



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.

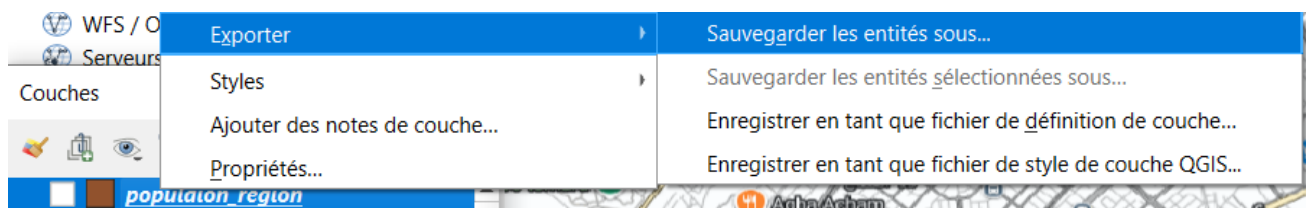
La couche des régions est téléchargée depuis la plateforme [SIG-Maroc](https://sig-maroc.com), qui fournit des **shapefiles officiels et actualisés** issus du **recensement 2024**. Après ouverture dans QGIS, seuls les champs pertinents ont été conservés (code et nom de la région) afin d'alléger la table 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 :

Enregistrer la couche vectorielle sous...

Format:

Nom de fichier:

Nom de la couche:

SCR:

Encodage:

☐ N'enregistrer que les entités sélectionnées

▼ Sélectionner les champs à exporter et leurs options d'export

Nom	Nom d'export	Type
<input checked="" type="checkbox"/> CODE_REGIO	CODE_REGIO	String
<input checked="" type="checkbox"/> nom_region	nom_region	String
<input type="checkbox"/> Marocains	Marocains	Real
<input type="checkbox"/> Etrangers	Etrangers	Real
<input type="checkbox"/> Populatio	Populatio	Real
<input type="checkbox"/> Menages	Menages	Real

☐ Utiliser des alias pour le nom exporté

☒ Persistence des métadonnées de la couche

▼ Géométrie

Type de géométrie:

☐ Forcer le type multiple

☐ Inclure la dimension z

► ☐ Emprise (actuel : aucun)

▼ Options de la couche

RESIZE:

☒ Ajouter les fichiers sauvegardés à la carte

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](http://www.agriculture.gov.ma/fr/).

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 :

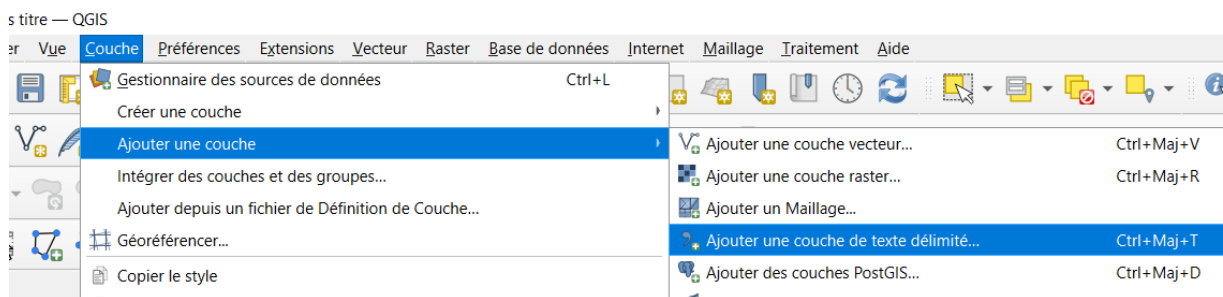
<https://www.agriculture.gov.ma/fr/>

Stocker les données dans un fichier csv

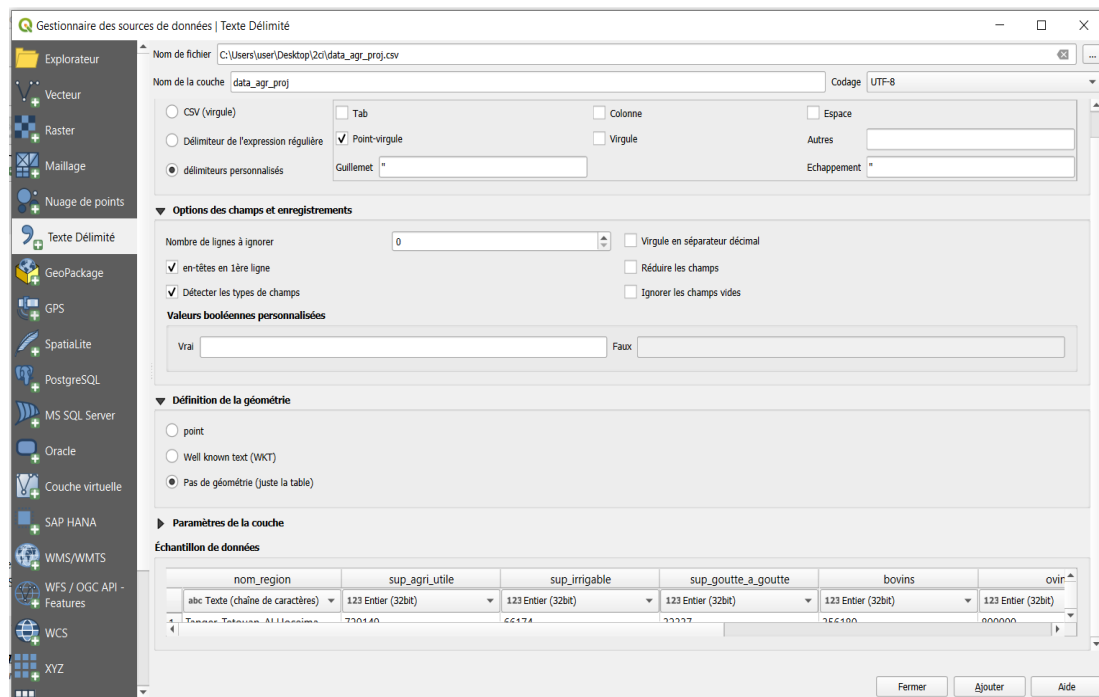
data_agr								
Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage Acrobat Dites-nous ce que								
<div> <div>Calibri 11 A A</div> <div> <div>Coller</div> <div>Presse-papi...</div> </div> <div> <div>G I S</div> <div>Police</div> </div> <div> <div> <div>Alignement</div> <div>Renvoyer à la ligne automatiquement</div> <div>Fusionner et centrer</div> </div> <div>Standard</div> <div> <div>% 000</div> <div>Nombre</div> </div> </div> </div>								
H13	40000							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	nom_region	sup_agri_utile	sup_irrigable	sup_goutte_a_goutte	bovins	ovins	caprins	camelins
2	Tanger_Tétouan_Al Hoceim	729149	66174	32337	356180	800000	470000	0
3	Oriental	889450	181388	40236	123400	3200000	960000	0
4	Fès_Meknès	1235521	193542	82759	426370	2990000	423900	0
5	Rabat_Salé_Kénitra	942980	208000	83000	603649	1936253	158925	0
6	Béni Mellal_Khénifra	994463	226293	40975	378000	2770000	967000	0
7	Casablanca_Settat	1263042	168238	56990	768490	2560344	88100	0
8	Marrakech_Safi	2055977	345032	105600	471000	3800000	793000	0
9	Drâa_Tafilalet	270910	201922	36868	84518	1451000	650800	0
10	Souss_Massa	453445	174862	108192	149800	1356000	1128000	0
11	Guelmim_Oued Noun	164099	36602	3000	0	214833	242784	33080
12	Laâyoune_Sakia El Hamra	136000	5543	1051	0	206000	302000	105000
13	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_region).

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.

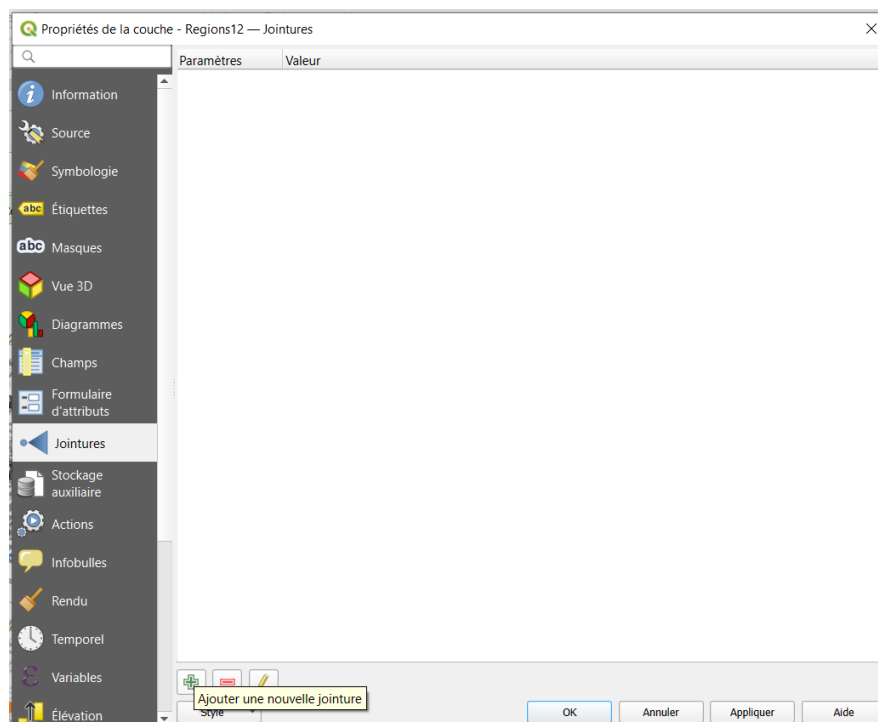
Une fois la jointure réalisée et vérifiée (table d'attributs), la couche résultante est exportée afin de créer un shapefile enrichi, prêt à être importé dans la base de données.

Etapes :

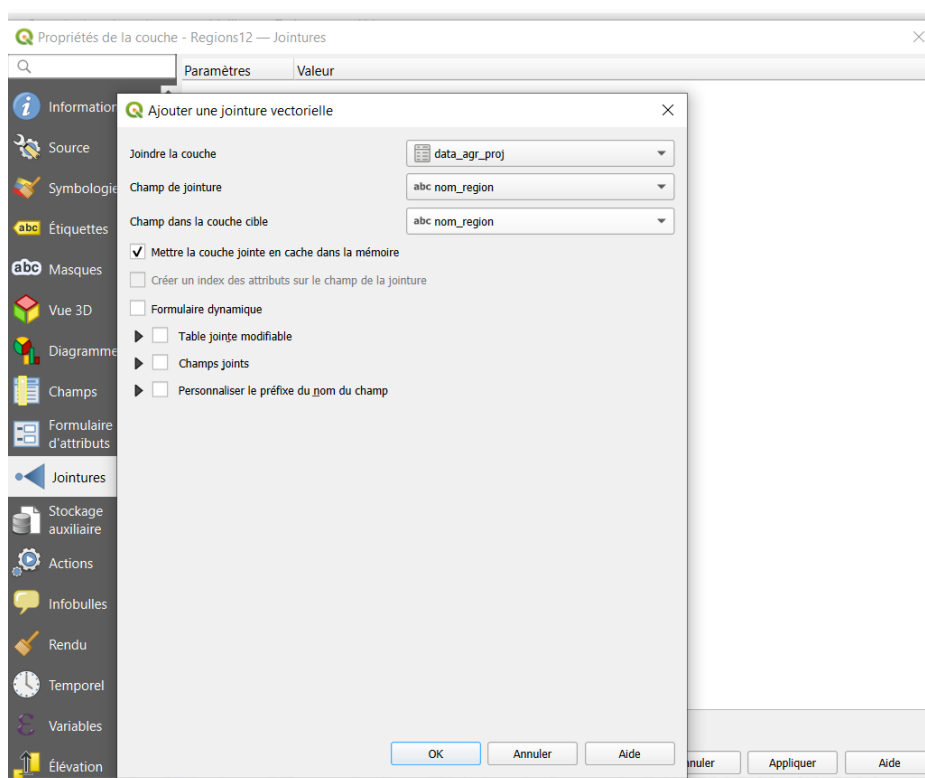
Ouvrir propriétés de la couche Régions



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 :

Regions12 — Total des entités: 12, Filtrées: 12, Sélectionnées: 0

	CODE_REGIO	nom_region	ta_agr_sup_agri_ut	ta_agr_sup_irrigab	ir_sup_goutte_a	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

Montrer toutes les entités

Exporter la couche

Enregistrer la couche vectorielle sous...

Format: ESRI Shapefile

Nom de fichier: C:\Users\user\Desktop\20(Base de données spatiales)\regions_agri.shp

Nom de la couche:

SCR: EPSG:4326 - WGS 84

Encodage: UTF-8

☐ N'enregistrer que les entités sélectionnées

▼ Sélectionner les champs à exporter et leurs options d'export

Nom	Nom d'export	Type	Remplacer avec les valeurs affichées
<input checked="" type="checkbox"/> CODE_REGIO	CODE_REGIO	String	
<input checked="" type="checkbox"/> nom_region	nom_region	String	
<input checked="" type="checkbox"/> info_agri_sup_agri_utile	info_agri_sup_agri_utile	integer	<input type="checkbox"/> Utiliser Plage
<input checked="" type="checkbox"/> info_agri_sup_irrigable	info_agri_sup_irrigable	integer	<input type="checkbox"/> Utiliser Plage
<input checked="" type="checkbox"/> info_agri_sup_goutte_a_goutte	info_agri_sup_goutte_a_goutte	integer	<input type="checkbox"/> Utiliser Plage
<input checked="" type="checkbox"/> info_agri_bovins	info_agri_bovins	integer	<input type="checkbox"/> Utiliser Plage

Sélectionner tout Tout désélectionner

☐ Utiliser des alias pour le nom exporté

☐ Remplacer toutes les valeurs brutes des champs sélectionnés par les valeurs affichées

☒ Persistance des métadonnées de la couche

▼ Géométrie

Type de géométrie: Automatique

☐ Forcer le type multiple

☐ Inclure la dimension z

☐ Emprise (actuel : aucun)

▼ Options de la couche

☒ Ajouter les fichiers sauvegardés à la carte

OK Annuler Aide

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_Tetouan...	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 etabliss_agri.shp représentant les emplacements des établissements.

Etapas :

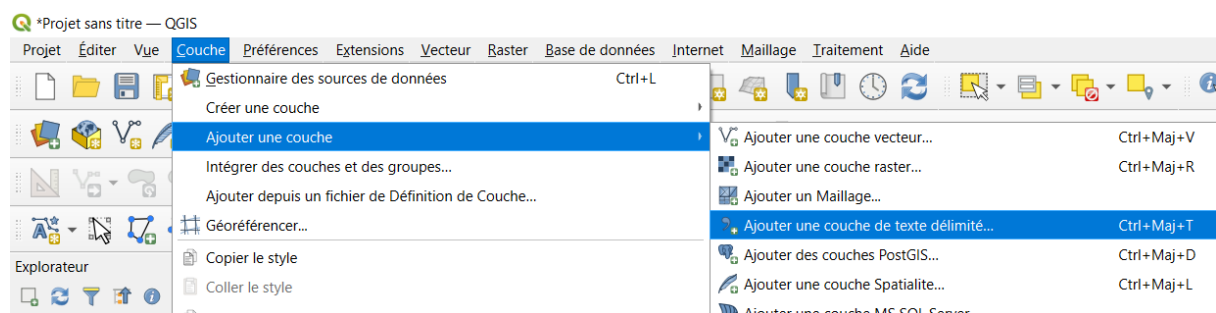
D'abord la Collecte manuelle des noms des établissement depuis le site du ministère puis recherche de la position de chacune sur Google maps (longitude et latitude)

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

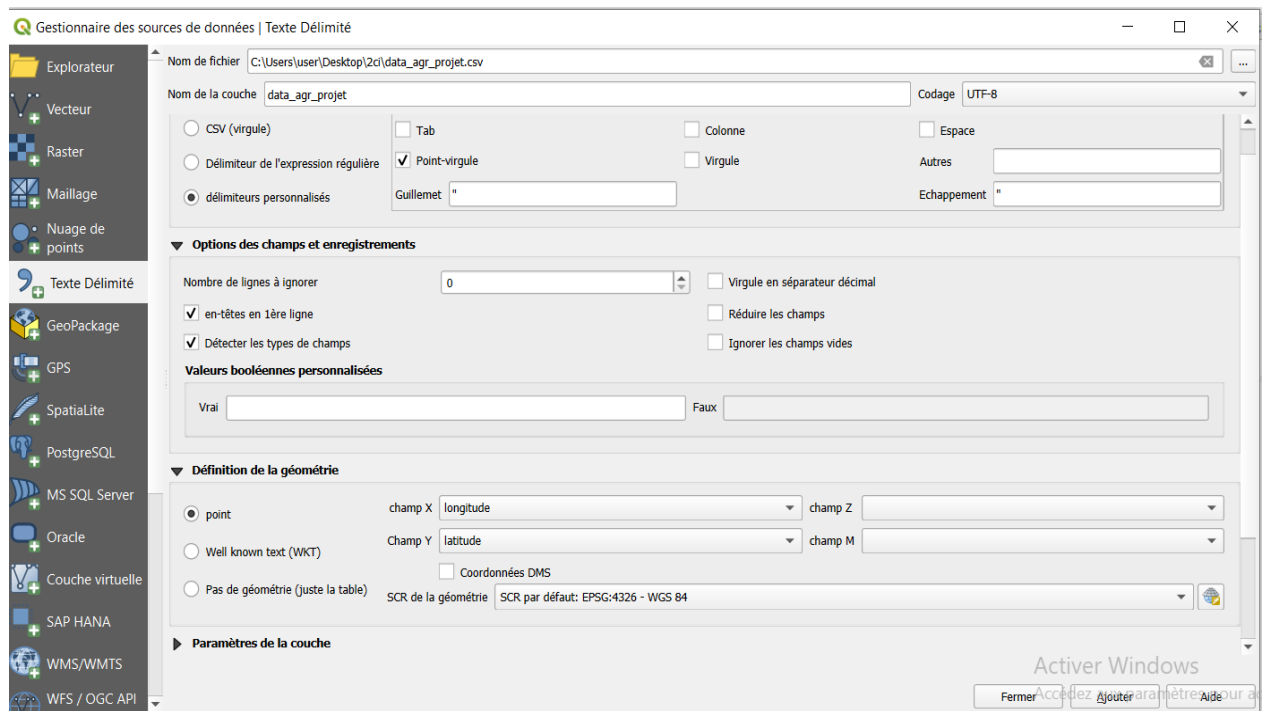
Stocker des noms et positions des établissements dans un fichier csv

Fichier							Accueil		Insertion		Mise en page		Formules		Données		Révision		Affichage		Acrobat	
 Coller		Calibri		11		A A														Renvoyer à la ligne automatiquement		
		 G		 I		 S																
Presse-papi...		Police																		Alignement		
H21																						
	A	B	C	D	E	F																
1	nom_etab	région	latitude	longitude																		
2	Institut des Techniciens Spécialisés en Agricul	Tanger_Tétouan_Al	35.517875214564	-5.4337282430527685																		
3	Institut des Techniciens Spécialisés en Agricul	Tanger_Tétouan_Al	35.181263029015	-6.113790447130898																		
4	Institut Technique Agricole d'Izemouren	Tanger_Tétouan_Al	35.166355513059	-3.9901587067464273																		
5	Centre de Qualification Agricole de ksar El ke	Tanger_Tétouan_Al	34.985399039989	-5.913593996754496																		
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 Agricul	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 Taoujtate	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	-5.4774544355821435																		
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 Mlil	Fès_Meknès	34.193410329454	-4.257324481940369																		
20	Institut des techniciens agricoles Sahel Bouti	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 Agricul	Rabat_Salé_Kénitra	33.869586123657	-6.91930846158159																		
27	Institut Technique Agricole deTiflet	Rabat_Salé_Kénitra	33.817089915700	-6.332354164469017																		
28	Institut Technique Agricole de Machraa Belks	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 Allal	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 I	Rabat_Salé_Kénitra	33.976541613791	-6.866704564282432																		
34	ITSA de Ben Khilil	Béni Mellal_Khénifra	32.754657026125	-5.677326068805868																		
35	Centre de qualification d'agriculture Bir Mez	Béni Mellal_Khénifra	32.903469966262	-6.683910911464268																		
36	COA Ouled Fennane	Béni Mellal_Khénifra	32.992087999984	-6.574794872844878																		
37	Lycée Agricole de Fquih Ben Salah	Béni Mellal_Khénifra	32.514446022378	-6.66423758965047																		
38	ITSA de Fquih Ben Salah	Béni Mellal_Khénifra	32.515621200305	-6.664192795298601																		
39	ITSA de Sidi Hammadi	Béni Mellal_Khénifra	32.289476711135	-6.567977853820974																		
40	ITA Khmiss Mettough	Casablanca_Settat	32.878222907343	-8.178425179760724																		
41	ITSA Ouled Moumen	Casablanca_Settat	32.964402522315	-7.66112582208929																		
42	ITSA Ain Jemaa	Casablanca_Settat	33.486106669074	-7.708889649074994																		

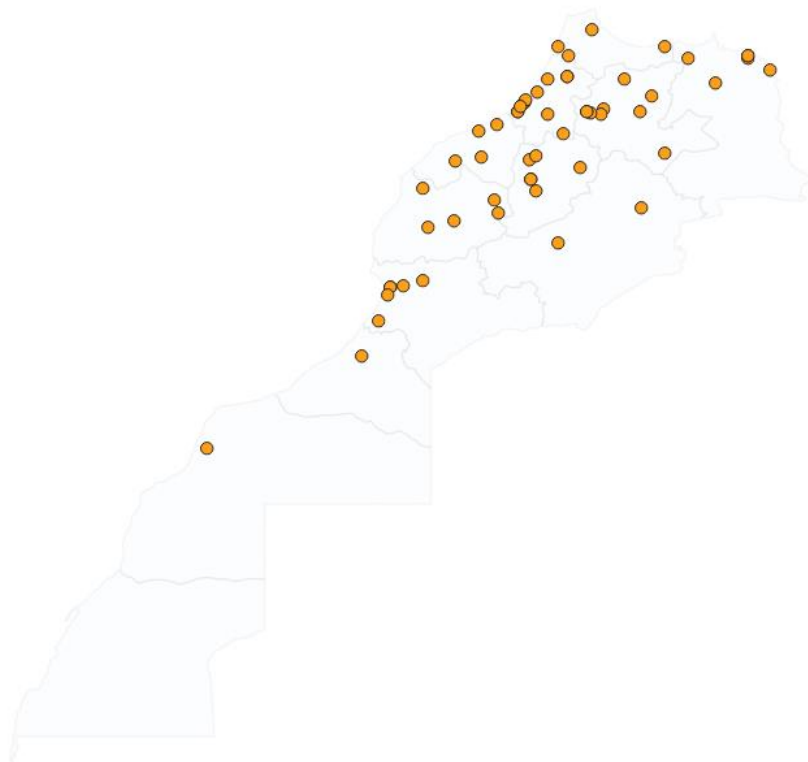
Ouvrir le fichier csv dans QGIS (ajouter une couche de texte délimité...) :



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



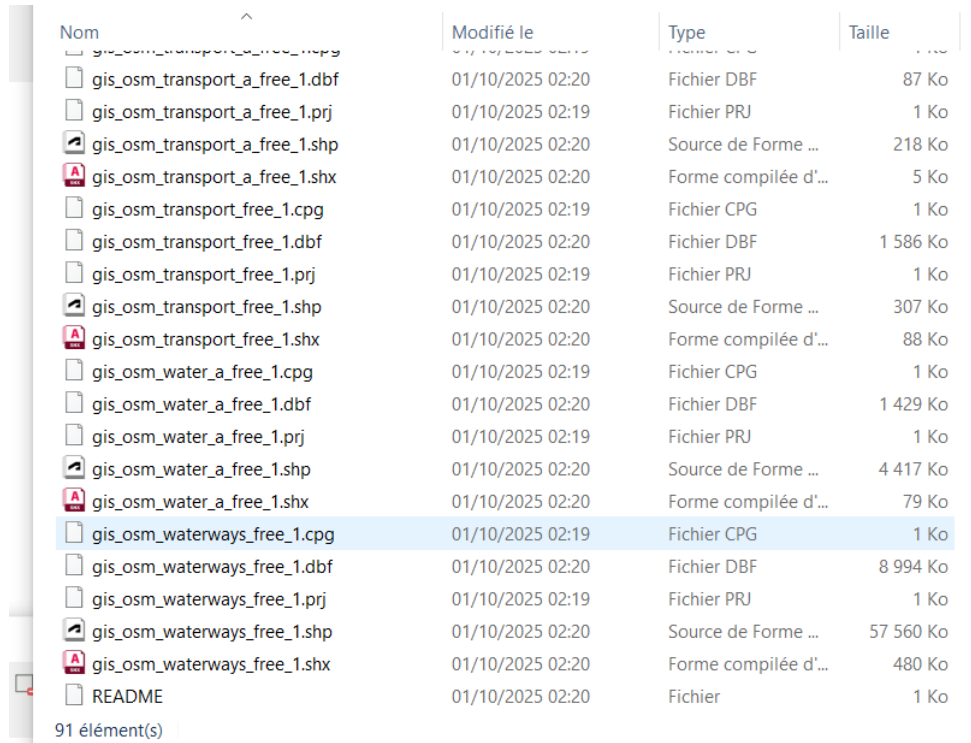
Le shp file est créer :



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.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
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
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
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
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

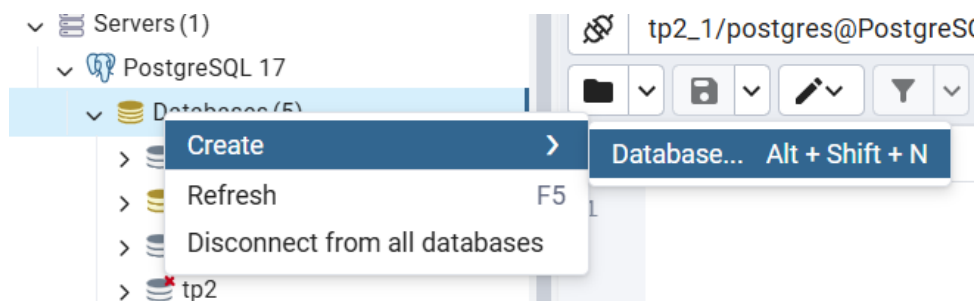
91 élément(s)

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 logicielPgAdmin4 : Créer la base de données intitulée agriculture

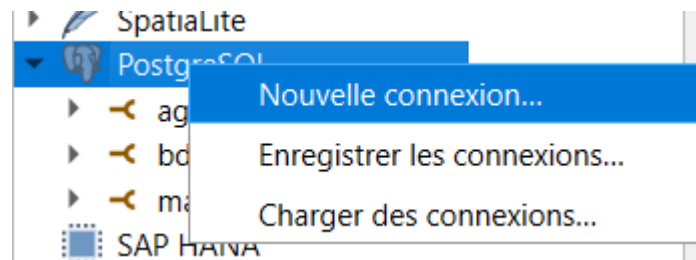


Activer l'extension postgis par la requête suivante

```
Query  Query History
1  CREATE EXTENSION postgis;
```

2. Création d'une nouvelle connexion

Sur Qgis : Cliquer droit sur PostgreSQL → Nouvelle connexion



Créer une Nouvelle Connexion PostGIS

Information de connexion

Nom: agriculture

Service:

Hôte: localhost

Port: 5432

Base de données: agriculture

SSL mode: désactive

Session ROLE:

Authentification

Configurations De base

Choisir ou créer une configuration d'authentification

Pas d'authentification

Les configurations stockent les informations d'identification cryptées dans la base de données d'authentification QGIS.

Tester la connexion

☐ N'afficher que les couches dont la géométrie est listée (dans geometry_columns)

☐ Ne pas résoudre le type pour les géométries non restreintes (GEOMETRY)

☐ Ne regarder que dans le schéma "public"

☐ Lister les tables sans géométries

☐ Utiliser la table de métadonnées estimées

☐ Permettre l'enregistrement et le chargement des projets QGIS dans la base de données

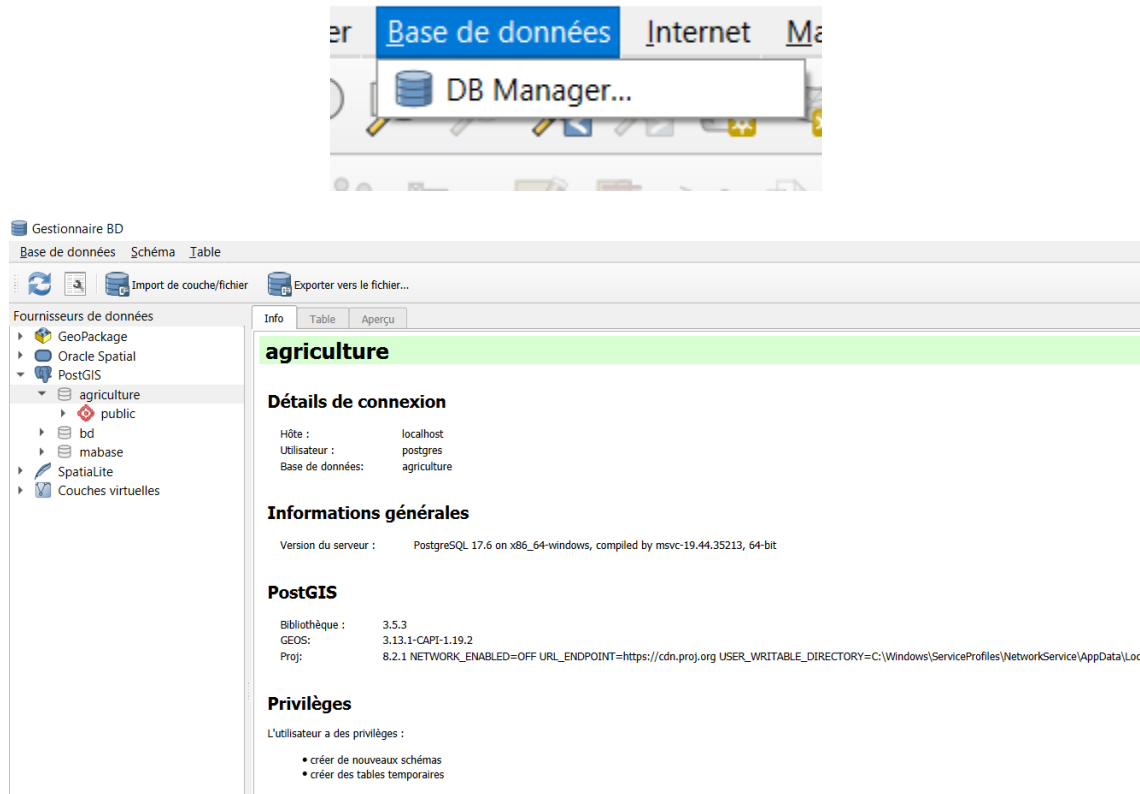
☐ Autoriser l'enregistrement/chargement des métadonnées de la couche QGIS dans la base de données

OK Annuler Aide

- ✓ Une nouvelle connexion est créer

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 :

Importer une couche vecteur

Source: agri_regions

☐ Importer uniquement les entités sélectionnées

Table en sortie

Schéma:

Table: agri_regions

Options

☐ Clé primaire: id

☒ Colonne de géométrie: geom

☐ SCR source: EPSG:4326 - WGS 84

☒ SCR cible: EPSG:26191 - Merchich / Nord Maroc

☐ Encodage: Automatique

☐ Remplacer la table de destination (si existante)

☐ Ne pas promouvoir en multi-partie

☐ Convertir les noms de champ en minuscule

☒ Créer un index spatial

☐ Commentaire:

OK Annuler

Couche waterways :

Importer une couche vecteur

Source: waterways

☐ Importer uniquement les entités sélectionnées

Table en sortie

Schéma:

Table: waterways

Options

☐ Clé primaire: id

☒ Colonne de géométrie: geom

☐ SCR source: EPSG:4326 - WGS 84

☒ SCR cible: EPSG:26191 - Merchich / Nord Maroc

☐ Encodage: Automatique

☐ Remplacer la table de destination (si existante)

☐ Ne pas promouvoir en multi-partie

☐ Convertir les noms de champ en minuscule

☒ Créer un index spatial

☐ Commentaire:

OK Annuler

Couche etabliss_agri :

Importer une couche vecteur

Source: C:/Users/user/Desktop/2ci/Base de données spatiales/etabliss_agri.shp

☐ Importer uniquement les entités sélectionnées

Table en sortie

Schéma:

Table: etabliss_agri

Options

☐ Clé primaire: id

☒ Colonne de géométrie: geom

☐ SCR source: EPSG:4326 - WGS 84

☒ SCR cible: EPSG:26191 - Merchich / Nord Maroc

☐ Encodage: Automatique

☐ Remplacer la table de destination (si existante)

☐ Ne pas promouvoir en multi-partie

☐ Convertir les noms de champ en minuscule

☒ Créer un index spatial

☐ Commentaire:

OK Annuler

Couche roads :

Importer une couche vecteur

Source: roads

☐ Importer uniquement les entités sélectionnées

Table en sortie

Schéma:

Table: roads

Options

☐ Clé primaire: id

☒ Colonne de géométrie: geom

☐ SCR source: EPSG:4326 - WGS 84

☒ SCR cible: EPSG:26191 - Merchich / Nord Maroc

☐ Encodage: Automatique

☐ Remplacer la table de destination (si existante)

☐ Ne pas promouvoir en multi-partie

☐ Convertir les noms de champ en minuscule

☒ Créer un index spatial

☐ Commentaire:

OK Annuler

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_etabliss_agri_geom ON etabliss_agri USING GIST (geom);
```

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

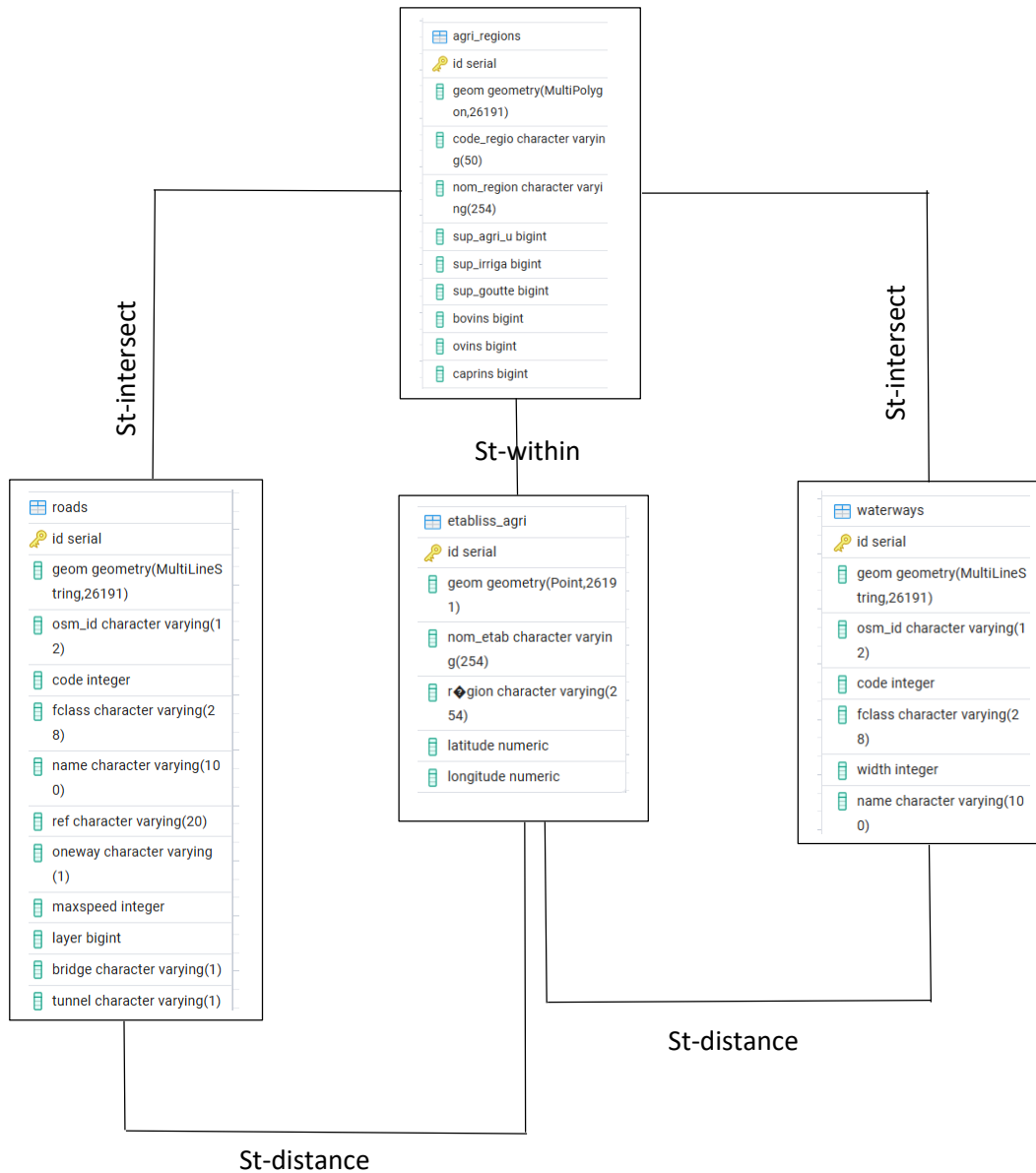
```
CREATE INDEX idx_waterways_geom ON waterways USING GIST (geom);
```

Query Query History

```
1 CREATE INDEX idx_agri_regions_geom ON agri_regions USING GIST (geom);
2 CREATE INDEX idx_etabliss_agri_geom ON etabliss_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 — etabliss_agri	Chaque établissement agricole se situe dans une région (ST_Within(etabliss_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 — etabliss_agri	Permet d'évaluer la proximité d'un établissement à la route la plus proche (ST_Distance(etabliss_agri.geom, roads.geom)).	Relation de distance
waterways — etabliss_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

	<div>id</div> <div>[PK] integer</div>	<div>nom_region</div> <div>character varying (254)</div>	<div>longueur_routes_km</div> <div>numeric</div>
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

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.fclass 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

≡+

📄

▼

📋

▼

🗑️

🗄️

⬇️

📈

SQL

	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 Taoujtate	3986.82
11	10	Institut Technique Agricole de Taourirt	4269.83
12	26	Institut Technique Agricole deTiflet	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 SELECT
11     r.id,
12     r.nom_region,
13     r.sup_irriga,
14     ROUND((SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000.0)::numeric, 2) AS long_routes_km,
15     ROUND((r.area_km2)::numeric, 2) AS surf_region_km2,
16     ROUND(( (SUM(ST_Length(ro.geom)) / 1000.0) / r.area_km2 * 100)::numeric, 2) AS densite_routiere_km_100km2
17 FROM
18     regions r
19 JOIN
20     roads ro
21 ON
22     ST_Intersects(r.geom, ro.geom)
23 GROUP BY
24     r.id, r.nom_region, r.sup_irriga, r.area_km2
25 ORDER BY
26     densite_routiere_km_100km2 DESC;
27

```

Résultat:

Data Output

Messages

Graph Visualiser

×

Notifications

≡

+

📄

▼

📄

▼

🗑

🗄

⬇

📈

SQL

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

≡+

📄

▼

📋

▼

🗑️

🗄️

⬇️

📈

SQL

	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	etabliss_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 ;
14	

 Résultat:

Data Output

Messages

Graph Visualiser

×

Notification

≡+

▼

▼

SQL

	<div><div>nom_region</div><div>character varying (254)</div><div></div></div>	<div><div>nb_etablissements</div><div>bigint</div><div></div></div>
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_1
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;
12
```

 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 : $M = 4$, $m = 2$

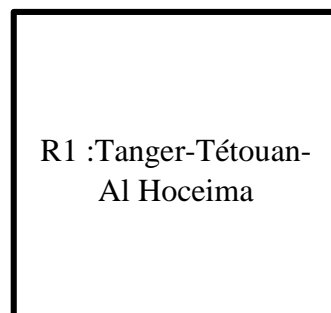
Régions :

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

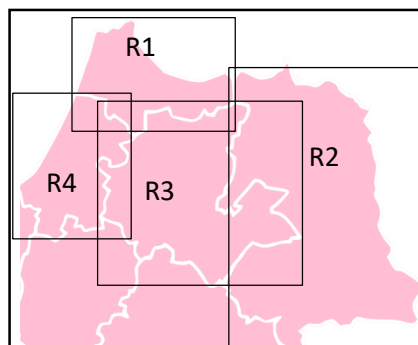
Étape 1 : Première insertion

- 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.



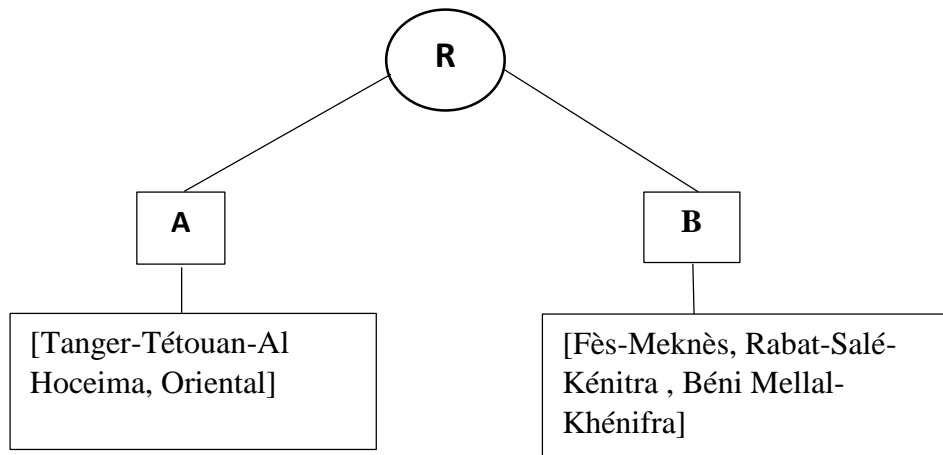
Étape 3 : Dépassement → Split

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

Feuille A : Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Oriental

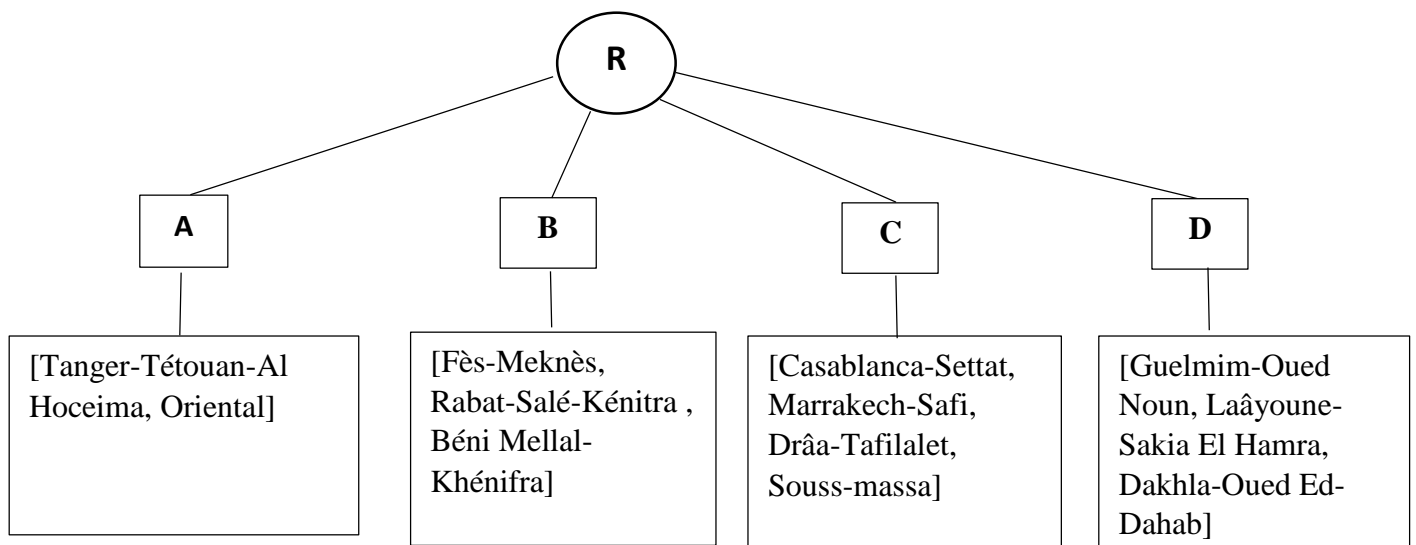
Feuille B : Fès-Meknès, Rabat-Salé-Kénitra, Béni Mellal-Khénifra

- 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.



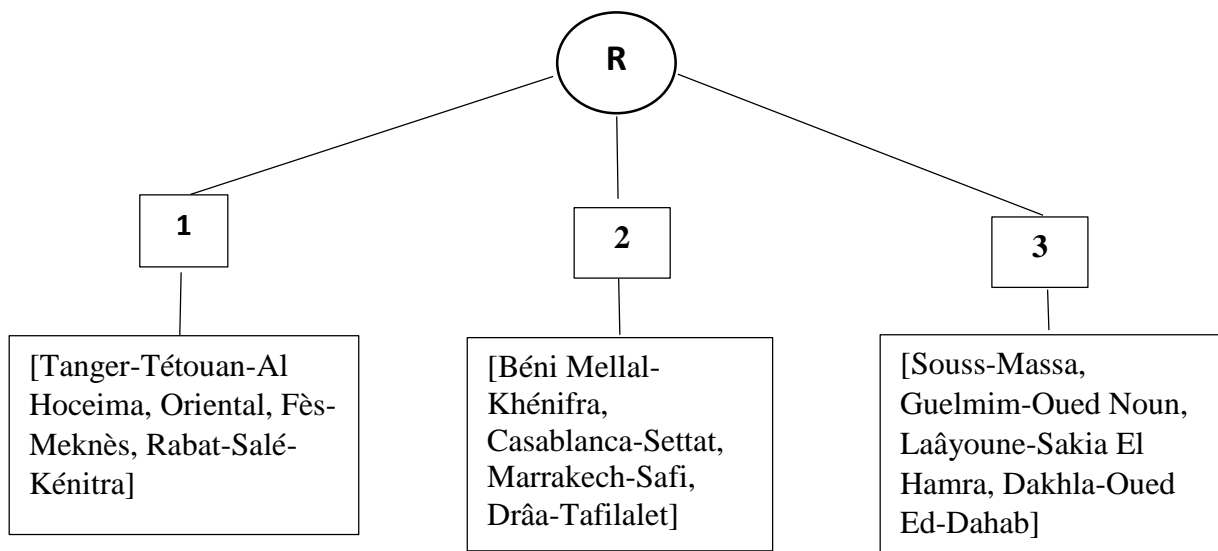
3. Construction d'un R*-Tree pour les régions du Maroc

- 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

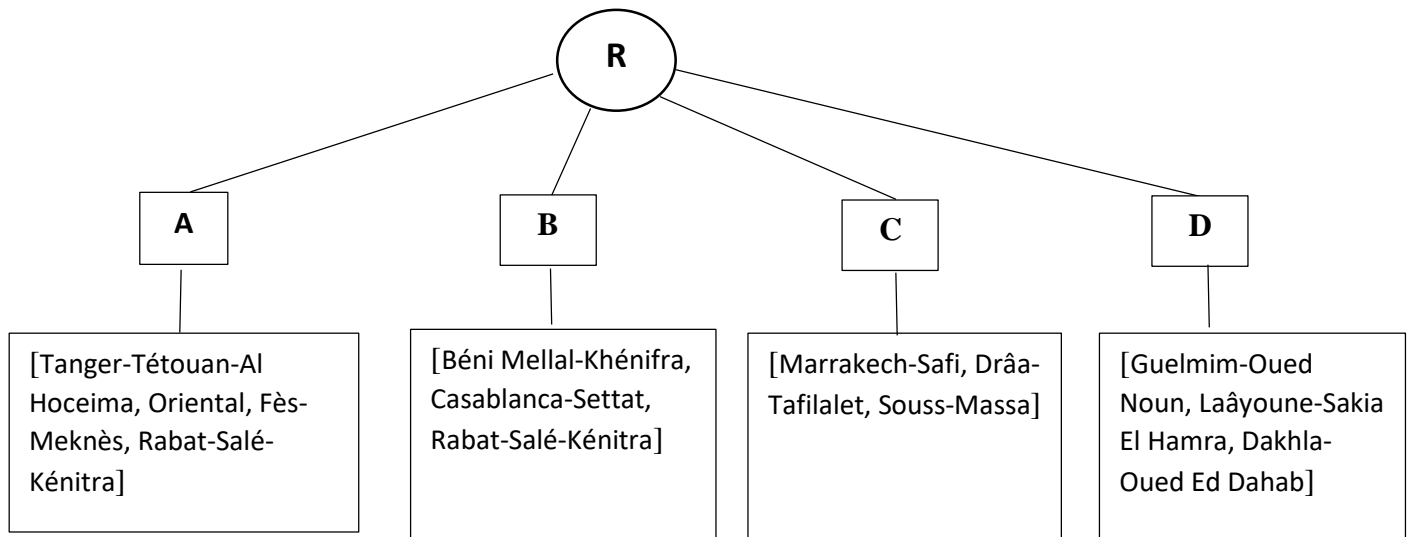
- On insère séquentiellement selon l'ordre géographique (Nord → Sud).
Chaque feuille peut contenir jusqu'à **M = 4** régions.



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

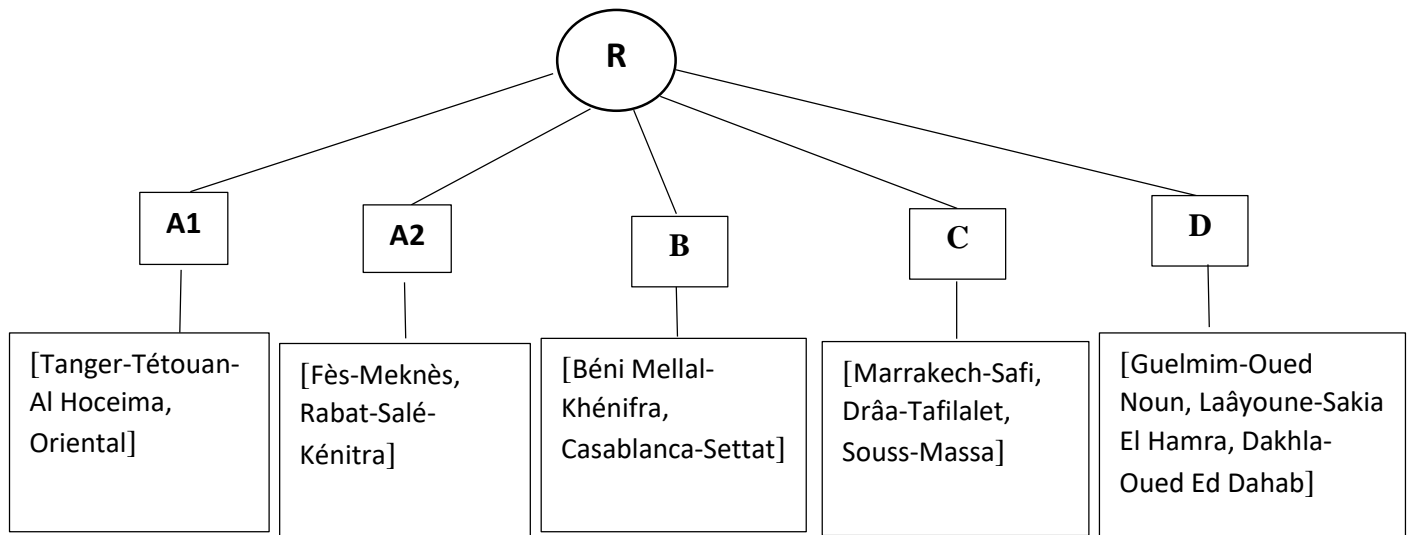
Lorsqu'une feuille atteint $M = 4$ lors d'une nouvelle insertion, le R*-Tree choisit **la séparation qui minimise à la fois** :

- 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	Excellentes 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 etabliss_agri AS
SELECT * FROM ST_Read('data/etabliss_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 **entièrement 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