

République du Sénégal



Un Peuple-un But-une Foi

MINISTERE DE L'ECONOMIE, DU PLAN ET DE LA COOPERATION

AGENCE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE LA DEMOGRAPHIE



ECOLE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE L'ANALYSE ECONOMIQUE PIERRE NDIAYE

(ENSAE-SENEGAL)



Statistique exploratoire spatiale

Projet de Statistique exploratoire spatiale : ShinyApp development

Rédigé par :

Khadidiatou COULIBALY

Jeanne De La Flèche ONANENA AMANA

Tamsir NDONG

Samba DIENG

Sous la supervision de :

M. Aboubacar HEMA

Janvier 2025

A PROPOS DE L'APPLICATION

Cette application interactive permet de visualiser des indicateurs, tels que le NDVI, MNDWI, BSI_1 et NDBI, pour plusieurs pays (Sénégal, Burkina Faso, Madagascar, Cameroun). Elle intègre des données spatiales à différents niveaux administratifs et des images raster pour analyser des tendances géographiques et temporelles. L'utilisateur peut sélectionner un pays, un indicateur, ainsi qu'une région spécifique via une carte ou des menus déroulants. Les données sont affichées sous forme de cartes interactives, de graphiques, et de tableaux dynamiques, permettant une exploration approfondie des valeurs et des changements significatifs des indicateurs sélectionnés. Le tout est enrichi par des descriptions dynamiques et des outils de filtrage, favorisant une analyse ciblée et intuitive des données géospatiales et des variations locales.

TOUT SUR LES INDICES SPECTRAUX

I°) NDVI (Normalized difference vegetation index)

I.1°) Origine et Contexte

L'indice NDVI a été développé pour évaluer la santé et la densité de la végétation à l'aide de données satellites. Il a émergé avec l'avènement des capteurs multispectraux dans les années 1970, notamment à partir des données du satellite Landsat.

Le NDVI exploite les propriétés spectrales spécifiques de la végétation, qui absorbe fortement la lumière rouge (RED) pour la photosynthèse et réfléchit fortement dans le proche infrarouge (NIR) en raison de la structure des cellules des feuilles.

I.2°) Formule et Calcul

La formule du NDVI est donnée par :
$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

- ❖ **NIR (Near InfraRed)** : La réflectance dans le proche infrarouge, sensible à la structure cellulaire de la végétation.
- ❖ **RED (Red)** : La réflectance dans la bande rouge du spectre visible, fortement absorbée par les pigments chlorophylliens.

Interprétation des valeurs :

- ❖ $\text{NDVI} \in [-1, 1]$
- ❖ **Valeurs proches de 1** : Indiquent une végétation dense et saine (forte réflectance NIR et faible absorbance RED).
- ❖ **Valeurs proches de 0** : Correspondent à des surfaces non végétalisées (sols nus, zones urbaines).
- ❖ **Valeurs négatives** : Signifient généralement de l'eau ou des nuages (faible réflectance NIR et RED similaires).

I.3°) Théorie Derrière le NDVI

Le NDVI repose sur la théorie de la réflectance spectrale :

- ❖ La **chlorophylle** absorbe efficacement la lumière visible, en particulier dans la bande rouge, pour alimenter la photosynthèse.
- ❖ Les **parois cellulaires** des feuilles réfléchissent fortement le proche infrarouge.

Cette différence de réflectance entre le RED et le NIR est exploitée pour évaluer la biomasse et la santé de la végétation.

I.4°) Démonstration de la Formule

La formule du NDVI est une version normalisée pour comparer les surfaces indépendamment des conditions d'éclairage ou des propriétés du capteur :

- ❖ La soustraction (NIR-RED) capture la différence de réflectance entre les deux bandes spectrales.
- ❖ La division par normalise la différence, la plaçant dans une plage fixe de -1 à 1.

Pourquoi la normalisation est-elle essentielle ?

Elle permet de compenser les variations :

- ❖ D'**intensité lumineuse** (différences d'exposition au soleil).
- ❖ De **propriétés atmosphériques** (aérosols, nuages).

I.5°) Applications

- **Surveillance de la santé de la végétation** : Identification des zones à forte ou faible biomasse.
- **Cartographie de l'occupation du sol** : Discrimination entre surfaces végétalisées et non végétalisées.
- **Gestion des ressources agricoles** : Estimation des rendements, détection du stress hydrique.
- **Suivi des changements climatiques** : Observation des tendances de déforestation et de désertification.

I.6°) Avantages et Limites

Avantages :

- ❖ Facilement calculable à partir de données satellites.
- ❖ Normalisé, ce qui permet des comparaisons spatio-temporelles.

Limites :

- ❖ Sensibilité aux **conditions atmosphériques** : L'aérosol ou la couverture nuageuse peuvent fausser les résultats.
- ❖ Ne distingue pas les types de végétation.
- ❖ Les surfaces fortement réfléchissantes (urbaines, neige) peuvent produire des valeurs erronées.

II°) MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)

II.1°) Origine et Contexte

L'indice MNDWI a été proposé pour surmonter les limitations du NDWI (Normalized Difference Water Index), qui est parfois perturbé par des surfaces urbaines ou des sols nus. Développé pour mieux détecter les corps d'eau tels que les rivières, lacs, océans, et réservoirs, le MNDWI utilise la bande SWIR (Short-Wave Infrared) au lieu de la bande proche infrarouge (NIR), car l'eau absorbe davantage dans le SWIR, ce qui améliore la précision.

II.2°) Formule et Calcul

La formule du MNDWI est donnée par :
$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{SWIR}) / (\text{Green} + \text{SWIR})$$

- ❖ **Green** : La réflectance dans la bande verte du spectre visible. Elle est utilisée car l'eau présente une faible réflectance dans cette bande, tandis que la végétation et le sol nu en ont une plus élevée.
- ❖ **SWIR (Short-Wave Infrared)** : La réflectance dans la bande infrarouge à ondes courtes. L'eau absorbe fortement dans cette bande, ce qui réduit la réflectance et accentue le contraste avec d'autres types de surface.

Interprétation des valeurs :

- ❖ $\text{MNDWI} \in [-1, 1]$
- ❖ **Valeurs positives (> 0)** : Correspondent généralement à des plans d'eau (lacs, rivières, océans, zones humides).
- ❖ **Valeurs proches de 0** : Indiquent des sols nus, des zones urbaines ou des végétations.
- ❖ **Valeurs négatives (< 0)** : Représentent souvent des surfaces non aquatiques telles que la végétation dense ou des infrastructures.

II.3°) Théorie Derrière le MNDWI

Le MNDWI repose sur les propriétés spectrales distinctes de l'eau comparées à celles des sols et de la végétation :

- ❖ L'**eau** absorbe la lumière dans les bandes verte et SWIR, mais son absorption est plus forte dans le SWIR.
- ❖ Les **surfaces non aquatiques** (végétation, sols nus, surfaces urbaines) réfléchissent davantage dans la bande verte et dans le SWIR.

En remplaçant la bande NIR utilisée dans le NDWI par la bande SWIR, le MNDWI améliore la séparation entre l'eau et les surfaces non aquatiques.

II.4°) Démonstration de la Formule

La formule du MNDWI suit le même principe que celle du NDVI et du NDWI, en utilisant une normalisation :

- ❖ La différence (Green – SWIR) capte le contraste entre l'eau (faible réflectance dans le SWIR) et les autres surfaces.
- ❖ La division par (Green + SWIR) normalise la différence, la plaçant dans une plage fixe de -1 à 1.

Pourquoi le SWIR au lieu du NIR ?

- ❖ Le SWIR est plus sensible aux caractéristiques optiques de l'eau, ce qui réduit les interférences des zones végétalisées ou urbaines.
- ❖ Cela rend le MNDWI plus adapté aux environnements complexes comme les zones urbaines et côtières.

II.5°) Applications

- ❖ **Détection des corps d'eau** : Identification précise des rivières, lacs, océans et réservoirs.
- ❖ **Gestion des ressources en eau** : Suivi des zones humides, inondations et sécheresses.
- ❖ **Analyse des zones urbaines** : Amélioration de la cartographie des plans d'eau dans les environnements urbains.
- ❖ **Surveillance environnementale** : Évaluation de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques.

II.6°) Avantages et Limites

Avantages :

- ❖ Meilleure détection de l'eau dans des environnements mixtes (par rapport au NDWI).
- ❖ Insensibilité relative aux interférences des surfaces urbaines et de la végétation.
- ❖ Approche normalisée, permettant des comparaisons spatio-temporelles robustes.

Limites :

- ❖ Sensibilité aux **conditions atmosphériques** : Les nuages et les aérosols peuvent introduire des erreurs.
- ❖ Moins adapté pour différencier des types d'eau (eau claire vs trouble, par exemple).
- ❖ Dépend fortement de la résolution spectrale et spatiale des données d'entrée.

III°) NDBI (Normalized Difference Built-Up Index)

III.1°) Origine et Contexte

L'indice NDBI (Normalized Difference Built-up Index) a été conçu pour identifier les zones bâties (urbanisation) à partir d'images satellites. Il est particulièrement utile dans le contexte de la cartographie urbaine, où il aide à discriminer les zones construites des autres types de couverture terrestre.

Le NDBI repose sur l'utilisation des bandes spectrales infrarouges proches (NIR) et infrarouges à ondes courtes (SWIR), car les surfaces bâties reflètent davantage dans le SWIR et beaucoup moins dans le NIR, contrairement à la végétation.

III.2°) Formule et Calcul

La formule du NDBI est donnée par :
$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

- ❖ **SWIR (Short-Wave Infrared)** : Bande infrarouge à ondes courtes, qui présente une forte réflectance pour les surfaces bâties (béton, asphalte, etc.).
- ❖ **NIR (Near InfraRed)** : Bande infrarouge proche, qui présente une faible réflectance pour les zones urbaines mais une forte réflectance pour la végétation.

Interprétation des valeurs :

- ❖ $NDBI \in [-1,1]$
- ❖ **Valeurs positives (> 0)** : Correspondent généralement aux zones bâties ou urbanisées.
- ❖ **Valeurs proches de 0** : Représentent des sols nus ou des zones de transition.
- ❖ **Valeurs négatives (< 0)** : Indiquent des surfaces végétalisées ou des corps d'eau.

III.3°) Théorie Derrière le NDBI

Le NDBI s'appuie sur les différences spectrales des matériaux urbains (routes, bâtiments, structures en béton) par rapport à la végétation et aux sols nus :

- ❖ **Zones bâties** : Forte réflectance dans le SWIR, faible dans le NIR.
- ❖ **Végétation** : Faible réflectance dans le SWIR, forte dans le NIR.
- ❖ **Sols nus** : Réflectance modérée dans les deux bandes.

La soustraction entre SWIR et NIR permet de capturer ce contraste, tandis que la normalisation (division par la somme) réduit l'impact des variations d'éclairage ou des conditions atmosphériques.

III.4°) Démonstration de la Formule

La formule suit le même principe que les indices normalisés (NDVI, MNDWI, etc.) :

- ❖ La différence (SWIR–NIR) met en évidence les zones bâties en raison de leur forte réflectance dans le SWIR.
- ❖ La division par (SWIR+NIR) normalise les résultats pour placer les valeurs dans une plage fixe de -1 à 1, facilitant les comparaisons spatio-temporelles.

Pourquoi utiliser le SWIR ?

Le SWIR est particulièrement sensible aux matériaux non biologiques, comme le béton et l'asphalte, ce qui le rend idéal pour identifier les zones construites.

III.5°) Applications

- ❖ **Cartographie des zones urbaines** : Identification des infrastructures urbaines et des expansions urbaines.
- ❖ **Suivi de l'urbanisation** : Évaluation de l'impact des activités humaines sur le territoire.

- ❖ **Gestion urbaine** : Aide à la planification urbaine et à la gestion des ressources.
- ❖ **Étude de l'artificialisation des sols** : Analyse de la conversion des sols naturels en surfaces bâties.

III.6°) Avantages et Limites

Avantages :

- ❖ Permet de discriminer efficacement les zones construites des autres types de surfaces.
- ❖ Facilement calculable à partir de données satellitaires multispectrales.
- ❖ Insensibilité relative aux variations atmosphériques grâce à la normalisation.

Limites :

- ❖ Sensibilité aux **zones de transition** : Les sols nus ou surfaces semi-urbaines peuvent produire des valeurs similaires à celles des zones bâties.
- ❖ **Résolution spatiale** : Les zones bâties très denses ou les petits objets urbains peuvent être difficiles à détecter avec des capteurs à basse résolution.
- ❖ Ne distingue pas les types de matériaux urbains (ex. béton vs métal).

IV°) EVI (Normalized Difference Built-Up Index)

IV.1°) Origine et Contexte

L'EVI (Enhanced Vegetation Index) a été introduit comme une alternative au NDVI pour améliorer la sensibilité aux variations de la végétation dans les zones à forte biomasse et pour minimiser les influences des effets atmosphériques et des sols. Il a été développé dans les années 1990 pour résoudre certaines limitations du NDVI, telles que la saturation des valeurs dans les zones de végétation dense. L'EVI est particulièrement utilisé dans les missions MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) et d'autres systèmes satellitaires avancés.

IV.2°) Formule et Calcul

$$EVI = G \cdot \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 \cdot RED - C_2 \cdot BLUE + L)}$$

La formule générale de l'EVI est la suivante :

Paramètres de la formule :

- ❖ **NIR (Near InfraRed)** : Réflectance dans la bande proche infrarouge.
- ❖ **RED** : Réflectance dans la bande rouge.
- ❖ **BLUE** : Réflectance dans la bande bleue.
- ❖ **G** : Facteur de gain (souvent fixé à $G=2.5$).
- ❖ **C₁** : Coefficient ajustant l'effet atmosphérique lié à la bande rouge (typiquement $C_1=6$).
- ❖ **C₂** : Coefficient ajustant l'effet atmosphérique lié à la bande bleue (typiquement $C_2=7.5$).
- ❖ **L** : Facteur de correction du bruit de fond dû au sol (souvent $L=1$).

Interprétation des valeurs :

- ❖ $EVI \in [-1,1]$
- ❖ **Valeurs proches de +1** : Indiquent une végétation dense et saine.
- ❖ **Valeurs proches de 0** : Indiquent des sols nus ou une végétation clairsemée.
- ❖ **Valeurs négatives** : Indiquent généralement des surfaces non végétalisées (eau, glace, neige).

IV.3°) Théorie Derrière l'EVI

L'EVI repose sur l'idée d'améliorer la détection des variations de végétation tout en réduisant les perturbations causées par :

1. **L'effet atmosphérique** : La réflectance dans les bandes rouge et bleue est affectée par la diffusion de la lumière par les aérosols. L'utilisation de C_1 et C_2 compense cet effet.
2. **Le bruit de fond du sol** : Dans le NDVI, les sols clairs ou sombres peuvent influencer les valeurs obtenues. L'ajout du terme LLL dans le dénominateur corrige ce problème.

IV.4°) Démonstration de la Formule

Étape 1 : Relation entre NIR et RED

La différence ($NIR-RED$) représente le contraste spectral entre le proche infrarouge et le rouge, qui est directement lié à la densité de la végétation :

- ❖ **NIR** : Haute réflectance pour la végétation en raison de la structure interne des feuilles.

- ❖ **RED** : Faible réflectance car la chlorophylle absorbe fortement dans cette bande.

Étape 2 : Normalisation

La somme (NIR+RED) est utilisée dans les indices normalisés pour limiter l'effet des variations d'éclairement. Cependant, cette approche simple ne suffit pas pour corriger les interférences dues au sol et à l'atmosphère dans le cas du NDVI.

Étape 3 : Ajout des termes de correction

- ❖ Le terme $C1 \cdot \text{RED} - C2 \cdot \text{BLUE}$ permet de compenser l'impact des aérosols atmosphériques.
- La **bande bleue (BLUE)** est particulièrement sensible à la diffusion de Rayleigh et est utilisée pour estimer l'effet atmosphérique global.
- La **bande rouge (RED)** est également sensible aux effets atmosphériques, mais moins que le bleu.
- En combinant ces deux bandes avec des coefficients spécifiques ($C1=6$, $C2=7.5$), l'EVI corrige ces perturbations.
- ❖ Le facteur L (généralement fixé à 1) est ajouté au dénominateur pour minimiser l'effet du sol, en particulier dans les zones où la végétation est clairsemée.

Étape 4 : Multiplication par le facteur de gain G

Le facteur $G=2.5$ est introduit pour amplifier la sensibilité aux variations de la végétation. Ce gain rend l'EVI plus réactif que le NDVI dans les zones à végétation dense.

IV.5°) Applications

1. **Surveillance de la santé de la végétation** : Analyse de la densité et de la productivité des forêts, cultures et prairies.
2. **Suivi des changements saisonniers** : Observation des cycles phénologiques des plantes.
3. **Gestion des écosystèmes** : Identification des zones affectées par la sécheresse, les feux de forêt ou les maladies.
4. **Analyse des interactions sol-atmosphère** : Évaluation de l'impact des aérosols et du changement climatique sur la végétation.

IV.6°) Avantages et Limites

Avantages :

- ❖ **Corrige les effets atmosphériques** : Grâce à l'utilisation des bandes rouge et bleue.
- ❖ **Réduit l'influence du sol** : Avec l'introduction du facteur LLL.
- ❖ **Plus sensible dans les zones à forte biomasse** : L'EVI ne se sature pas aussi rapidement que le NDVI.

Limites :

- ❖ **Complexité de calcul** : L'EVI nécessite plus de bandes spectrales et des coefficients spécifiques.
- ❖ **Dépendance aux paramètres** : Les valeurs de G, C1, C2 et L sont standardisées mais pourraient ne pas être optimales dans tous les contextes.
- ❖ **Accessibilité des données** : L'EVI nécessite des données dans la bande bleue, qui ne sont pas toujours disponibles dans toutes les missions satellitaires.

V°) BIS1 (Bare Soil Index)

V.1°) Origine et Contexte

L'indice BIS1 (Built-up Index Spectral 1) est un indicateur spectral développé pour identifier et analyser les zones bâties à partir de données satellitaires. Contrairement à des indices plus connus comme le NDBI, le BIS1 repose sur l'exploitation de bandes spectrales spécifiques afin de mieux différencier les zones urbanisées des autres types de couverture terrestre, notamment les sols nus, la végétation et l'eau.

V.2°) Formule et Calcul

$$BIS1 = \frac{(RED + SWIR)}{(NIR + BLUE)}$$

La formule du BIS1 est généralement donnée par :

Paramètres de la formule :

- ❖ **RED (Rouge)** : Réflectance dans la bande rouge, sensible à l'absorption de la chlorophylle, ce qui permet de différencier les zones non végétalisées.

- ❖ **SWIR (Short-Wave InfraRed)** : Réflectance dans l'infrarouge à ondes courtes, utile pour identifier les matériaux non organiques comme le béton et l'asphalte.
- ❖ **NIR (Near InfraRed)** : Réflectance dans le proche infrarouge, sensible aux structures cellulaires des plantes, généralement élevée pour la végétation saine.
- ❖ **BLUE (Bleu)** : Réflectance dans la bande bleue, influencée par la diffusion atmosphérique, souvent faible pour les zones bâties.

Interprétation des valeurs :

- ❖ **Valeurs élevées (> 1)** : Zones bâties ou surfaces non végétalisées.
- ❖ **Valeurs proches de 1** : Sols nus ou zones de transition entre urbanisation et végétation.
- ❖ **Valeurs faibles (< 1)** : Zones couvertes par la végétation ou les plans d'eau.

V.3°) Théorie Derrière le BIS1

Le BIS1 repose sur les propriétés spectrales des matériaux urbains et des autres types de couverture terrestre :

- ❖ Les **zones bâties** ont une forte réflectance dans le SWIR et le RED, mais une faible réflectance dans le NIR et le BLUE.
- ❖ Les **zones végétalisées** ont une forte réflectance dans le NIR et une faible réflectance dans le SWIR et le RED.
- ❖ Les **plans d'eau** reflètent faiblement dans toutes les bandes spectrales, mais davantage dans le BLUE.

En combinant ces bandes, le BIS1 amplifie le contraste entre les surfaces bâties et les autres types de surfaces terrestres. Le rapport $(RED+SWIR) / (NIR+BLUE)$ capture ce contraste de manière efficace.

V.4°) Démonstration de la Formule

Étape 1 : Sensibilité des bandes spectrales

- ❖ **RED et SWIR** : Ces bandes sont sensibles aux matériaux urbains tels que le béton et l'asphalte, qui reflètent plus fortement que la végétation ou l'eau.

- ❖ **NIR et BLUE** : Ces bandes sont moins sensibles aux zones bâties. Le NIR est particulièrement élevé pour la végétation, tandis que le BLUE est influencé par l'atmosphère et les zones aquatiques.

Étape 2 : Construction du rapport

Le rapport $(RED+SWIR) / (NIR+BLUE)$ est conçu pour maximiser la détection des zones bâties :

- ❖ **Numérateur (RED+SWIR)** : Capture la signature spectrale caractéristique des matériaux urbains.
- ❖ **Dénominateur (NIR+BLUE)** : Réduit l'influence de la végétation et des plans d'eau.

Étape 3 : Équilibre entre les composantes

- ❖ Le choix d'additionner les bandes dans le numérateur et le dénominateur permet de lisser les variations spectrales dues à des facteurs secondaires comme l'éclairement, les conditions atmosphériques ou les différences dans les matériaux urbains.

V.5°) Applications

1. **Cartographie des zones bâties** : Identification des infrastructures urbaines à grande échelle.
2. **Analyse de l'urbanisation** : Suivi des extensions urbaines et de l'artificialisation des sols.
3. **Gestion de l'aménagement du territoire** : Planification urbaine et zonage.
4. **Évaluation des risques environnementaux** : Étude de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes naturels.

V.6°) Avantages et Limites

Avantages :

- ❖ **Simplicité** : Calcul direct à partir de données satellitaires couramment disponibles.
- ❖ **Efficacité pour les zones bâties** : Le BIS1 offre une discrimination claire entre les zones urbaines et les autres types de couverture terrestre.
- ❖ **Flexibilité** : Peut être utilisé sur des données provenant de différents capteurs.

Limites :

- ❖ **Sensibilité aux sols nus** : Les sols non végétalisés peuvent produire des valeurs similaires à celles des zones bâties, rendant leur différenciation plus difficile.
- ❖ **Effets atmosphériques** : Le BIS1 ne corrige pas explicitement les perturbations dues aux aérosols ou à la diffusion atmosphérique.
- ❖ **Résolution spatiale** : Comme pour tout indice, la résolution des données source peut limiter la précision du BIS1 pour les petites structures urbaines.

VI°) Comparaison des indices spectraux (NDVI, MNDWI, NDBI, EVI, BIS1)

Aspect	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	NDBI (Normalized Difference Built-up Index)	EVI (Enhanced Vegetation Index)	BIS1 (Built-up Index Spectral 1)
Objectif principal	Mesure de la végétation	Détection des plans d'eau	Identification des zones bâties	Amélioration de la mesure de la végétation	Identification des zones bâties
Formule	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$	$(\text{GREEN} - \text{SWIR}) / (\text{GREEN} + \text{SWIR})$	$(\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$	$2.5 \times (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{C1} \times \text{RED} - \text{C2} \times \text{BLUE} + \text{L})$	$(\text{RED} + \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{BLUE})$
Bandes utilisées	NIR, RED	GREEN, SWIR	SWIR, NIR	NIR, RED, BLUE	RED, SWIR, NIR, BLUE
Sensibilité	Zones de végétation denses et saines	Plans d'eau (lacs, rivières, océans)	Zones urbanisées	Végétation (moins influencée par le sol et l'atmosphère)	Zones bâties et sols nus
Valeurs typiques	-1 à 1 (positif pour la végétation)	-1 à 1 (positif pour l'eau)	-1 à 1 (positif pour les zones bâties)	-1 à 1	> 1 pour les zones bâties
Corrige les effets atmosphériques	Non	Non	Non	Oui	Non
Avantages	Simplicité et universalité	Détection fiable des surfaces d'eau	Identification claire des zones urbanisées	Meilleure discrimination de la végétation	Simplicité et efficacité
Limites	Sensible aux sols nus et aux zones urbaines	Sensible aux sols humides	Confusion avec les sols nus	Complexité relative	Sensible aux sols nus

Applications principales	Suivi de la santé de la végétation	Cartographie des ressources hydriques	Suivi de l'urbanisation	Surveillance des écosystèmes	Cartographie des zones bâties
--------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------	------------------------------	-------------------------------

Malaria

Taux de Malaria (2000-2022) : Cette fonctionnalité permet de visualiser la prévalence de la malaria sur une période donnée. Les données sont disponibles au niveau régional et national. L'indicateur est traité comme une couche de données spatiales (shapefile) ou raster, et le calcul se base sur des moyennes par zone administrative.

- ❖ La carte utilise une palette de couleurs rouges pour indiquer les niveaux de prévalence, ce qui aide à identifier les zones les plus touchées.
- ❖ Les descriptions des indicateurs (via `output$indicatorDescription`) fournissent une explication claire de la signification des données et de leur utilité dans le suivi des efforts de lutte contre la malaria.
- ❖ Un graphique interactif et une table de résumé complètent la visualisation, rendant les données accessibles à différents niveaux d'analyse.

Événements Politiques

- ❖ **Conflict Diffusion Indicator (CDI)** : Cet indicateur quantifie la dispersion géographique des conflits dans des zones densément peuplées, en utilisant des données issues d'ACLED et de WorldPop. Une carte dynamique est produite pour chaque année sélectionnée, utilisant des niveaux d'intensité affichés sur une échelle colorée.
- ❖ **Events types and locations** : Cette section visualise les types d'événements politiques et leurs localisations à l'aide de points sur la carte. Une légende interactive et une catégorisation par type d'événement facilitent la compréhension des dynamiques locales.
- ❖ Les événements politiques sont particulièrement pertinents pour analyser les relations entre conflits, santé publique (par exemple, impact sur les efforts de lutte contre la malaria), et dynamique spatiale.

Points techniques et forces

- ❖ **Interactivité avancée** : Le code inclut des fonctions d'agrandissement des blocs (`observeEvent`), permettant à l'utilisateur de se concentrer sur les cartes ou les tableaux selon ses besoins.
- ❖ **Utilisation des rasters et shapefiles** : Une gestion dynamique des fichiers géographiques permet de charger des données adaptées à chaque pays et indicateur.
- ❖ **Personnalisation des cartes** : Les palettes de couleurs et les couches interactives enrichissent l'expérience utilisateur, tout en rendant les données complexes visuellement accessibles.

En somme, cette application se distingue par son intégration cohérente d'indicateurs de santé publique et de conflits, offrant une perspective unique pour l'analyse des dynamiques socio-environnementales. La section malaria est particulièrement efficace dans sa capacité à communiquer des données complexes sous une forme visuellement intuitive. Les fonctionnalités autour des événements politiques ajoutent une dimension cruciale, permettant de lier santé et politique dans des contextes géographiques spécifiques.

DOCUMENTATION SUR L'APPLICATION

I°) LE PRINCIPE GENERAL CONCERNANT SUR LES OUTPUTS

La logique de notre travail repose sur le principe suivant : nous manipulons des shapefiles, qui peuvent être assimilés à des « dataframes » contenant en colonne la variable « indice », et dont les valeurs correspondent aux observations réparties selon les divisions administratives. Ce dataframe est directement lié à l'ensemble des tableaux, graphiques et cartes que nous afficherons.

Le fonctionnement est le suivant : lorsque l'utilisateur clique sur un point spécifique de la carte, un filtre est immédiatement appliqué pour identifier le département où se situe ce point. Ensuite, une jointure ou un « matching » est effectué entre le shapefile de niveau régional et celui de niveau départemental afin de déterminer la région correspondant à ce département.

Cette opération permet d'extraire les informations relatives à tous les départements de cette région. Enfin, ces informations sont organisées sous forme de tableaux, de cartes ou de graphiques, qui seront affichés afin de fournir des compléments d'information et d'évaluer la situation de chaque région.

II°) CREATION DES RASTERS AVEC GEE ET LEUR UTILISATION SUR R (cas du NDVI)

Ce document présente les étapes pour calculer et utiliser l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) en exploitant Google Earth Engine (GEE) et R. Il fournit également des conseils pour intégrer cet indice dans des applications interactives Shiny, permettant aux utilisateurs de l'explorer de manière dynamique.

Le NDVI est un indicateur qui mesure la santé et la densité de la végétation en comparant la réflectance des bandes proche infrarouge (NIR) et rouge (RED) des images satellites. **Avec GEE**, le processus consiste à sélectionner les données Sentinel-2, appliquer un masquage pour éliminer les nuages, extraire les bandes nécessaires (NIR et RED), calculer le NDVI à l'aide de la formule appropriée et exporter le résultat sous forme de **raster**. Ce raster peut ensuite être exploité dans R.

Dans **R**, les données NDVI sont manipulées à l'aide des packages comme **raster** pour les rasters, **sf** pour les fichiers vectoriels et **leaflet** pour la visualisation interactive. Les flux de travail incluent le chargement des fichiers **GeoTIFF** du NDVI, l'extraction des valeurs pour des zones spécifiques (par exemple des départements) et la création de cartes dynamiques grâce à des palettes de couleurs adaptées.

III°) PROCESSUS DE CREATION DE L'APPLICATION

La création d'une application interactive permettant de visualiser des indicateurs de santé et de développement à partir de données spatiales repose sur plusieurs étapes clés. Voici une présentation détaillée et structurée pour guider tout le processus, depuis la préparation des données jusqu'à la mise en ligne de l'application.

III.1°) Préparation des données

La première étape consiste à collecter et organiser les données spatiales et tabulaires. Les données incluent des indicateurs comme le NDVI, MNDWI, BSI_1 et NDBI, ainsi que des limites administratives des pays cibles. Les données raster pour les indicateurs et les fichiers vectoriels pour les limites administratives (shapefiles ou GeoJSON) doivent être obtenus. Utilisez des bibliothèques comme **rasterio** ou **gdal** pour manipuler les fichiers raster et **geopandas** pour les fichiers vectoriels. Assurez-vous que toutes les données sont projetées dans un même système de coordonnées.

III.2°) Traitement et analyse des données

Nettoyez les données pour éliminer les valeurs manquantes et assurez-vous que les indicateurs sont calculés correctement. Vous pouvez utiliser **numpy et pandas (python)** pour effectuer des transformations sur les tableaux de données. Pour superposer les données raster avec des unités administratives, utilisez **rasterstats** pour calculer des statistiques zonales comme la moyenne ou la médiane par région.

III.3°) Développement de l'application interactive

L'outil principal utilisé ici est **Dash** de **Plotly**, qui permet de créer des applications web interactives en Python. Commencez par structurer votre application en définissant la mise en page et les composants interactifs comme les cartes et graphiques.

III.4°) Intégration des fonctionnalités interactives

Ajoutez des menus déroulants, des barres de recherche ou des sélecteurs pour permettre à l'utilisateur de choisir un pays, un indicateur ou une période temporelle. Cela se fait à l'aide des **callbacks** dans Dash, qui lient les entrées utilisateur aux sorties affichées.

III.5°) Test et validation

Avant de déployer l'application, testez-la localement pour vérifier que toutes les interactions fonctionnent correctement et que les calculs des indicateurs sont cohérents. Utilisez des petits jeux de données pour déceler rapidement les erreurs potentielles.

III.6°) Déploiement de l'application

Utilisez une plateforme comme **Heroku**, **Render**, ou **Dash Enterprise** pour déployer votre application. Créez un fichier **requirements.txt** listant toutes les dépendances et un fichier **Procfile** pour spécifier la commande de lancement.

Ainsi, cette procédure fournit une feuille de route claire pour créer une application interactive de visualisation géospatiale. Chaque étape est essentielle et contribuera à une application robuste et fonctionnelle. Une fois les bases maîtrisées, vous pouvez étendre les fonctionnalités pour inclure des analyses plus avancées ou une meilleure personnalisation de l'interface utilisateur.

