

# REPUBLIQUE DU SENEGAL

\*\*\*\*\*

**Un peuple- un But- une Foi**

\*\*\*\*\*



**Agence nationale de la Statistique et de la Démographie**

\*\*\*\*\*



**Ecole nationale de la Statistique et de l'Analyse économique**

\*\*\*\*\*



## Statistique exploratoire spatiale : Résumé des TPs

**Réalisé par :**

Astou Diop

**Sous la supervision de :**

M. Aboubacar HEMA

## Table des matières

Introduction .....	1
TP1 : Analyse spatiale du paludisme et de la population au Cameroun (JavaScript) .....	2
1. Description du TP.....	2
2. Sources des données.....	2
3. Exploitations des données .....	2
4. Outputs .....	3
TP2 : Analyse spatiale des infrastructures au Cameroun avec R .....	4
1. Description du TP.....	4
2. Sources des données.....	4
3. Outputs .....	5
TP3 : Extension du TP2 avec intégration des données de population (R) .....	6
1. Description du TP.....	6
2. Sources des données.....	6
3. Outputs .....	6
TP4 : Analyse des différentes catégories de terres en Ouganda (API Python) .....	8
1. Description du TP.....	8
2. Sources des données.....	8
3. Outputs .....	9
TP5 : Calcul et analyse du ratio LCRPGR au Rwanda entre 2015 et 2025 (Python classique)	10
1. Description du TP.....	10
2. Sources des données.....	11
3. Outputs .....	11
TP6 : Calcul et analyse spatiale des indices spectraux au Mali (2021–2022) et fusion avec les données EHCVM (Python classique).....	13
1. Description du TP.....	13
2. Sources des données.....	14
3. Outputs .....	15
Conclusion.....	17

---

## Introduction

---

Le cours de statistique exploratoire spatiale visait à développer des compétences en cartographie thématique et en analyse spatiale. Dispensé de manière interactive et pratique, il reposait principalement sur des travaux pratiques réalisés en groupes, favorisant à la fois le travail collaboratif et le développement des capacités de synthèse et de communication scientifique à travers les présentations orales des résultats.

Pour ces travaux pratiques, plusieurs environnements ont été mobilisés, notamment :

- Python (programmation classique) ;
- Python API intégrée à Google Earth Engine ;
- R pour l'analyse et la manipulation de données spatiales ;
- JavaScript dans l'environnement Google Earth Engine.

En amont, un **TP0** a été consacré à la prise en main de l'environnement **Google Earth Engine**, permettant de se familiariser avec l'interface, les jeux de données disponibles et les principales fonctionnalités de la plateforme.

Les autres ont porté sur des thématiques variées liées à l'analyse spatiale en Afrique :

- **TP1** : Analyse spatiale du paludisme et de la population au Cameroun (JavaScript) ;
- **TP2** : Analyse spatiale des infrastructures au Cameroun avec R ;
- **TP3** : Extension de l'analyse précédente avec intégration des données de population et création de buffers autour des infrastructures ;
- **TP4** : Analyse des différentes catégories de terres en Ouganda (Python API) ;
- **TP5** : Calcul et analyse du ratio LCRPGR au Rwanda entre 2015 et 2025 (Python) ;
- **TP6** : Calcul et analyse spatiale des indices spectraux au Mali (2021–2022) et fusion avec les données EHCVM (Python).

Le présent document propose une synthèse de ces différents travaux réalisés.

---

# TP1 : Analyse spatiale du paludisme et de la population au Cameroun (JavaScript)

---

## Équipe de réalisation :

AGNANGMA SANAM David Landry

DIOP Astou

DIOP Marème

NGAKE YAMAHA Herman Parfait

### 1. Description du TP

L'objectif principal était d'importer, manipuler et visualiser des données géospatiales de type raster et vectoriel afin d'analyser la distribution spatiale du paludisme et de la population au Cameroun pour l'année 2020. Une attention particulière a été portée à la consultation et à la vérification des propriétés des données (projection, résolution spatiale, structure des attributs).

### 2. Sources des données

Les données utilisées proviennent de différentes sources internationales reconnues :

- Les données d'incidence du paludisme sont issues du **Malaria Atlas Project**.
- Les limites administratives (pays, régions, départements, arrondissements) proviennent de la base **GADM**.
- Les données de densité de population sont issues du projet **WorldPop**.

### 3. Exploitations des données

#### ✓ **Chargement des données**

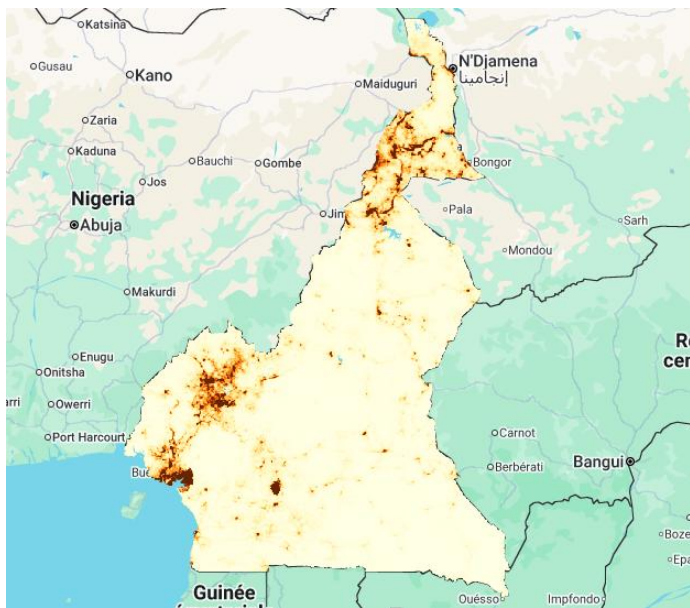
Importation des shapefiles administratifs et des rasters (population et paludisme) dans l'environnement Google Earth Engine.

#### ✓ **Consultation des métadonnées des objets**

- structure des FeatureCollections,
- projection des rasters,
- résolution spatiale (taille des pixels),

- bandes disponibles.
- ✓ **Visualisation sur la carte**
  - Centrage sur le Cameroun ;
  - Superposition des couches (densité de population en 2020, taux de prévalence du paludisme en 2020 et limites administratives).

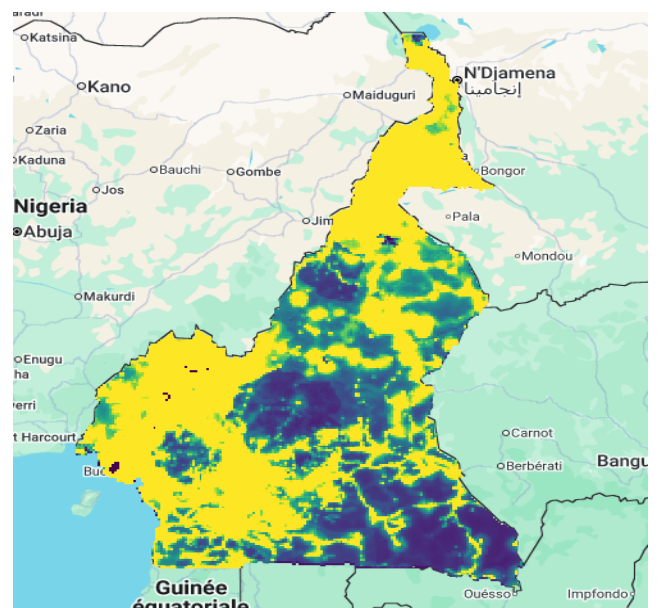
#### 4. Outputs



**Population (densité)**



0 ← valeurs → 500



**Paludisme (intensité)**



0 ← valeurs → 100

---

## TP2 : Analyse spatiale des infrastructures au Cameroun avec R

---

### Équipe de réalisation :

AGNANGMA SANAM David Landry

DIOP Astou

DIOP Marème

NGAKE YAMAHA Herman Parfait

### 1. Description du TP

Ce travail pratique avait pour objectif de réaliser une analyse spatiale du territoire camerounais à partir de différentes sources de données géospatiales.

L'analyse visait principalement à produire des visualisations thématiques, à la fois statiques et interactives, portant sur :

- Les établissements humains (villes, cities, towns, villages, hamlets, campagnes) ;
- Les structures sanitaires (hôpitaux, cliniques, pharmacies) ;
- Les établissements scolaires ;
- Les aires protégées ;
- Les réseaux hydrologiques (cours d'eau et surfaces d'eau) ;
- Les réseaux de transport (réseau routier et ferroviaire).

L'objectif était d'explorer la répartition spatiale de ces différentes infrastructures et d'en proposer une représentation cartographique.

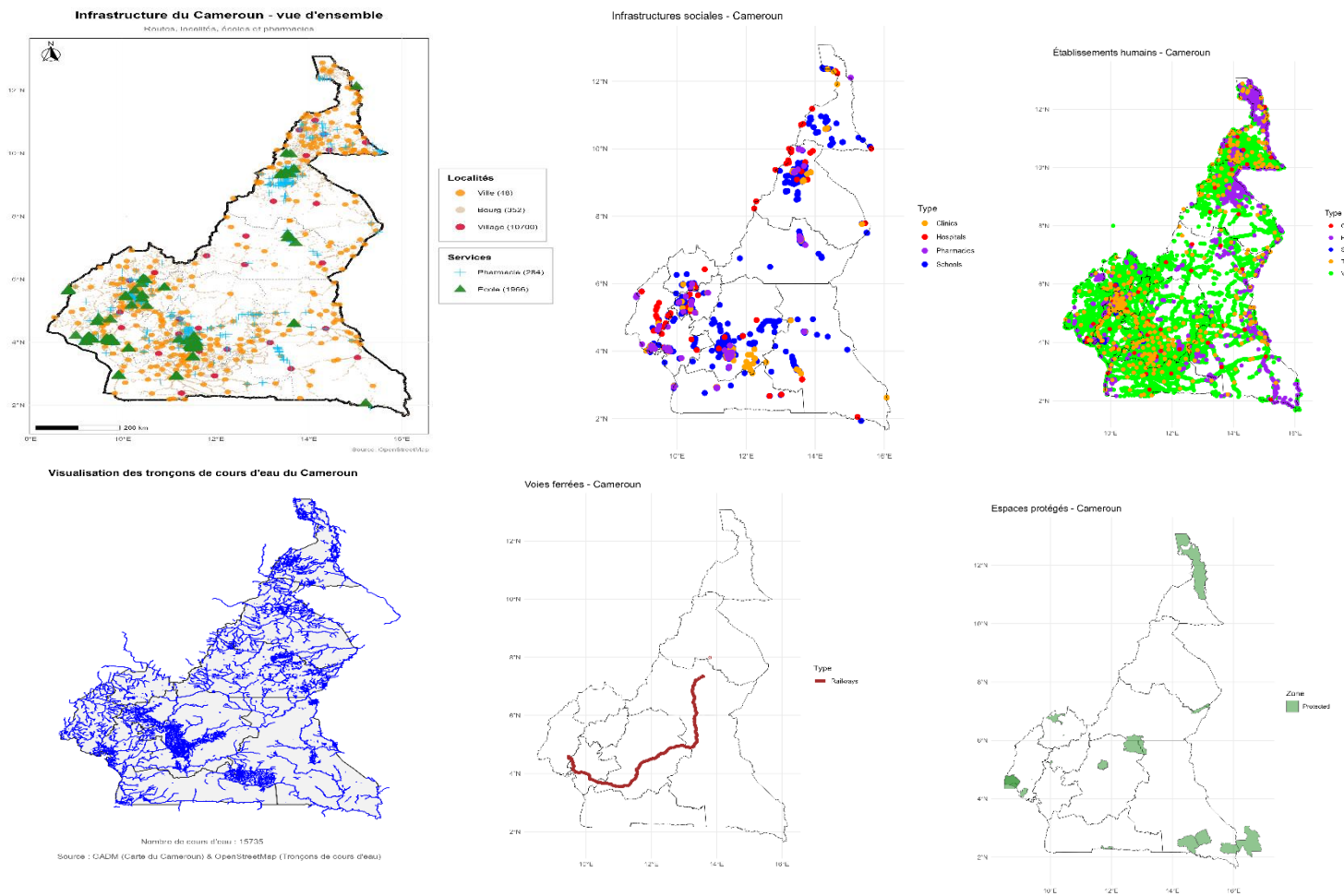
### 2. Sources des données

Les données utilisées proviennent principalement de sources ouvertes et reconnues :

- Les infrastructures (établissements humains, structures sanitaires, écoles, réseaux de transport, réseaux hydrologiques) sont issues de OpenStreetMap (OSM) ;
- Les données relatives aux aires protégées proviennent de la base Protected Planet ;

- Les limites administratives sont issues des shapefiles GADM.

### 3. Outputs



---

## TP3 : Extension du TP2 avec intégration des données de population (R)

---

### Équipe de réalisation :

AGNANGMA SANAM David Landry

DIOP Astou

DIOP Marème

NGAKE YAMAHA Herman Parfait

### 1. Description du TP

Le TP3 constitue une extension du TP2. L'objectif principal était d'intégrer les données de population aux analyses précédentes, afin d'évaluer :

- le nombre de personnes bénéficiant des infrastructures sociales et sanitaires ;
- le nombre de personnes vivant dans les aires protégées.

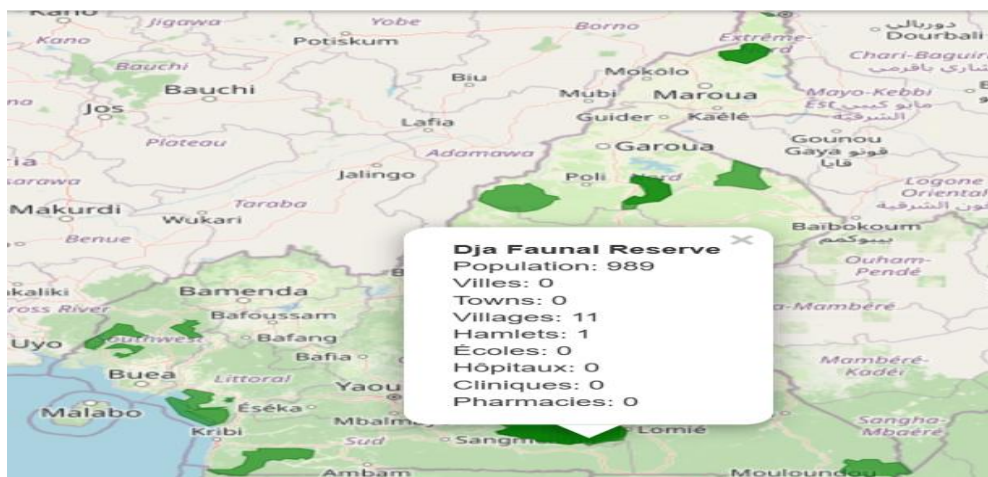
Pour ce faire, des **buffers** (zones tampon autour des infrastructures) ont été créés pour mesurer l'accès potentiel de la population aux différentes structures.

### 2. Sources des données

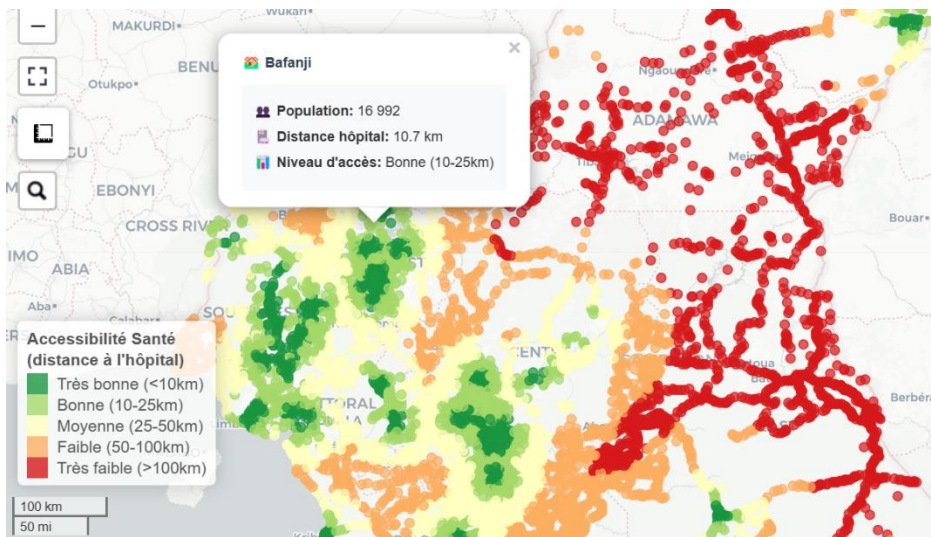
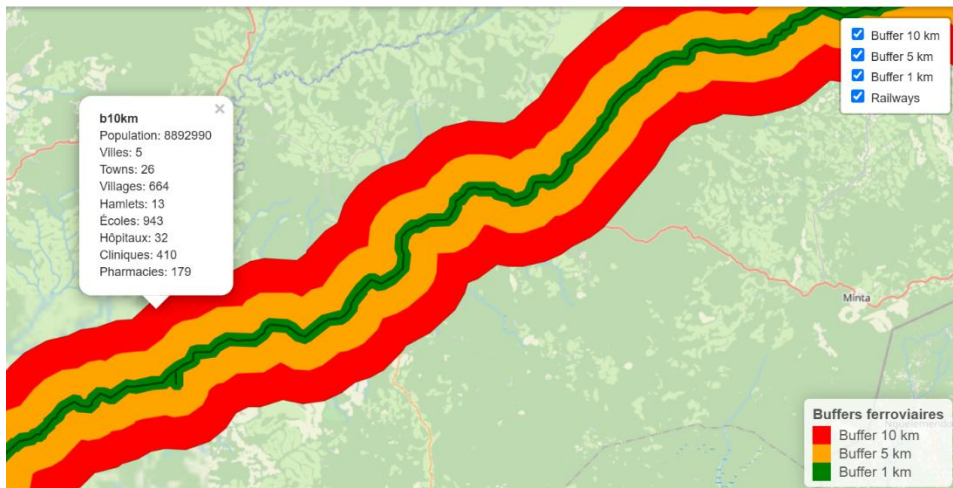
Les données utilisées sont les mêmes que pour le TP2, avec l'ajout de :

- les données de population provenant du projet **WorldPop**, fournissant des informations sur la répartition spatiale des habitants du Cameroun.

### 3. Outputs







---

## TP4 : Analyse des différentes catégories de terres en Ouganda (API Python)

---

DIOP Astou  
GUEBEDIAN Khadija  
NDIAYE Moustapha  
DIABANG Lamine

### 1. Description du TP

L'objectif de ce travail pratique était d'identifier les terres arables en Ouganda à partir de données géospatiales disponibles sur **Google Earth Engine (GEE)**.

L'analyse a consisté à créer, traiter et visualiser plusieurs rasters thématiques, afin de filtrer progressivement les zones impropres à l'agriculture. Les étapes principales étaient :

1. Agréger les terres cultivées et les zones déboisées pour constituer le potentiel initial de terres arables ;
2. Exclure successivement :
  - les surfaces imperméables ;
  - les zones de forte pente ( $\geq 15\%$ ) ;
  - les eaux permanentes ;
  - les aires protégées.

Cette approche permet de produire un raster final représentant les zones propices à l'agriculture en Ouganda.

### 2. Sources des données

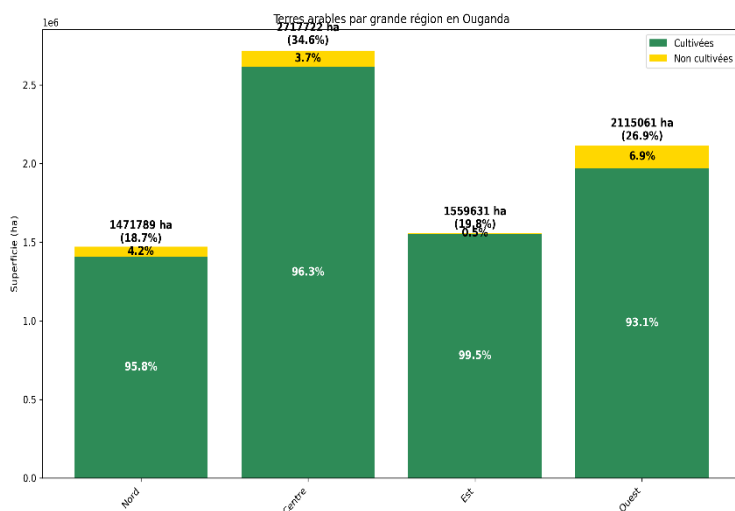
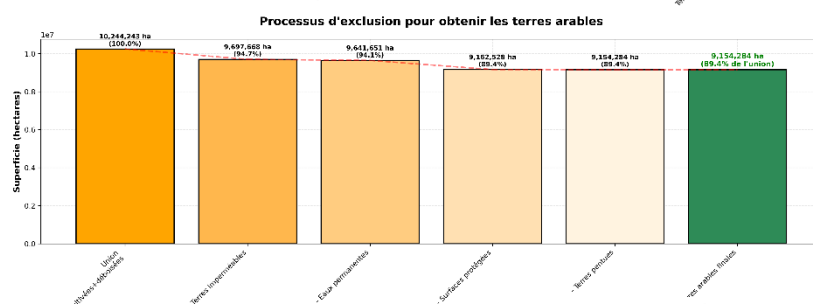
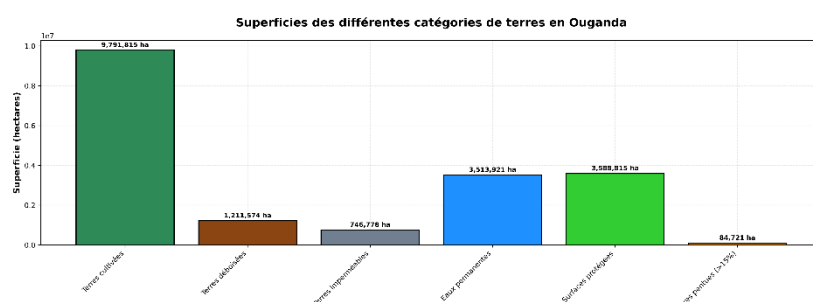
Pour y parvenir, Python est connecté à Google Earth Engine (GEE) afin de charger et traiter directement les collections de données spatiales. Le raster des terres cultivées (résolution 30 m, année 2022) provient du site **Earth System Science Data (ESSD)**. Comme le fichier

couvre toute l'Afrique, son importation directe dans GEE est très lourde ; il a donc été pré-découpé dans QGIS sur l'emprise de l'Ouganda avant d'être importé dans GEE.

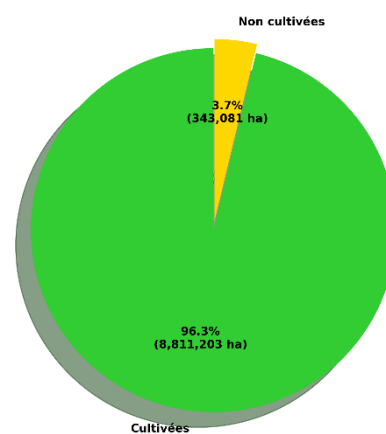
Les autres données sont chargées directement depuis les collections GEE suivantes :

- déforestation : UMD/hansen/global\_forest\_change\_2024\_v1\_12
- terres imperméables : projects/sat-io/open-datasets/GISA\_1972\_2021
- pentes : USGS/SRTMGL1\_003
- eaux permanentes : JRC/GSW1\_3/GlobalSurfaceWater
- aires protégées : WCMC/WDPA/current/polygons
- limites administratives : FAO/GAUL/2015

### 3. Outputs



**Répartition des terres arables en Ouganda**  
Total: 9,154,284 ha



---

## TP5 : Calcul et analyse du ratio LCRPGR au Rwanda entre 2015 et 2025 (Python classique)

---

### Équipe de réalisation :

DIOP Astou

GUEBEDIAN Khadija

RIRADJIM Trésor

TEVOEDJRE Michel

### 1. Description du TP

Ce travail pratique avait pour objectif de calculer et analyser le ratio LCRPGR (Land Consumption Rate to Population Growth Rate) au Rwanda pour la période 2015–2025.

Cet indicateur, référencé comme 11.3.1 des Objectifs de Développement Durable (ODD), mesure le ratio entre le taux de consommation des terres et le taux de croissance démographique. Selon UN-Habitat, un LCRPGR proche de 1 reflète un développement urbain durable, caractérisé par une croissance proportionnelle entre la population et l'espace urbain.

Le calcul a été réalisé à l'aide de Python, à partir de rasters d'occupation du sol bâti et de données démographiques.

### Calcul du LCRPGR

$$\text{LCRPGR} = \frac{((V_{\text{present}} - V_{\text{past}})/V_{\text{past}}) \times \frac{1}{T}}{\ln(P_{t+n}/P_t)/Y}$$

où :

- $V_{\text{present}}$  : surface bâtie à la fin de la période ( $\text{km}^2$ ) ;
- $V_{\text{past}}$  : surface bâtie au début de la période ( $\text{km}^2$ ) ;
- $T$  : durée de l'analyse en années (ex. 10 pour 2015–2025) ;
- $P_{t+n}$  : population totale à la fin de la période ;
- $P_t$  : population totale au début de la période ;
- $Y$  : nombre d'années de la période (identique à  $T$ ) ;
- $\ln$  : logarithme naturel.

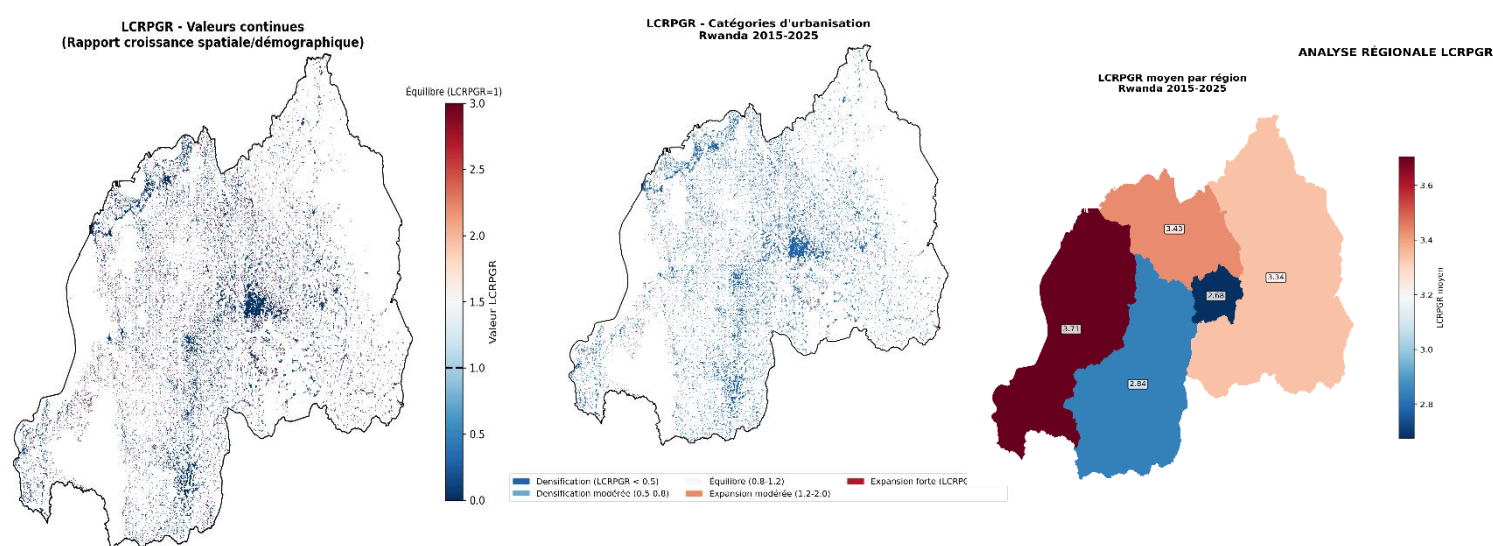
## Interprétation du LCRPGR

Valeur LCRPGR	Interprétation	Implications urbaines
< 1	Densification	La population croît plus rapidement que l'espace urbain. Urbanisation verticale, augmentation de la densité.
= 1	Équilibre	Croissance proportionnelle entre population et espace urbain.
> 1	Étalement urbain	L'espace urbain s'étend plus rapidement que la population. Urbanisation horizontale, faible densité.

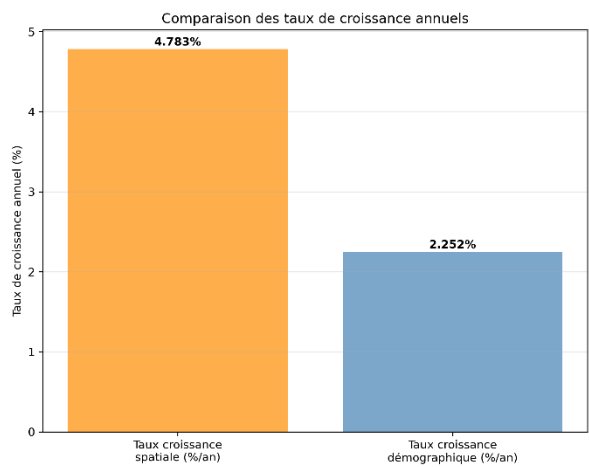
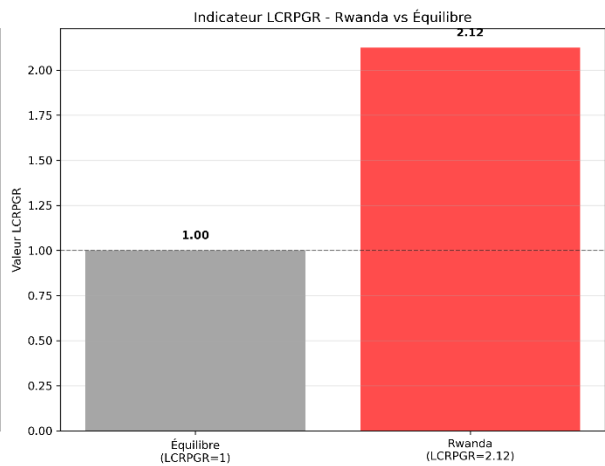
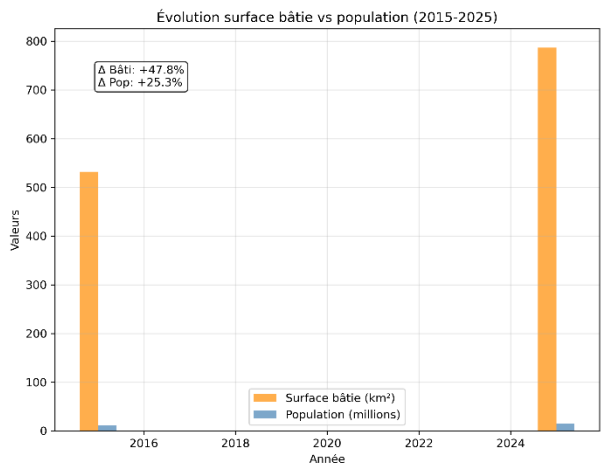
## 2. Sources des données

- GHSL / WSF (Global Human Settlement Layer / World Settlement Footprint) : raster de l'occupation du sol bâti, représentant l'empreinte urbaine au Rwanda ;
- WorldPop : données démographiques pour les années de début et de fin de la période d'analyse.
- limites administratives : FAO/GAUL/2015

## 3. Outputs



ANALYSE LCRPGR - RWANDA 2015-2025



RÉSULTAT LCRPGR: 2.124

INTERPRÉTATION:

- LCRPGR > 1 → Expansion urbaine
- LCRPGR < 1 → Densification

ANALYSE RWANDA (2015-2025):

- Croissance surface bâtie: +47.8%
- Croissance population: +25.3%
- LCRPGR = 2.12

CONCLUSION:

Le Rwanda connaît une forte expansion urbaine. La surface bâtie croît 2.1 fois plus vite que la population, indiquant un étalement urbain significatif.

---

## TP6 : Calcul et analyse spatiale des indices spectraux au Mali (2021–2022) et fusion avec les données EHCVM (Python classique)

---

### Équipe de réalisation :

DIOP Astou

GUEBEDIAN Khadija

RIRADJIM Trésor

TEVOEDJRE Michel

### 1. Description du TP

L'objectif de ce travail pratique était de calculer et analyser cinq **indices spectraux** pour le Mali afin d'évaluer l'environnement des ménages selon différentes dimensions :

- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** : densité de la végétation ;
- **NDWI (Normalized Difference Water Index)** : surfaces d'eau et zones inondées ;
- **NDMI (Normalized Difference Moisture Index)** : humidité de la végétation ;
- **NDBI (Normalized Difference Built-up Index)** : urbanisation et zones bâties ;
- **BSI (Bare Soil Index)** : sols nus et désertification.

Ces indices ont ensuite été fusionnés avec les données **EHCVM** pour chaque département, afin de croiser les conditions environnementales avec les caractéristiques des ménages.

$$NDVI = \frac{NIR - Rouge}{NIR + Rouge} \quad NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad BSI = \frac{(SWIR + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR + Red) + (NIR + Blue)}$$

**Sélection des bandes utiles pour chaque indice**

Indice	Bandes utilisées
NDVI	Rouge, NIR
NDWI	Vert, NIR
NDMI	NIR, SWIR
NDBI	NIR, SWIR
BSI	Bleu, Rouge, NIR, SWIR

## 2. Sources des données

### Satellites d'images Sentinel-2

- Fournissent des images multispectrales avec différentes bandes : Blue, Green, Red, NIR, SWIR.
- Seules cinq bandes sont utilisées pour calculer les indices (Blue, Green, Red, NIR, SWIR).
- On a choisi les images **L2A (réflectance de surface)** déjà corrigées pour l'atmosphère, permettant un calcul direct des indices.

### Zone d'étude

- Définition de la zone géographique correspondant au Mali pour limiter le traitement aux pixels pertinents et réduire le volume de données.

### Filtrage temporel

- Période sélectionnée : **novembre 2021 à juillet 2022**, correspondant à la période de l'enquête EHCVM.

### Calcul de la moyenne annuelle

- Pour chaque pixel, la moyenne de toutes les images disponibles est calculée pour obtenir un raster unique par bande.

### Téléchargement des bandes



- Chaque bande moyenne est exportée au format **GeoTIFF** pour être utilisée dans Python et calculer directement les indices.

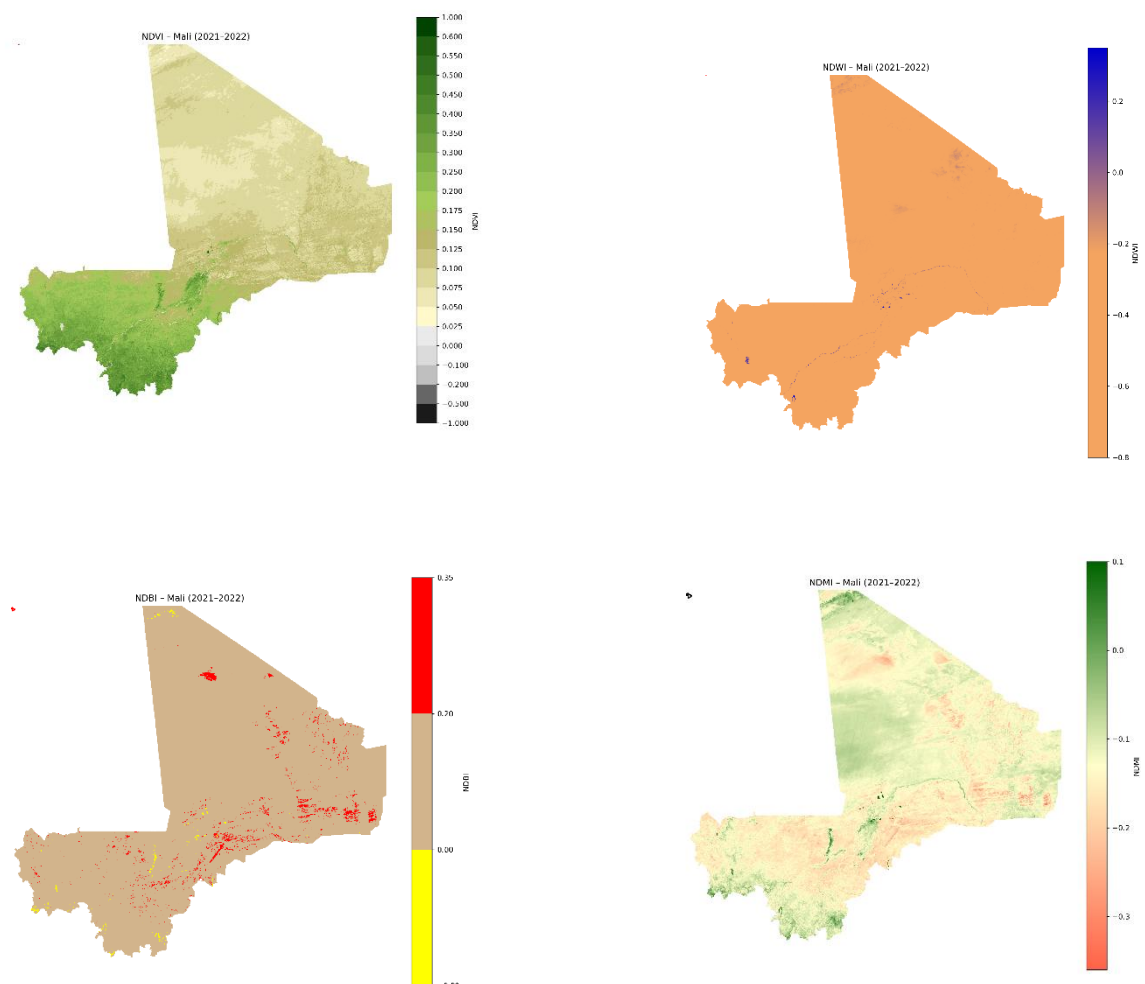
### Base EHCVM

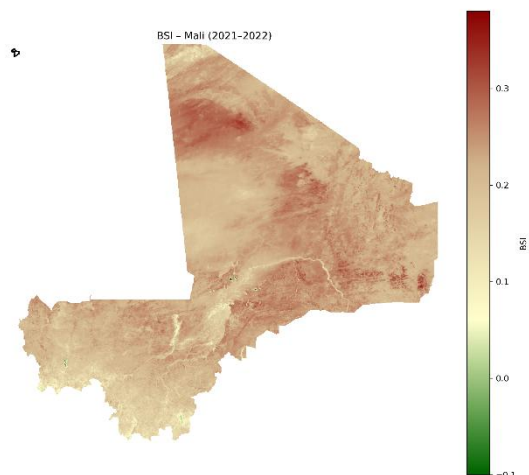
- Source : *Programme d'Harmonisation et de Modernisation des Enquêtes sur les Conditions de Vie des ménages dans les États membres de l'UEMOA.*

### Limites administratives du Mali

- Source : *GeoBoundaries* (le site GADM étant indisponible) pour correspondre au mieux aux limites observées dans la base EHCVM.

## 3. Outputs





s00q01	code_dept	nom_dept	dept_norm	NDVI	NDWI	NDMI	NDBI	BSI
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
1	11	Kayes	kayes	0.19759421	-0.36332738	-0.14775878	0.14775878	0.21684463
<div> <div></div> <div>EHCVM_indices_fusion</div> <div>(+)</div> </div>								

---

## Conclusion

---

Le parcours des TP, allant de la prise en main de Google Earth Engine (TP0) à l'analyse des indices spectraux fusionnés avec les données EHCVM (TP6), a permis de développer à la fois des compétences techniques et analytiques :

- Techniques : importation, traitement et visualisation de données raster et vectorielles, création de buffers, calcul d'indicateurs spatiaux (LCRPGR, NDVI, NDWI, NDMI, NDBI, BSI) ;
- Méthodologiques : exploitation de données issues de sources variées, vérification des métadonnées, préparation et harmonisation des couches pour l'analyse spatiale ;
- Analytique et interprétative : production de cartes thématiques, exploration de la distribution spatiale des infrastructures, de la population, des terres arables, de l'urbanisation et des conditions environnementales des ménages.

Ces travaux ont également renforcé le travail collaboratif, la capacité à synthétiser les résultats et à présenter des analyses claires et structurées.