



Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II

Filière de Formation en Sciences Géomatiques et Ingénierie Topographique

2^{ème} année cycle d'ingénieur

**Projet de Base de Données Spatiales :
Analyse agricole et territoriale par région au Maroc**

Réalisé par :

OURID Asmaa (n°52)

Encadré par :

Pr. HAJJI Hicham

Année universitaire : 2025/2026

Table des matières

I.	Introduction	4
II.	Problématique	4
III.	Objectifs du projet.....	4
IV.	Collecte et préparation des données	5
1.	La géométrie des régions.....	5
2.	Données agricoles régionaux.....	6
3.	Etablissement de formations agricoles	11
4.	Réseau routier et hydrographie	14
V.	Implémentation et chargement.....	14
1.	Création de la base de données	14
2.	Création d'une nouvelle connexion.....	15
3.	Importation des couches.....	16
4.	Création des index spatiaux GiST	18
a.	Utilité des index spatiaux Gist.....	19
b.	Création des index	19
5.	Shéma de la base de donnée	19
VI.	Requêtes spatiales	20
1.	Longueur totale du réseau routier par région.	20
2.	Densité routière (km de routes par 100 km ²) pour chaque région.....	21
3.	Établissements de formation situés à moins de 5 km d'une autoroute.....	22
4.	Longueur des cours d'eau traversant les régions les plus agricoles (selon SAU).....	23
5.	Analyse croisée entre superficie irrigable et densité routière.....	24
6.	Nombres de cours d'eaux par région classées selon leurs superficies irriguées	25
7.	Nombre d'établissements agricoles par région	26
8.	Densité de cours d'eau (km de rivières pour 100 km ²) par région	28
VII.	Indexation Spatiale R-tree et R*-tree	28
1.	Comparaison R-Tree et R-Tree*	28
2.	Construction d'un R-Tree pour les régions du Maroc.....	29
	Étape 1 : Première insertion	30
	Étape 2 : Ajout jusqu'à capacité maximale (M=4)	30
	Étape 3 : Dépassement → Split	30
	Étape 4 : Ajout des autres régions.....	31
3.	Construction d'un R*-Tree pour les régions du Maroc.....	32

Étape 1 : Feuilles initiales	32
Étape 2 : Réinsertion partielle.....	32
Étape 3 : Split optimisé	33
Split de Feuille A :	33
VIII. Comment DuckDB peut être utilisé dans ce projet	34
1. Définition de DuckDB	34
2. Différences entre DuckDB et PostGIS	34
3. Utilisation de DuckDB dans ce projet.....	35
IX. limites des données, difficultés, perspectives.....	37
1. Limites des données	37
2. Difficultés rencontrées	38
3. Perspectives	38

I. Introduction

Le secteur agricole marocain repose sur une grande diversité territoriale : types de filières, niveaux d'irrigation, superficies agricoles utiles (SAU), cheptel, et infrastructures de formation. Ces informations sont publiées par le Ministère de l'Agriculture, mais le plus souvent sous forme de pages web descriptives et de jeux de données dispersés (OpenStreetMap, HydroSHEDS, référentiels ministériels, etc.). Pour tirer pleinement parti de ces ressources, il est nécessaire de les intégrer dans une base de données spatiale structurée qui permette des analyses croisées, des requêtes spatiales et une exploitation cartographique. Le présent projet vise à concevoir, modéliser et implémenter une base de données PostGIS centralisant indicateurs agricoles régionaux et couches géospatiales (limites administratives, réseaux routiers, autoroutes, hydrographie). L'objectif est de rendre possible l'analyse territoriale par région et d'évaluer des relations spatiales pertinentes (ex. : lien entre densité routière et superficie irrigable, positionnement des établissements de formation par rapport aux infrastructures)

II. Problématique

Les informations agricoles et territoriales du Maroc sont disponibles mais sous des formes hétérogènes (textuelles, tabulaires, géographiques) et non interopérables. Cette dispersion limite les possibilités d'analyse croisée et d'aide à la décision.

La problématique principale est donc : comment intégrer et structurer ces données variées dans une base de données spatiale cohérente permettant de réaliser des analyses et des requêtes spatiales efficaces sur les régions marocaines.

III. Objectifs du projet

- Concevoir et implémenter une base de données spatiale intégrant données agricoles et géographiques régionales.
- Réaliser des analyses spatiales et des requêtes croisées sur l'agriculture, les infrastructures et l'hydrographie.
- Étudier l'impact de l'indexation spatiale (R-tree et R*-tree) sur la performance des requêtes

IV. Collecte et préparation des données

1. La géométrie des régions

Cette première étape vise à disposer d'une base spatiale représentant les **limites administratives des régions du Maroc**. Ces entités géographiques serviront de référence pour la jointure et l'analyse spatiale des données agricoles.

La couche des régions est téléchargée depuis la plateforme [SIG-Maroc](#), qui fournit des **shapefiles officiels et actualisés** issus du **recensement 2024**.

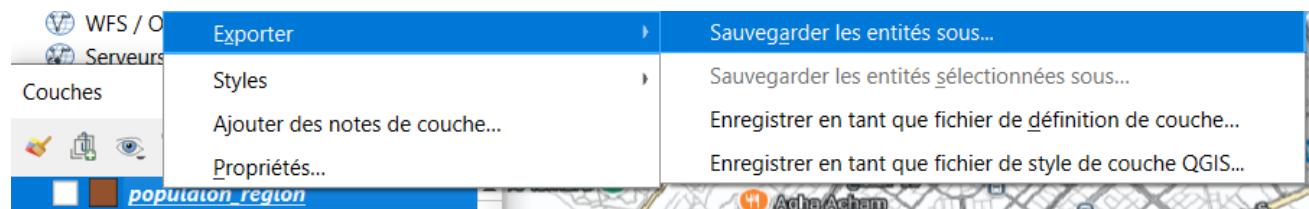
Après ouverture dans QGIS, seuls les champs pertinents ont été conservés (code et nom de la région) afin d'alléger la table attributaire et éviter la redondance d'informations inutiles dans la base finale.

Etapes :

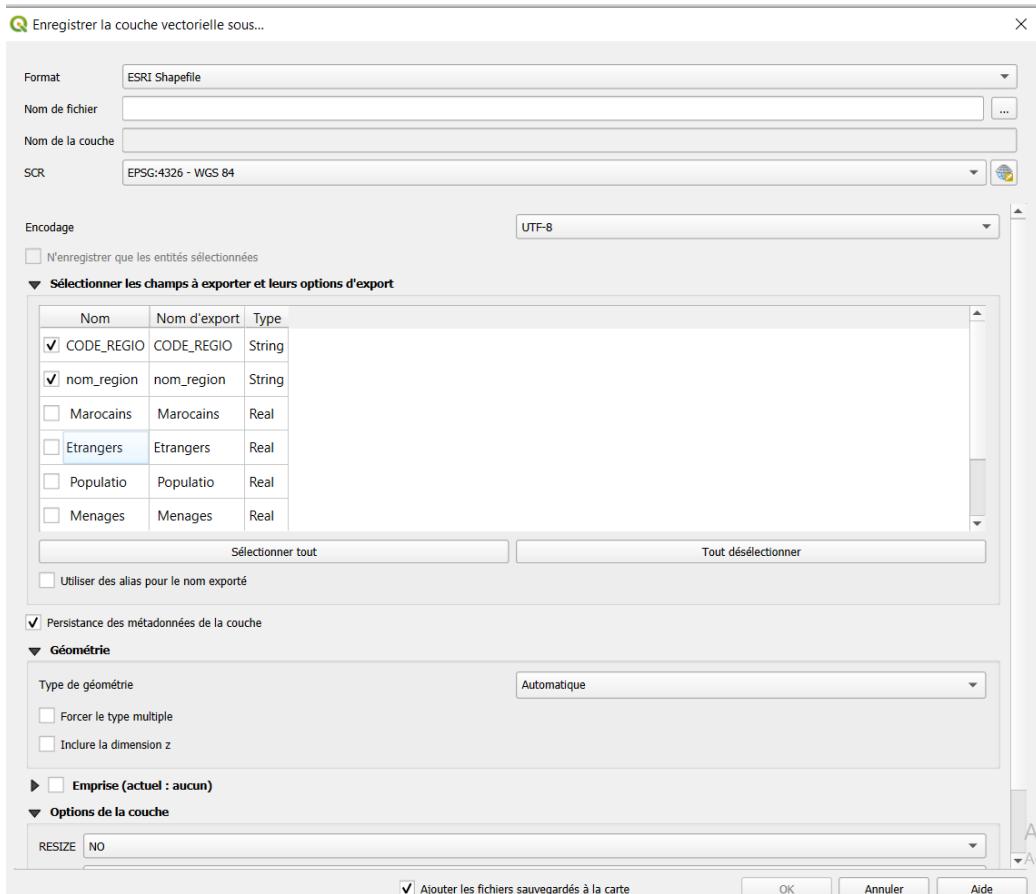
Télécharger le shp file de population du Maroc par région issu du recensement 2024 depuis le site suivant :

<https://sig-maroc.com/donnees/shapefiles-recensement-2024>

Ouvrir la couche sur Qgis ,puis cliquer sur exporter la couche :



Décocher tous les champs sauf les 2 champs code et nom de la région puis exporter la couche :



2. Données agricoles régionaux

- Collecte des données

Les données statistiques sur les superficies agricoles, l'irrigation, les cheptels (bovins, ovins, caprins, camelins), etc. ont été collectées **manuellement à partir des rapports régionaux du Ministère de l'Agriculture**.

Ces informations ont été saisies dans un fichier CSV, ce qui permet une **intégration directe dans QGIS** et facilite la jointure avec les entités spatiales.

Etapes :

Premièrement commencer par la collecte manuelle des données descriptives de l'agronomie de chaque région publié par le ministère de l'agriculture sur le site officiel :

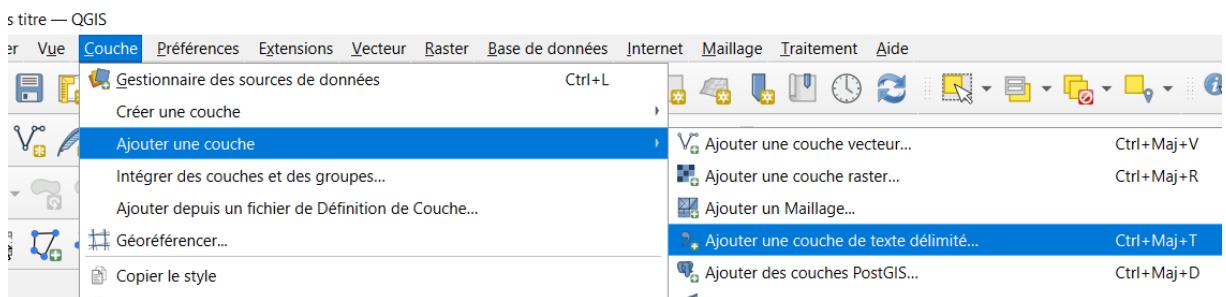
<https://www.agriculture.gov.ma/fr/>

Stocker les données dans un fichier csv

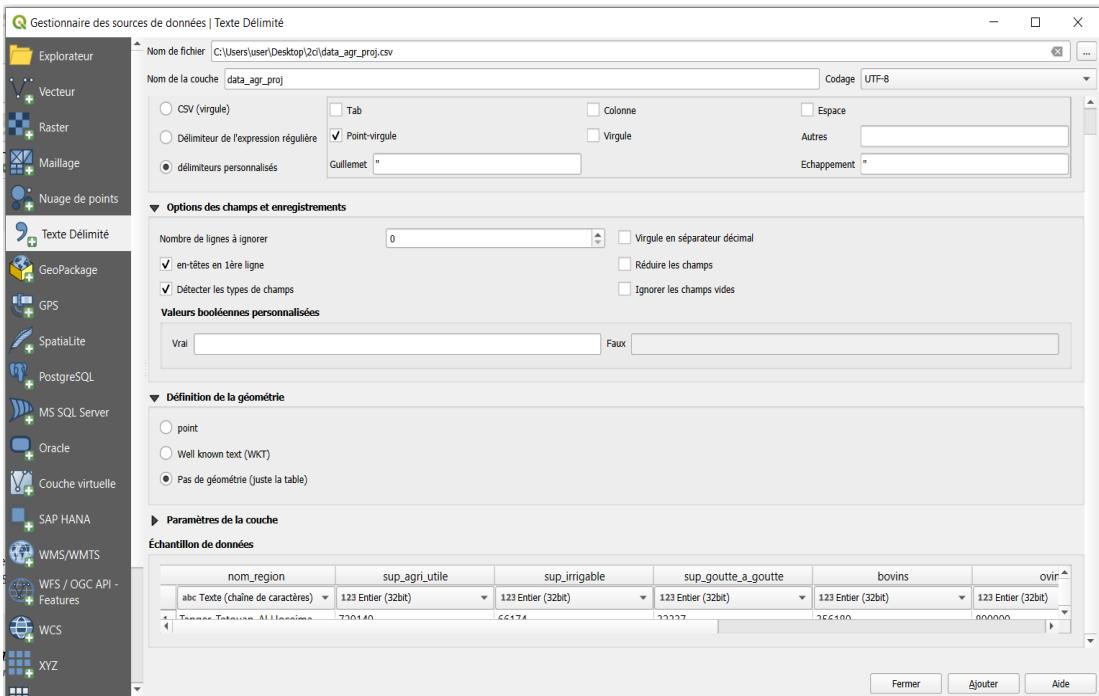
A	B	C	D	E	F	G	H
nom_region	sup_agri_utile	sup_irrigable	sup_goutte_a_goutte	bovins	ovins	caprins	camelins
Tanger_Tétouan_Aï Hoceim	729149	66174	32337	356180	800000	470000	0
Oriental	889450	181388	40236	123400	3200000	960000	0
Fès_Meknès	1235521	193542	82759	426370	2990000	423900	0
Rabat_Salé_Kénitra	942980	208000	83000	603649	1936253	158925	0
Beni Mellal_Khénifra	994463	226293	40975	378000	2770000	967000	0
Casablanca_Settat	1263042	168238	56990	768490	2560344	88100	0
Marrakech_Safi	2055977	345032	105600	471000	3800000	793000	0
Drâa_Tafilalet	270910	201922	36868	84518	1451000	650800	0
Souss_Massa	453445	174862	108192	149800	1356000	1128000	0
Guélmim_Oued Noun	164099	36602	3000	0	214833	242784	33080
Laâyoune_Sakia El Hamra	136000	5543	1051	0	206000	302000	105000
Dakhla_Oued Ed_Dahab	100000	1152	1083	0	40000	30000	40000
14							

Ajouter la couche sur QGIS :

- Cliquer sur : Couche → Ajouter une couche → Ajouter une couche de texte délimitée...



Ajouter le fichier de données agricoles .csv dans la case nom du fichier



- Jointure des données avec la couche régions

La jointure permet de **lier les données descriptives (CSV)** aux **données spatiales (shapefile des régions)** sur un champ commun (nom_region ou code_regio).

Dans QGIS, la jointure se fait via les propriétés de la couche région, puis l'onglet *Jointures*.

Il est essentiel que les noms des régions soient **identiques dans les deux fichiers** pour garantir une correspondance correcte entre les enregistrements.

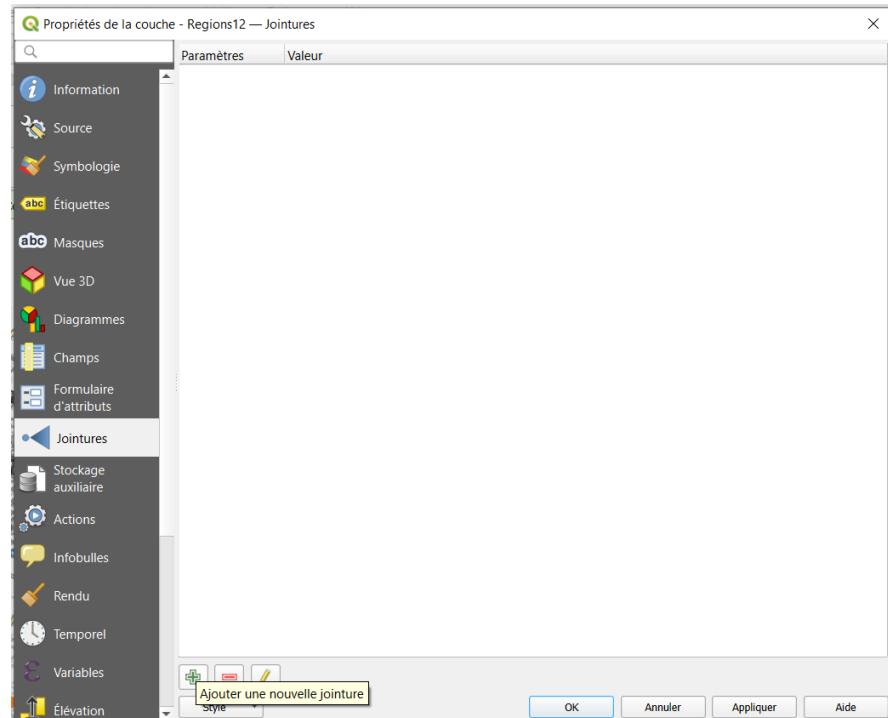
Une fois la jointure réalisée et vérifiée (table d'attributs), la couche résultante est exportée afin de créer un shapefile enrichi, prêt à être importé dans la base de données.

Etapes :

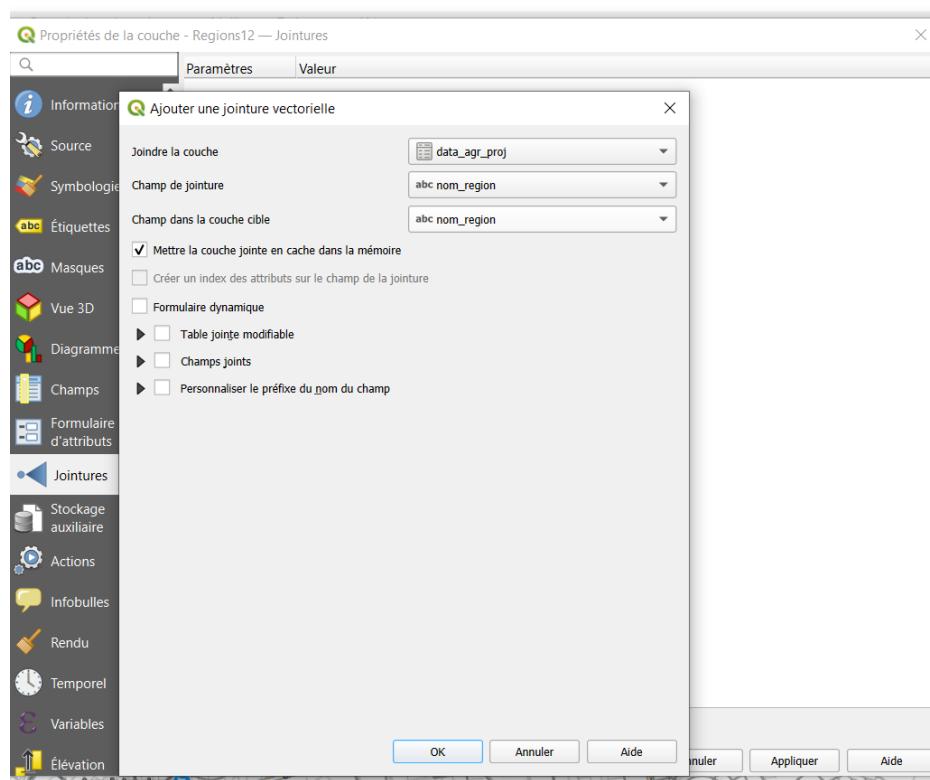
Ouvrir propriétés de la couche Régions



Ouvrir Jointures → Ajouter une nouvelle jointure

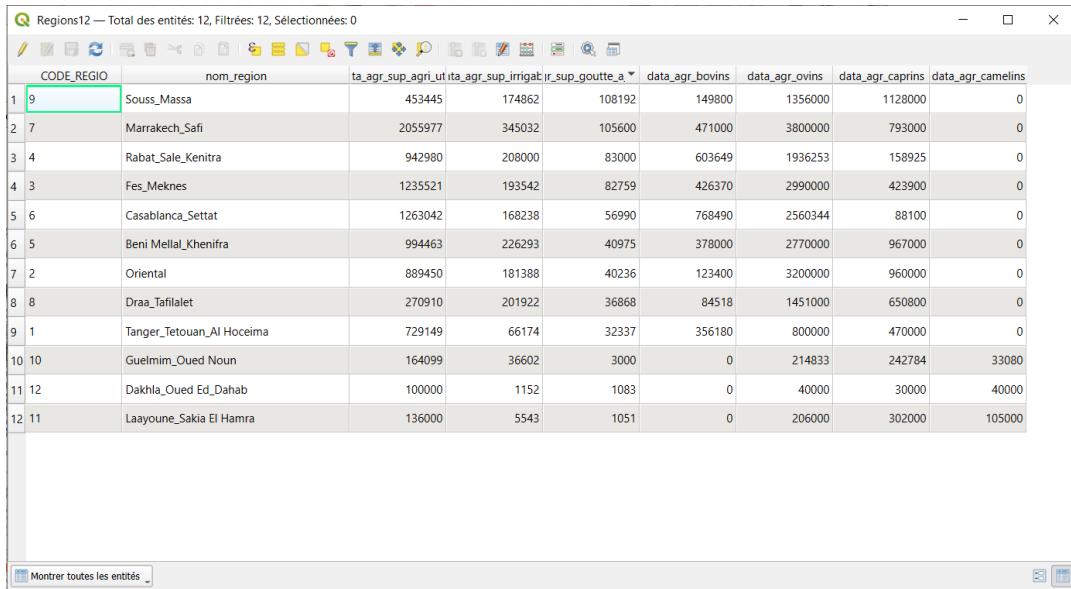


Joindre la couche région avec la couche des données agricoles



Nb : il faut vérifier que les noms des régions soient écrites de la même manière pour les deux champs des deux couches.

Vérifier de la table d'attributs de la couche résultante :



CODE_REGIO	nom_region	ta_agr_sup_agri_utile	ta_agr_sup_irrigable	ir_sup_goutte_a_goutte	data_agr_bovins	data_agr_ovins	data_agr_caprins	data_agr_camelins
1 9	Souss_Massa	453445	174862	108192	149800	1356000	1128000	0
2 7	Marrakech_Safi	2055977	345032	105600	471000	3800000	793000	0
3 4	Rabat_Sale_Kenitra	942980	208000	83000	603649	1936253	158925	0
4 3	Fes_Meknes	1235521	193542	82759	426370	2990000	423900	0
5 6	Casablanca_Settat	1263042	168238	56990	768490	2560344	88100	0
6 5	Beni_Mellal_Khenifra	994463	226293	40975	378000	2770000	967000	0
7 2	Oriental	889450	181388	40236	123400	3200000	960000	0
8 8	Draa_Tafilalet	270910	201922	36868	84518	1451000	650800	0
9 1	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	729149	66174	32337	356180	800000	470000	0
10 10	Guelmim_Oued Noun	164099	36602	3000	0	214833	242784	33080
11 12	Dakhla_Oued Ed_Dahab	100000	1152	1083	0	40000	30000	40000
12 11	Laayoune_Sakia_El Hamra	136000	5543	1051	0	206000	302000	105000

Exporter la couche

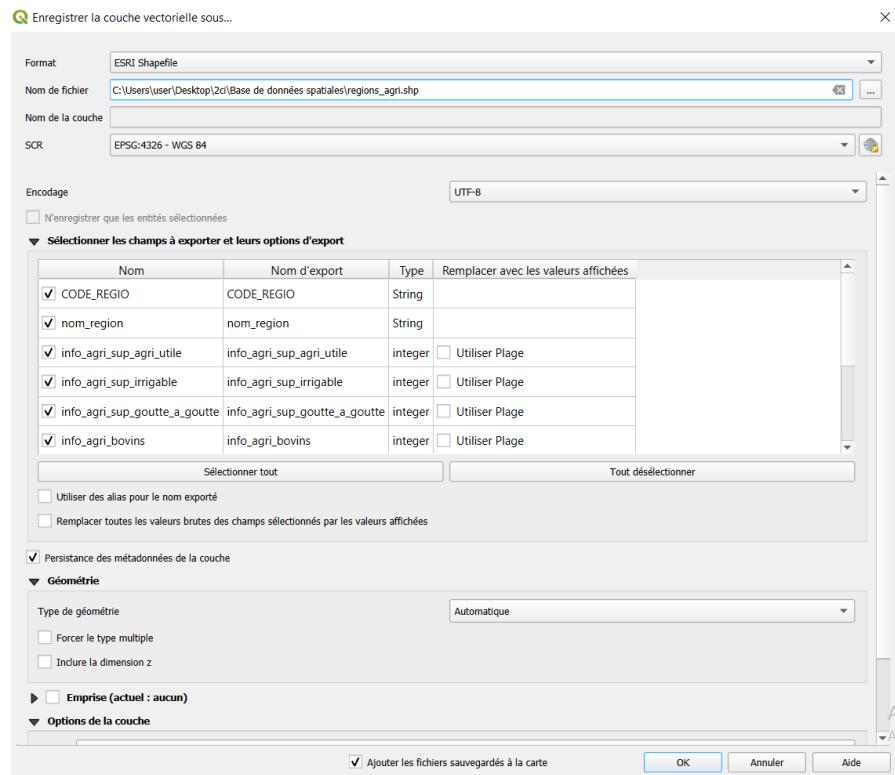


Table d'attributs de la couche résultante :

agri_regions — Total des entités: 12, Filtrées: 12, Sélectionnées: 0

	CODE_REGIO	nom_region	sup_agri_u	sup_irriga	sup_goutte	bovins	ovins	caprins	camelins
1	1	Tanger_Tetu...an...	729149	66174	32337	356180	800000	470000	0
2	2	Oriental	889450	181388	40236	123400	3200000	960000	0
3	3	Fes_Meknes	1235521	193542	82759	426370	2990000	423900	0
4	4	Rabat_Sale_Ken...	942980	208000	83000	603649	1936253	158925	0
5	5	Beni Mellal_Khe...	994463	226293	40975	378000	2770000	967000	0
6	7	Marrakech_Safi	2055977	345032	105600	471000	3800000	793000	0
7	8	Draa_Tafilalet	270910	201922	36868	84518	1451000	650800	0
8	9	Souss_Massa	453445	174862	108192	149800	1356000	1128000	0
9	10	Guelmim_Oued...	164099	36602	3000	0	214833	242784	33080
10	11	Laayoune_Sakia...	136000	5543	1051	0	206000	302000	105000
11	12	Dakhla_Oued E...	100000	1152	1083	0	40000	30000	40000
12	6	Casablanca_Set...	1263042	168238	56990	768490	2560344	88100	0

3. Etablissement de formations agricoles

Les **établissements de formation agricole** ont été recensés manuellement à partir du site du ministère de l'Agriculture.

Pour chaque établissement, sa **position géographique (longitude, latitude)** a été déterminée via **Google Maps**

Les coordonnées ont été stockées dans un fichier CSV puis importées dans QGIS en tant que **couche de points**, en précisant les champs X (longitude) et Y (latitude) comme géométrie.

Cela permet d'obtenir une couche shapefile etablis_agri.shp représentant les emplacements des établissements.

Etapes :

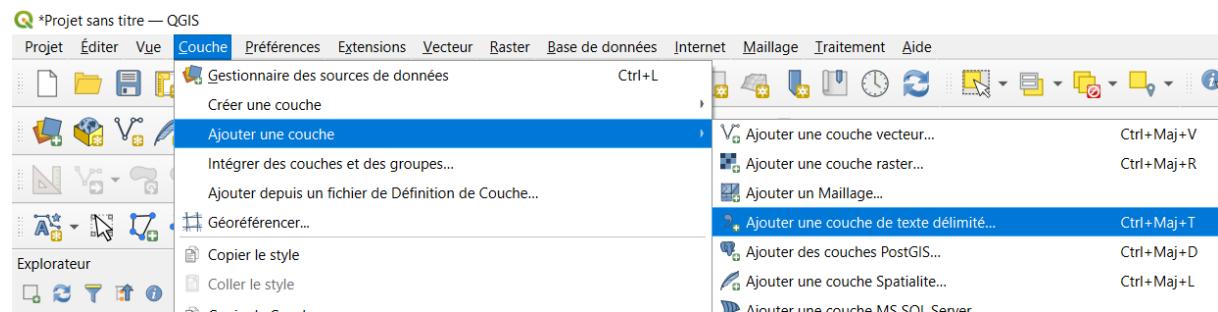
D'abord la Collecte manuelle des noms des établissement depuis le site du ministère puis recherche de la position de chacune sur Google maps (longitude et latitude)

Nb: On considère que les positions extraites de Google maps sont les positions des centroides des polygones des établissements.

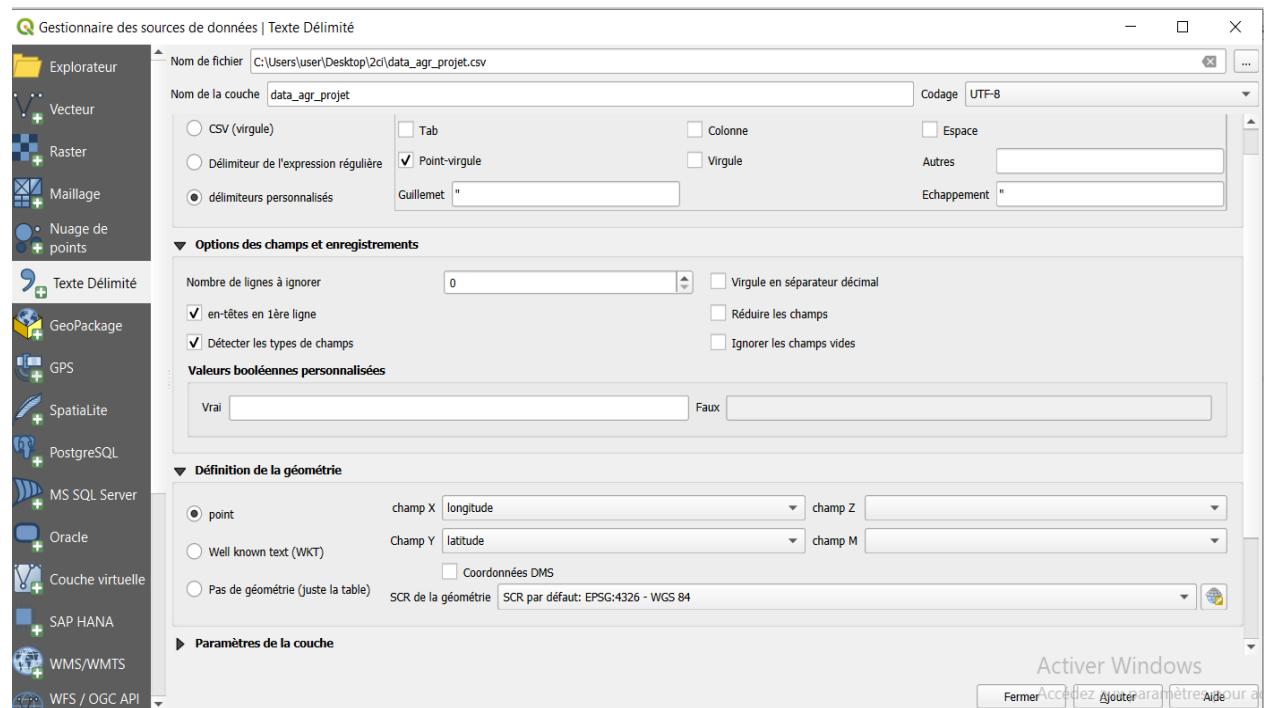
Stocker des noms et positions des établissements dans un fichier csv

	A	B	C	D	E	F
1	nom_etab	région	latitude	longitude		
2	Institut des Techniciens Spécialisés en Agric. Tanger-Tétouan_Ait	35.517875214564	-5.4337282430527685			
3	Institut des Techniciens Spécialisés en Agric. Tanger-Tétouan_Ait	35.181263029015	-6.113790447130898			
4	Institut Technique Agricole d'Imzouren Tanger-Tétouan_Ait	35.16635513059	-3.9901587067464273			
5	Centre de Qualification Agricole de ksar El kef Tanger-Tétouan_Ait	34.9855399039989	-5.91359396754496			
6	Centre de Qualification Agricole de Midar Oriental	34.941221387058	-3.5247649626159094			
7	Lycée Agricole de Berkane Oriental	34.950352052702	-2.326771754518801			
8	Institut Technique Agricole de Berkane Oriental	34.990177102618	-2.326035122135635			
9	Institut des Techniciens Spécialisés en Agric. Oriental	34.990159523418	-2.325981477961512			
10	Centre de Qualification Agricole de Bouchtat Oriental	34.696648801334	-1.8747862924916738			
11	Institut Technique Agricole de Taourirt Oriental	34.437355876975	-2.9564934490749932			
12	Lycée Agricole Technique Ain Taoujoute Fès_Meknès	33.936213890513	-5.217077254908672			
13	Centre de qualification agricole Bouderbala Fès_Meknès	33.818902397767	-5.272177982406758			
14	Ecole nationale d'agriculture de Meknès Fès_Meknès	33.843706051879	-5.477454355821435			
15	Centre de qualification agricole Missour Fès_Meknès	33.046209378527	-3.9733859067464254			
16	Centre de qualification agricole Menzel Fès_Meknès	33.865085856936	-4.470656293253573			
17	Institut des techniciens spécialisés en génie Fès_Meknès	33.876202551189	-5.546068393253575			
18	Institut des techniciens spécialisés en hortic. Fès_Meknès	33.880703516959	-5.552068494801183			
19	Lycée agricole Oued Mill Fès_Meknès	34.193410329454	-4.257324481940369			
20	Institut des techniciens agricoles Sahel Bout Fès_Meknès	34.534744207865	-4.804313801805881			
21	Ecole Nationale Forestière d'ingénieurs Rabat_Salé_Kénitra	34.041813255975	-6.800432435582141			
22	Institut National de la Recherche Agronomique Rabat_Salé_Kénitra	34.009356353106	-6.850180859635687			
23	Institut Royal des Techniciens Spécialisés en Rabat_Salé_Kénitra	34.257929745230	-6.532025404948254			
24	Institut Royal des Techniciens Spécialisés de Rabat_Salé_Kénitra	34.044347253645	-6.800219168282303			
25	Institut des Techniciens Spécialisés en Méca Rabat_Salé_Kénitra	34.102863832420	-6.76421861898671			
26	Institut des Techniciens Spécialisés en Agric. Rabat_Salé_Kénitra	33.869586123657	-6.91930846158159			
27	Institut Technique Agricole de Tiflet Rabat_Salé_Kénitra	33.817089915700	-6.33235416469017			
28	Institut Technique Agricole de Machraa Belk Rabat_Salé_Kénitra	34.578481771040	-5.939307978002722			
29	Centre de Qualification Agricole d'Oulmès Rabat_Salé_Kénitra	33.439803519453	-6.016848290865412			
30	Centre de Qualification Agricole de Sidi Iflal Rabat_Salé_Kénitra	34.535424625127	-6.327517979807076			
31	Ecole d'Agriculture de Temara Rabat_Salé_Kénitra	33.873092349789	-6.925204749074994			
32	Lycée Agricole de Machraa Belksiri Rabat_Salé_Kénitra	34.578499438199	-5.939275791403562			
33	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat_Salé_Kénitra	33.976541613791	-6.866704564282432			
34	ITSA de Ben Khil Béni Mellal_Khenifra	32.754657026125	-5.677326068805868			
35	Centre de qualification d'agriculture Bir Mez Zgabel Béni Mellal_Khenifra	32.992087999984	-6.574794872844878			
36	COA Ouled Fennane Béni Mellal_Khenifra	32.992087999984	-6.574794872844878			
37	Lycée Agricole de Fquih Ben Salah Béni Mellal_Khenifra	32.514446022378	-6.66423758965047			
38	ITSA de Fquih Ben Salah Béni Mellal_Khenifra	32.515621200305	-6.664192795298601			
39	ITSA de Sidi Hammadi Béni Mellal_Khenifra	32.289476711135	-6.567977853820974			
40	ITA Khmiss Mettouh Casablanca_Settat	32.878222907343	-8.178425179760724			
41	ITA Ouled Moumen Casablanca_Settat	32.96440252315	-7.66112582208929			
42	ITSA Ain Jemaa Casablanca_Settat	33.486106669074	-7.708889649074994			

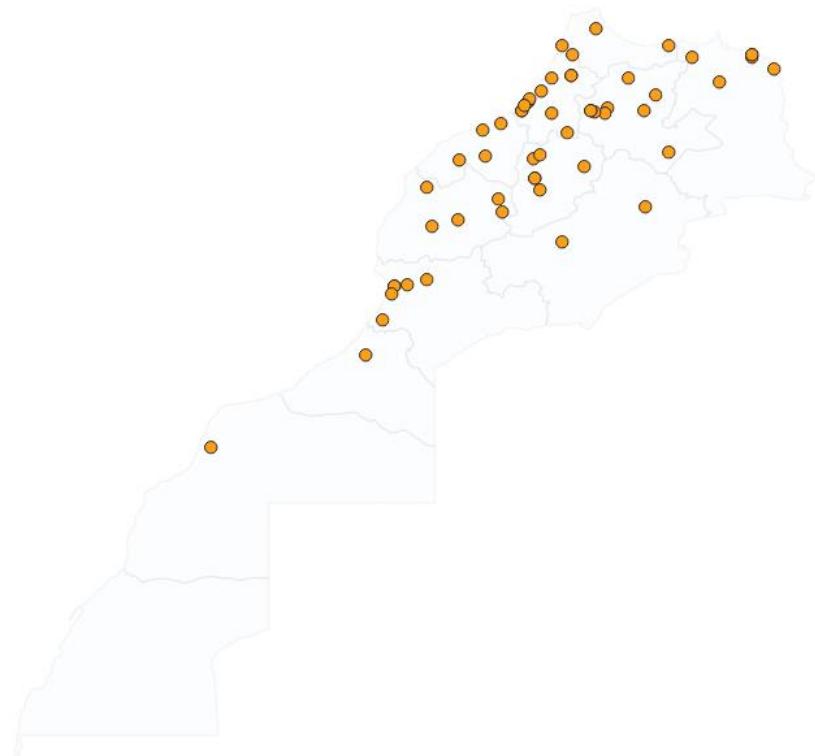
Ouvrir le fichier csv dans QGIS (ajouter une couche de texte délimité...) :



Choisir point pour la géométrie et associer le champ x avec la colonne longitude et le champ y avec la colonne latitude :



Le shp file est créer :



4. Réseau routier et hydrographie

Télécharger le fichier de data Maroc extraite de OpenStreetMap depuis le site suivant :

<https://download.geofabrik.de/>

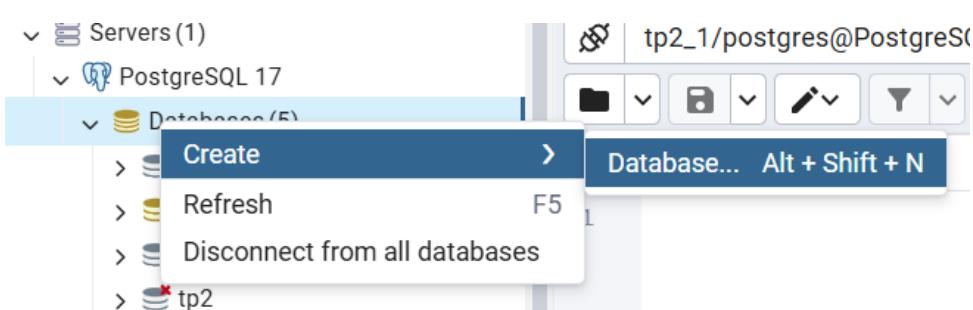
Nom	Modifié le	Type	Taille
gis_osm_transport_a_free_1.cpg	01/10/2025 02:20	Fichier CPG	1 Ko
gis_osm_transport_a_free_1.dbf	01/10/2025 02:20	Fichier DBF	87 Ko
gis_osm_transport_a_free_1.prj	01/10/2025 02:19	Fichier PRJ	1 Ko
gis_osm_transport_a_free_1.shp	01/10/2025 02:20	Source de Forme ...	218 Ko
A gis_osm_transport_a_free_1.shx	01/10/2025 02:20	Forme compilée d'...	5 Ko
gis_osm_transport_free_1.cpg	01/10/2025 02:19	Fichier CPG	1 Ko
gis_osm_transport_free_1.dbf	01/10/2025 02:20	Fichier DBF	1 586 Ko
gis_osm_transport_free_1.prj	01/10/2025 02:19	Fichier PRJ	1 Ko
gis_osm_transport_free_1.shp	01/10/2025 02:20	Source de Forme ...	307 Ko
A gis_osm_transport_free_1.shx	01/10/2025 02:20	Forme compilée d'...	88 Ko
gis_osm_water_a_free_1.cpg	01/10/2025 02:19	Fichier CPG	1 Ko
gis_osm_water_a_free_1.dbf	01/10/2025 02:20	Fichier DBF	1 429 Ko
gis_osm_water_a_free_1.prj	01/10/2025 02:19	Fichier PRJ	1 Ko
gis_osm_water_a_free_1.shp	01/10/2025 02:20	Source de Forme ...	4 417 Ko
A gis_osm_water_a_free_1.shx	01/10/2025 02:20	Forme compilée d'...	79 Ko
gis_osm_waterways_free_1.cpg	01/10/2025 02:19	Fichier CPG	1 Ko
gis_osm_waterways_free_1.dbf	01/10/2025 02:20	Fichier DBF	8 994 Ko
gis_osm_waterways_free_1.prj	01/10/2025 02:19	Fichier PRJ	1 Ko
gis_osm_waterways_free_1.shp	01/10/2025 02:20	Source de Forme ...	57 560 Ko
A gis_osm_waterways_free_1.shx	01/10/2025 02:20	Forme compilée d'...	480 Ko
README	01/10/2025 02:20	Fichier	1 Ko
91 élément(s)			

Le fichier téléchargé contient plusieurs couches parmi lesquelles se trouve la couche des routes et la couche des cours d'eau.

V. Implémentation et chargement

1. Création de la base de données

Sur le logiciel PgAdmin4 : Créer la base de données intitulée agriculture



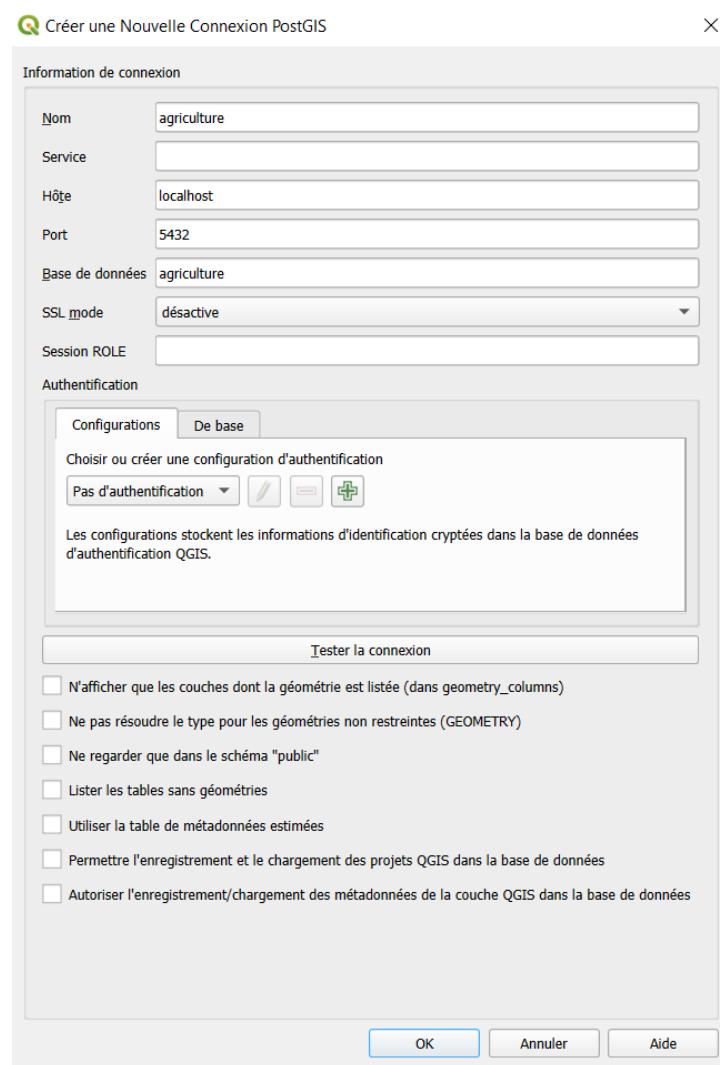
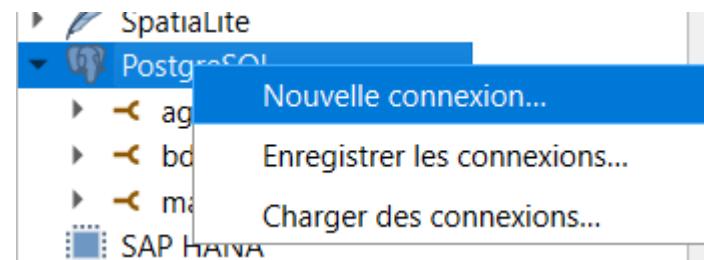
Activer l'extension postgis par la requête suivante

Query Query History

```
1 CREATE EXTENSION postgis;
```

2. Crédation d'une nouvelle connexion

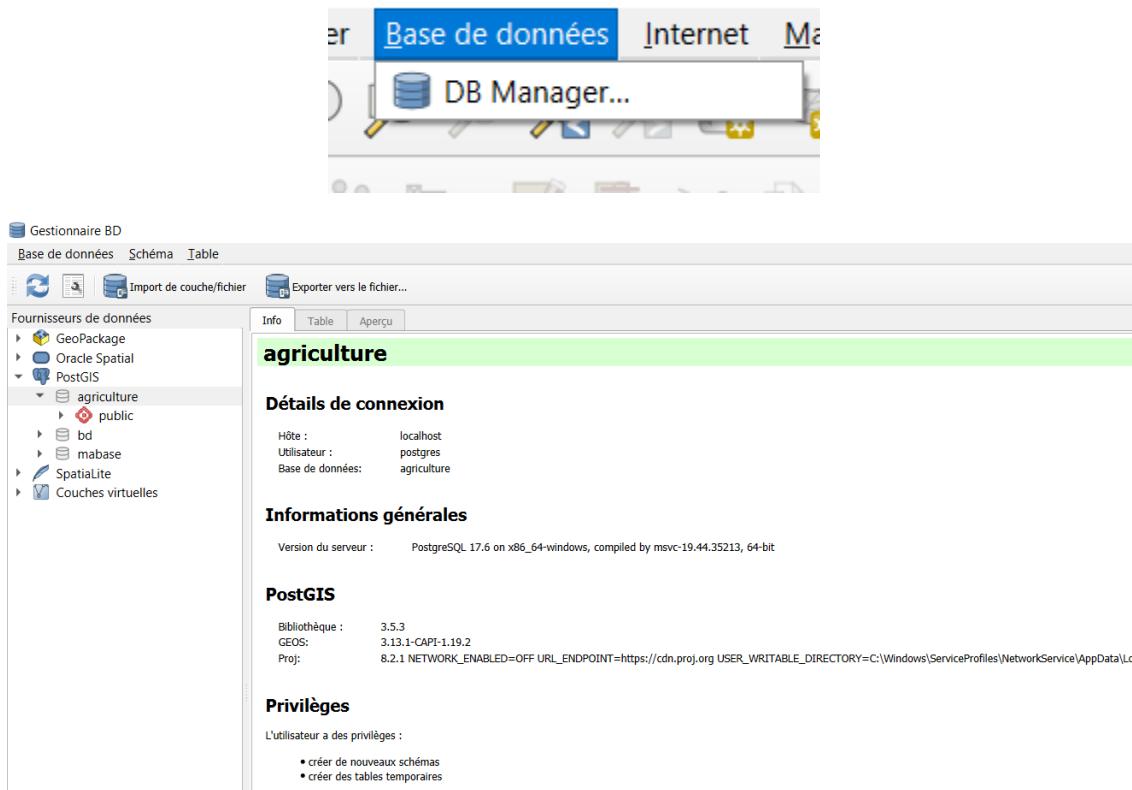
Sur Qgis : Cliquer droit sur PostgreSQL → Nouvelle connexion



- ✓ Une nouvelle connexion est créée

3. Importation des couches

Cliquer sur :Base de données → DB Manager



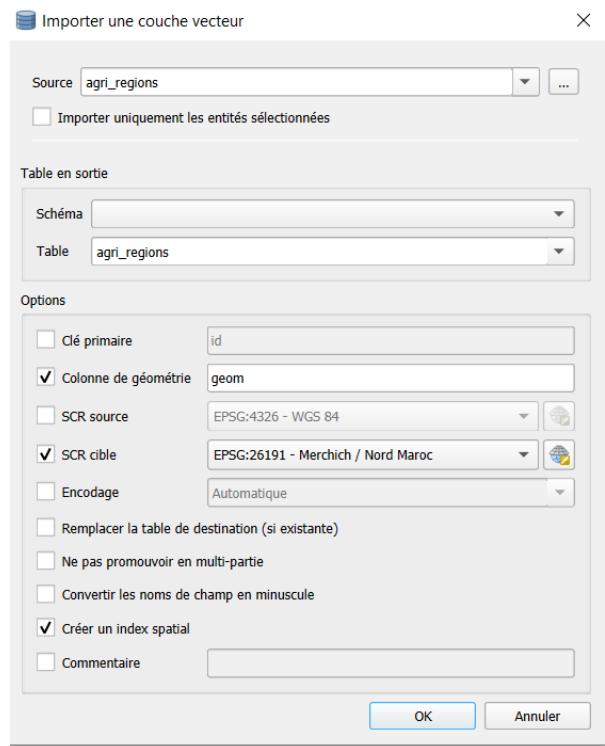
Cliquer sur :Import de couche/fichier

Pour chaque couche il faut s'assurer de cocher :

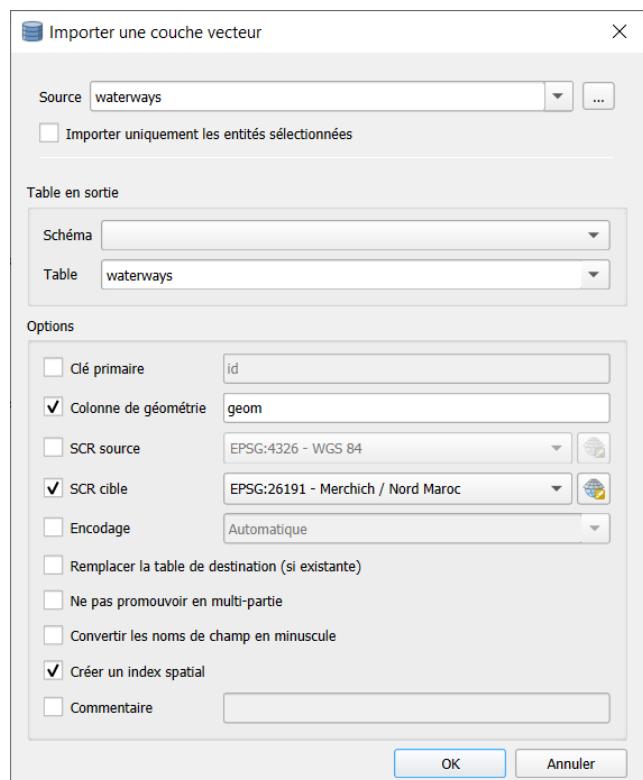
- La colonne de géométrie
- SCR cible : 26191
- Créer un index spatial

Cela garantit une bonne compatibilité spatiale entre toutes les couches et optimise la performance.

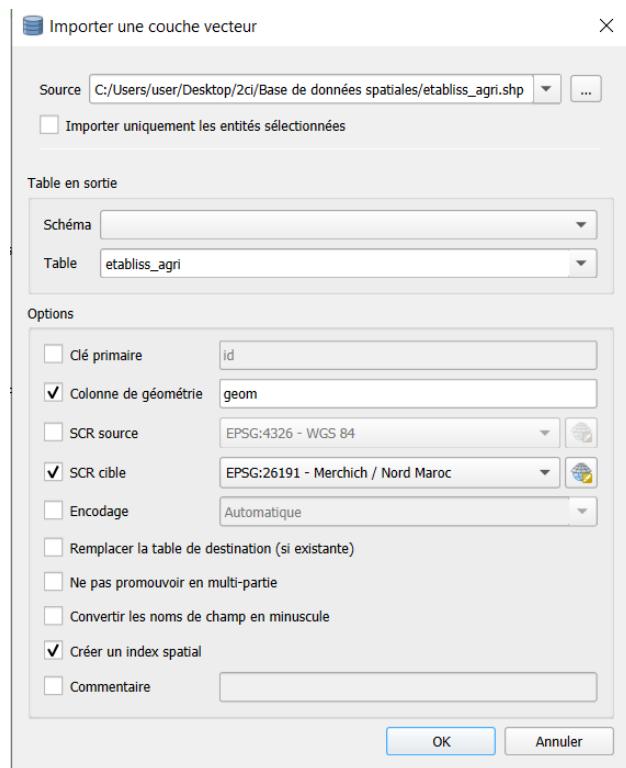
Couche agri_regions :



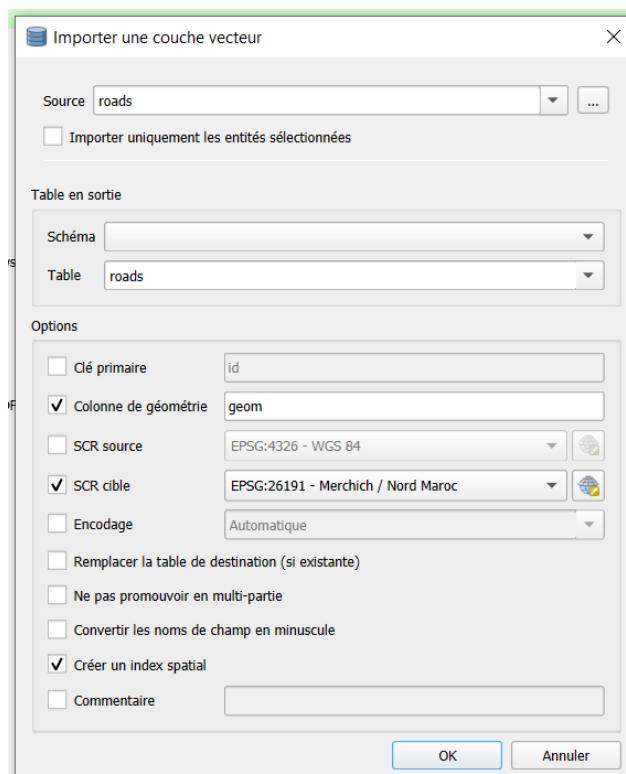
Couche waterways :



Couche etablis_agri :



Couche roads :



4. Création des index spatiaux GiST

a. Utilité des index spatiaux Gist

Un index spatial GiST (Generalized Search Tree) accélère les opérations spatiales (ex. : ST_Intersects, ST_Within, ST_Distance) en stockant les MBR (Minimum Bounding Rectangles) des géométries.

Sans index, chaque requête parcourt toutes les géométries de la table → temps de calcul élevé.

Avec un index GiST, seules les entités candidates (dont les MBR s'intersectent) sont testées.

b. Création des index

La création des index spatiaux GiST se fait par les requêtes suivantes :

```
CREATE INDEX idx_agri_regions_geom ON agri_regions USING GIST (geom);
```

```
CREATE INDEX idx_etabliess_agri_geom ON etabliess_agri USING GIST (geom);
```

```
CREATE INDEX idx_roads_geom ON roads USING GIST (geom);
```

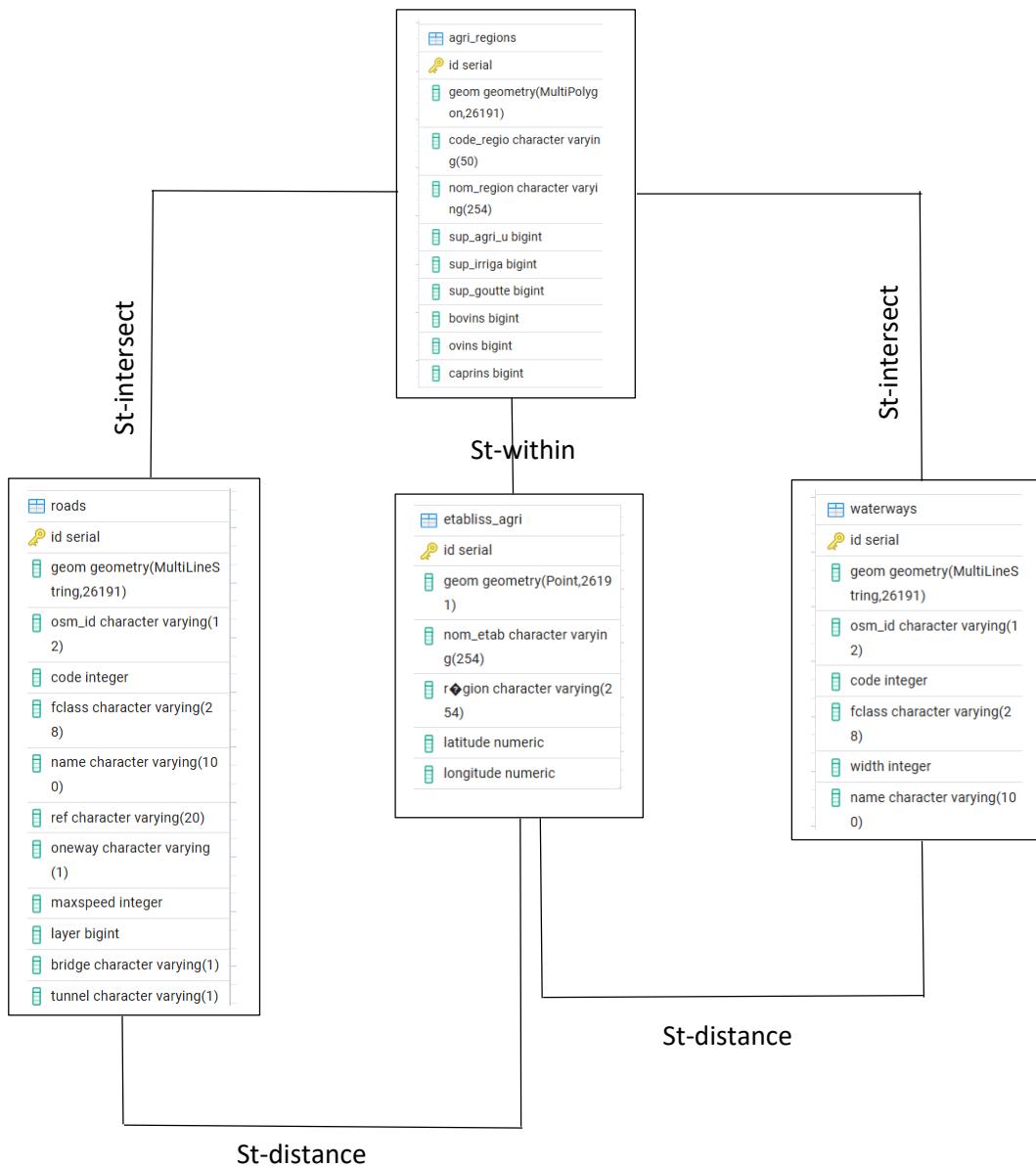
```
CREATE INDEX idx_waterways_geom ON waterways USING GIST (geom);
```

Query Query History

```
1 CREATE INDEX idx_agri_regions_geom ON agri_regions USING GIST (geom);
2 CREATE INDEX idx_etabliess_agri_geom ON etabliess_agri USING GIST (geom);
3 CREATE INDEX idx_roads_geom ON roads USING GIST (geom);
4 CREATE INDEX idx_waterways_geom ON waterways USING GIST (geom);
5
6
7
```

5. Schéma de la base de donnée

Relation	Description	Type
agri_regions — etabliess_agri	Chaque établissement agricole se situe dans une région (ST_Within(etabliess_agri.geom, agri_regions.geom)).	Containment spatiale
agri_regions — roads	Les routes sont associées à une ou plusieurs régions selon leur position (ST_Intersects(roads.geom, agri_regions.geom)).	Intersection spatiale
agri_regions — waterways	Les cours d'eau traversent ou longent des régions (ST_Intersects(waterways.geom, agri_regions.geom)).	Intersection spatiale
roads — etabliess_agri	Permet d'évaluer la proximité d'un établissement à la route la plus proche (ST_Distance(etabliess_agri.geom, roads.geom)).	Relation de distance
waterways — etabliess_agri	Peut servir à évaluer la proximité d'un établissement à une source d'eau.	Relation de distance



VI. Requêtes spatiales

1. Longueur totale du réseau routier par région.

⊕ Requête:

Query Query History

```
1  SELECT
2      r.id,
3      r.nom_region,
4      ROUND((SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000)::numeric, 2) AS longueur_routes_km
5  FROM agri_regions r
6  JOIN roads ro
7      ON ST_Intersects(r.geom, ro.geom)
8  GROUP BY r.id, r.nom_region
9  ORDER BY longueur_routes_km DESC;
```

✚ Résultat:

Data Output Messages Graph Visualiser × Notifications

≡+ 📁 ⏪ ⏴ 🗑️ 🔍 ↻ SQL

	id [PK] integer	nom_region character varying (254)	longueur_routes_km numeric
1	6	Marrakech_Safi	69612.33
2	12	Casablanca_Settat	54937.58
3	8	Souss_Massa	54528.20
4	7	Draa_Tafilalet	47799.22
5	3	Fes_Meknes	44433.09
6	2	Oriental	43149.48
7	5	Beni Mellal_Khenifra	37714.49
8	4	Rabat_Sale_Kenitra	34384.82
9	1	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	31489.00
10	10	Laayoune_Sakia El Hamra	23011.54
11	9	Guelmim_Oued Noun	19726.60
12	11	Dakhla_Oued Ed_Dahab	9744.87

2. Densité routière (km de routes par 100 km²) pour chaque région

✚ Requête:

Query Query History

```
1 SELECT
2     r.id,
3     r.nom_region,
4     ROUND((SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000)::numeric, 2) AS longueur_km,
5     ROUND((ST_Area(r.geom) / 1000000)::numeric, 2) AS surface_km2,
6     ROUND(((SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000) / (ST_Area(r.geom) / 1000000) * 100)::numeric, 2) AS
7 FROM agri_regions r
8 JOIN roads ro
9     ON ST_Intersects(r.geom, ro.geom)
10 GROUP BY r.id, r.nom_region, r.geom
11 ORDER BY densite_routiere_km_100km2 DESC;
12
13
14
```

✚ Résultat:

Data Output Messages Graph Visualiser X Notifications

Show

	<u>id</u> [PK] integer	<u>nom_region</u> character varying (254)	<u>longueur_km</u> numeric	<u>surface_km2</u> numeric	<u>densite_routiere_km_100km2</u> numeric
1	12	Casablanca_Settat	54937.58	20282.22	270.87
2	4	Rabat_Sale_Kenitra	34384.82	17642.10	194.90
3	1	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	31489.00	16169.15	194.75
4	6	Marrakech_Safi	69612.33	38992.81	178.53
5	5	Beni Mellal_Khenifra	37714.49	27642.16	136.44
6	3	Fes_Meknes	44433.09	38835.74	114.41
7	8	Souss_Massa	54528.20	53779.82	101.39
8	2	Oriental	43149.48	66069.98	65.31
9	7	Draa_Tafilalet	47799.22	86027.55	55.56
10	9	Guelmim_Oued Noun	19726.60	44921.36	43.91
11	10	Laayoune_Sakia El Hamra	23011.54	145467.46	15.82
12	11	Dakhla_Oued Ed_Dahab	9744.87	133377.76	7.31

3. Établissements de formation situés à moins de 5 km d'une autoroute

✚ Requête:

[Query](#) [Query History](#)

```
1 SELECT
2     e.id,
3     e.nom_etab,
4     ROUND(MIN(ST_Distance(e.geom, r.geom))::numeric, 2) AS distance_m
5 FROM etabliss_agri e
6 JOIN roads r
7     ON r.fcclass IN ('motorway', 'motorway_link')
8     AND ST_DWithin(e.geom, r.geom, 5000)
9 GROUP BY e.id, e.nom_etab
10 ORDER BY distance_m ASC;
11
12
```

 [Résultat:](#)

Data Output [Messages](#) [Graph Visualiser](#) [X](#) [Notifications](#)

	id [PK] integer	nom_etab character varying (254)	distance_m numeric
1	2	Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Larache	582.47
2	41	ITSA Ain Jemaa	949.42
3	13	Ecole nationale d'agriculture de Meknès	1169.95
4	18	Lycée agricole Oued Mlil	1311.57
5	22	Institut Royal des Techniciens Spécialisés en Elevage de Fouarat	1592.14
6	32	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II	1762.89
7	25	Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Temara	1872.66
8	30	Ecole d'Agriculture de Temara	2084.08
9	40	ITSA Ouled Moumen	3765.78
10	11	Lycée Agricole Technique Ain Taoujitate	3986.82
11	10	Institut Technique Agricole de Taourirt	4269.83
12	26	Institut Technique Agricole de Tiflet	4974.26

4. Longueur des cours d'eau traversant les régions les plus agricoles (selon SAU)

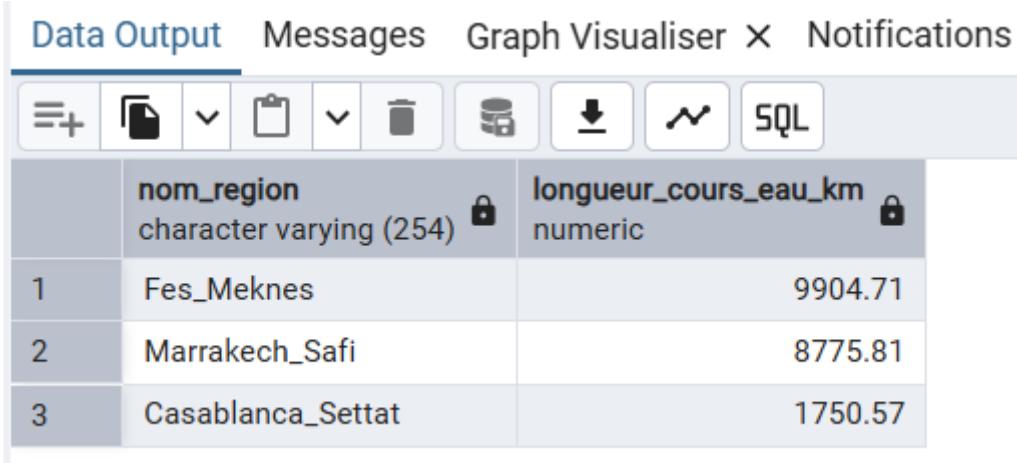
 [Requête:](#)

[Query](#) Query History

```
1 -- Étape 1 : identifier les régions les plus agricoles (ex: top 3 selon SAU)
2 WITH top_regions AS (
3     SELECT id, nom_region, geom
4     FROM agri_regions
5     ORDER BY sup_agri_u DESC
6     LIMIT 3
7 )
8
9 -- Étape 2 : calcul de la longueur totale des cours d'eau dans ces régions
10 SELECT
11     t.nom_region,
12     ROUND((SUM(ST_Length(w.geom)) / 1000)::numeric, 2) AS longueur_cours_eau_km
13 FROM top_regions t
14 JOIN waterways w
15     ON ST_Intersects(t.geom, w.geom)
16 GROUP BY t.nom_region
17 ORDER BY longueur_cours_eau_km DESC;
18
```

 [Résultat:](#)

Data Output Messages Graph Visualiser X Notifications



	nom_region character varying (254)	longueur_cours_eau_km numeric
1	Fes_Meknes	9904.71
2	Marrakech_Safi	8775.81
3	Casablanca_Settat	1750.57

5. Analyse croisée entre superficie irrigable et densité routière

 [Requête:](#)

Query Query History ↗

```

1  WITH regions AS (
2      SELECT
3          id,
4          nom_region,
5          sup_irriga,
6          geom,
7          ST_Area(geom) / 1000000.0 AS area_km2 -- aire en km² (float)
8      FROM agri_regions
9  )
10
11  SELECT
12      r.id,
13      r.nom_region,
14      r.sup_irriga,
15      ROUND((SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000.0)::numeric, 2) AS long_routes_km,
16      ROUND((r.area_km2)::numeric, 2) AS surf_region_km2,
17      ROUND( ( (SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000.0) / r.area_km2 * 100 )::numeric, 2) AS densite_routiere_km_100km2
18  FROM
19      regions r
20  JOIN
21      roads ro
22  ON
23      ST_Intersects(r.geom, ro.geom)
24  GROUP BY
25      r.id, r.nom_region, r.sup_irriga, r.area_km2
26  ORDER BY
27      densite_routiere_km_100km2 DESC;

```

✚ Résultat:

Data Output Messages Graph Visualiser X Notifications

Showing rows: 1 to 12

	id [PK] integer	nom_region character varying (254)	sup_irriga bigint	long_routes_km numeric	surf_region_km2 numeric	densite_routiere_km_100km2 numeric
1	12	Casablanca_Settat	168238	54937.58	20282.22	270.87
2	4	Rabat_Sale_Kenitra	208000	34384.82	17642.10	194.90
3	1	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	66174	31489.00	16169.15	194.75
4	6	Marrakech_Safi	345032	69612.33	38992.81	178.53
5	5	Beni Mellal_Khenifra	226293	37714.49	27642.16	136.44
6	3	Fes_Meknes	193542	44433.09	38835.74	114.41
7	8	Souss_Massa	174862	54528.20	53779.82	101.39
8	2	Oriental	181388	43149.48	66069.98	65.31
9	7	Draa_Tafilalet	201922	47799.22	86027.55	55.56
10	9	Guelmim_Oued Noun	36602	19726.60	44921.36	43.91
11	10	Laayoune_Sakia El Hamra	5543	23011.54	145467.46	15.82
12	11	Dakhla_Oued Ed_Dahab	1152	9744.87	133377.76	7.31

6. Nombres de cours d'eaux par région classées selon leurs superficies irriguées

✚ Requête:

Query Query History

```
1  SELECT
2      r.nom_region,
3      ROUND((r.sup_irriga)::numeric, 2) AS superficie_irriguee_ha,
4      COUNT(w.osm_id) AS nb_cours_eau
5  FROM
6      agri_regions r
7  LEFT JOIN
8      waterways w
9  ON
10     ST_Intersects(r.geom, w.geom)
11 GROUP BY
12     r.nom_region, r.sup_irriga
13 ORDER BY
14     superficie_irriguee_ha DESC;
15 |
```

 Résultat:

Data Output Messages Graph Visualiser X Notifications



	nom_region character varying (254)	superficie_irriguee_ha numeric	nb_cours_eau bigint
1	Marrakech_Safi	345032.00	4090
2	Beni Mellal_Khenifra	226293.00	3226
3	Rabat_Sale_Kenitra	208000.00	457
4	Draa_Tafilalet	201922.00	20925
5	Fes_Meknes	193542.00	2182
6	Oriental	181388.00	3708
7	Souss_Massa	174862.00	18614
8	Casablanca_Settat	168238.00	497
9	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	66174.00	765
10	Guelmim_Oued Noun	36602.00	6191
11	Laayoune_Sakia El Hamra	5543.00	907
12	Dakhla_Oued Ed_Dahab	1152.00	166

7. Nombre d'établissements agricoles par région

 Requête:

Query Query History

```
1  SELECT
2      r.nom_region,
3      COUNT(e.id) AS nb_etablissements
4  FROM
5      agri_regions r
6  JOIN
7      etablis_agri e
8  ON
9      ST_Intersects(r.geom, e.geom)
10 GROUP BY
11     r.nom_region
12 ORDER BY
13     nb_etablissements DESC;
```

➊ Résultat:

Data Output Messages Graph Visualiser × Notification

☰ + 📁 ⏪ ⏩ 🗑️ 📁 SQL

	nom_region character varying (254)	nb_etablissements bigint
1	Rabat_Sale_Kenitra	13
2	Fes_Meknes	9
3	Oriental	6
4	Beni Mellal_Khenifra	6
5	Souss_Massa	6
6	Marrakech_Safi	5
7	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	4
8	Casablanca_Settat	4
9	Draa_Tafilalet	2
10	Laayoune_Sakia El Hamra	1
11	Guelmim_Oued Noun	1

8. Densité de cours d'eau (km de rivières pour 100 km²) par région

✚ Requête:

```
Query  Query History
1  SELECT
2    r.id,
3    r.nom_region,
4    ROUND((SUM(ST_Length(w.geom)) / 1000)::numeric, 2) AS longueur_eau_km,
5    ROUND((ST_Area(r.geom) / 1000000)::numeric, 2) AS surface_km2,
6    ROUND(((SUM(ST_Length(w.geom)) / 1000) / (ST_Area(r.geom) / 1000000) * 100)::numeric, 2) AS densite_hydro_km_100km2
7  FROM agri_regions r
8  JOIN waterways w
9    ON ST_Intersects(r.geom, w.geom)
10 GROUP BY r.id, r.nom_region, r.geom
11 ORDER BY densite_hydro_km_100km2 DESC;
```

✚ Résultat:

	id [PK] integer	nom_region character varying (254)	longueur_eau_km numeric	surface_km2 numeric	densite_hydro_km_100km2 numeric
1	8	Souss_Massa	33082.65	53779.82	61.51
2	7	Draa_Tafilalet	38322.07	86027.55	44.55
3	9	Guelmim_Oued Noun	14592.95	44921.36	32.49
4	5	Beni Mellal_Khenifra	8790.02	27642.16	31.80
5	3	Fes_Meknes	9904.71	38835.74	25.50
6	6	Marrakech_Safi	8775.81	38992.81	22.51
7	1	Tanger_Tetouan_Al Hoceima	3352.77	16169.15	20.74
8	2	Oriental	13590.63	66069.98	20.57
9	4	Rabat_Sale_Kenitra	3198.12	17642.10	18.13
10	12	Casablanca_Settat	1750.57	20282.22	8.63
11	10	Laayoune_Sakia El Hamra	11267.44	145467.46	7.75
12	11	Dakhla_Oued Ed_Dahab	1740.92	133377.76	1.31

VII. Indexation Spatiale R-tree et R*-tree

1. Comparaison R-Tree et R-Tree*

R-Tree

- Structure hiérarchique d'index spatial.
- Chaque nœud contient jusqu'à M MBR (rectangles englobants).
- Feuilles : contiennent les MBR des entités géographiques (ici, régions).
- Nœuds internes : contiennent les MBR englobant leurs enfants.

- Split standard : quand un nœud dépasse sa capacité, il est divisé pour équilibrer l'arbre.

Avantages : simple, efficace pour les recherches spatiales.

Limites : peut générer beaucoup de **recouvrements entre MBR**, donc les recherches ne sont pas toujours optimales.

R-Tree*

- Variante améliorée du R-tree.
- Différences principales :
 1. Réinsertion partielle : au lieu de splitter immédiatement, certains MBR sont retirés et réinsérés pour réduire le recouvrement.
 2. Split optimisé : quand le split est nécessaire, il est fait pour minimiser l'aire et le recouvrement des MBR.
- Résultat : moins de chevauchement, meilleures performances pour les recherches spatiales complexes.

Critère	R-Tree	R*-Tree
Split	Standard	Optimisé (minimisation du recouvrement)
Réinsertion	Non	Oui (30 % des MBR éloignés)
Chevauchement	Plus élevé	Réduit
Complexité recherche	Moyenne	Plus rapide

2. Construction d'un R-Tree pour les régions du Maroc

Paramètres : $M = 4$, $m = 2$

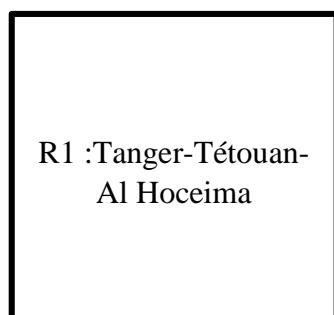
Régions :

1. Tanger-Tétouan-Al Hoceima
2. Oriental
3. Fès-Meknès
4. Rabat-Salé-Kénitra
5. Béni Mellal-Khénifra
6. Casablanca-Settat

7. Marrakech-Safi
8. Drâa-Tafilalet
9. Souss-Massa
10. Guelmim-Oued Noun
11. Laâyoune-Sakia El Hamra
12. Dakhla-Oued Ed-Dahab

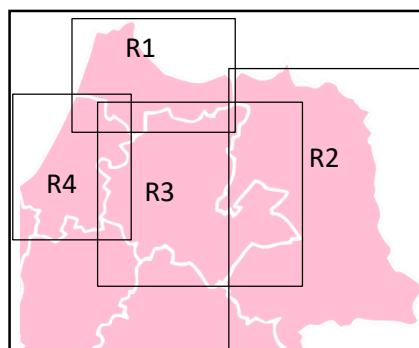
Étape 1 : Première insertion

- Insérer **Tanger-Tétouan-Al Hoceima** → création du **premier nœud feuille et racine**



Étape 2 : Ajout jusqu'à capacité maximale ($M=4$)

- Ajouter **Oriental, Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra** → nœud atteint $M=4$.



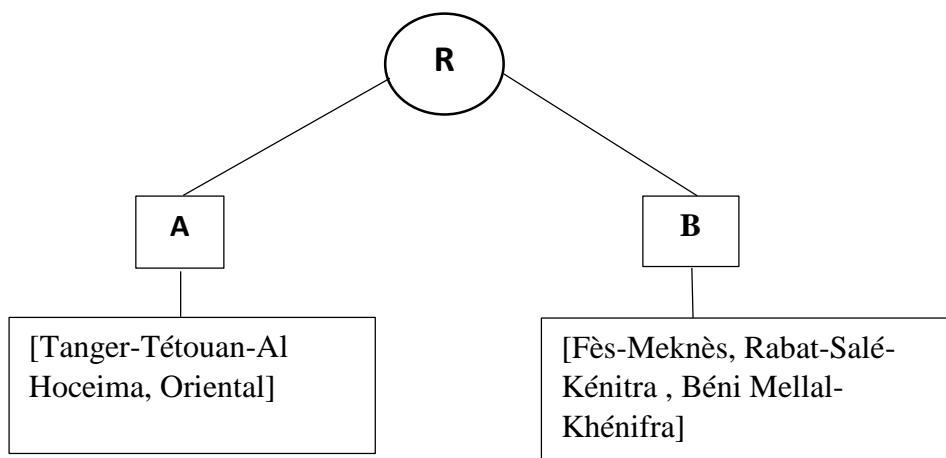
Étape 3 : Dépassement → Split

- Insertion de **Béni Mellal-Khénifra** → dépassement ($5 > 4$)
- **Split** du nœud en deux feuilles ($m=2$) :

Feuille A : Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Oriental

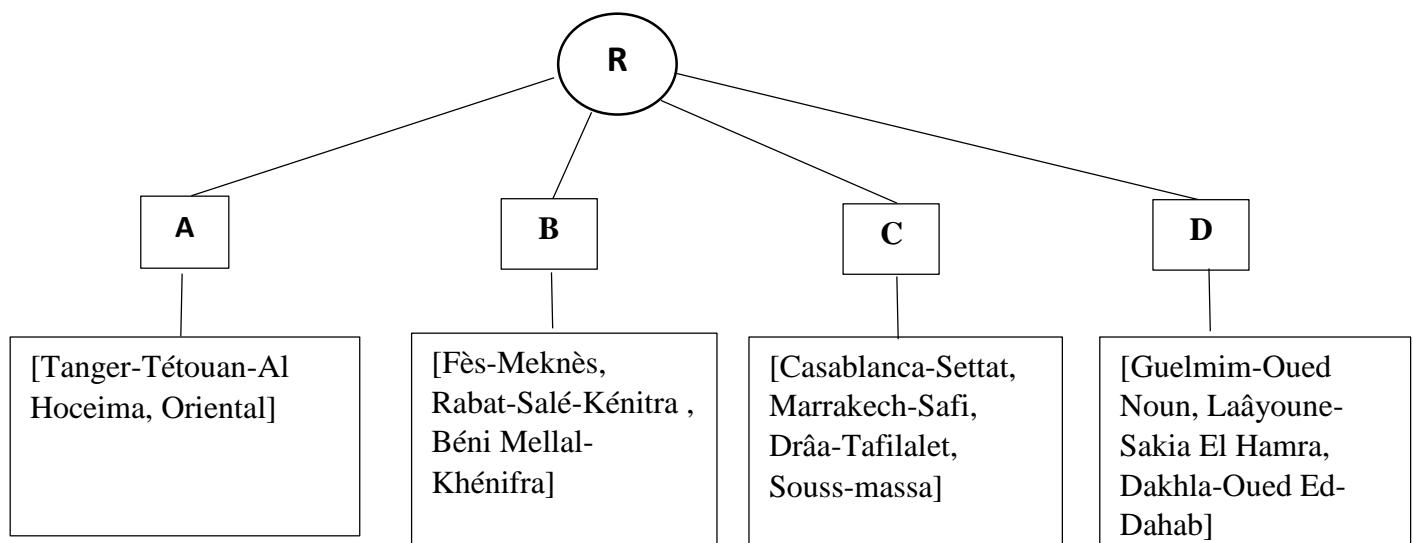
Feuille B : Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra, Béni Mellal-Khénifra

- Nouveau nœud parent (racine) englobe les deux feuilles.



Étape 4 : Ajout des autres régions

- Ajouter Casablanca-Settat, Marrakech-Safi, Drâa-Tafilalet, Souss-Massa, Guelmim-Oued Noun, Laâyoune-Sakia El Hamra, Dakhla-Oued Ed-Dahab
- Respecter M=4 et m=2, faire des splits au besoin.



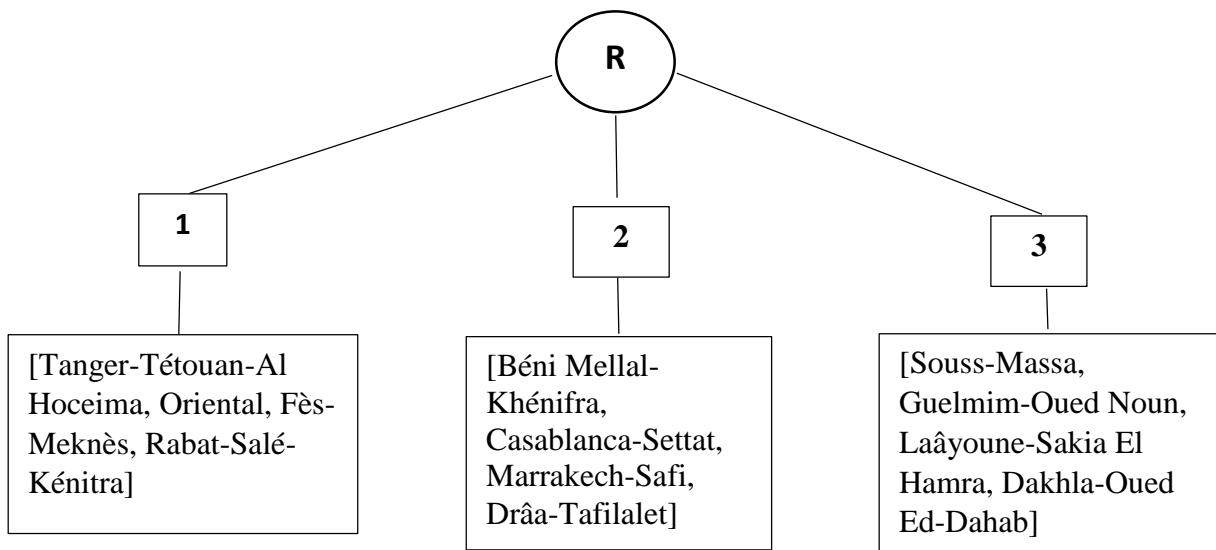
3. Construction d'un R*-Tree pour les régions du Maroc

- Différences par rapport au R-tree classique :

1. **Réinsertion** : lors du dépassement d'un nœud, 30 % des régions les plus "éloignées" sont retirées et réinsérées pour réduire le chevauchement.
2. **Split optimisé** : le split minimise le recouvrement et la surface totale des MBR.

Étape 1 : Feuilles initiales

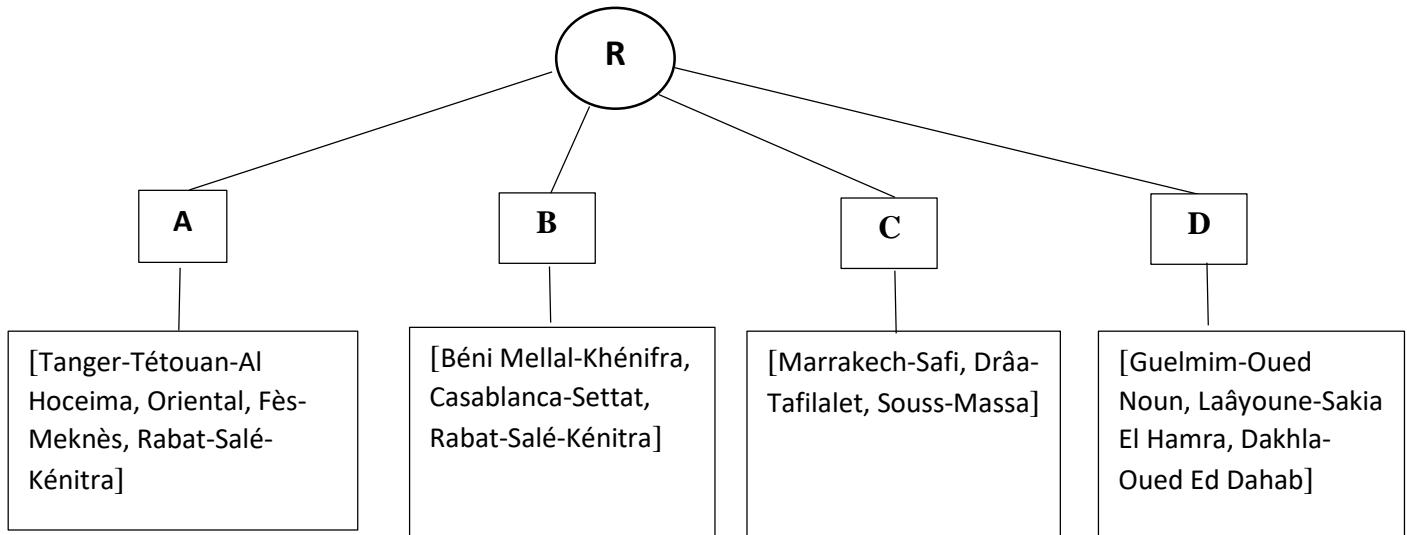
- On insère séquentiellement selon l'ordre géographique (Nord → Sud). Chaque feuille peut contenir jusqu'à **M = 4** régions.



Étape 2 : Réinsertion partielle

- R7 et R8 (Marrakech-Safi, Drâa-Tafilalet) retirés temporairement pour équilibrer les feuilles (environ 30 % des MBR les plus "éloignés")
- Réinsertion dans des feuilles pour **réduire le chevauchement**.
- **Feuille 2** contient des régions assez éloignées (de Béni Mellal à Drâa-Tafilalet).
- **Feuille 3** aussi, du Souss-Massa jusqu'à Dakhla.
→ Ces deux feuilles seront réorganisées
- **Feuille A** : Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Oriental, Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra
→ (Nord et Nord-Est regroupés)
- **Feuille B** : Béni Mellal-Khénifra, Casablanca-Settat, Rabat-Salé-Kénitra
→ (Centre-Nord du Maroc)

- **Feuille C** : Marrakech-Safi, Drâa-Tafilalet, Souss-Massa
→ (Centre-Sud homogène)
- **Feuille D** : Guelmim-Oued Noun, Laâyoune-Sakia El Hamra, Dakhla-Oued Ed Dahab
→ (Sud homogène)



Étape 3 : Split optimisé

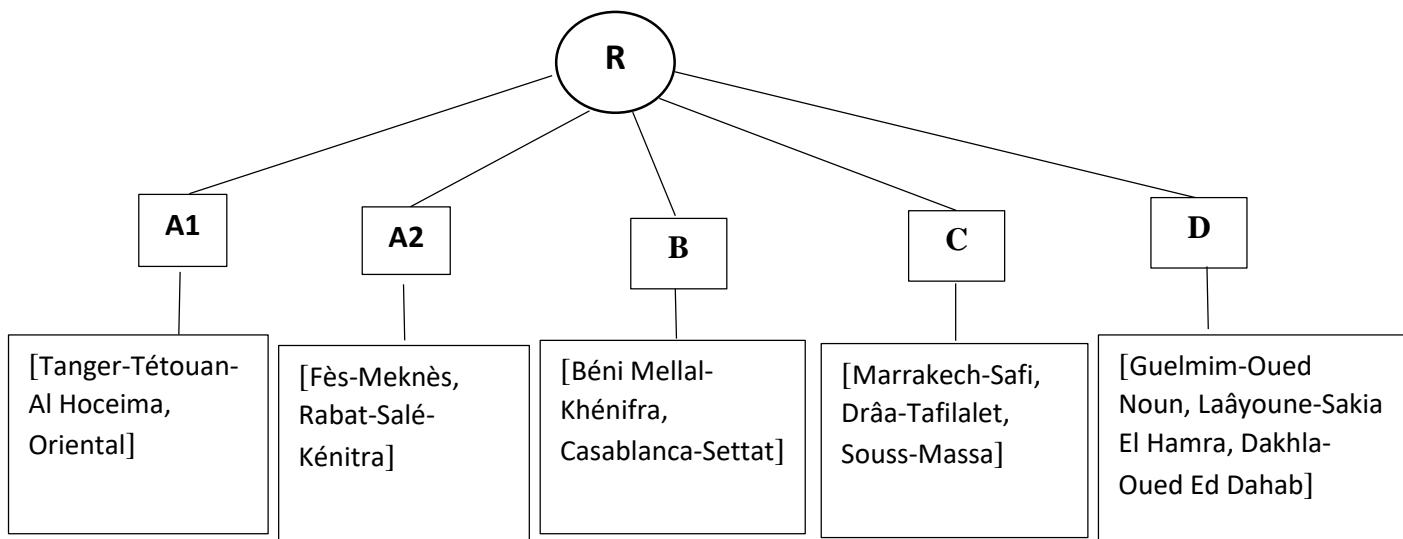
Lorsqu'une feuille atteint $M = 4$ lors d'une nouvelle insertion,
le R*-Tree choisit **la séparation qui minimise à la fois :**

- le **chevauchement** entre MBR frères,
- la **surface totale** des MBR parents.

Ici, seule **Feuille A** (4 régions) peut nécessiter un split

Split de Feuille A :

- **Feuille A1** : Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Oriental
- **Feuille A2** : Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra



- L'arbre est **moins chevauché** que le R-tree classique, donc **plus performant** pour les recherches spatiales.

VIII. Comment DuckDB peut être utilisé dans ce projet

1. Définition de DuckDB

DuckDB est un **système de gestion de base de données relationnelle** conçu pour l'**analyse rapide de données locales**.

C'est une base **légère, embarquée et sans serveur**, similaire à SQLite, mais optimisée pour le **traitement analytique en colonne**.

Elle permet d'exécuter des requêtes SQL directement sur des fichiers (CSV, Parquet, GeoJSON, Shapefile, etc.) sans étape d'importation.

Avec l'extension **spatial**, DuckDB prend aussi en charge les **données géospatiales** et les fonctions telles que ST_Intersects, ST_Buffer ou ST_Distance, ce qui le rend apte aux analyses spatiales

2. Différences entre DuckDB et PostGIS

	DuckDB	PostGIS (extension de PostgreSQL)
Type de base	Locale, sans serveur	Serveur de base de données complet
Objectif principal	Analyse rapide de données (OLAP)	Gestion et analyse spatiale à grande échelle

Stockage	Format en colonne (optimisé pour les calculs analytiques)	Format en ligne (optimisé pour les transactions et la gestion multi-utilisateurs)
Installation	Simple, aucun serveur requis (un seul fichier .duckdb)	Nécessite PostgreSQL et configuration serveur
Performances	Très rapides pour les calculs locaux sur fichiers	Excellent pour les projets multi-utilisateurs et bases volumineuses
Gestion spatiale	Extension spatial (lecture directe de fichiers SIG)	Extension PostGIS complète (index GIST, SRID, topologie, etc.)
Limites	Pas d'index spatial avancé, ni de gestion multi-utilisateurs	Plus complexe à installer et à administrer

3. Utilisation de DuckDB dans ce projet

Le projet d'analyse agricole et territoriale par région au Maroc repose sur la collecte et l'intégration de plusieurs types de données spatiales :

- les **indicateurs agricoles régionaux** (superficie agricole utile, irrigable, cheptel, etc.), les **infrastructures** (routes, autoroutes), et les **cours d'eau**.

Traditionnellement, ce type de projet est implémenté avec **PostgreSQL/PostGIS**, qui offre une gestion avancée des données spatiales et une grande robustesse pour les analyses multi-utilisateurs.

Cependant, **DuckDB** peut aujourd'hui constituer une **alternative crédible et plus légère**, notamment pour les projets pédagogiques ou les analyses réalisées sur un poste local

- **Mise en place du projet dans DuckDB**

L'un des grands avantages de DuckDB est qu'il **ne nécessite pas de serveur**. La base est simplement un **fichier local (.duckdb)**, ce qui simplifie énormément la mise en place du projet :

- **Installation et activation des extensions**

```
INSTALL spatial;
```

```
LOAD spatial;
```

Ces deux commandes activent le support géospatial (lecture/écriture de shapefiles, GeoJSON, etc.).

- **Chargement direct des données**

Contrairement à PostGIS, il n'est pas nécessaire d'importer les données dans une base via un outil comme DB Manager.

DuckDB peut lire directement les fichiers SIG à partir du disque

Requête :

```
CREATE TABLE agri_regions AS  
SELECT * FROM ST_Read('data/agri_regions.geojson');  
  
CREATE TABLE roads AS  
SELECT * FROM ST_Read('data/roads.geojson');  
  
CREATE TABLE waterways AS  
SELECT * FROM ST_Read('data/waterways.geojson');  
  
CREATE TABLE etabliess_agri AS  
SELECT * FROM ST_Read('data/etabliess_agri.geojson');
```

Cela permet de gagner du temps et d'éviter la duplication des fichiers

- **Réalisation des requêtes spatiales**

Une fois les couches chargées, DuckDB peut exécuter la plupart des **fonctions spatiales standard** (issues de la norme OGC) telles que :

- ST_Intersects()
- ST_Distance()
- ST_Length() et ST_Area()
- ST_Buffer()

Les requêtes sont similaires à celles faites sous PostGIS, s'exécutent **entièlement en mémoire locale** et sont **très rapides** grâce au moteur analytique en colonne de DuckDB

- **Avantages spécifiques pour ce projet**

DuckDB présente plusieurs atouts dans le cadre d'un projet académique comme celui-ci :

- **Simplicité d'utilisation** : aucun serveur ni configuration réseau à gérer. Le projet peut être exécuté sur n'importe quel ordinateur sans dépendances complexes.
- **Performances locales élevées** : les calculs de longueur, d'aire et de distances sont exécutés directement en mémoire, ce qui les rend très rapides.
- **Travail direct sur fichiers** : il n'est pas nécessaire de créer des tables intermédiaires. Les couches (SHP, GeoJSON, Parquet, CSV, etc.) peuvent être analysées directement sans importation.
- **Intégration facile avec Python, QGIS et Excel** : DuckDB s'interface aisément avec **pandas**, **GeoPandas** ou **QGIS**, ce qui facilite la visualisation et l'export des résultats (en CSV, GeoPackage ou cartes).
- **Limites et points à considérer**

Malgré ses avantages, DuckDB présente certaines limitations par rapport à PostGIS :

- Pas d'index spatial GiST ou R-Tree aussi avancé que ceux de PostGIS (les requêtes spatiales peuvent donc être plus lentes sur des jeux de données très volumineux).
- Pas de gestion multi-utilisateurs ni de transactions simultanées (utilisation locale uniquement).
- Moins de fonctions géospatiales spécialisées (absence de topologie, de géoréférencement avancé ou de gestion des SRID multiples).

Ainsi, DuckDB est parfaitement adapté pour un projet individuel, pédagogique ou analytique, mais PostGIS reste plus adapté aux environnements professionnels nécessitant une gestion collaborative et des index spatiaux performants.

IX. limites des données, difficultés, perspectives

1. Limites des données

- Les **données agricoles régionales** issues du site du Ministère de l'Agriculture ne sont **pas directement structurées** ni téléchargeables

sous forme de base de données. Elles sont **dispersées sur plusieurs pages web**, ce qui rend leur collecte et harmonisation manuelle.

- ⊕ Certaines informations, comme les superficies détaillées ou les effectifs du cheptel, **ne sont pas homogènes entre les régions** (formats, unités, dates de mise à jour).
- ⊕ Les **données spatiales ouvertes** (routes, cours d'eau) provenant de plateformes comme OpenStreetMap ou Gofabrik peuvent **contenir des imprécisions géométriques ou des zones incomplètes**.

2. Difficultés rencontrées

- ⊕ La **préparation et intégration des données** a été la partie la plus longue
- ⊕ Certaines requêtes spatiales nécessite une **bonne compréhension des fonctions PostGIS et la maîtrise de SQL**
- ⊕ Enfin, l'**indexation spatiale GiST** a exigé de comprendre la logique de performance dans PostgreSQL.

3. Perspectives

Pour améliorer ce travail :

- ⊕ Automatiser la collecte des données agricoles via un script de web scraping pour créer une base toujours à jour.
- ⊕ Compléter la base avec d'autres indicateurs socio-économiques et environnementaux (population rurale, précipitations, sols...).
- ⊕ Mettre en place une interface de visualisation interactive (par exemple avec QGIS Server ou un tableau de bord web).
- ⊕ Enfin, explorer l'utilisation d'outils modernes comme DuckDB ou GeoParquet pour des analyses spatiales rapides et légères sans serveur