

# Projet de Base de Données Spatiales

Analyse agricole et territoriale par région au Maroc



**Réalisé par :**

- Benzina Aya N°27
- Loubna El Hachimi N°34

**Encadré par :**

- Pr Hajji Hicham

## SOMMAIRE

I.	<i>Introduction et Problématique</i> .....
II.	<i>Sources de données et étapes de préparation</i> .....
III.	<i>Shéma de base de données et justification</i> .....
IV.	<i>Résultats des requetes (Tables + Cartes)</i> .....
V.	<i>Analyse des index spaciaux(R-tree, R*-tree)</i> .....
VI.	<i>Discussion critique (Limites des données, difficultés, perspectives)</i> .....

## I. Introduction Et Problématique :

Le développement agricole et territorial au Maroc repose sur une compréhension fine de la répartition spatiale des ressources naturelles, des infrastructures et des activités humaines.

Cependant, les données relatives à ces domaines sont souvent dispersées, hétérogènes et non structurées : certaines sont publiées sous forme de tableaux ou de pages web par le Ministère de l'Agriculture (superficie agricole utile, zones irrigables, cheptel, établissements de formation, etc.), tandis que d'autres — comme les réseaux routiers, cours d'eau ou limites administratives — proviennent de sources ouvertes telles qu'OpenStreetMap.

Dans ce contexte, l'exploitation efficace de ces informations nécessite leur intégration au sein d'une base de données spatiale cohérente et normalisée. L'objectif principal de ce projet est donc de concevoir et mettre en œuvre une base de données géographique permettant d'effectuer des analyses spatiales croisées sur les composantes agricoles, hydrologiques et infrastructurelles des régions marocaines.

Cette démarche vise à produire des indicateurs spatiaux pertinents (densité routière, accessibilité, potentiel agricole, etc.) utiles à la planification territoriale et au développement rural.

Les données agricoles et territoriales disponibles au Maroc sont riches mais peu exploitées en raison de leur dispersion, de leur format non structuré et de l'absence de relations spatiales explicites entre elles.

Dès lors, plusieurs questions se posent :

- Comment intégrer ces données issues de sources multiples (ministérielles, open data, géospatiales) dans une base unique et homogène ?
- Comment modéliser les relations spatiales entre les régions, les réseaux routiers, les cours d'eau et les indicateurs agricoles (SAU, irrigable, cheptel, etc.) ?

- Quelles requêtes spatiales peut-on concevoir pour analyser les interactions entre agriculture, accessibilité et ressources naturelles ?

Ainsi, la problématique centrale de ce projet consiste à :

Concevoir une base de données spatiale intégrée permettant de relier, visualiser et analyser les informations agricoles et territoriales régionales, afin d'en extraire des indicateurs géographiques pertinents pour l'aménagement du territoire.

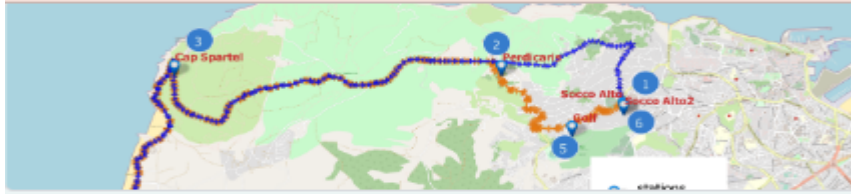
## II. Sources de données et étapes de préparation :

### 1. Collecte et préparation des données régionales :

Pour importer les différentes données nécessaires dans QGIS, nous avons consulté plusieurs plateformes de données géospatiales en accès libre.

Dans un premier temps, nous avons utilisé le portail [GeoSSC](https://geossc.ma/open-data-partage-de-donnees-geospatiales-en-telechargement-format-geojson/) (<https://geossc.ma/open-data-partage-de-donnees-geospatiales-en-telechargement-format-geojson/>) afin de télécharger la couche des régions administratives du Maroc.

Ce portail requiert le remplissage d'un court formulaire avant d'autoriser le téléchargement du fichier en format Shapefile.



## Formulaire de demande de données

- Veuillez compléter les informations suivantes pour recevoir les données demandées via un lien dans votre email.
- Le prix sera en fonction du nombre et du types de données demandés. **A partir de 100DH/10€ par couche. Si vous demandez plusieurs couches: plus ou égale 5 couches, vous aurez une réduction de 20%.**
- Un message sera envoyé à votre email avec un lien d'attachement de données en besoins.
- Merci de consulter le mode de paiement via le lien suivant : <https://geossc.ma/paiement/>

benzinaaya20@gmail.com [Changer de compte](#)



\* Indique une question obligatoire

E-mail \*

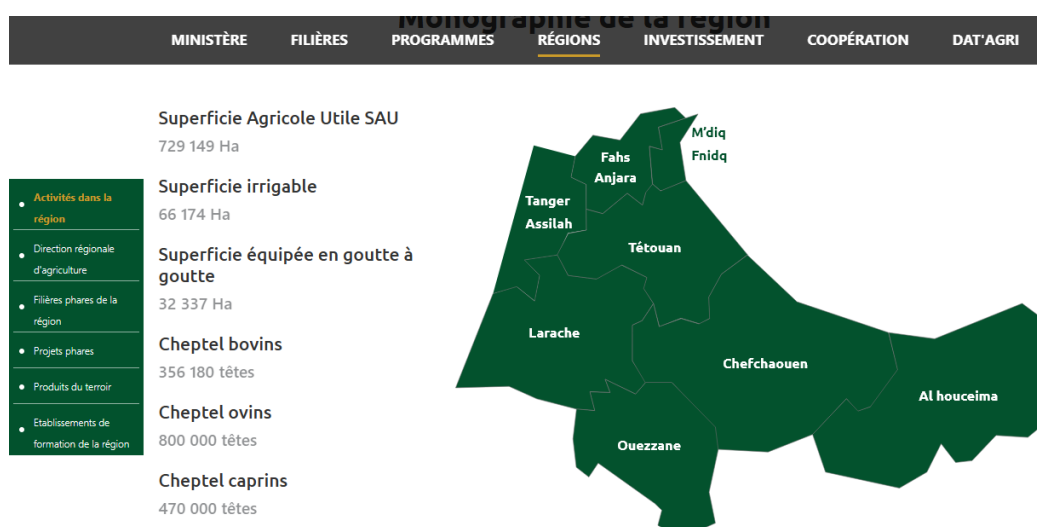
☐ Enregistrer benzinaaya20@gmail.com comme adresse e-mail à joindre à ma réponse

Une fois la couche obtenue, nous l'avons importée dans QGIS, puis modifiée dans la table d'attributs afin d'y ajouter plusieurs informations complémentaires pour chaque région, notamment :

- La superficie agricole utile (SAU),
- La superficie irrigable,
- Les principales filières agricoles,
- Le cheptel,

Ces informations descriptives ne sont pas disponibles sous forme de base de données structurée. Elles ont donc été collectées manuellement à partir des pages régionales publiées sur le site du Ministère de l'Agriculture

<https://www.agriculture.gov.ma/fr/region/rabat-sale-kenitra>



Puis intégrées dans la table d'attributs de la couche des régions :

regions2 — Total des entités: 12, Filtrées: 12, Sélectionnées: 0

	CODE_REGIO	Nom_Region	superf_agr	superf_irr	nb_filiere	nb_cheptel	nb_etablis
1	01.	TANGER-TETOU...	729149	66174	7	1626180	4
2	02.	ORIENTAL-RIF	889450	181388	7	4283400	7
3	03.	FES-MEKNES	1235521	193542	4	3840270	9
4	04.	RABAT-SALE-K...	942980	208000	8	2698827	13
5	05.	BENI MELLAL-K...	994463	226293	5	4115000	5
6	07.	MARRAKECH-S...	1263042	168238	6	3416934	6
7	08.	DRAA-TAFILALET	2055977	345032	5	5064000	5
8	09.	SOUSS-MASSA	270910	201922	5	2186318	2
9	10.	GUELMIM-OUE...	453445	174862	8	2633800	4
10	11.	LAAYOUNE-BO...	164099	36602	6	490697	1
11	12.	ED DAKHLA-O...	136000	5543	3	613000	1
12	06.	CASABLANCA-...	100000	1152	4	110000	1

- Concernant les principales filières agricoles, nous avons ajouté dans la table des régions une colonne indiquant le nombre de filières agricoles par région, étant donné qu'aucune des requêtes demandées ne portait spécifiquement sur cette information.

## 2. Préparation des données spatiales du réseau routier et hydrographique :

- Nous avons d'abord consulté le site OpenStreetMap – Geofabrik, qui permet de télécharger des données géospatiales actualisées relatives au réseau routier et au réseau hydrographique du Maroc.

<https://download.geofabrik.de/africa/morocco.html>

Download OpenStreetMap data for this region:
GEOFABRIK downloads

### Morocco

[\[one level up\]](#)

The OpenStreetMap data files provided on this server do **not** contain the user names, user IDs and changeset IDs of the OSM objects because these fields are assumed to contain personal information about the OpenStreetMap contributors and are therefore subject to data protection regulations in the European Union.


[Extracts with full metadata](#) are available to OpenStreetMap contributors only.

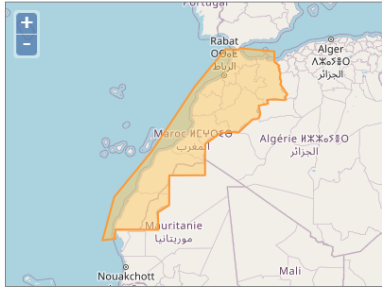
**Commonly Used Formats**

- [morocco-latest.osm.pbf](#), suitable for Osmium, Osmosis, impsm, osm2pgsql, mkgmap, and others. This file was last modified 15 hours ago and contains all OSM data up to 2025-10-25T20:20:56Z. File size: 227 MB; MD5 sum: [fb9458f7f3c5407d75aaa88b52478c24](#).
- [morocco-latest-free.shp.zip](#), yields a number of ESRI compatible shape files when unzipped. ([Format description PDF](#)) This file was last modified 13 hours ago. File size: 451 MB; MD5 sum: [09dc5e419b5da0b9177cb33d7e050542](#).

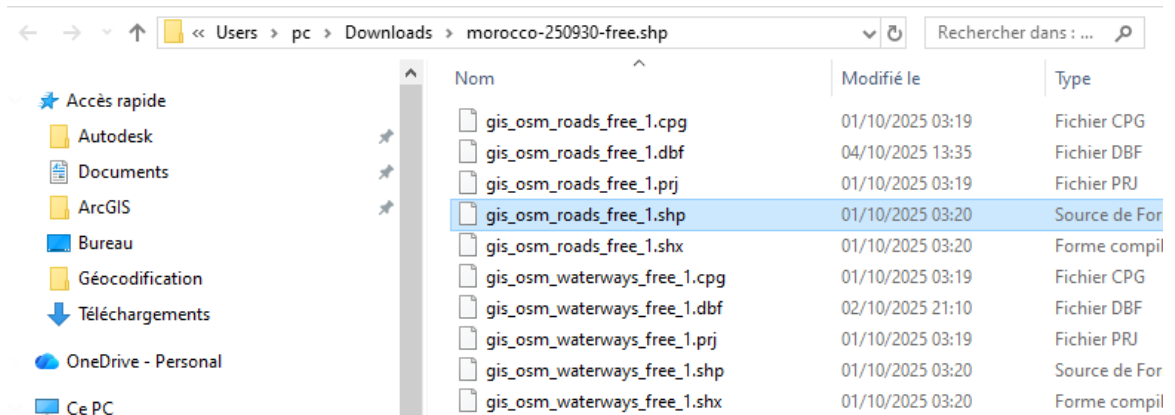
**Other Formats and Auxiliary Files**

- [morocco-internal.osh.pbf](#) The history file contains personal data and is available on the [internal server](#) only. See notice above for further information.
- [.poly file](#) that describes the extent of this region.
- [experimental vector tile package](#) conforming to [Shortbread schema](#) for use with MapLibre and other MVT capable software
- [.osc.gz files](#) that contain all changes in this region, suitable e.g. for Osmosis updates
- [Taginfo statistics for this region](#)
- [raw directory index](#) allowing you to see and download older files

 Not what you were looking for? Geofabrik is a consulting and software development firm based in Karlsruhe, Germany specializing in OpenStreetMap services. We're happy to help you with data preparation, processing, server setup and the like. [Check out our web site](#) and contact us if we can be of service.

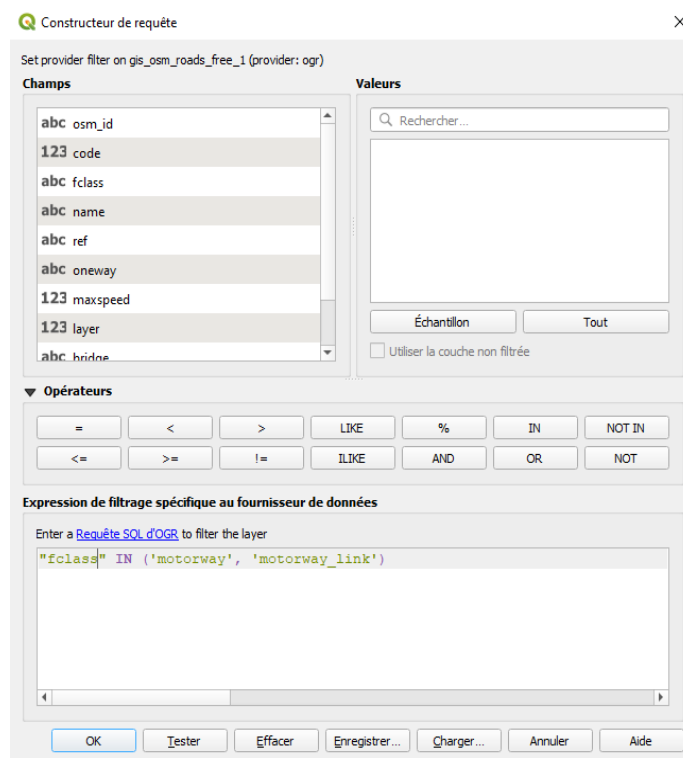


- Nous avons sélectionné les couches pertinentes pour notre étude, notamment le réseau routier et les cours d'eau à l'échelle nationale.



Après téléchargement et extraction, les fichiers Shapefile ont été importés dans QGIS pour analyse.

- Concernant la couche du réseau routier, un filtrage a été effectué afin de distinguer deux types de voies :



- ✓ "fclass" IN ('motorway', 'motorway\_link')
- ✓ "fclass" NOT IN ('motorway', 'motorway\_link')



- Une couche des autoroutes, correspondant aux entités dont le champ highway prend la classe 'motorway' ou 'motorway\_link',
- Et une couche des autres routes, regroupant l'ensemble des autres catégories (routes principales, secondaires, tertiaires, etc.).

autoroutes2 — Total des entités: 2348, Filtrées: 2348, Sélectionnées: 0
 routes — Total des entités: 844917, Filtrées: 844917, Sélectionnées: 0

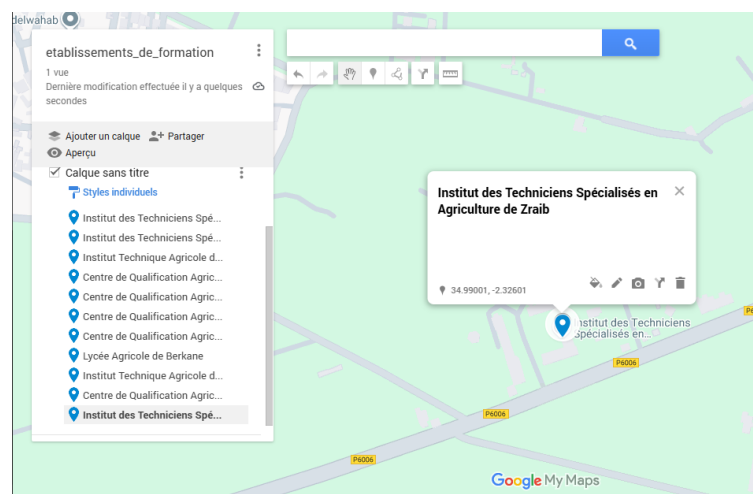
code	fclass	name
5131	motorway_link	NULL
5131	motorway_link	NULL
5131	motorway_link	NULL
5131	motorway_link	NULL
5131	motorway_link	NULL
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...
5111	motorway	Autoroute Port ...

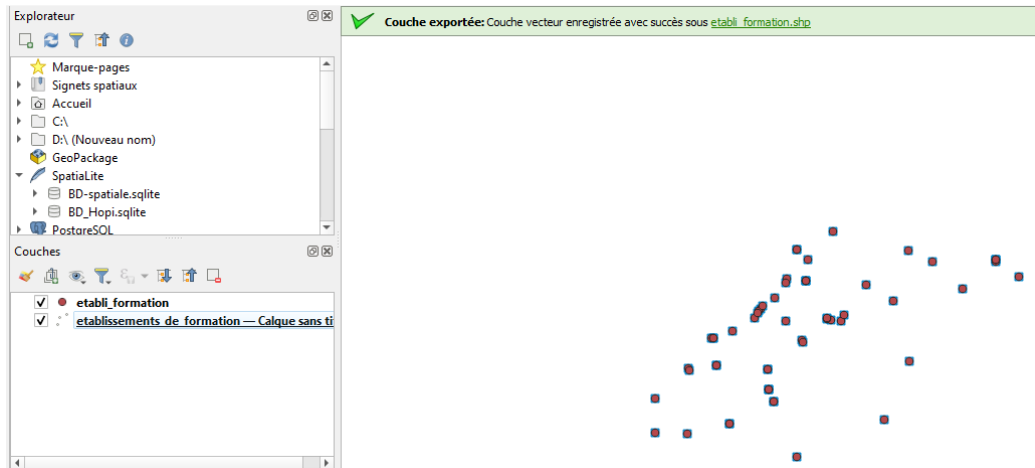
  

code	fclass	name
5115	tertiary	Avenue Fal Oul...
5115	tertiary	Place Othman I...
5114	secondary	Avenue Ahmed...
5113	primary	Place Beni Znas...
5114	secondary	Avenue Ibn Sin...
5122	residential	Avenue Al Abta...
5113	primary	Avenue Annak...
5122	residential	Rue Ghiyata
5122	residential	Rue Al Bortokal...
5113	primary	Avenue Mehdi ...

- Cette séparation a permis de faciliter l'analyse thématique et la représentation cartographique du réseau routier selon la hiérarchie des voies.
- En ce qui concerne la couche des **cours d'eau**, nous avons simplement ajouté dans QGIS la couche hydrologique déjà disponible dans OpenStreetMap – Geofabrik, afin de compléter la représentation du réseau hydrographique du territoire étudié.
- Comme chaque région dispose de plusieurs établissements de formation agricole, il a été nécessaire de créer une couche spécifique représentant ces établissements afin de répondre à l'une des requêtes demandées dans le cadre du projet.

- Pour cela, nous avons consulté le site du Ministère de l'Agriculture afin de relever les noms des établissements de formation présents dans les différentes régions du Maroc. Ensuite, nous avons utilisé l'outil **Google My Maps** pour localiser ces établissements sur une carte interactive. À l'aide de l'outil de recherche intégré, nous avons saisi le nom de chaque établissement, puis ajouté un repère ponctuel correspondant à son emplacement géographique.
- Une fois l'ensemble des points créés, la carte a été exportée sous le format KML. Ce fichier a ensuite été importé dans QGIS, où il a été converti en fichier shapefile (.shp) afin d'être intégré dans la base de données spatiale du projet.
- Cette démarche nous a permis de disposer d'une couche géographique complète et structurée des établissements de formation agricole au niveau national, facilitant ainsi l'analyse et l'exécution des requêtes spatiales demandées.





- La table attributaire de la couche des établissements de formation contient notamment une colonne indiquant le nom de chaque établissement.
- Par la suite, une jointure spatiale a été effectuée entre cette couche et celle des régions, dans le but d'associer à chaque établissement la région à laquelle il appartient. Cette opération permet ainsi de relier spatialement chaque établissement à sa région administrative correspondante, facilitant l'analyse et la représentation cartographique des établissements de formation par région.

etabli\_formation — Total des entités: 62, Filtrées: 62, Sélé...

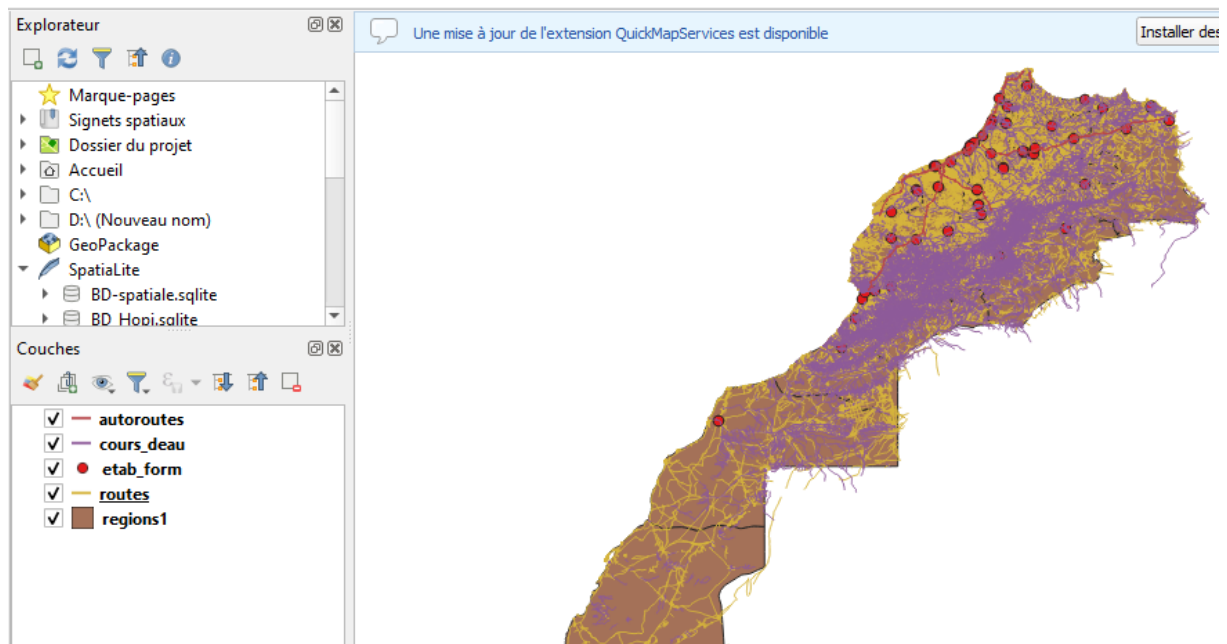
abc Name = abc Tout mettre à jour Mettre à jour la sélection

Name
1 Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Tétouan
2 Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Larache
3 Institut Technique Agricole d'Izemmouren
4 Centre de Qualification Agricole de Ksar El kebir
5 Centre de Qualification Agricole de Taourirt
6 Centre de Qualification Agricole de Tzototene
7 Centre de Qualification Agricole de Mida
8 Lycée Agricole de Berkane
9 Institut Technique Agricole de Berkane
10 Centre de Qualification Agricole de Berkane
11 Institut des Techniciens Spécialisés en Agriculture de Zraib
12 Centre de qualification agricole Missour
13 Ecole nationale d'agriculture de Meknès
14 Centre de qualification agricole Bouderbala
15 Institut des techniciens agricoles Ain Taoujtate
16 Institut des techniciens agricoles Sahel Boutahar
17 Institut des techniciens agricoles Oued Mili
18 Institut des techniciens spécialisés en horticulture de Meknès
19 Institut des techniciens spécialisés en génie rural et topographie
20 Centre de qualification agricole Menzel

Montrer toutes les entités

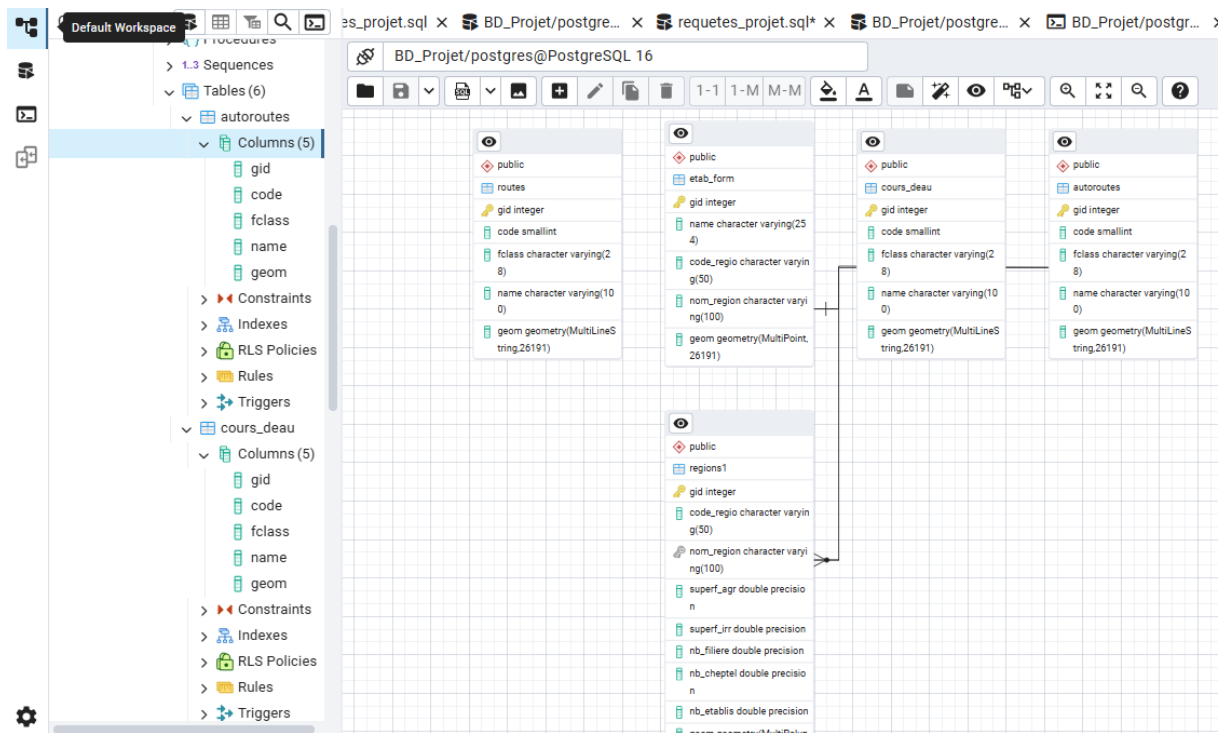
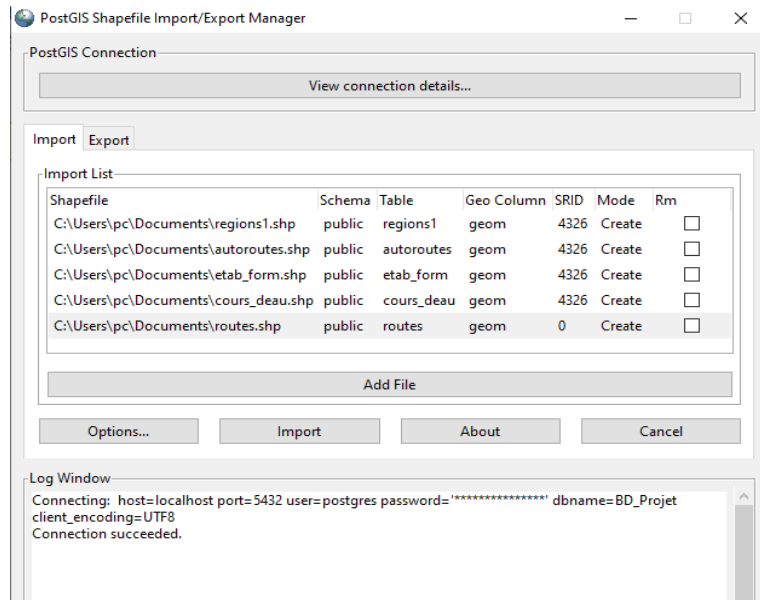
	Name	CODE_REGIO	Nom_Région
1	Institut des Tec...	01.	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA
2	Institut des Tec...	01.	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA
3	Institut Techniq...	01.	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA
4	Centre de Quali...	01.	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA
5	Centre de Quali...	02.	ORIENTAL-RIF
6	Centre de Quali...	02.	ORIENTAL-RIF
7	Centre de Quali...	02.	ORIENTAL-RIF
8	Lycée Agricole ...	02.	ORIENTAL-RIF
9	Institut Techniq...	02.	ORIENTAL-RIF
10	Centre de Quali...	02.	ORIENTAL-RIF
11	Institut des Tec...	02.	ORIENTAL-RIF
12	Centre de quali...	03.	FES-MEKNES
13	Ecole nationale ...	03.	FES-MEKNES
14	Centre de quali...	03.	FES-MEKNES
15	Institut des tec...	03.	FES-MEKNES
16	Institut des tec...	03.	FES-MEKNES
17	Institut des tec...	03.	FES-MEKNES
18	Institut des tec...	03.	FES-MEKNES
19	Institut des tec...	03.	FES-MEKNES
20	Centre de quali...	04.	RABAT-SALE-KENITRA

- La figure ci-dessous présente le résultat de la superposition des quatre couches sur l'interface d'ArcGIS :

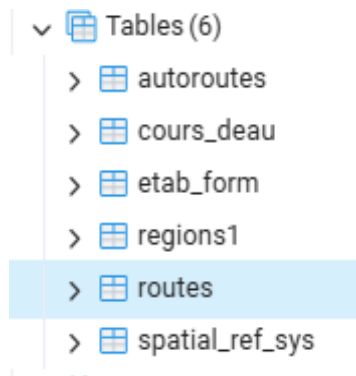


### III. Schéma de base de données et justification :

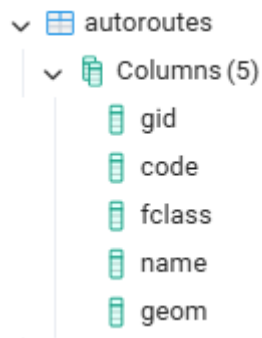
- Nous avons ensuite procédé à la création d'une base de données nommée BD\_Projet sur PostGIS. Après avoir fait un clic droit → Créer la base de données, nous avons activé l'extension PostGIS, afin de permettre à la base de gérer des données spatiales. Par la suite, les différents fichiers Shapefile précédemment préparés ont été importés dans cette base pour être exploités dans le cadre du projet.



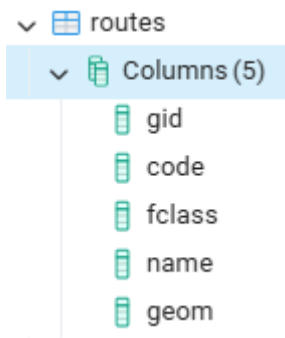
a. Identification des tables :



o Table des autoroutes :



o Table des routes :



○ Table des cours d'eau :

▼	courses_deau
▼	Columns (5)
	gid
	code
	fclass
	name
	geom

○ Table des régions :

▼	regions1
▼	Columns (9)
	gid
	code_regio
	nom_region
	superf_agr
	superf_irr
	nb_filiere
	nb_cheptel
	nb_etablis
	geom

○ Table des établissements de formation :

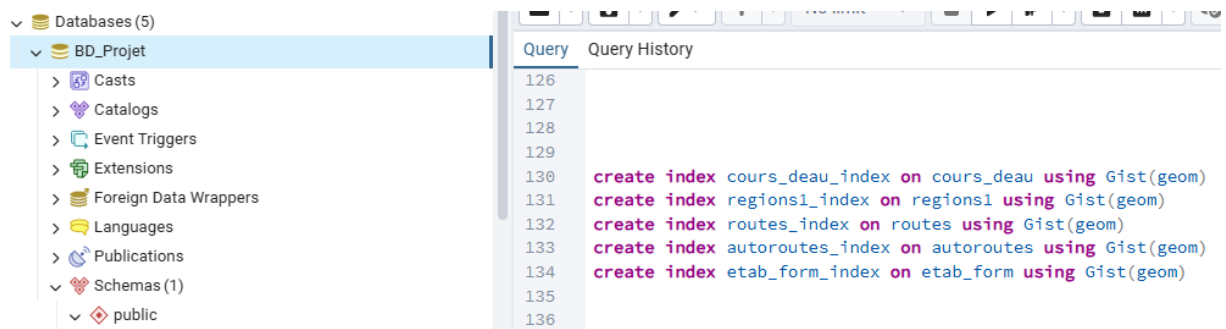
▼	etab_form
▼	Columns (5)
	gid
	name
	code_regio
	nom_region
	geom

- ✓ Cette table des a été ajouté car chaque région comptait plusieurs **établissements de formation**, donc il était nécessaire de disposer d'une table spécifique des établissements de formation afin de réaliser l'une des requêtes demandées dans le cadre du projet.

## VI. Résultats des requêtes (Tables + Cartes) :

- Avant d'entamer la réalisation des requêtes, on a d'abord créé des index pour chaque table afin d'accélérer la recherche pour les requêtes :

” Create index nom\_index on table using Gist(geom) ”



- Nous avons également modifié le système de coordonnées de chaque couche. Les données initialement définies en EPSG:4326 (système de coordonnées géographiques, en degrés) ont été reprojettées en EPSG:26191 (système de coordonnées planes – Merchich / Nord Maroc), afin de permettre des calculs métriques précis, notamment pour les longueurs et les superficies.

Exemple :



Query Query History

```

83 ALTER TABLE etablisements_de_formation
84 ALTER COLUMN geom TYPE geometry(Multipoint, 26191)
85 USING ST_Transform(ST_SetSRID(geom, 4326), 26191);
86 SELECT ST_SRID(geom),
87         ST_X(ST_StartPoint(geom)) AS x,
88         ST_Y(ST_StartPoint(geom)) AS y
89 FROM etablisements_de_formation
    
```

Data Output Messages Notifications

Showing rows: 1 to 32 Page No: 1 of 1

	st_srid integer	x double precision	y double precision
1	26191	205411.79716373928	-57178.738762171764
2	26191	137699.66117022774	191234.74992791304
3	26191	366247.4799668568	379959.1746883949
4	26191	505150.47941983485	587773.8813157945
5	26191	316604.27342164976	346446.3798664763
6	26191	820780.0567053899	455428.0840819833
7	26191	295115.32754093234	333043.598582798
8	26191	536876.3665252087	376771.35093792697
9	26191	822729.8557152476	459851.0049552213

### Requête 1 : Longueur totale du réseau routier par région.

- ✓ Cette requête permet de calculer la longueur totale du réseau routier par région.

Elle réalise une jointure spatiale entre la couche des routes et celle des régions à l'aide de la fonction `ST_Intersects`, puis additionne les longueurs des tronçons situés dans chaque région grâce à `ST_Length`.

Les résultats sont regroupés par région afin d'obtenir la somme totale des routes (en mètres) pour chaque unité administrative.

Tel que :

```

95
96
97 SELECT r.nom_region,
98       SUM(ST_Length(rt.geom)) AS longueur_totale_routes
99 FROM routes rt
100 JOIN regionsl r
101   ON ST_Intersects(r.geom, rt.geom)
102 GROUP BY r.nom_region;
103
104
105
106
107
  
```

Data Output Messages Notifications

Showing rows: 1 to 12

	nom_region character varying (100)	longueur_totale_routes double precision
1	MARRAKECH-SAFI	68931022.81522101
2	SOUSS-MASSA	54397325.13715347
3	DRAA-TAFILALET	47799218.17943722
4	RABAT-SALE-KENITRA	33641546.81857964
5	CASABLANCA-SETTAT	53727987.32961057
6	BENI MELLAL-KHENIFRA	37448424.708932355
7	GUFI MIM-OUFD NOLIN	19726599.903411817

## - Requête 2 : Densité routière (km de routes par 100 km<sup>2</sup>) pour chaque région.

- ✓ Cette requête calcule la densité routière pour chaque région, exprimée en kilomètres de routes pour 100 km<sup>2</sup> de superficie.  
Elle s'appuie sur les résultats de la première requête (longueur totale du réseau routier par région) et sur la surface des régions obtenue à partir de la fonction ST\_Area.  
La densité est ensuite déterminée en divisant la longueur totale des routes par la superficie de la région, puis en multipliant le résultat par 100 afin d'obtenir la valeur normalisée pour 100 km<sup>2</sup>.

Tel que :

```

166 SELECT
167     r.nom_region,
168     r.code_regio,
169     SUM(ST_Length(rt.geom)/1000) / (ST_Area(r.geom) / 1000000) AS densite
170 FROM
171     routes rt
172 JOIN
173     regions1 r
174 ON
175     ST_Intersects(r.geom, rt.geom)
176 GROUP BY
177     r.nom_region, r.code_regio, r.geom;
  
```

Data Output Messages Notifications

Showing rows: 1 to 12 Page No: 1

	nom_region character varying (100)	code_regio character varying (50)	densite double precision
1	LAAYOUNE-BOUJDOUR-SAKIA AL HAMRA	11.	0.1581902858256167
2	MARRAKECH-SAFI	07.	1.7677880567403974
3	BENI MELLAL-KHENIFRA	05.	1.3547574271967762
4	CASABLANCA-SETTAT	06.	2.6490191082067662
5	ORIENTAL-RIF	02.	0.6467838236169182
6	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA	01.	1.9236952995852246
7	SOUSS-MASSA	09.	1.0114820337390633

Total rows: 12 Query complete 00:02:00.550

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

Query Query History

```

1 SELECT
2     e.name,
3     e.geom,
4     a.name
5 FROM
6     etab_form e
7 JOIN
8     autoroutes a
9 ON
10    ST_DWithin(e.geom, a.geom, 5000 )
11 Group by e.name,e.geom,a.name
12
  
```

Data Output Messages Explain x Notifications

Showing rows: 1 to 29 Page No: 1 of 1

	name character varying (254)	geom geometry	name character varying (254)
1	Centre de Qualification Agricole de Taourirt	01040000204F66000001000000010100000060A570D5221B26411B4C25347B2F1A...	[null]
2	Ecole d'Agriculture de Temara	01040000204F66000001000000010100000028246BBEF3E5154148500E44AE441641	Périphérie
3	Ecole d'Agriculture de Temara	01040000204F66000001000000010100000028246BBEF3E5154148500E44AE441641	[null]
4	Ecole nationale d'agriculture de Meknès	01040000204F660000010000000101000000D3A61CA337121E41A2C65747A00116...	Autoroute
5	Ecole nationale d'agriculture de Meknès	01040000204F660000010000000101000000D3A61CA337121E41A2C65747A00116...	Autoroute
6	Ecole nationale d'agriculture de Meknès	01040000204F660000010000000101000000D3A61CA337121E41A2C65747A00116...	Meknes E:

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

- ✓ Cette requête permet de calculer la longueur totale des cours d'eau traversant les régions les plus agricoles, en se basant sur la superficie agricole utile (SAU).

Pour chaque région, la longueur des cours d'eau est mesurée à l'aide d'une jointure spatiale entre la couche des cours d'eau et celle des régions.

Enfin, seules les cinq régions présentant les plus fortes valeurs de SAU ont été retenues pour l'analyse, afin de se concentrer sur les zones à vocation agricole dominante.

Query

Query History

141

SELECT

142

r.nom\_region,r.superf\_agr,

143

SUM(ST\_Length(c.geom)) AS longueur\_totale

144

FROM

145

cours\_deau c

146

JOIN

147

regions1 r

148

ON

149

ST\_Intersects(c.geom, r.geom)

150

GROUP BY

151

r.nom\_region, r.superf\_agr

152

ORDER BY

153

r.superf\_agr DESC

154

LIMIT 5;

Data Output

Messages

Notifications

≡+

📄

▼

📄

▼

🗑️

🗄️

⬇️

📈

SQL

Showing rows:

	nom_region character varying (100)	superf_agr double precision	longueur_totale double precision
1	DRAA-TAFILALET	2055977	38322069.86441056
2	MARRAKECH-SAFI	1263042	8775814.409630608
3	FES-MEKNES	1235521	9904712.352880534
4	BENI MELLAL-KHENIFRA	994463	8790019.300996348
5	RABAT-SALE-KENITRA	942980	3198121.973997497

- Au moins trois requêtes originales de notre choix, pertinentes et créatives impliquant des jointures spatiales.

### Requête 1 : Régions traversées par des cours d'eau dont la longueur dépasse 2 500 000 m

- ✓ Type de jointure spatiale : **ST\_Intersects** Pertinence : cette requête met en relation deux couches — les régions et les cours d'eau — pour identifier celles où le réseau hydrographique est le plus développé.  
Valeur ajoutée : elle permet d'évaluer le potentiel hydrique des régions.  
C'est bien une jointure spatiale originale et pertinente.

Query

Query History

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

SELECT

r.geom,

r.nom\_region,

SUM(ST\_Length(c.geom)) AS longueur

FROM regions1 r

JOIN cours\_deau c

ON ST\_Intersects(r.geom, c.geom)

GROUP BY r.geom, r.nom\_region

HAVING SUM(ST\_Length(c.geom)) > 2500000

Data Output

Messages

Notifications

SQL

	<div><div><div>geom</div><div>geometry</div></div><div></div></div>	<div><div><div>nom_region</div><div>character varying (100)</div></div><div></div></div>	<div><div><div>longueur</div><div>double precision</div></div><div></div></div>
1	01060000204F6600000100...	TANGER-TETOUAN-AL HOCEIMA	3352768.498156783
2	01060000204F6600000200...	DRAA-TAFILALET	38322069.864410825
3	01060000204F6600000100...	GUELMIM-OUED NOUN	14592954.127958177
4	01060000204F6600000100...	MARRAKECH-SAFI	8775814.409630608
5	01060000204F6600000100...	RABAT-SALE-KENITRA	3198121.9739974975
6	01060000204F6600000100...	BENI MELLAL-KHENIFRA	8790019.30099635
7	01060000204F6600000100...	FES-MEKNES	9904712.352880511
8	01060000204F6600000100...	ORIENTAL-RIF	13590629.958986761

### Requête 2 : Établissements situés à plus de 5 km des autoroutes

- ✓ Type de jointure spatiale : **ST\_Distance** ou **ST\_DWithin** (avec une condition de distance > 5000)  
Pertinence : cette requête croise les couches établissements de formation (points) et réseau routier (lignes) pour évaluer leur accessibilité.

Valeur ajoutée : elle met en évidence les établissements isolés, mal desservis par les routes.

C'est une requête spatiale créative et utile pour l'aménagement.

```

11
12
13 SELECT e.*
14 FROM etab_form e
15 where not exists (
16   select 1
17   from autoroutes as a
18   where st_DWithin(e.geom, a.geom,5000)
19 )
20
21
22
23
  
```

Data Output Messages Notifications

Showing rows: 1 to 47 Page No: 1 of 1

	gid [PK] Integer	name character varying (254)	code_regio character varying (50)	nom_region character varying (100)	geom geometry
42	52	Institut des Techniciens Spécialisés en Agricul...	10.	GUELMIM-OUED NOUN	01040000204F6600000100000001010
43	53	Institut des Techniciens Spécialisés en Agricul...	11.	LAAYOUNE-BOUJDOUR-SAKIA AL HAMRA	01040000204F6600000100000001010
44	54	Institut des techniciens spécialisés en agricult...	11.	LAAYOUNE-BOUJDOUR-SAKIA AL HAMRA	01040000204F6600000100000001010
45	58	Institut des Techniciens Agricoles de Khmiss M...	06.	CASABLANCA-SETTAT	01040000204F6600000100000001010
46	59	Institut des Techniciens Agricoles de Khmiss Z...	06.	CASABLANCA-SETTAT	01040000204F6600000100000001010
47	60	Institut Prince Sidi Mohammed des Technicien...	06.	CASABLANCA-SETTAT	01040000204F6600000100000001010

### Requête 3 : Longueur des cours d'eau traversant les régions les plus irriguées

- ✓ Type de jointure spatiale : **ST\_Intersects** entre cours d'eau et régions, combinée à un filtre sur les régions à forte superficie irrigable.
- Pertinence : elle analyse la relation entre infrastructures hydriques naturelles et potentialités agricoles, ce qui est directement lié à ton thème.
- C'est une requête croisée, pertinente et cohérente avec l'objectif du projet.

```

114 SELECT r.nom_region,r.superf_irr,
115        SUM(ST_Length(c.geom)) AS longueur_totale
116 FROM cours_deau c
117 JOIN regions1 r
118     ON ST_Intersects(c.geom, r.geom)
119 GROUP BY r.nom_region,r.superf_irr
120 order by r.superf_irr DESC
121 limit 3;
122
123 SELECT r.nom_region,
124        SUM(ST_Length(ST_Intersection(rt.geom, r.ge
  
```

Data Output Messages Notifications

	nom_region character varying (100)	superf_irr double precision	longueur_totale double precision
1	DRAA-TAFILALET	345032	38322069.86441056
2	BENI MELLAL-KHENIFRA	226293	8790019.30099635
3	RABAT-SALE-KENITRA	208000	3198121.9739974956

## V. Analyse des index spatiaux (R-tree, R\*-tree) :

### a.Indexation spatiale avec le R-tree :

#### Définition du R-tree :

Le **R-tree (Region Tree)** est une structure de données arborescente hiérarchique utilisée pour indexer et organiser des objets spatiaux (points, lignes, polygones, etc.).

Proposé par Antonin Guttman en 1984, il permet de regrouper les objets géographiquement proches dans des rectangles appelés MBR (Minimum Bounding Rectangles) — c'est-à-dire les rectangles les plus petits qui peuvent contenir entièrement chaque objet.

Chaque nœud du R-tree peut donc représenter :

- soit un ensemble d'objets géométriques (feuille),
- soit un ensemble de sous-nœuds (nœud interne).

Ainsi, les MBR des nœuds s'emboîtent les uns dans les autres jusqu'à la racine de l'arbre.

---

#### Rôle du R-tree :

Le R-tree est principalement utilisé pour accélérer les requêtes spatiales dans les systèmes d'information géographique (SIG) comme PostGIS, QGIS ou ArcGIS. Il évite de parcourir tous les objets de la base en ne cherchant que dans les zones susceptibles de contenir la réponse (grâce aux MBR).

---

#### Étapes de création de l'arbre (exemple appliqué à la couche REGION) :

##### Étape 1 : Création de la racine

- On commence par créer la **racine R**, qui représente l'ensemble du territoire (toute la couche REGION).

- À ce stade, la racine est vide.

## Étape 2 : Première insertion

- On insère le **premier nœud A**, qui correspond à la **région 1**.
- La racine R contient donc maintenant un seul MBR : celui de la région A.

## Étape 3 : Ajouts successifs

- On insère ensuite le **nœud B (région 2)**, puis le **nœud C (région 3)** et enfin le **nœud D (région 4)**.
- À chaque insertion, le MBR de la racine s'ajuste pour **englober l'ensemble des régions**.
- À la fin de cette étape, la racine contient **4 nœuds internes (A, B, C, D)**.
- La capacité maximale du nœud racine est **M = 4** (elle est donc pleine).

## Étape 4 : Dépassement de capacité (Split)

- Si l'on souhaite insérer une **cinquième région (E)**, la racine dépasse sa capacité maximale.
- Le R-tree déclenche alors une **opération de split (division du nœud)**.

## Étape 5 : Division du territoire

- Le nœud racine **R** est **divisé en plusieurs nœuds feuilles**, notés **R1, R2, R3**, selon la distribution spatiale des régions.
- Chaque feuille contient au maximum 4 régions (ou nœuds internes).
- L'objectif de cette division est de :
  - **Minimiser la surface totale** des MBR,
  - **Réduire le recouvrement** entre les rectangles,
  - Et **équilibrer** la répartition des objets.



Ainsi :

R (racine)

/ | \

R1 R2 R3

- Chaque **R1, R2, R3** représente une **zone géographique du territoire**,
- Et contient jusqu'à 4 régions (A, B, C, D, ...), avec le **minimum d'espace vide** possible à l'intérieur de chaque MBR.

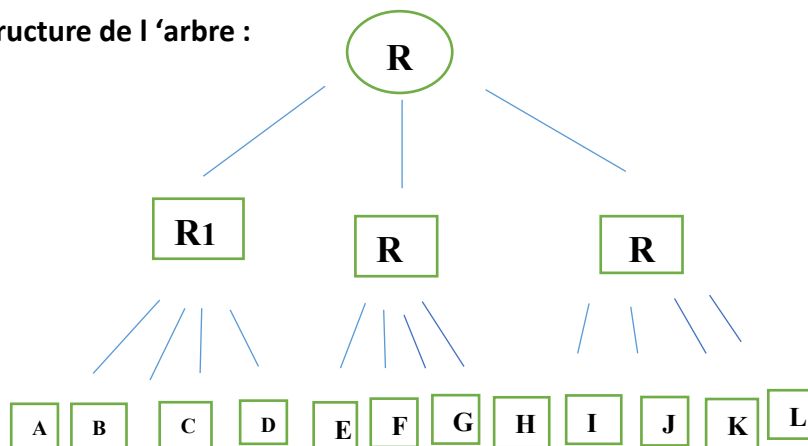
## Résultat final

À la fin de la construction :

- L'arbre est **hiérarchisé** (racine → nœuds feuilles → nœuds internes).
- Chaque feuille contient des régions **proches dans l'espace**.
- Les **requêtes spatiales** deviennent beaucoup plus rapides, car seules les zones pertinentes sont explorées.

b.Schémas :

b. 1 : La structure de l'arbre :



## Indexation spatiale avec le R\*-tree

### Définition du R\*-tree :

Le **R\*-tree** (R-star-tree) est une **amélioration du R-tree**, proposée par **Beckmann et al. en 1990**, pour rendre la structure **plus efficace** lors des recherches spatiales.

Comme le R-tree, il utilise des **MBR (Minimum Bounding Rectangles)** pour organiser les objets géométriques (points, lignes, polygones).

Mais le R\*-tree introduit deux mécanismes supplémentaires :

1. **La réinsertion d'objets** avant de faire un split.
2. **La minimisation du recouvrement et de la surface des MBR.**

---

### Rôle du R\*-tree

Le R\*-tree a le même but que le R-tree : **accélérer les recherches spatiales**. Mais il améliore les performances en produisant une **meilleure organisation des rectangles** dans l'espace, ce qui :

- Diminue le **recouvrement** entre MBR,
- Diminue les **zones vides** à l'intérieur des rectangles,
- Rend les **requêtes plus rapides** (surtout les requêtes de voisinage et d'intersection).

---

### Étapes de création de l'arbre (appliqué à la couche REGION)

#### Étape 1 : Création de la racine

- On crée la **racine R\***, représentant l'ensemble du territoire.
- Elle est vide au départ.

## Étape 2 : Insertion progressive des régions

- On insère les régions **A, B, C, D**, chacune entourée par son MBR.
- La racine contient maintenant ces quatre régions.
- Capacité maximale du nœud : **M = 4**.

## Étape 3 : Dépassement de capacité

- Lorsqu'on insère une **cinquième région (E)**, la racine dépasse sa capacité maximale.
- Le R\*-tree **ne split pas immédiatement** comme le R-tree.
- Il déclenche d'abord une **phase de réinsertion**.

## Étape 4 : Réinsertion (reinsert)

- Le R\*-tree sélectionne **les objets les plus éloignés du centre du MBR** (souvent 30 % des entrées).
- Ces objets sont **retirés du nœud plein** puis **réinsérés plus haut dans l'arbre**, là où ils s'ajustent mieux spatialement.
- Cela permet d'**éviter des divisions inutiles** et d'obtenir des nœuds mieux équilibrés.

Exemple :

Si la région **E** est très éloignée du groupe (A, B, C, D), elle sera **réinsérée dans un autre nœud** plus adapté, au lieu de forcer un split.

## Étape 5 : Split (si nécessaire)

- Si après réinsertion le nœud est toujours plein, on effectue un **split optimisé** :
  - Le R\*-tree choisit l'**axe de division** (x ou y) qui **minimise le périmètre total des MBR**,
  - Puis répartit les objets de façon à **réduire au maximum le recouvrement** entre les rectangles.

## Étape 6 : Construction des niveaux supérieurs

- Si le split touche la racine, une **nouvelle racine** est créée, regroupant les sous-ensembles (R1 et R2 e R3).
- L'arbre se construit ainsi de façon hiérarchique, comme dans le R-tree, mais avec **des nœuds mieux séparés et moins de zones qui se recouvrent**.

### Structure obtenue (comparaison avec R-tree)

- **R-tree :**

Les régions sont regroupées selon leur ordre d'insertion → parfois les MBR se **recouvrent** beaucoup.

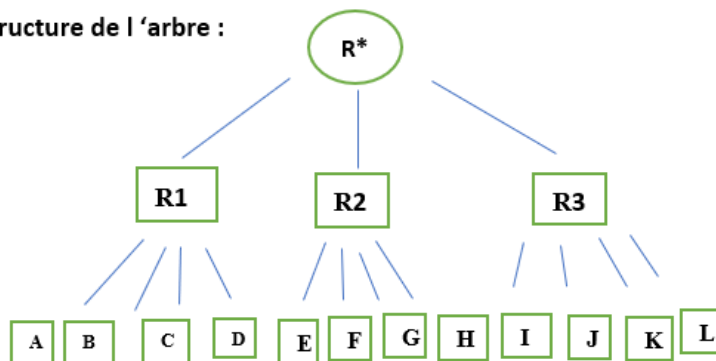
- **R\*-tree :**

Grâce à la **réinsertion** et au **split optimisé**, les régions sont mieux réparties → les MBR se **chevauchent** très peu.

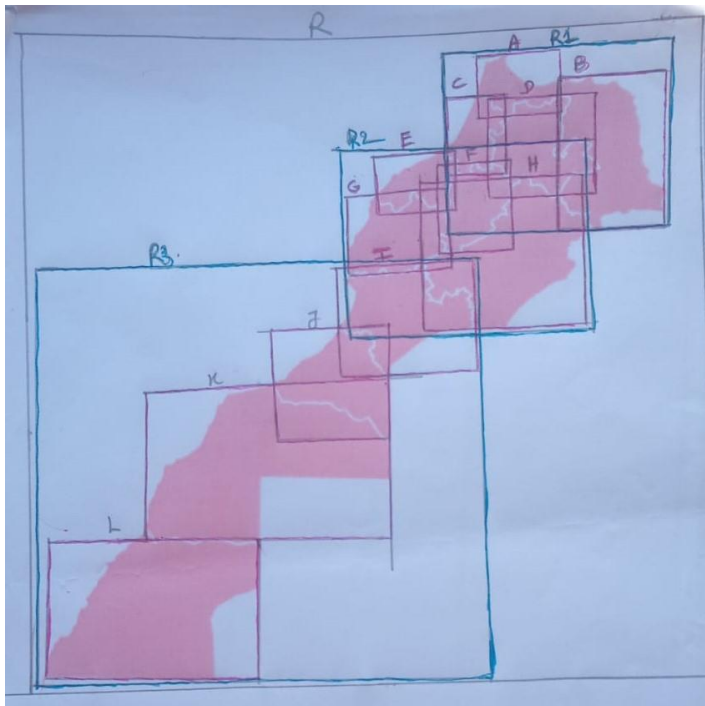
### b. les schémas :

**R\*-tree** va avoir la même structure hiérarchique que **R-tree** .

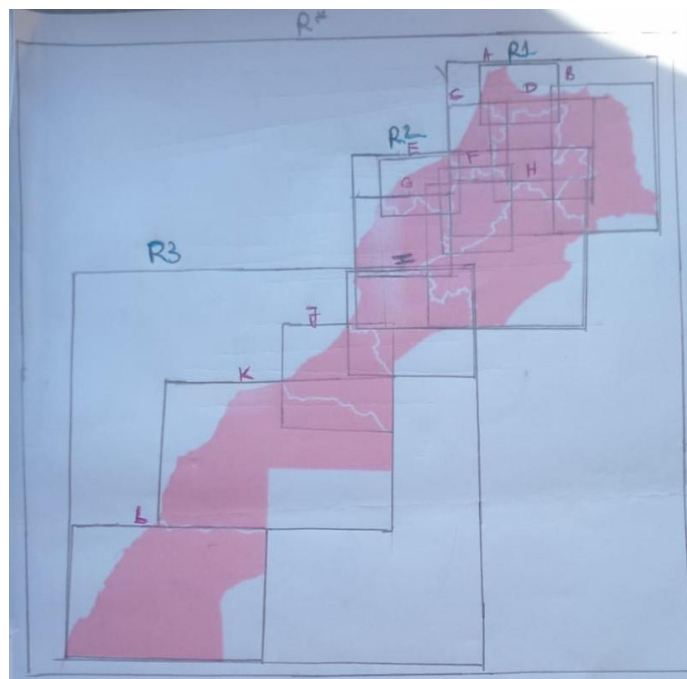
La structure de l'arbre :



Le schéma de R-Tree :



Le schéma de R\*-tree :



## Discussion critique :

### 1. Limites des données

- **Manque de structure** : les données du Ministère de l'Agriculture sont souvent présentées sur des pages web, pas dans un vrai tableau. Il faut donc les extraire manuellement, ce qui peut provoquer des erreurs.
- **Mises à jour irrégulières** : certaines informations datent de plusieurs années, d'autres sont récentes → difficulté à comparer.
- **Sources différentes** : les couches de routes, d'eau ou de limites régionales viennent de sites variés (OpenStreetMap, HydroSHEDS, etc.) et n'ont pas toujours la même précision.
- **Qualité géométrique** : certaines cartes ont des erreurs de dessin (chevauchement, trous) ou des différences de projection.
- **Manque de détails agricoles** : les données sont souvent disponibles seulement au niveau régional, pas au niveau communal ou local.

### 2. Difficultés rencontrées

- **Collecte et préparation** : les formats sont très différents (HTML, shapefile, GeoJSON), ce qui rend le nettoyage long.
- **Harmonisation** : il faut tout mettre dans le même système de coordonnées pour pouvoir faire des calculs fiables (distances, superficies).
- **Jointures spatiales** : certaines requêtes (par exemple "établissements à moins de 5 km d'une autoroute") sont lourdes à exécuter sans index.
- **Manque de documentation** : plusieurs couches ne précisent pas leur date de mise à jour ni leur source exacte.
- **Problèmes de compatibilité** : certaines couches (routes, régions) ne s'ajustent pas parfaitement, ce qui crée des décalages visuels.

### 3. Conséquences sur les résultats

- Les calculs de densité routière ou de longueur de cours d'eau peuvent être faux si la couche n'est pas complète.
  - Les comparaisons entre régions peuvent être biaisées si les données datent de périodes différentes.
  - Les requêtes de proximité (comme les établissements à 5 km d'une autoroute) peuvent donner de faux résultats si la projection n'est pas correcte.
- 

### 4. Pistes d'amélioration

- Utiliser des sources officielles et récentes (ministères, EPN, INS, OSM mis à jour).
  - Créer une fiche métadonnée pour chaque jeu de données (nom, date, source, licence).
  - Corriger les géométries invalides avec PostGIS (ST\_MakeValid).
  - Employer un **système de coordonnées projeté** pour le Maroc (ex. EPSG:26191 – Merchich).
  - Vérifier la cohérence spatiale entre les couches (ex. ST\_Intersects, ST\_Area).
  - Mettre en place des **index spatiaux GiST** pour accélérer les requêtes.
  - Sauvegarder régulièrement la base et les scripts de traitement pour pouvoir refaire les analyses plus tard.
-

## 5. Perspectives

- Ajouter des **données plus détaillées** (communes, parcelles, images satellites).
- Créer un **tableau de bord interactif** (ex. QGIS Web ou GeoServer) pour visualiser les indicateurs.
- Mettre en place une **mise à jour automatique** des données depuis les sites du Ministère.
- Relier la base à des **indicateurs environnementaux** (zones à risque, sécheresse, sols).

### Différence entre DuckDB et Postgis :

Élément	Postgis	Duck DB
Type	Extension spatiale de <b>PostgreSQL</b>	Moteur de base de données <b>analytique</b> (orienté colonnes)
Fonction principale	Gérer et analyser des <b>données géographiques</b> (points, lignes, polygones)	Exécuter des <b>analyses rapides</b> sur de grands volumes de données tabulaires
Utilisation typique	Systèmes d'information géographique (SIG), analyses spatiales, cartographie	Analyses de données, data science, traitement local sans serveur



### Type de données :

	PostGIS	DuckDB
<b>Données principales</b>	Géométriques et géographiques (ex : POINT, POLYGON, LINESTRING)	Numériques, textuelles, catégorielles, mais <b>pas spatiales</b> (ou très limitées)
<b>Format</b>	Supporte SRID, coordonnées, projections, etc.	Travaille avec des formats analytiques : CSV, Parquet, Arrow...

Langage	SQL spatial (basé sur PostgreSQL)	SQL classique optimisé pour l'analyse	
<b>Indexation</b>	Index spatiaux (GiST, SP-GiST, R-tree) Index en mémoire pour requêtes rapides	Index en mémoire pour requêtes rapides	
<b>Requêtes spatiales</b>	Oui (ST_Intersects, ST_Distance, ST_Area, etc.)	Non (pas de fonctions spatiales natives)	
<b>Stockage</b>	Persiste les données sur un serveur PostgreSQL	Fonctionne souvent <b>en mémoire</b> (localement, r	

## **CONCLUSION :**

Ce projet a permis de concevoir et de mettre en œuvre une base de données spatiale intégrant des informations agricoles, routières et hydrographiques pour les régions du Maroc. Grâce à l'utilisation de **PostgreSQL/PostGIS** et QGIS il a été possible de structurer des données provenant de plusieurs sources, de les relier spatialement et d'effectuer des analyses croisées utiles à la planification territoriale.

Malgré certaines limites liées à la qualité, à la mise à jour et à la diversité des formats de données, la démarche a montré l'importance d'une bonne organisation spatiale pour comprendre la répartition des ressources agricoles et des infrastructures. Les requêtes spatiales (densité routière, proximité des établissements, longueur des cours d'eau, etc.) illustrent la puissance des outils SIG et des bases spatiales dans la gestion du territoire.

À l'avenir, il serait intéressant d'intégrer des données plus détaillées et dynamiques, comme des images satellites ou des statistiques récentes, afin d'améliorer la précision des analyses et de permettre un suivi continu de l'évolution agricole. Ce travail constitue ainsi une base solide pour développer des applications géospatiales au service de la planification et du développement durable du secteur agricole au Maroc.