



ROYAUME DU MAROC
--*-*-*
HAUT COMMISSARIAT AU PLAN
--*-*-*-*
INSTITUT NATIONAL
DE STATISTIQUE ET D'ECONOMIE APPLIQUEE



INSEA

Examen Data Viz : Powerbi

Rapport sur la végétation au MAROC de 2010 – 2024
(NDVI)

Préparé par : Lahrichi Youssef

Filière : Data Science

Année universitaire : 2024/2025

Table des matières

I-	Introduction.....	3
II-	Extraction des données (Google Earth Engine)	
	1- Extraction des données.....	4
	2- Aperçu des données.....	7
III-	Data Cleaning.....	8
IV-	Data Visualisation	
	1- Visualisation générale du facteur de NDVI.....	9
	a- Etude générale	
	b- Etude par région	
	c- Etude de saisonnalité	
	d- Etude du NDVI par an	
	e- Conclusion	
	2- Corrélations entre différents facteurs influant	12
	a- Les précipitations	
	b- La température	
	c- La luminosité	
	d- L'émission du CO2	
	e- Conclusion	
	3- Synthèse générale.....	17
V-	Conclusion.....	18

Introduction :

L'évolution de la végétation constitue un indicateur essentiel pour comprendre l'état écologique d'un territoire et son évolution face aux facteurs climatiques. Au Maroc, pays marqué par une forte variabilité climatique et une pression croissante sur les ressources naturelles, l'analyse de la dynamique de la végétation est particulièrement stratégique. Le **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)** est aujourd'hui l'un des indices les plus fiables pour mesurer la densité, la vigueur et la santé de la végétation à grande échelle.

Le présent rapport vise à **analyser l'évolution du NDVI au Maroc entre 2010 et 2024**, en s'appuyant sur des données satellitaires VIIRS et MODIS, combinées à des facteurs climatiques tels que les **précipitations**, la **luminosité**, la **température**, ainsi que les **émissions de CO₂**. L'objectif est de déterminer non seulement **les tendances spatio-temporelles de la végétation**, mais également d'identifier **les facteurs qui influencent le plus la dynamique du NDVI**.

L'étude repose sur une approche double :

1. **Une exploration descriptive** de l'évolution du NDVI par année, saison et région ;
2. **Une analyse corrélationnelle** permettant d'évaluer l'impact des paramètres climatiques sur la végétation.

À travers cette analyse, nous cherchons à fournir une vision synthétique, documentée et exploitable de l'état de la végétation marocaine, afin de contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes environnementaux et d'offrir des éléments d'aide à la décision pour la gestion durable des ressources naturelles.

Extraction de données

Pour extraire les données, nous utilisons différentes bases de données de Google Earth Engine.

L'extraction du fichier CSV se fait à travers de code Python.

Pour initialiser notre code, on importe les librairies nécessaires : ee, geemap.core.

```
❶ import ee
❷ import geemap.core as geemap
...
...
```

Ensuite, on connecte notre terminal python avec le code du projet de Google Earth engine, obtenu après connexion et création de projet.

```
❶ ee.Authenticate()
...
...
❷ ee.Initialize(project = "shining-glyph-466811-u6")
...
...
```

Premièrement, pour définir le Maroc et toute ces régions, nous utilisons la base de données : FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level1

```
❶ COUNTRY = 'Morocco'
START_YEAR = 2010
END_YEAR   = 2024      # inclusive
SCALE_M     = 1000      # ~1km for MODIS

adm1 = (ee.FeatureCollection('FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level1') #pour les regions
        .filter(ee.Filter.eq('ADM0_NAME', COUNTRY))
        .select(['ADM0_NAME', 'ADM1_NAME']))
...
...
```

Ensuite, on définit les différents indices à prendre :

On veut étudier la NDVI, et voir la corrélation avec : Précipitation, Température, Luminosité, et émission de CO2.

Pour cela, on utilise les différentes bases de données de Google Earth engine contenant ces indices :

```
# Datasets
ic_ndvi  = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD13A2').select('NDVI')
ic_chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY').select('precipitation')
ic_era5m  = ee.ImageCollection("ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY").select('temperature_2m')
ic_co    = (ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO')).select('CO_column_number_density')
ic_viirs = ee.ImageCollection('NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMCFG').select('avg_rad')
```

Enfin, il reste à connecter ces différents indices avec les régions du Maroc, on prend les valeurs mensuelles avec la moyenne pour ndvi, température, co2, et luminosité (valeur continue), et la somme pour les précipitations (somme de précipitations par mois). Le code ci-dessous fait tout cela :

```

years = ee.List.sequence(START_YEAR, END_YEAR)
months = ee.List.sequence(1, 12)

def masked_band(name):
    """Return a fully masked 1-band image."""
    return ee.Image.constant(0).updateMask(ee.Image.constant(0)).rename(name)

def monthly_panel(y, m):
    y = ee.Number(y); m = ee.Number(m)
    start = ee.Date.fromYMD(y, m, 1)
    end = start.advance(1, 'month')

    # NDVI monthly mean + scale to [-1, 1]
    ndvi_col = ic_ndvi.filterDate(start, end)
    ndvi = ee.Image(ee.Algorithms.If(
        ndvi_col.size().gt(0),
        ndvi_col.mean().multiply(0.0001).rename('ndvi'),
        masked_band('ndvi')
    ))

    # CHIRPS monthly total (sum of daily mm)
    chirps_col = ic_chirps.filterDate(start, end)
    precip = ee.Image(ee.Algorithms.If(
        chirps_col.size().gt(0),
        chirps_col.sum().rename('precip_mm'),
        masked_band('precip_mm')
    ))

    # ERA5-Land monthly mean 2m temperature + °C
    era5_col = ic_era5m.filterDate(start, end)
    t2m = ee.Image(ee.Algorithms.If(
        era5_col.size().gt(0),
        era5_col.mean().subtract(273.15).rename('t2m_c'),
        masked_band('t2m_c')
    ))

    co_col = ic_co.filterDate(start, end)
    co = ee.Image(ee.Algorithms.If(
        co_col.size().gt(0),
        co_col.mean().rename('co_col_molm2'),
        masked_band('co_col_molm2')
    ))

    # --- VIIRS lights monthly mean (nW·sr-1·cm-2) ---
    viirs_col = ic_viirs.filterDate(start, end)
    viirs = ee.Image(ee.Algorithms.If(
        viirs_col.size().gt(0),
        viirs_col.mean().rename('viirs_rad'),
        masked_band('viirs_rad')
    ))

    cube = ee.Image.cat([ndvi, precip, t2m, co, viirs])

    stats = (cube.reduceRegions(
        collection=admin,
        reducer=ee.Reducer.mean(),
        scale=SCALE_M,
        tileSize=4
    )
        .map(lambda f: f.set({'year': y, 'month': m})))
    return stats

```

Maintenant qu'on a notre base de données, il faut l'extraire en CSV pour pouvoir l'utiliser :

```
years = ee.List.sequence(START_YEAR, END_YEAR)
months = ee.List.sequence(1, 12)

# Make a flat list of {year, month} dictionaries
ym_list = years.map(lambda y: months.map(lambda m: ee.Dictionary({'y': y, 'm': m}))).flatten()

# Map each {y,m} to a FeatureCollection, then FLATTEN
all_stats = ee.FeatureCollection(
    ym_list.map(lambda d: monthly_panel(ee.Dictionary(d).get('y'),
                                         ee.Dictionary(d).get('m'))))

).flatten()

# -----
# EXPORT TO GOOGLE DRIVE AS CSV
# -----
task = ee.batch.Export.table.toDrive(
    collection = all_stats,
    description = f'{COUNTRY}_NDVI_Rain_Temp_2010_2024',
    folder = 'EarthEngineExports',           # Drive folder name (will be created if needed)
    fileNamePrefix = f'{COUNTRY}_NDVI_Rain_Temp_2010_2024',
    fileFormat = 'CSV',
    selectors = ['ADM0_NAME','ADM1_NAME','year','month','ndvi','precip_mm','t2m_c', 'co_col_molm2', 'viirs_rad'] # column order
)
task.start()
import time
while True:
    s = task.status()
    print(s.get('state'), s.get('error_message'))
    if s.get('state') in ('COMPLETED', 'FAILED', 'CANCELLED'):
        break
    time.sleep(10)
print(task.status())
print(" Export started! Check Google Drive > EarthEngineExports")
```

Ce code renvoi notre base de données sur notre DRIVE, on la trouve ensuite dans le dossier spécifié :

Mon Drive > EarthEngineExports ▾

✓ ⌂ ⓘ

▼ Demander à Gemini

Explorer ces fichiers

Type ▾ Contacts ▾ Date de modification ▾ Source ▾

Nom	Propriétaire	Date de la modifi...	Taille du fich...
Morocco_NDVI_Rain_Temp_2010_2024.csv	moi	6 nov.	320 Ko

Aperçu de la base de données :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ADM0_NAME	ADM1_NAME	year	month	ndvi	precip_mm	t2m_c	co_col_molm2	viirs_rad
2	Morocco	Chaoüia - Ouardigha	2010	1	0.3875716128	112.3166017	11.0339174		
3	Morocco	Doukkala - Abda	2010	1	0.4095572862	66.68444833	12.80074361		
4	Morocco	Fès - Boulemane	2010	1	0.2426815966	100.2618795	7.025555927		
5	Morocco	Gharb - Chrarda - Bé	2010	1	0.4787396975	186.1467274	12.29668471		
6	Morocco	Grand Casablanca	2010	1	0.4469561425	125.0082508	13.06011696		
7	Morocco	Guelmim - Es-Semar	2010	1	0.1058451635	22.85802175	14.5531988		
8	Morocco	Laâyoune - Boujdou	2010	1	0.09735114819	40.76581981	16.72565102		
9	Morocco	Marrakech - Tensift -	2010	1	0.2478896721	51.89105281	10.15429029		
10	Morocco	Rabat - Salé - Zemm	2010	1	0.4816533698	135.1040879	10.84670993		
11	Morocco	Souss - Massa - Draâ	2010	1	0.163402689	51.13375982	9.941944554		
12	Morocco	Tadla - Azilal	2010	1	0.3376850135	124.5512982	5.618135784		
13	Morocco	Tanger - Tétouan	2010	1	0.5396675766	263.4220584	10.46116034		
14	Morocco	Taza - Al Hoceima -	2010	1	0.3125800603	160.1405722	8.984774583		
15	Morocco	Meknès - Tafilalet	2010	1	0.2056487385	67.14478516	8.532564592		
16	Morocco	Oriental	2010	1	0.1908965374	59.86949179	8.598850306		
17	Morocco	Chaoüia - Ouardigha	2010	2	0.545024687	122.5386087	13.2213228		
18	Morocco	Doukkala - Abda	2010	2	0.5650209571	109.225271	14.75610573		
19	Morocco	Fès - Boulemane	2010	2	0.2661351339	92.85074821	9.577821842		
20	Morocco	Gharb - Chrarda - Bé	2010	2	0.5249219134	200.1983049	14.19830213		
21	Morocco	Grand Casablanca	2010	2	0.5660957566	104.4146941	14.9234962		
22	Morocco	Guelmim - Es-Semar	2010	2	0.1132850089	40.80360109	16.46672685		
23	Morocco	Laâyoune - Boujdou	2010	2	0.0976486144	46.37479212	18.35474606		
24	Morocco	Marrakech - Tensift -	2010	2	0.3462290844	120.6940948	12.4976284		
25	Morocco	Rabat - Salé - Zemm	2010	2	0.5761128026	143.0920218	13.10681884		
26	Morocco	Souss - Massa - Draâ	2010	2	0.1960245031	100.055441	11.72245492		
27	Morocco	Tadla - Azilal	2010	2	0.3900502217	166.7667785	8.453375379		

Pour la luminosité, les données ne sont disponibles qu'à partir de juillet 2011.

Pour l'émission du CO2, les données ne sont disponibles qu'à partir de 2018.

Data cleaning

Après extraction des données en CSV, on les lit sur POWERBI.

En utilisant la fonction Transform Data, je précise premièrement les types de chaque colonne (décimal, nombre entier, texte...) et j'ajoute différentes variables :

- Date : qui lie mois avec année
- Saison : définit les 4 saisons de l'année : (hiver printemps, automne, été)
- Variation : qui définit la variation de la moyenne du NDVI entre année K-1 et année K
- Catégorie de variation : défini Hausse si Variation >0, baisse si variation <0, aucune si variation = 0

Notre base de données maintenant est la suivante :

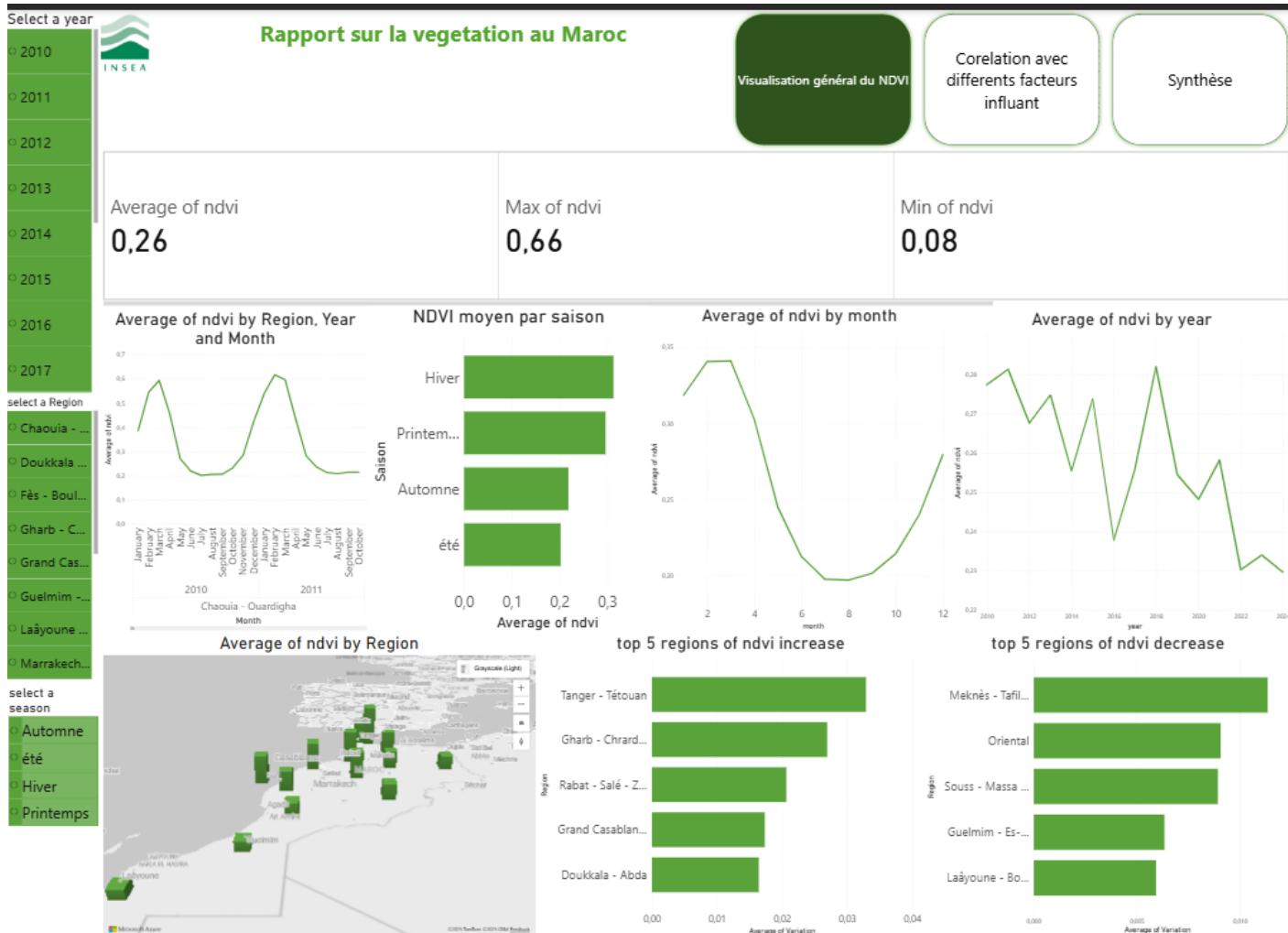
Region	Date	ndvi	Precipitation (mm)	Temperature (°C)	year	month	Saison	Emmission CO2	luminosite1	Variation	Catégorie de Variati
Chaouia - Ouardigha	lundi 1 janvier 2024	0,249512204706152	35,6165347750878	2024	1	Hiver			-0,0367131603794412	Baisse	

La base de données est maintenant prête à être analysé.

Data Visualisation :

1- Visualisation générale du NDVI :

Pour cette partie, voici la page du Dashboard concerné :



Etude générale :

Tout d'abord, on a un NDVI moyen de 0.26 de 2010 à 2024 : cela laisse penser qu'il y a une végétation faible au Maroc

En plus, le max du NDVI est 0.66, tandis que le min du NDVI est 0.08, cela montre une **hétérogénéité importante de la couverture végétale au Maroc**.

Etude de régions :

Cela peut être vérifié par la carte ‘Average NDVI by Region’ qui montre que plus on descend du nord, plus le NDVI diminue, et plus on est sur l'est plus le NDVI est faible

D'après cette figure, on peut donc conclure que la végétation au Maroc est plus importante au nord et l'ouest, que dans les régions du sud et l'est. Cela laisse penser à des facteurs climatiques qui peuvent

entrer en jeu, d'où la nécessité de vérifier la corrélation du facteur NDVI avec les précipitations ou même la température.

La remarque que le NDVI est plus important dans le nord /ouest que le sud /est peut être confirmé par les graphes ‘**Top 5 regions of NDVI increase**’ et ‘**top 5 regions of NDVI decrease**’

Ces deux graphes montrent que les régions où on a une variation positive maximal au Maroc sont Tanger-Tétouan, Gharb, Rabat, Casablanca, Doukkala-Abda => des régions du nord /ouest du Maroc.

Tandis que les régions où on a une variation minimale (positive minimal / négative) sont Laâyoune, Guelmim, Souss Massa, Oriental, Meknès => Région de sud et de l'est du Maroc

Etude de saisonnalité :

En analysant le graphe ‘**Average of ndvi by Region, Year, Month**’, avec la capacité d’interagir, on remarque qu’on a une saisonnalité, chaque décembre, janvier, février, mars dans **les régions du nord et de l'ouest**, on a une croissance importante du NDVI, avec atteinte de son maximum, tandis qu’après, on a une décroissance continue, avec un minimum pendant le mois 7.

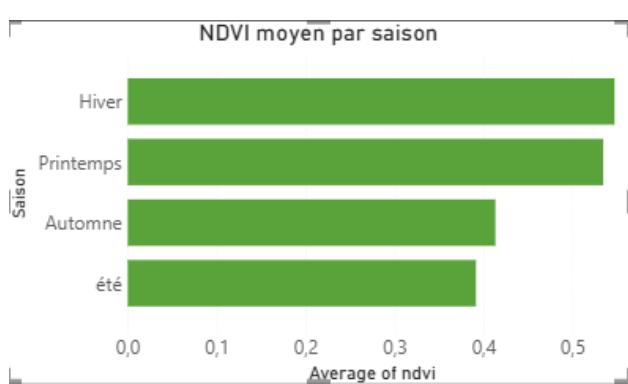
Tandis que dans **les régions du SUD et de l'EST**, on remarque qu’il n’y a pas une assez grande différence entre les saisons, avec un NDVI moyen qui varie rarement entre saisons ou une variation faible de 0.01 ou 0.02.

Cela laisse dire que le NDVI est plus important pendant l’hiver, et est moins important pendant l’été dans **les zones du nord et de l'ouest**.

Tandis qu’il n’y a pas d’effet significatif pour les régions du sud et de l’est

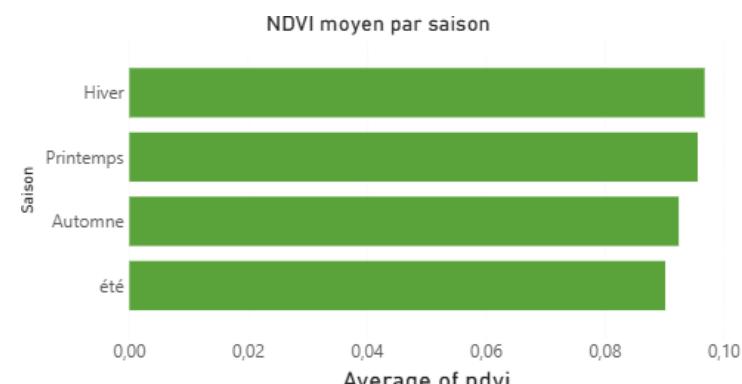
Cela peut être confirmé par le bar chart ‘**NDVI moyen par saison**’ en utilisant les slicers disponible à gauche :

Pour une région du nord : (Tanger-Tétouan) :



Différence (hiver – été) de 0.11

Pour une région du sud : (Laâyoune) :



différence de 0.01

(Théorie à vérifier statistiquement lors de la partie 2)

La courbe ‘Average of NDVI per month’ montre que moyennement, le NDVI est maximum au Maroc pendant le mois 2 et le mois 3. Tandis qu’il est minimum pendant le mois 7, 8 et 9.

On remarque qu’il est lié aux saisons : Hiver / été.

Etude du NDVI par an :

La courbe ‘Average of NDVI per year’ nous donne la visualisation de la série chronologique du NDVI par année, et montre bien une tendance décroissante au fil des années, avec un minimum de 0.23 atteint en 2022 et 2024, due notamment à la sécheresse que connaît le Maroc dernièrement (théorie à vérifier lors de l’étude des corrélations)

Le maximum a été atteint lors de 2011 et 2018 (0.28)

Conclusion :

D’après cette première étude, on conclut qu’il y a une grande différence entre la végétation au nord et l’ouest du Maroc avec le sud et l’est du Maroc, avec une grande dominance de la région du nord. Les différentes moyennes du NDVI sur (Nord, ouest) seulement (0.36), et sur (Sud, est) seulement (0.17), montrent bien ce résultat.

Nord, ouest

Sud, est

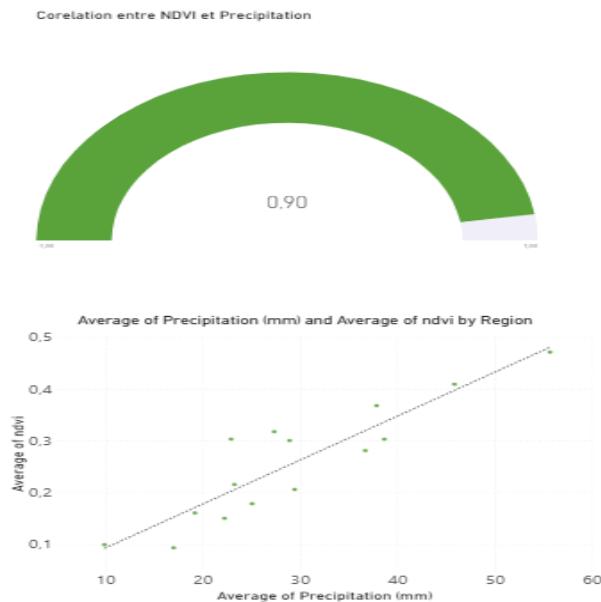
Average of ndvi	Max of ndvi	Min of ndvi	Average of ndvi	Max of ndvi	Min of ndvi
0,36	0,66	0,17	0,18	0,44	0,08

(Résultat obtenu avec les slicers des régions)

Cela nous pousse à vérifier les corrélations avec différents facteurs, c’est le sujet de la prochaine partie.

2- Corrélation entre différents facteurs influant :

a- Les précipitations :



Nous obtenons une corrélation de 0,90 entre le NDVI et les précipitations, ce qui constitue un coefficient exceptionnellement élevé en analyse environnementale.

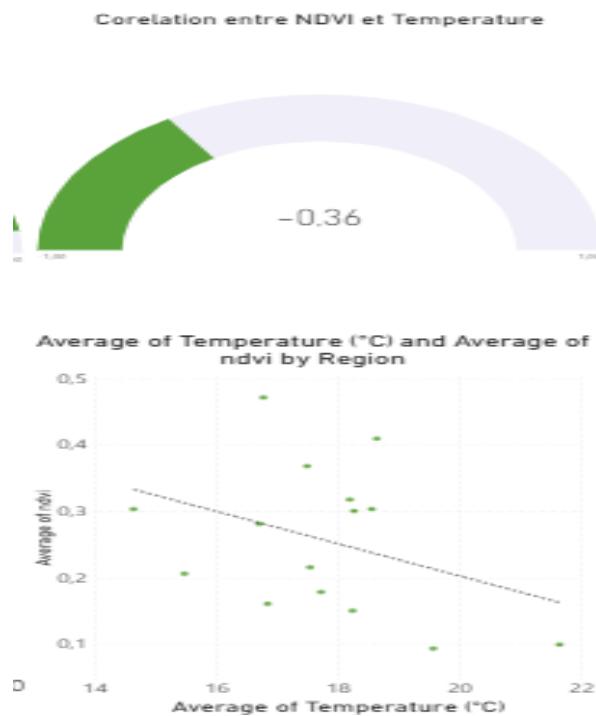
Une telle valeur indique une relation linéaire très forte et positive :

Plus les précipitations augmentent, plus le NDVI augmente, ce qui signifie que la végétation réagit directement à la disponibilité en eau.

En plus, en analysant la courbe, on remarque que tous les points sont autour de la courbe , et il n y a pas de point aberrant.

On conclut que le NDVI est fortement lié aux précipitations

b- La température :



La corrélation obtenue entre le NDVI et la température est de -0,36.

Il s'agit d'une corrélation négative modérée, ce qui signifie :

Quand la température augmente, le NDVI tend à diminuer, mais la relation n'est pas très forte.

La température influence bien la végétation, mais elle n'est pas le facteur dominant (contrairement aux précipitations, qui présentent une corrélation de 0,90).

Ce résultat est cohérent d'un point de vue écologique :

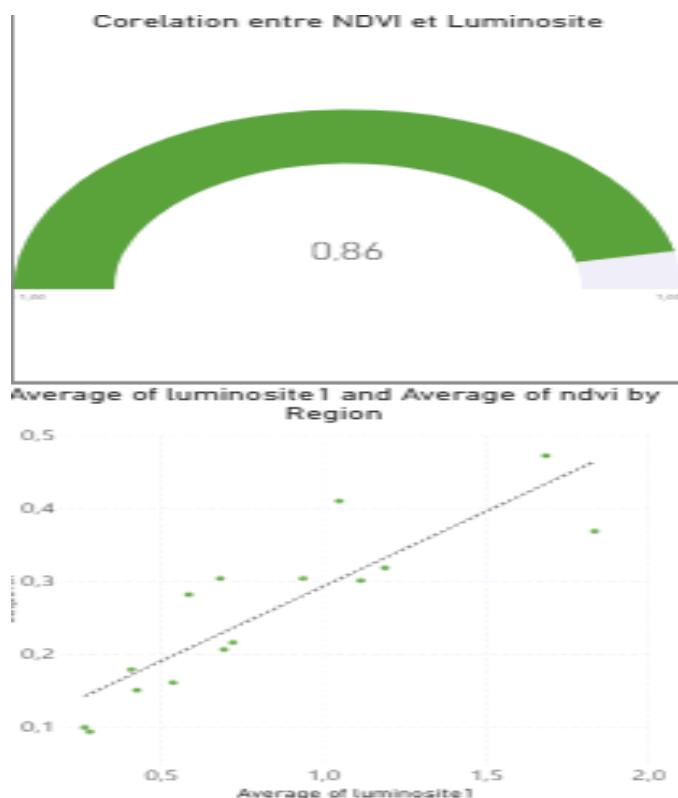
À mesure que les températures augmentent, la végétation est soumise à un stress hydrique plus important, surtout dans les régions semi-arides..

Cela entraîne une perte de vigueur végétale, ce qui se traduit par un NDVI plus faible.

Le scatter plot montre :

- Une **tendance descendante** (ligne de régression négative), qui confirme visuellement la corrélation calculée.
- Les régions ayant des températures moyennes élevées (20–22°C) affichent généralement un **NDVI plus faible**, tandis que les régions plus fraîches (14–17°C) montrent des **NDVI plus élevés**.

c- La luminosité :



La corrélation entre la luminosité et le NDVI est de **0,86**, ce qui correspond à une **corrélation positive très forte**. Cela signifie que :

Plus une région reçoit de luminosité, plus la végétation y est dense et active, ce qui se traduit par un NDVI élevé.

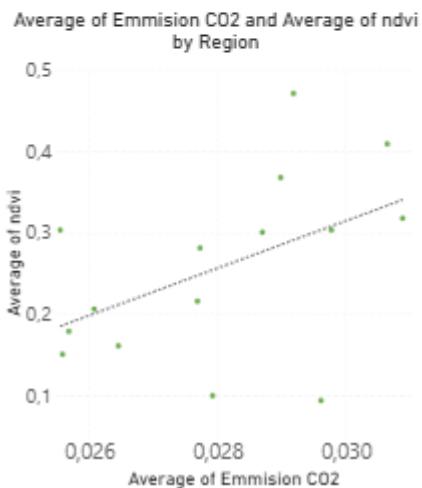
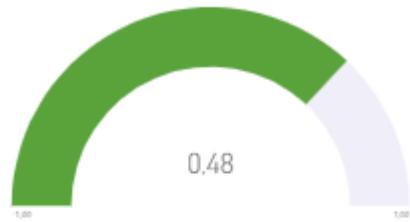
La luminosité joue donc un rôle majeur dans la croissance de la biomasse végétale.

Le nuage de points confirme cette relation :

- Le **nuage est étroit et aligné**, ce qui montre que la relation est très cohérente entre toutes les régions.

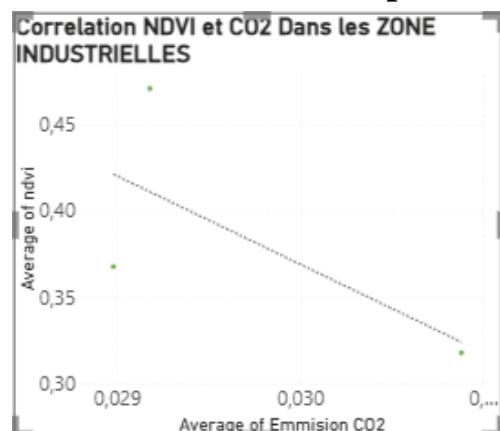
d- Emission du CO2

Correlation entre NDVI et Emission de CO2



!! Statistique trompeuse : Les zones industrielles qui émettent plus de CO2 sont ceux qui ont les conditions les plus idéals pour un NDVI plus grand (précipitations, zone géographique, température, luminosité.), qui sont rare au Maroc (Tanger, Casablanca, Rabat). Ils sont donc considérés comme point aberrant, et n'influencent pas la corrélations sur les 10 autres régions.

Donc pour voir l'effet de l'émission de CO2, il faut voir la corrélation pour les valeurs ces zones industrielles uniquement :



ON TROUVE BIEN UNE CORRELATION NEGATIVE / Emission de CO2 affecte négativement le NDVI

e- Conclusion

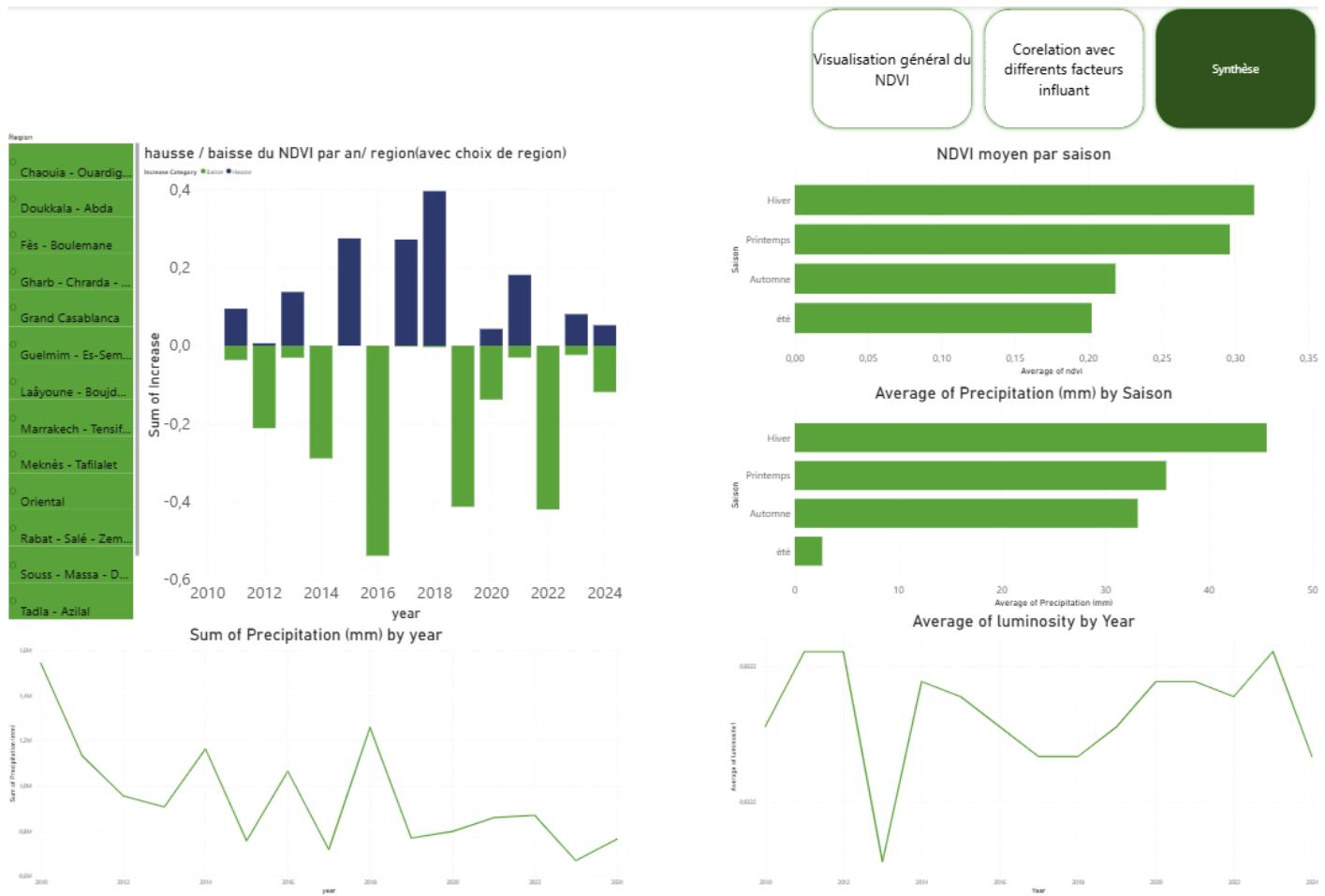
D'après cette étude, on peut dire que 2 facteurs influencent directement et positivement le NDVI : Les précipitations, et la luminosité

Et un facteur influe moyennement et négativement : La température.

Cette étude aide à comprendre les résultats de la partie 1 : Les régions du nord et de l'ouest ont un NDVI plus élevé et une saisonnalité plus importante parce qu'ils ont des précipitations et une luminosité plus élevée, et une température moins élevée, avec une forte variation entre les saisons, comparé aux régions du sud et de l'est, qui connaissent des précipitations faibles tout au long de l'année, et une température élevée, aussi tout au long de l'année, donc pas de variations notable entre les saisons.

Synthèse générale :

Pour cette partie, j'ai réalisé la page suivante dans le dashboard :



Tout d'abord, le graphe '**hausse/baisse du NDVI par an (avec choix de région)**' montre que pendant ces 14 ans, le Maroc a connu plus de baisse du NDVI que de hausse
Avec un Max de baisse de (-0.6) en 2016 et un max de hausse de (0.4) en 2018.

En étudiant la courbe '**Sum of Précipitation (mm) by year**' et la courbe '**Average of luminosity by year**' on remarque qu'en 2015, les précipitations atteignent leur min (757 769,21 mm), ce qui a affecté directement la végétation en 2016 ou on a le max de baisse.

Aussi, on avait posé une théorie en partie 1, que la baisse du NDVI de 2022 à 2024 est due à la sécheresse que connaît le Maroc, cette hypothèse est maintenant vérifiée, en analysant les résultats du graphe des précipitations entre 2022 et 2024, tout en gardant en tête le facteur de corrélation (0.9)

Les bar charts '**NDVI moyen par saison**' et '**Average of precipitation (mm) by Saison**' montrent aussi cette corrélation, avec une dominance en Hiver → printemps → Automne → été

Finalement, on remarque que les années où la luminosité est maximale, on a une hausse importante de NDVI. => résultat de la corrélation confirmé par la courbe.

Conclusion

Pour conclure, ce projet offre une vision d'ensemble claire et structurée de l'état de la végétation au Maroc. Il permet également d'identifier les zones présentant le plus fort potentiel pour un développement végétal durable et optimisé, en particulier le Nord et l'Ouest du pays. Ces régions représentent des opportunités stratégiques pour la mise en place de projets agricoles innovants, l'orientation des investissements et la valorisation des ressources naturelles. En s'appuyant sur ces résultats, il devient possible de promouvoir un développement à la fois agricole et humain véritablement durable.