficie du domaine forestier (forêts du domaine classé, forêts du domaine protégé et autres terres boisées) est estimée à 13 523 000 ha (FRA, 2015). Sachant que les terres cultivées sont passées de 32 600 km² en 1975 à 41 000 km² en 2013, l'agriculture exerce une forte pression sur les paysages naturels au Sénégal, remplaçant et fragmentant les savanes, les forêts claires et les forêts denses. Chaque année le pays perd près de 45 000 ha de forêts, Dans ce contexte, la surveillance des forêts devient une priorité pour les politiques environnementales, le développement durable et la résilience climatique du pays.





III. Problématique

La déforestation n'est pas un phénomène récent au Sénégal. L'histoire de l'urbanisation montre comment le peuplement des espaces urbains a accéléré une dégradation du couvert végétal à l'échelle nationale. Malgré les énormes efforts déployés en matière de gestion environnementale, les solutions actuels sont limitées et ne permettent pas d'avoir une mainmise sur le processus de dégradation des forêts. Ces solutions souffrant pour la plupart du manque de suivie spontanée, de l'accès limité aux données, et de la faible intégration des technologies spatiales dans le processus de surveillance des forêts.

Le problème qui se pose est alors de savoir : **comment concevoir une plateforme numérique performante, accessible et capable de suivre la dégradation de la couverture forestière au Sénégal, pour soutenir les efforts de préservation et de gestion des forêts ?**

IV. Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est de développer une application interactive basé sur les données géospatiales pour l'analyse, la visualisation et le suivi du couvert végétal des forêts classés au Sénégal afin d'appuyer la gestion des ressources forestières. Plus spécifiquement, il s'agira de :

-  Elaborer une méthode de classification du couvert végétal des forêts classées.
-  **Analyser l'évolution temporelle** du couvert forestier afin de détecter les zones affectées par la déforestation ou la dégradation au fil des années.
-  Identifier les mutations subies par une catégorie de couvert végétal dans le temps
-  **Favoriser l'accès aux informations forestières** pour les décideurs, chercheurs, ONG et autorités compétentes, à travers une plateforme intuitive.

V. Livrables

En termes de livrables pour le projet **GeoForestGuardian**, deux éléments clés sont produits :

- **Une site web interactive**, permettant de visualiser, analyser et suivre l'évolution de la couverture forestière, à travers des cartes dynamiques, des indicateurs sur les zones à risque de dégradation.
- **Un rapport d'analyse** type qui peut être fait en utilisant l'application web qui par la suite sera automatisé (en perspective)

VI. Source des données et méthodologie

1. Source des données et stockage

D'abord pour avoir une liste exhaustive des forêts classées du Sénégal, les données de l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire disponibles sur la plateforme GéoSénégal ont été utilisées. Il s'agit d'un shapefile dont les polygones correspondent aux forêts classées du Sénégal. Ensuite pour chaque polygone et donc forêt classée, une série chronologique de

raster allant de 2017 à 2023 uniquement pour le mois de janvier (saison sèche) sont issues du satellite Sentinel-2 L2A (ayant un niveau atmosphérique corrigé). L'extraction des données de Sentinel est automatisée via l'utilisation de l'api de sentinelHub. Pour chaque raster on définit 5 bandes :

- B2 : Rouge visible (résolution 10 m)
- B3 : Vert visible (résolution 10 m)
- B4 : Bleue visible (résolution 10 m)
- B8 : Infrarouge proche (résolution 10 m)
- NDVI : calculé à partir des bandes B4 et B8 (résolution 10 m)

Les trois premières bandes ont été choisies pour permettre une visualisation qui donne l'aspect réel de la forêt en regardant à l'oeil nu (grâce à la composition RGB). La bande B8 a été ajoutée afin de pouvoir calculer le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) qui est l'indice utilisée pour les traitements. Pour ces bandes des recompositions ont été faites durant le mois de janvier afin d'avoir les meilleures images possibles pour les traitements.

Les données utilisées dans le cadre du projet sont stockées dans un bucket S3 nommé hackaton-stat, hébergé sur la plateforme AWS. Ce bucket contient deux dossiers principaux : data-raster et shapefiles. Le dossier shapefiles/ regroupe à la fois les shapefiles bruts représentant les forêts étudiées dans le projet, ainsi que des shapefiles dérivés classant ces forêts en fonction des indices NDVI calculés. Quant au dossier data_raster/, il contient les fichiers raster correspondant à l'évolution du couvert forestier, répartis par année.

2. Méthodologie

- Indice de classification des zones dans les forêts classée :

L'indice utilisé est le le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Il se calcule à partir des valeurs des bandes B4 et B8.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

En effet la chlorophylle absorbe fortement le rouge visible (B4) pour la photosynthèse et les cellules végétales reflètent le proche infrarouge (B8). Par conséquent plus une surface est couverte de végétation dense et est en bonne santé et plus le NDVI est élevé par construction. Il est toujours compris entre -1 et 1. Après une revue de littérature, les seuils ci-après ont été fixés pour les catégories de couvert végétal :

Indice	Classe	Seuil NDVI	Interpretation
1	Absence ou très faible végétation	$\text{NDVI} < 0.1$	Sol nu, surfaces artificielles, zones dégradées
2	Faible végétation	$0.1 \leq \text{NDVI} < 0.3$	Végétation clairsemée ou stressée
3	Végétation modérée	$0.3 \leq \text{NDVI} < 0.5$	Prairie, cultures peu denses
4	Végétation dense	$0.5 \leq \text{NDVI} < 0.7$	Forêts feuillues, cultures en croissance
5	Végétation très dense	$\text{NDVI} \geq 0.7$	Forêts tropicales, canopées fermées

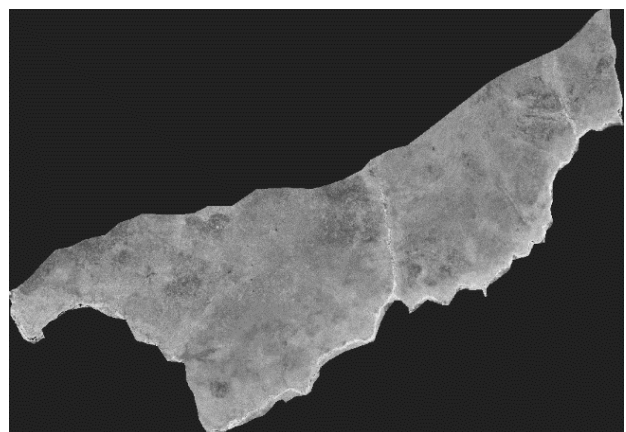
Le NDVI a été préféré à d'autres indices comme l'EVI (Enhanced Vegetation Index) ou encore SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) car :

- Les données étant collectés sur une même période, on peut supposée qu'en glissement annuelle le sol garde globalement une même couverture (petites herbes...)
- La saturation du NDVI vers 0.8 ne cause pas un grand problème car pour la plus part ds forêts classées l'indice n'atteint que très rarement cette valeurs et aussi l'objectif du projet est plus de détecter les grands changement de couvert végétal.

Exemple : Forêt classée de Bakor en 2017



Couleur RGB (B2 B3 B4)

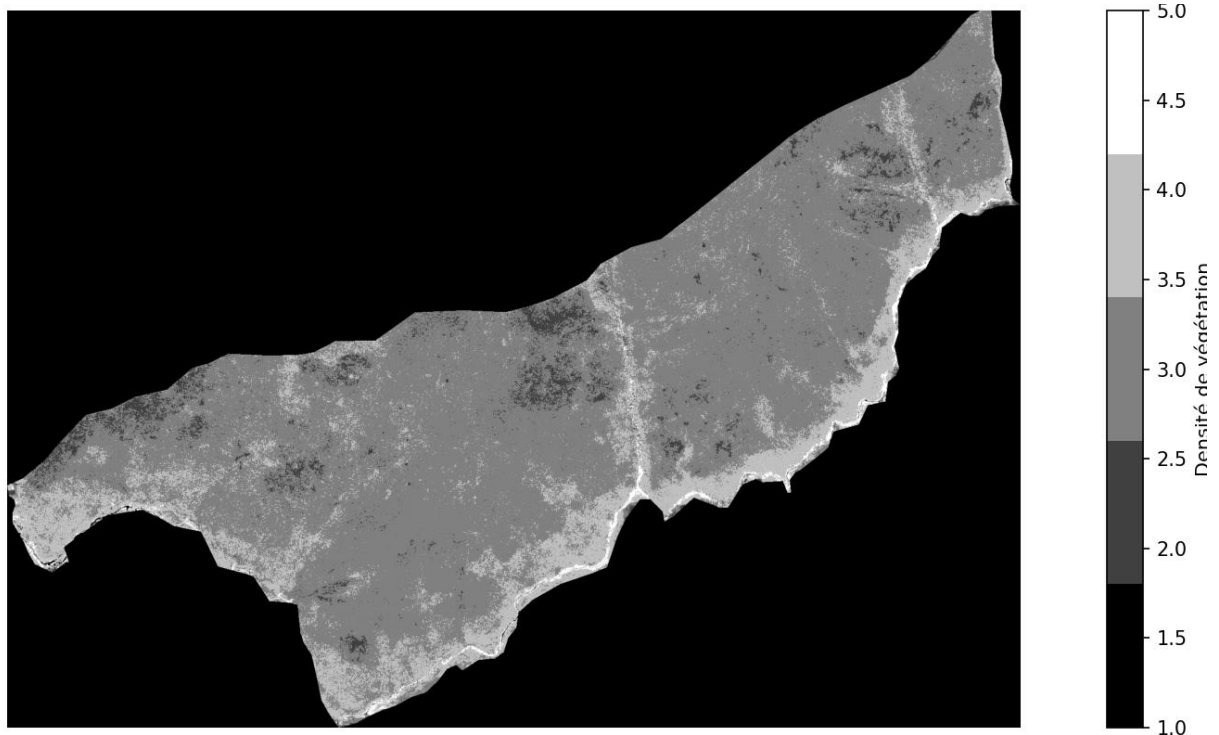


NDVI : Nuance noir à blanc

➤ **Détection du changement de couvert végétal**

A partir des classe qui ont été définis plus haut, on peut évaluer le changement de couvert végétal, pour une forêt donnée, au cours du temps, en faisant la différence des deux rasters de ces périodes. Le nouveau raster obtenu prendra alors des valeurs dans l'ensemble $[-4, 4]$. On peut alors identifier les saut de classes. Par exemple pour un polygone donnée, où la valeur -4 est observé cela signifie qu'on a des pixel qui ont quitter la classe 5 (forêt très dense) pour la classe 1 (sol presque nu de verdure) signifiant ainsi une forte perte de couvert végétal. Aussi pour une classe donnée, en utilisant un mask, pour une classe d'intérêt, créé à partir d'un raster d'une date référence sur le raster de la date dont on veut faire la comparaison, on peut voir comment cette classe a évolué.

Exemple 2 : Forêt classée de Bakor en 2017 pour les classes de NDVI



VII. Impacts du projet

Le projet **GeoForestGuardian** est porteur d'impacts significatifs s'étendant du domaine environnemental, à l'écosystème des données.

1. Sur l'écosystème environnemental

- ✚ **Lutte contre la déforestation** grâce au suivi et à l'analyse des zones à risque et à la réaction des autorités compétentes.

- ✚ **Préservation de la biodiversité** par la lutte contre la dégradation des zones forestières.
- ✚ **Amélioration de la résilience** face aux défis du changement climatique, à travers la conservation du couvert végétal.

2. Sur l'écosystème des données

- ✚ **Mise à disposition des données** forestières issues de l'imagerie satellitaire au sein de la plateforme.
- ✚ **Ouverture des données** (open data) pour favoriser l'accès libre et équitable aux informations environnementales.
- ✚ **Stimulation de l'innovation et de la recherche** grâce à la disponibilité de données fiables pour les chercheurs, les étudiants et les développeurs.

VIII. Perspectives de développement

Pour renforcer l'efficacité, la précision et l'autonomie du système, plusieurs évolutions techniques et fonctionnelles sont prévues à moyen et long terme :

✚ **Amélioration des méthodes d'analyse par l'intégration des méthodes de machine Learning et de l'intelligence artificielle**

En raison du manque d'accès aux données satellitaires à haute résolution (précision de l'ordre du mètre), le projet a initialement reposé sur l'utilisation de l'indice de végétation NDVI, accessible et largement utilisé pour l'analyse de la couverture végétale. Cependant, cette méthode reste dépendante de seuils empiriques, qui varient selon les régions, les saisons ou les types de végétation, ce qui peut limiter la précision des résultats. Pour dépasser ces contraintes méthodologiques, une évolution vers des approches basées sur l'apprentissage automatique (classification supervisée, SVM, Random Forest, etc.) est envisagée. Ces techniques permettront d'améliorer significativement la détection des types de couvert végétal et des zones de dégradation, tout en exploitant la complémentarité de différentes sources satellitaires (Sentinel, Landsat, MODIS) afin d'obtenir une meilleure résolution temporelle et spatiale.

✚ **Génération automatique de rapports d'analyse**

L'application pourra générer automatiquement des rapports d'analyse au format PDF ou HTML, intégrant des cartes, graphiques, statistiques et observations clés, à l'image du rapport

d'analyse joint en annexe. Ces rapports comprendront également des résumés automatiques ainsi que des recommandations fondées sur les tendances observées.

Mise en place d'un système d'alerte en temps réel

Un système d'alerte sera intégré à la plateforme afin de permettre la réactivité face aux menaces. En combinant les données satellitaires et les algorithmes de machine Learning, le système pourra détecter automatiquement une perte soudaine de végétation ou des feux de brousse. Ces alertes seront transmises en temps réel par divers canaux aux autorités compétentes.

IX. Profil des membres de l'équipe

L'équipe est composée d'élèves ingénieurs statisticiens économistes en deuxième année. Tous les membres de l'équipe, grâce aux cours suivis et à des approfondissements ont des compétences en SIG (Système d'Information Géographiques) avec QGIS et python, en statistiques spatiale exploratoire, en programmation web. Par ailleurs, un des membres de l'équipe a des compétences en développement d'application web.

X. Références bibliographiques utilisées

- [1] Boye, A. (2000, octobre). Étude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- [2] Solly, B., Dieye, E. H. B., Sy, O., Sane, T., Diedhiou, I., Ba, B. D., & Thior, M. (s.d.). Dynamique de la déforestation en zone frontalière au nord de la Haute-Casamance (Sénégal). [Rapport de recherche].
- [3] Caunes, R. (s.d.). Développement de méthodes de classification de l'occupation du sol robustes ne nécessitant pas de données d'apprentissage spécifiques de l'année. [Mémoire ou rapport technique].
- [4] Direction de la Planification de l'Environnement et du Développement Durable (DPEDD). (s.d.). Compte de l'occupation des sols au Sénégal (2010-2015). [Rapport national].
- [5] Truong, A. V. Q. (s.d.). Télédétection des forêts dégradées en Guinée à partir des données Sentinel-2. [Étude de cas ou note technique].
- [6] Truong, A. V. Q. (s.d.). Deforestation monitoring with xarray. Consulté via Copernicus Data Space Ecosystem.

Lien :

https://jupyterhub.dataspace.copernicus.eu/user/ya*@gmail.com/lab/tree/samples/sentinelhub/deforestation_monitoring_with_xarray.ipynb

XI. Un aperçu de l'application

