



Université de Toulouse

MASTER 2 GEOMATIQUE

« Sciences Géomatiques en environneMent et Aménagement »
(SIGMA)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

RAPPORT DE STAGE

Développement d'un outil SIG pour la consultation et l'édition de projets éoliens

Martin Lilian



Maître de stage : Léa Simeray

Enseignant-référent : Laurent Jégou

Septembre 2020

RÉSUMÉ

Le bureau d'études électricité du groupe VALOREM prend en charge la conception électrique des centrales et assure leur raccordement aux réseaux publics de transport d'électricité jusqu'à leur mise en service. Le but de mon stage au sein du service Marketing Développement France, a été de développer un outil d'édition et de consultation des projets éoliens ainsi que d'automatisation de la production cartographique pour répondre aux besoins des chargés d'études électricité.

Un projet *QGIS* et une base de données ont été créés visant à centraliser l'information géographique pour analyser plus simplement les enjeux des différents sites, optimiser les méthodes de travail et améliorer certains aspects lors de l'édition des couches. La mise en place de cet outil avait également l'objectif de répondre aux besoins importants en termes de production cartographique.

Dans ce sens, l'élaboration d'une base de données spatiale offre l'avantage de regrouper les diverses entités des parcs éoliens. Ceci simplifie la gestion des données et évite la multiplication des fichiers *shapefiles* pour chaque projet. À partir des différentes tables existantes sur *PostgreSQL*, la création de « vues » et de « *triggers* » permet d'automatiser des actions et de remonter un ensemble d'informations pour les utilisateurs d'une couche donnée.

L'outil permet en outre de générer automatiquement des atlas cartographiques sur *QGIS* en fonction de l'emprise des couches géographiques souhaitées. Par exemple, selon les différentes échelles adaptées aux besoins des exports. Les chargés d'études peuvent ainsi réaliser des cartes rapidement et en autonomie en fonction des diverses demandes.

ABSTRACT

The VALOREM group's electrical design office is in charge of the electrical design of the power plants. It ensures their connection to the public electricity transmission networks until they are put into service. The purpose of my internship in the Marketing Development France department, was to develop a tool for editing and consulting wind projects to meet the needs of the electricity design engineers.

A *QGIS* project and a database have been created to centralize geographic information. This make it easier to analyze the challenges of different sites, to optimize working methods and to improve some aspects of layer editing. The implementation of this tool has also been done to meet the important needs in map production.

In this way, the development of a spatial database has the advantage of grouping together the various entities of wind farms. This simplifies data management and avoids the multiplication of *shapefiles* for each project. From the different tables available on *PostgreSQL*, the creation of "views" and "triggers" makes it possible to automate actions and report a set of information for users of a given layer.

The tool also helps to automatically generate map atlases on *QGIS* based on the extent of the desired geographic layers. For example, according to the different scales adapted to the needs of exports. This allows the design engineer to produce maps quickly and in autonomy depending on the different requests.

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier ma maîtresse de stage, Léa Simeray, géomaticienne cartographe au sein du service Marketing Développement France, pour son accompagnement tout au long du stage, ses conseils, sa disponibilité, ses compétences et son aide qui m'aura été extrêmement enrichissant pendant cette mission.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de l'équipe du service Marketing Développement France pour l'accueil chaleureux et l'ambiance agréable au bureau durant ce stage.

Je remercie également Benjamin Colomer et Corentin Esquirol du bureau d'études électricité pour nos nombreux échanges et pour m'avoir aidé à comprendre leurs méthodes de travail.

Merci également à mon enseignant-référent Laurent Jégou, pour sa disponibilité, ses conseils et pour avoir encadré ce stage, ainsi que l'ensemble de l'équipe du Master SIGMA pour les connaissances et compétences acquises durant cette année.

Enfin, je remercie plus largement VALOREM pour l'accueil et de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ces 6 mois de stage.

SOMMAIRE

Résumé / Abstract.....	3
Remerciements.....	4
Table des figures	6
Liste des abréviations	7
Introduction	8
1. Contexte du stage.....	9
1.1. Présentation du groupe VALOREM.....	9
1.2. Le service Marketing Développement France.....	10
1.3. Les besoins du bureau d'étude électricité.....	11
1.4. Objectifs du stage.....	12
1.5. Organisation du stage	12
2. Les données et méthodes de travail.....	14
2.1. Notions de base de données	14
2.1.1. Définitions et notions	14
2.1.2. Bases de données géographiques	14
2.1.3. Les vues	15
2.1.4. Les triggers	15
2.2. Outils et logiciels utilisés.....	16
2.3. Organisations générales du raccordement électrique des parc éoliens	17
2.4. Les données utilisées	20
3. La création de l'outil	21
3.1. Création d'une base de données géographique.....	21
3.2. Développement des vues et des <i>triggers</i>	23
3.2.1. La caractérisation des types de postes.....	23
3.2.2. Les emprises.....	28
3.3. La mise en place des atlas cartographiques.....	29
4. Résultats.....	33
4.1. La réponse apportée au Bureau d'Étude Electricité	33
4.2. Guide d'utilisation du projet <i>QGIS</i>	355
Conclusion et Perspectives.....	36
Bilan personnel.....	37
Bibliographie	38
Annexes.....	39

Table des figures

Figure 1 : Chiffres clés du groupe VALOREM.....	9
Figure 2 : Localisation des agences VALOREM en France.....	9
Figure 3 : Filiales de VALOREM.....	10
Figure 4 : Diagramme de Gantt de l'organisation du stage.....	13
Figure 5 : Clés primaires et étrangères.....	14
Figure 6 : Emprises des objets géographiques.....	15
Figure 7 : Environnement Client/Serveur.....	17
Figure 8 : Structure de raccordement d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « classique ».....	18
Figure 9 : Structure de raccordement d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « HTA/HTB ».....	19
Figure 10 : Modèle Conceptuel de Données et Modèle Logique de Données	22
Figure 11 : Fonctionnement de la requête pour déterminer le type de poste.....	24
Figure 12 : Traduction de la requête « vue_pdl » pour déterminer le « type » de poste	25
Figure 13 : Définition des postes en fonction des raccordements.....	27
Figure 14 : Emprise d'une ligne.....	28
Figure 15 : Emprises en fonction des versions d'inter-éoliens	28
Figure 16 : Mise en page type.....	29
Figure 17 : Configuration de l'atlas QGIS dans l'onglet Atlas.....	30
Figure 18 : Sélection de la couche de couverture	30
Figure 19 : Configuration du nom de la page	31
Figure 20 : Règle pour filtrer l'affichage des couches.....	31
Figure 21 : Sélection des entités	32
Figure 22 : Atlas généré automatiquement.....	32
Figure 23 : Formulaire de la couche « implantations éoliennes »	344
Figure 24 : Table attributaire « implantations éoliennes »	34

Liste des abréviations

BDD	Base de Données
GRD	Gestionnaire du Réseau de Distribution électrique
GRT	Gestionnaire du Réseau de Transport électrique
GW	Gigawatt
HTA	Haute Tension A
HTB	Haute Tension B
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
kW	Kilowatt
MCD	Modèle Conceptuel de Données
MLD	Modèle Logique de Données
MPD	Modèle Physique de Données
MW	Mégawatt
OGC	Open Geospatial Consortium
PDL	Poste de livraison
RPD	Réseau Public de Distribution d'électricité
RPT	Réseau Public de Transport de l'Electricité
RTBA	Réseau très basse altitude
RTE	Réseau de transport d'électricité
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SIG	Système d'Information Géographique
SQL	Structured Query Language
ZIP	Zone d'implantation potentielle

INTRODUCTION

Le processus de création d'une carte, est souvent long et fastidieux, même lorsqu'on dispose d'un système d'information géographique (SIG). En effet, il faut choisir avec soin la symbologie et la légende, placer de manière lisible les textes et les symboles sur la carte, ce qui rend indispensable la simplification de son contenu. Très tôt, les chercheurs en cartographie ont cherché à utiliser l'informatique pour automatiser les processus de création d'une carte et pour faire de la généralisation cartographique (Mackaness et Fisher 1987). Ces techniques se sont perfectionnées avec les avancées de l'informatique et l'apparition des bases de données géographiques. Les systèmes d'information géographique (SIG), au sens large, permettent de manipuler ces bases de données et d'en faire des cartes en appliquant des symboles cartographiques aux objets.

Le groupe VALOREM, créé en 1994, est un opérateur en énergies vertes qui intervient sur l'intégralité de la chaîne de valeur des énergies renouvelables, du développement à l'exploitation, en passant par la maîtrise d'œuvre et la maintenance. Au sein de cette entreprise, le bureau d'études électricité prend en charge la conception électrique des centrales et assure leur raccordement aux réseaux publics de transport d'électricité jusqu'à leur mise en service. Les chargés d'études doivent éditer les parcs éoliens et produire un nombre conséquent de cartes pour les divers partenaires internes et externes, aux différentes phases des projets. Cependant, l'architecture du système d'information n'est pas adaptée pour une utilisation performante de l'information géographique.

En effet, ne disposant pas de base de données géographique, les chargés d'études doivent à chaque nouveau projet, créer un dossier contenant toutes les couches géographiques des parcs éoliens, ce qui entraîne la multiplication des fichiers *shapefiles*. Etant donnée qu'ils adoptent leurs propres méthodes de travail, cela entraîne une dispersion des couches géographiques, une hétérogénéité dans la saisie des données et une perte de version ou de mise à jour des données rendant difficile leur gestion. La multiplication du nombre de cartes à produire et la recherche fréquente des données dans les différents dossiers est une perte de temps importante pour les chargés d'études. Il faut aussi considérer le fait qu'ils doivent cartographier plusieurs fois certains projets en fonction des variantes d'implantation proposées.

J'ai donc intégré le groupe VALOREM, dans le cadre de mon stage de Master 2 de la formation SIGMA, afin de proposer une solution pour l'édition et la consultation des projets éoliens ainsi que pour l'automatisation de la production cartographique. Ma mission durant ce stage consistait donc à créer une base de données spatiale pour centraliser la donnée géographique, optimiser les méthodes de travail en automatisant un certain nombre d'actions lors de l'édition des couches (géométries, attributs) et à faciliter l'automatisation de la production de cartes par la mise en place d'atlas cartographiques.

Ce rapport présente d'abord le contexte dans lequel a été effectué ce stage, puis décrit les méthodes de travail et les données utilisées. Nous aborderons ensuite la manière dont l'outil a été réalisé, avec la création de la base de données et le traitement de ces données au sein du Système de Gestion de Base de Données (SGBD) *PostgreSQL*. Puis, nous verrons comment elles ont été valorisées dans le logiciel *QGIS* pour permettre la mise en place d'atlas cartographiques. Enfin, la présentation des résultats nous permettra de faire un point sur les avantages qu'apporte ce nouvel outil.

1. CONTEXTE DU STAGE

1.1. Présentation du groupe VALOREM

Créé en 1994 par Jean-Yves Grandidier, VALOREM est un opérateur en énergies renouvelables (éolien, solaire photovoltaïque, hydraulique, énergie marines) dont le siège social est à Bègles en Gironde. Le groupe maîtrise l'ensemble des étapes de ses projets : la recherche de site, la réalisation des études, le financement, la construction du parc, la maintenance et l'exploitation. VALOREM est positionné à la première place en tant que bureau d'études indépendant et il est le quatrième développeur en France en termes de puissance installée.

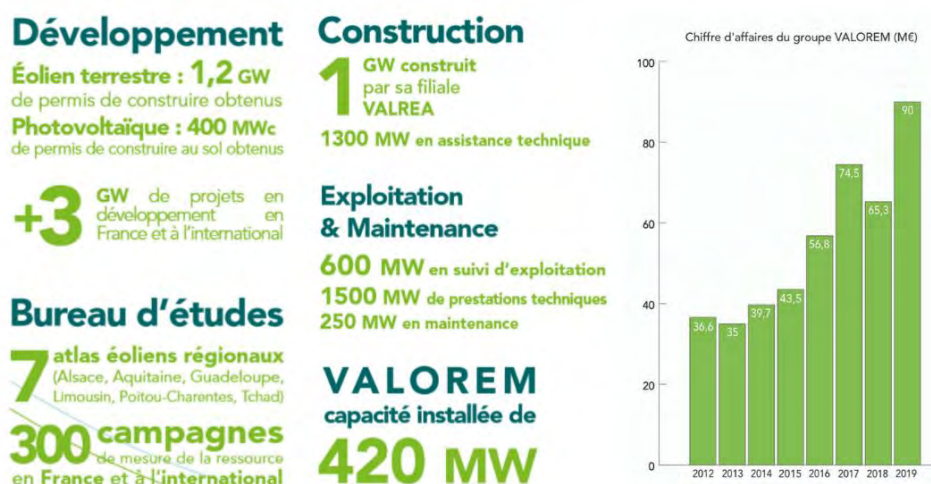


Figure 1 : Chiffres clés du groupe VALOREM (source : VALOREM)

Groupe français indépendant, VALOREM compte plus de 270 salariés. Il est présent en France au travers de ses 7 agences de développement (Bègles, Amiens, Nantes, Carcassonne, Aix-en-Provence, Lyon, Guadeloupe) et ses 3 bases de maintenances situées à Niort, Caen et Reims. Le groupe poursuit également son développement à l'international (Finlande, Grèce, Colombie...).



Figure 2 : Localisation des agences VALOREM en France

En 25 ans, le groupe s'est développé et a diversifié ses activités dans les différentes phases de vie des centrales. Il est composé de filiales spécialisées sur des métiers spécifiques et possède un nombre important d'unités de production (Figure 3). De cette manière, le groupe maîtrise toute la chaîne de valeur des énergies renouvelables. L'organigramme complet de l'entreprise et les activités associées à chacune de ses filiales est fourni en annexe (Annexe 1).

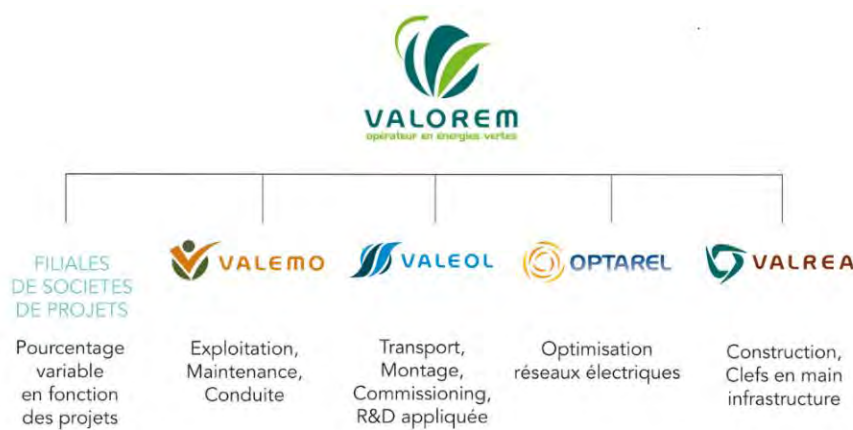


Figure 3 : Filiales de VALOREM

1.2. Le service Marketing Développement France

J'ai intégré, en tant que stagiaire, le service Marketing Développement France qui s'occupe de l'ensemble des activités de prospection et de sécurisation foncière des sites de production d'énergies renouvelables de VALOREM. Ce service a de multiples interactions, à la fois internes avec les autres services du groupe mais aussi externes, avec les partenaires, les élus locaux et les propriétaires fonciers.

Le service Marketing Développement France est organisé autour de deux grands pôles, Nouveaux projets et Sécurisation foncière. Il est composé de 8 salariés aux profils variés :

- Cyrille Gourmelon, responsable du service Marketing Développement France.
- Julien Allant, responsable foncier.
- Thierry Coheleach, Jérôme De La Rue Du Can et Jérôme Miot, chargés de foncier.
- Un responsable nouveaux projets en cours de recrutement.
- Karl Vallet, chargé de prospection.
- Enfin, ma maître de stage Léa Simeray, géomaticienne cartographe a un rôle de support et reste en collaboration étroite avec l'ensemble des entités du groupe.

Dans le cadre de la mission d'accompagnement des services pour l'utilisation des SIG à laquelle répond le poste de Léa Simeray, mon stage consistait donc à aider à mettre en œuvre un outil cartographique pour le bureau d'études électricité.

1.3. Les besoins du bureau d'étude électricité

Le bureau d'études électricité prend en charge la conception électrique des centrales et assure leur raccordement aux réseaux publics de transport d'électricité jusqu'à leur mise en service. Mes interlocuteurs durant ce stage étaient Benjamin Colomer et Corentin Esquirol, techniciens au bureau d'études électricité. Ils travaillent pour les ingénieurs électricité qui eux travaillent avec les chefs de projets sur différentes affaires. Ainsi, ils reçoivent des dossiers envoyés par les techniciens projets des diverses agences de VALOREM et doivent apporter leur expertise. Leurs principales missions consistent donc à assister les ingénieurs électricité dans les diverses tâches (consultation, construction, mise en service, ...), ce qui passe notamment par la réalisation d'études de raccordement pour un projet en phase amont et la réalisation des études des réseaux inter-éoliens.

Ils doivent produire un nombre conséquent de dossiers contenant des cartes à destination des divers partenaires internes et externes. Parmi eux, Enedis, l'opérateur français de réseaux publics de distribution d'électricité et RTE, le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, se mobilisent pour accueillir les nouvelles installations de production d'électricité, tout en garantissant la sécurité du système électrique. Le bureau d'études électricité doit rédiger des dossiers de demande et fournir les différents plans des raccordements des parcs éoliens aux réseaux publics d'électricité. De cette manière, les opérateurs peuvent anticiper les capacités d'accueil sur le réseau et organiser au mieux le raccordement des futurs projets éoliens.

Les chargés d'études, Benjamin Colomer et Corentin Esquirol, doivent également produire des dossiers pour la partie raccordement des études d'impact. L'implantation du projet doit être localisée sur des cartes présentant les composantes du parc éolien afin de prendre en compte les contraintes et potentialités. Une réflexion autour du nombre d'éoliennes et des variantes d'implantation est également réalisée pour mesurer les potentiels impacts sur l'environnement.

Les caractéristiques des éoliennes, l'étude des réseaux éoliens ainsi que la configuration des aménagements connexes sont ainsi considérées et étudiées. Ceci suppose que les chargés d'études définissent différentes versions d'implantations pour un même projet éolien, impliquant la multiplication du nombre de cartes à produire.

Chaque chargé d'études adopte ses propres méthodes de travail, enregistre les projets *QGIS* en local et les différents fichiers dans des dossiers personnels. À chaque nouveau projet ils créent un dossier contenant toutes les couches géographiques des parcs éoliens, ce qui entraîne la multiplication de fichiers *shapefiles* et une perte de mise à jour des données rendant difficile leur gestion. De plus, au moment d'entrer les informations pour les nouvelles entités créées, aucun attribut n'est saisi automatiquement. Les chargés d'études doivent donc compléter chaque champ à l'ouverture des formulaires sans règles de saisies établies, ce qui peut conduire à des erreurs potentielles, des informations disparates entre les couches et une perte de temps importante lors de l'édition sur *QGIS*.

L'ensemble des éléments présentés précédemment nous ont donc amenés à déployer une nouvelle solution pour éditer sur *QGIS*, enregistrer les différentes couches dans une base de données géographique et réaliser les différentes cartes des projets éoliens.

1.4. Objectifs du stage

En se basant sur les besoins du bureau d'études électricité, les chargés d'études, en concertation avec Léa Simeray et moi-même, avons requis la création d'un outil d'édition et de consultation des projets éoliens. Ma mission durant ce stage consistait donc à répondre à trois principaux objectifs.

- Créer une base de données spatiale :
 - Structurer et homogénéiser les données géographiques.
 - Rassembler l'ensemble des entités des projets éoliens dans les mêmes tables.
 - Centraliser et améliorer la gestion des données.
 - Garantir la cohérence et la protection des enregistrements en affectant des droits à chacun sur les différentes couches.
- Optimiser les méthodes de travail lors de l'édition des projets éoliens :
 - Automatiser des actions géométriques lors de l'édition des couches.
 - Saisir automatiquement les champs des couches géographiques.
 - Remonter automatiquement un certain nombre d'informations à l'utilisateur d'une couche donnée.
 - Mettre à jour les données lors de l'ajout d'entités.
- Faciliter l'automatisation de cartes par la mise en place d'atlas cartographique :
 - Automatiser la production de cartes pour les divers partenaires.
 - Générer des cartes en fonction des variantes d'implantations.
 - Prendre en compte les éléments de la charte graphique de VALOREM.

En plus des objectifs fixés durant ce stage, il fallait s'assurer que les chargés d'études puissent se servir au mieux de ce nouvel outil et qu'ils adoptent de la manière la plus optimale les nouvelles méthodes de travail. Il était donc nécessaire de rédiger un aide utilisateur du projet *QGIS* et d'organiser des courtes formations pour leur présenter l'outil et les rendre autonome sur son utilisation.

1.5. Organisation du stage

Pour aboutir à ces objectifs, mon stage s'est déroulé en différentes phases. D'abord une phase d'appropriation pour identifier les différentes attentes, les outils utilisés et les besoins du bureau d'étude électricité. Ensuite, une phase de conception du système d'information et de création de la base de données spatiale, suivie de l'intégration des données sur *PostgreSQL*, permettant le développement des vues et fonctions *triggers*. Par la suite, l'ajout des couches sur *QGIS* et la production des atlas cartographiques. Enfin, la phase de réalisation d'un guide d'utilisation à destination des chargés d'études du service.

Des réunions ont été organisées avec Benjamin Colomer et Corentin Esquirol pour échanger sur leurs méthodes de travail et comprendre leurs différents besoins. Après les différentes phases de développement, il était nécessaire de leur présenter l'état d'avancement de l'outil et apporter des ajustements éventuels.

Des missions diverses m'ont également été confiées tout au long de la période de stage. Il pouvait s'agir de la réalisation de cartes à intégrer dans « Valmap », l'interface Lizmap utilisée par VALOREM pour visualiser les données cartographiques en ligne. Par exemple, une carte des affaires du groupe aux différentes phases de développement afin de centraliser les données et ne pas prospecter à un endroit où il y a déjà un projet éolien. J'ai aussi eu la charge de réaliser de cartes à destination des chargés de projets pour les présentations auprès des partenaires externes. J'ai également créé de nouvelles zones d'implantation potentielle (ZIP) où pourront être envisagées plusieurs variantes d'implantation du projet éolien. Elles sont déterminées par des critères techniques (gisement de vent, pentes, etc...) et règlementaires (éloignement de 500 mètres de toute habitation, Réseau très basse altitude (RTBA), etc...). Enfin, j'ai participé à l'intégration de parcelles dans la base de données géographique de VALOREM, comportant des informations sur les propriétaires et les parcelles consultables sur un projet QGIS.

L'avancée du stage a régulièrement été suivie par ma maître de stage Léa Simeray, ainsi que par échanges de mails fréquents avec mon enseignant-référent Laurent Jégou.

Ci-après, un diagramme de Gantt indiquant la durée des différentes tâches durant la période de stage (Figure 4).



Figure 4 : Diagramme de Gantt de l'organisation du stage

2. LES DONNEES ET METHODES DE TRAVAIL

2.1. Notions de base de données

2.1.1. Définitions et notions

Une base de données est un outil permettant de stocker et de retrouver l'intégralité de données brutes ou d'informations en rapport avec un thème ou une activité. Celles-ci peuvent être de natures différentes et plus ou moins reliées entre elles. Dans la très grande majorité des cas, ces informations sont très structurées, et la base est localisée dans un même lieu et sur un même support qui est souvent informatisé (Ritchie, 2008).

Au sein d'une base de données, les données sont le plus souvent organisées en tables en utilisant un modèle de colonnes et de lignes. Chaque ligne est identifiée par des valeurs qui apparaissent dans une colonne particulière qui est identifiée comme une clé. Dans toutes les bases de données, les tables contiennent des entités (par exemple des communes) qui possèdent un ou plusieurs attributs ou champs (par exemple son code Insee et son nom).

Dans une base de données relationnelle, une association désigne le lien entre deux ou plusieurs entités (par exemple, l'appartenance d'une commune à un département). Une commune appartient à un seul département et un département contient au minimum une commune. On appelle cette caractéristique la cardinalité de l'association, qui permet de quantifier les liens entre les entités. Elle induit l'existence, en plus des clés primaires, des clés étrangères. Une clé primaire est un attribut dont le contenu est différent pour chaque enregistrement de la table, il s'agit de l'identifiant (par exemple le code INSEE pour la ville). Une clé étrangère est un attribut qui contient une référence à la valeur de la clé primaire de l'enregistrement de la table liée (par exemple, le code département du département à laquelle appartient la ville) (Figure5) (Simeray, 2015).

Département		Commune		
Clé primaire	Nom	Clé primaire	Nom	Clé étrangère
31	Haute-Garonne	31555	Toulouse	31
33	Gironde	33063	Bordeaux	33
		33039	Bègles	33

Figure 5 : Clés primaires et étrangères

La création d'une base de données nécessite l'utilisation d'un système de gestion de bases de données (SGBD), qui permet de manipuler et de protéger la structure de la base (nombre de tables, nombre de champs, relations) et les données elles-mêmes (ajout d'un enregistrement, sélection...). Il est ainsi possible d'interroger et d'agir sur une base de données de manière très puissante avec le langage informatique SQL.

2.1.2. Bases de données géographiques

Les bases de données géographiques permettent le stockage et la manipulation des objets spatiaux comme les autres objets de la base de données. Les particularités de ces bases de données sont qu'elles contiennent des types de données spatiales qui représentent les entités géographiques. Dans le cas du SGBD *PostgreSQL*, la géométrie est stockée dans une colonne appelée « geom » qui est le plus souvent de type point, ligne ou polygone. De plus, il est possible d'utiliser l'indexation spatiale pour améliorer les performances d'exécution

des opérations spatiales et pour accéder à un sous-ensemble de données. Cette dernière permet par exemple de trouver un objet géographique dans une étendue spécifique (Figure 6).

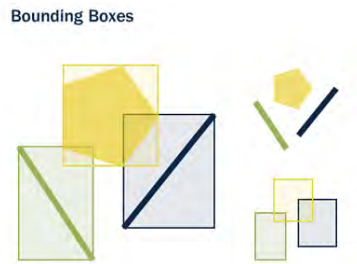


Figure 6 : Emprises des objets géographiques (Source : PostGIS.net)

Enfin, les bases de données spatiales contiennent des fonctions spatiales, au sens SQL, qui sont utilisées pour accéder à des propriétés ou à des relations spatiales. Celle-ci permettent de traiter et d'effectuer des calculs sur les types géométriques comme par exemple, récupérer les propriétés des géométries, comparer deux géométries en respectant leurs relations spatiales ou construire de nouvelles géométries à partir d'autres.

Utilisés de manière combinée, les types de données spatiales, les index et les fonctions fournissent une structure flexible pour optimiser les performances et les analyses (Lelong, 2016).

2.1.3. Les vues

La vue est la représentation d'une requête sous la forme d'une table. Les vues s'actualisent automatiquement à chaque UPDATE, INSERT ou DELETE dans la base de données (Martin, 2017). Concrètement, la base de données stocke la requête qui peut ensuite être appelée (une vue a un nom) et exécutée. Grâce à ce nom, on peut ensuite les utiliser tels des tables dans les requêtes. Partant de ce principe, il est possible de les utiliser comme des couches sur QGIS qui vont automatiser des actions au moment de l'édition et renvoyer les informations correspondantes dans la table attributaire. Elles permettent ainsi de travailler en dynamique car la vue est recalculée en temps réel.

Étant une requête, la vue n'affiche que les informations souhaitées. Elle permet ainsi d'extraire des données choisies en réalisant des requêtes spatiales ou attributaires en SQL, grâce aux fonctions spatiales sur PostGIS, qui vont être stockées dans des colonnes et réutilisées très facilement. Il est également possible de masquer des données non souhaitées de tables par exemple. Enfin, les vues présentent l'avantage de ne pas prendre de place car c'est la requête qui est enregistrée, pas le résultat. Ceci peut également présenter un désavantage lorsque les calculs sont lourds et qu'ils traitent une grande quantité de données.

2.1.4. Les triggers

Un *trigger* (déclencheur) spécifie que la base de données doit exécuter automatiquement une fonction donnée chaque fois qu'un certain type d'opération est exécuté. Les fonctions *triggers* peuvent être définies pour s'exécuter avant ou après une

commande INSERT, UPDATE ou DELETE. Cela peut avoir lieu soit une fois par ligne modifiée, soit une fois par expression SQL (Martin, 2017). Les *triggers* permettent ainsi de déclencher l'exécution d'une instruction et de mettre à jour des données lorsqu'une ou plusieurs lignes sont insérées, supprimées ou modifiées sur les tables ou les vues auxquelles ils sont attachés. Ces fonctions sont utiles pour répondre aux besoins de l'outil. En effet, elles permettent de remplir automatiquement les valeurs d'attributs des vues auxquelles elles sont rattachées et donc de mettre à jour automatiquement les couches géographiques lors de l'ajout, la mise à jour ou la suppression d'une entité.

2.2. Outils et logiciels utilisés

Le système de gestion de base de données relationnelles (SGBDR) retenu pour la mise en place de cet outil est *PostgreSQL* (<https://www.postgresql.org/>), complété par son cartouche spatial *PostGIS* (<https://postgis.net/>). Ces solutions sont développées dans le respect des standards de l'Open Geospatial Consortium (OGC), un organisme de normalisation qui se charge de standardiser et structurer la manière dont les données géographiques sont stockées, échangées et utilisées. Elles sont de ce fait très respectueuses du standard SQL. Ce sont des logiciels Open Source, libres et gratuits avec une communauté de développement importante. *PostGIS* confère au SGBD *PostgreSQL* le statut de base de données spatiales en permettant le stockage et la manipulation des objets spatiaux comme les autres objets de la base de données.



Il est possible de définir les droits de chaque utilisateur (lecture, écriture) sur chaque objet de la base de données (tables, vues...). De cette manière, lorsque les données sont importées sur *QGIS* avec le gestionnaire de base de données, certains utilisateurs ont le droit d'éditer les couches pour modifier ou alimenter la base de données spatiale, d'autres ont seulement le droit de consulter les couches géographiques afin d'éviter les mauvaises manipulations et garantir la sécurité des données.

Chaque chargé d'études possède un poste de travail informatique équipé du logiciel *QGIS* (<https://www.qgis.org/fr/site/>). C'est un logiciel libre multiplateforme publié sous licence GPL qui peut interagir avec le SGBD *PostgreSQL*. Son utilisation est également privilégiée par toutes les personnes qui en ont le besoin au sein du groupe VALOREM. Il peut par exemple être utilisé comme outil de base d'aide à la prospection pour analyser plus simplement les enjeux sur les différents sites. Dans le cas du bureau d'études électricité, il est utilisé, entre autres, pour éditer les projets éoliens et réaliser des cartes pour les divers partenaires.



Au vu des besoins exprimés par les chargés d'études, la fonction atlas de *QGIS* répond aux attentes car elle permet d'automatiser la production d'une série de cartes. Son fonctionnement est basé notamment sur la définition d'une couche d'emprises. Après avoir paramétré un modèle de mise en page, cette fonction permet de centrer chaque carte sur l'emprise des entités souhaitées.

Durant ce stage, ces deux logiciels ont donc été privilégiés et utilisés de manière combinée car ils permettent de stocker, gérer, et manipuler des données spatiales dans une base de données relationnelle sur *PostgreSQL* (côté serveur). Sa mise en place est complexe et demande des compétences pour bien paramétrer l'ensemble. Pour ce faire, le bureau informatique gère le système d'information de VALOREM et a donc permis l'installation et la connexion de *PostgreSQL* sur un serveur centralisé. La plupart des géomaticiens de l'entreprise peuvent ainsi en assurer la gestion en tant qu'administrateur. Il est ensuite possible pour les utilisateurs, d'interagir avec ces données et de les utiliser comme couches sur un programme client tel que *QGIS* (côté client) (Figure 7).

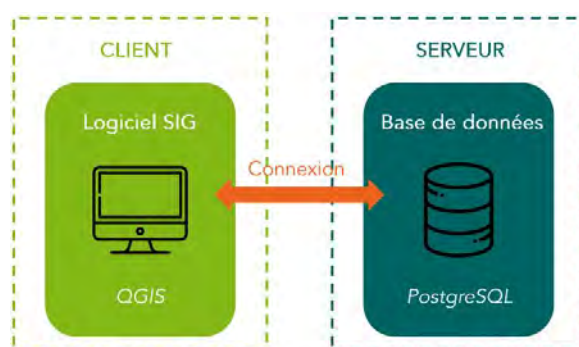


Figure 7 : Environnement Client/Serveur

2.3. Organisations générales du raccordement électrique des parc éoliens

Les parcs éoliens du groupe VALOREM sont des installations de production d'électricité pour le réseau électrique national. Le raccordement électrique d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité (RPD) implique la réalisation d'un certain nombre d'infrastructures (Figure 8 – page suivante). Ces dernières vont par la suite nous aider à prendre en compte tous les éléments à intégrer dans la base de données géographiques pour ensuite les cartographier.

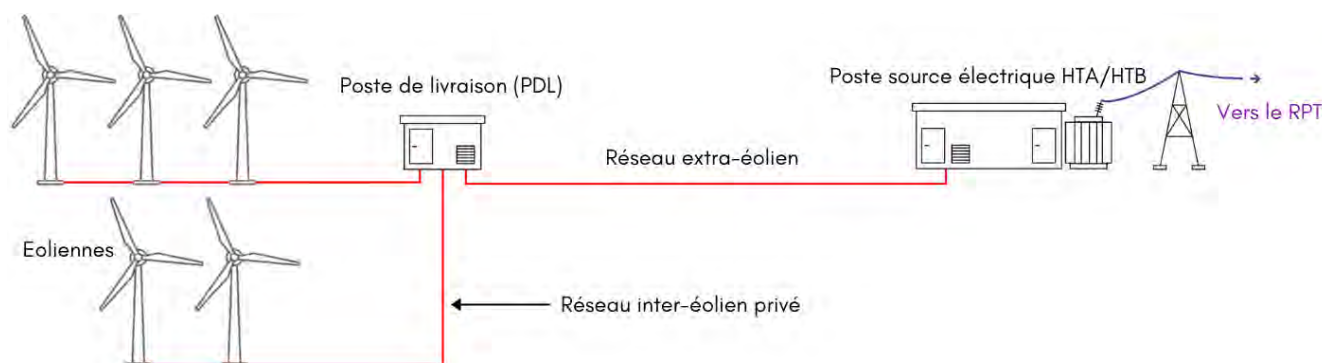


Figure 8 : Structure de raccordement d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « classique »
(Source : VALOREM)

Infrastructures nécessaires au raccordement électrique d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « classique » :

- Le montage des éoliennes.
- L'installation d'un ou plusieurs postes de livraison (PDL). Ils représentent la limite de propriété entre le réseau privé et le Réseau Public de Distribution d'électricité. La conception, la réalisation et le financement sont à la charge du producteur (ex : Valorem).
- Le réseau inter-éolien privé raccorde les unités de production aux postes de livraison. La conception, la réalisation et le financement sont à la charge du producteur.
- Le réseau extra-éolien raccorde les postes de livraison au poste source électrique afin d'être dirigé vers le Réseau Public de Distribution d'électricité. La conception et la réalisation sont à la charge du gestionnaire de réseau (ex : Enedis) mais le financement est à la charge du producteur. L'ouvrage est ensuite rétrocédé au Gestionnaire du Réseau de Distribution électrique (GRD) une fois terminé.
- Le poste source électrique HTA/HTB représente la limite de propriété entre le Réseau Public de Distribution d'électricité et le Réseau Public de Transport d'électricité (RPT). Il transforme la tension HTA (entre 250 kW et 12 MW) en tension HTB (entre 12 MW et 600 MW). L'ensemble de ces postes électriques est la propriété ou la copropriété du Gestionnaire du Réseau de Transport d'Électricité (RTE).

L'ensemble du réseau privé va être intégralement construit dans des zones d'implantations potentielles (ZIP), prédéfinies à l'avance par le producteur du parc (ex : VALOREM). Elles correspondent à l'emprise du projet (éoliennes, réseau inter-éolien, postes de livraison) et à ses aménagements connexes (chemins d'accès, locaux techniques...).

Dans certains cas, lorsque la puissance du projet dépasse 12 MW et qu'il est impossible de raccorder le parc éolien à un Poste RTE, VALOREM doit créer un Poste HTA/HTB producteur. À l'inverse des postes RTE, celui-ci est la propriété du producteur et représente

la limite de propriété avec le réseau public. Le raccordement pour les projets éoliens dits « HTA/HTB » implique la réalisation d'autres infrastructures (Figure 9).

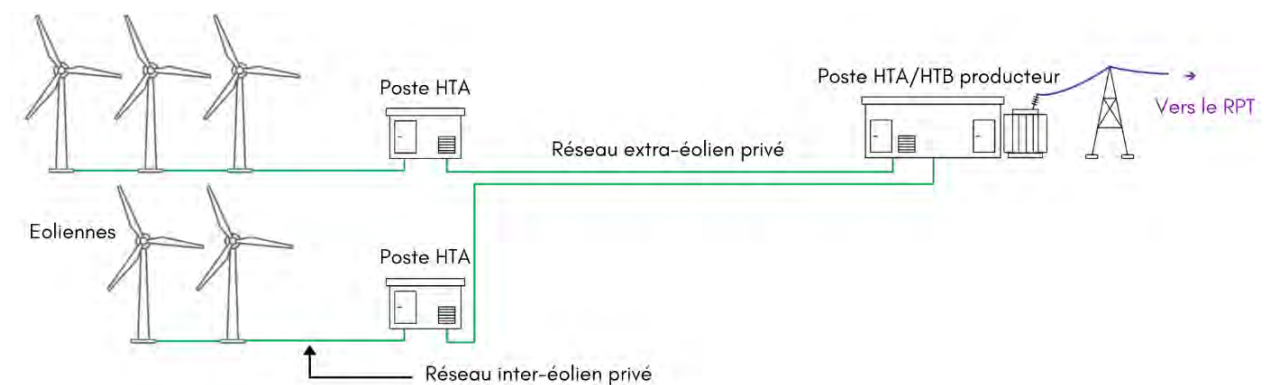


Figure 9 : Structure de raccordement d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « HTA/HTB »
(Source : VALOREM)

Infrastructures nécessaires au raccordement électrique d'un parc éolien au Réseau Public de Distribution d'électricité « HTA/HTB » :

- Le montage des éoliennes.
- Les postes électriques HTA servent d'intermédiaire entre les éoliennes et le Poste HTA/HTB producteur. Il peut y avoir un ou plusieurs postes HTA selon la puissance du projet. La conception, la réalisation et le financement sont à la charge du producteur.
- Le réseau inter-éolien privé raccorde les unités de production aux postes de livraison. La conception, la réalisation et le financement sont à la charge du producteur.
- Le réseau extra-éolien privé raccorde les postes électriques HTA au Poste HTA/HTB producteur. À l'inverse des cas « classiques », la conception, la réalisation et le financement sont à la charge de VALOREM car il est toujours la propriété du producteur une fois que le projet est en exploitation.
- Le poste HTA/HTB producteur représente la limite de propriété entre le réseau privé producteur et le Réseau Public de Transport d'électricité (RPT). Il transforme la tension HTA en tension HTB pour l'injecter sur le RPT. Il a le même rôle que le Poste source électrique HTA/HTB mais il est privé contrairement aux Postes sources RTE.

Dans la majorité des cas, les Postes électriques HTA ne sont pas nécessaires. Par conséquent, le réseau extra-éolien privé raccorde directement les éoliennes au Poste HTA/HTB producteur. Ce dernier comporte le système de comptage de l'énergie produite et consommée contrairement aux projets avec un poste de livraison. La réalisation d'un réseau extra-éolien public doit également être effectuée afin de raccorder le Poste HTA/HTB producteur au RPT.

2.4. Les données utilisées

La liste ci-dessous détaille les données qui ont été créées et utilisées pour la réalisation de l'outil d'édition et de consultation des projets éoliens. Le type d'entités et les attributs de chaque table sont présentés dans la partie suivante par l'intermédiaire du Modèle Conceptuel et Logique de Données. Ces données découlent des éléments essentiels au raccordement électrique d'un parc éolien. Elles deviendront des tables dans la base de données et permettront par la suite, le développement des vues et fonctions *triggers*.

- Les Zones d'Implantations de Projets éolien (ZIP). Elles permettent de centraliser l'accès aux informations du projet (ex : nom affaire) et seront renseignées soit par les techniciens projets des agences, qui s'occupent de prospecter et développer les différents parcs, soit par le bureau d'études électricité.
- Les éoliennes. Elles permettent de regrouper les différentes implantations des éoliennes. Cette donnée regroupe les différentes positions potentielles des éoliennes en fonction des versions envisagées sur un même projet. Il peut par exemple y avoir plusieurs numéros d'éoliennes pour une même version et plusieurs versions d'implantation pour un même projet.
- Les postes de livraison. Cette donnée permet d'enregistrer les différents emplacements des postes de livraison du projet en fonction des diverses versions d'implantation. Elle comprend les PDL HTA, les postes HTA et les postes HTA/HTB producteurs. Nous verrons par la suite comment ces différents types de postes sont déterminées en fonction de leurs raccordements par l'intermédiaire d'une vue.
- Les raccordements inter-éoliens. Ils correspondent aux raccordements des éoliennes entre-elles ou aux postes de livraison. Cette donnée regroupe les différentes versions de raccordement inter-éolien pour un même projet.
- Les raccordements extra-éoliens. Ils correspondent aux raccordements des postes de livraisons aux postes sources. Cette donnée regroupe également plusieurs versions de raccordement extra-éolien pour un même projet.
- Les postes sources (Postes RTE). Ils regroupent les postes électriques de propriété ou copropriété RTE sur l'ensemble du territoire français.

Nous verrons par la suite comment ces données deviendront des tables et seront parfois modifiées par l'intermédiaire de vues et fonctions *triggers*. Le nouvel outil permettra notamment la sélection, l'ajout ou la suppression de champs sur ces tables par la création de vues. Par exemple, l'ajout d'une colonne type pour la table « poste de livraison » pour déterminer le type de poste en fonction du type de raccordement. Elles permettront également de remplir automatiquement les champs créés afin de garantir une contrainte d'unicité entre les différents projets et versions (ex : inter-éolien et extra-éolien).

3. LA CREATION DE L'OUTIL

3.1. Création d'une base de données géographique

La conception d'une base de données spatiale *PostGIS* permet une centralisation pérenne des données produites pour éviter la duplication, la dispersion et la divergence des fichiers contenant des données. Lorsque le volume de données est conséquent et que le nombre d'utilisateurs de ces mêmes informations devient important, il est nécessaire de les stocker dans une base de données.

Dans le cas des projets éoliens du groupe VALOREM, les chargés d'études doivent étudier différents scénarios d'implantation des parcs. Ils répondent notamment à la volonté d'intégrer au mieux le parc éolien dans le paysage tout en tenant compte d'autres critères tels que l'exploitation optimale des potentialités énergétiques de la zone, les données environnementales ou encore les servitudes. Sachant que chaque table doit comprendre respectivement l'ensemble des données des parcs éoliens, elles doivent renseigner le nom du projet et la version d'implantation pour chaque nouvelle entité afin d'étudier les différentes variantes d'un même projet.

Ceci permet ainsi au sein d'un même projet *QGIS* de consulter ou d'éditer l'ensemble de l'information géographique des futurs parcs éoliens et de centraliser dans chaque table, les divers projets ainsi que les différentes versions d'implantation des infrastructures. Par exemple, la table des éoliennes doit comprendre le nom du projet auquel l'éolienne est rattachée, la version d'implantation et le numéro de l'éolienne en fonction de la version.

Pour ce faire, il a fallu créer la base de données « projet » et le schéma « be_elec » sur PostgreSQL afin de contenir les tables, vues et fonctions *triggers*. La saisie et la création des tables s'appuie sur une base de données relationnelle et géographique qui représente le raccordement électrique des parcs éoliens au Réseau Public de Distribution d'électricité.

La conception d'une base de données spatiale implique forcément une réflexion autour de son organisation. C'est la méthode MERISE qui a été utilisée. Elle a été élaborée pour faciliter et homogénéiser les techniques de conception de bases de données et prévoit trois niveaux d'abstractions pour son développement. Le niveau conceptuel, le niveau logique et le niveau physique. Pour ces trois niveaux, des modèles ont été développés afin de construire et structurer une base de données. En premier lieu, le Modèle Conceptuel de Données (MCD) permet de représenter schématiquement les données concernées et leurs liens. Le Modèle Logique de Données (MLD) permet d'organiser les données et les contraintes pour finir par le Modèle Physique de Données (MPD) qui décrit comment les données seront stockées techniquement dans le SGBD.

Le Modèle Conceptuel de Données et le Modèle Logique de Données permettent de visualiser les champs compris dans chacune des tables ainsi que les relations entre elles. La base de données relationnelle obtenue est la suivante (Figure 10).

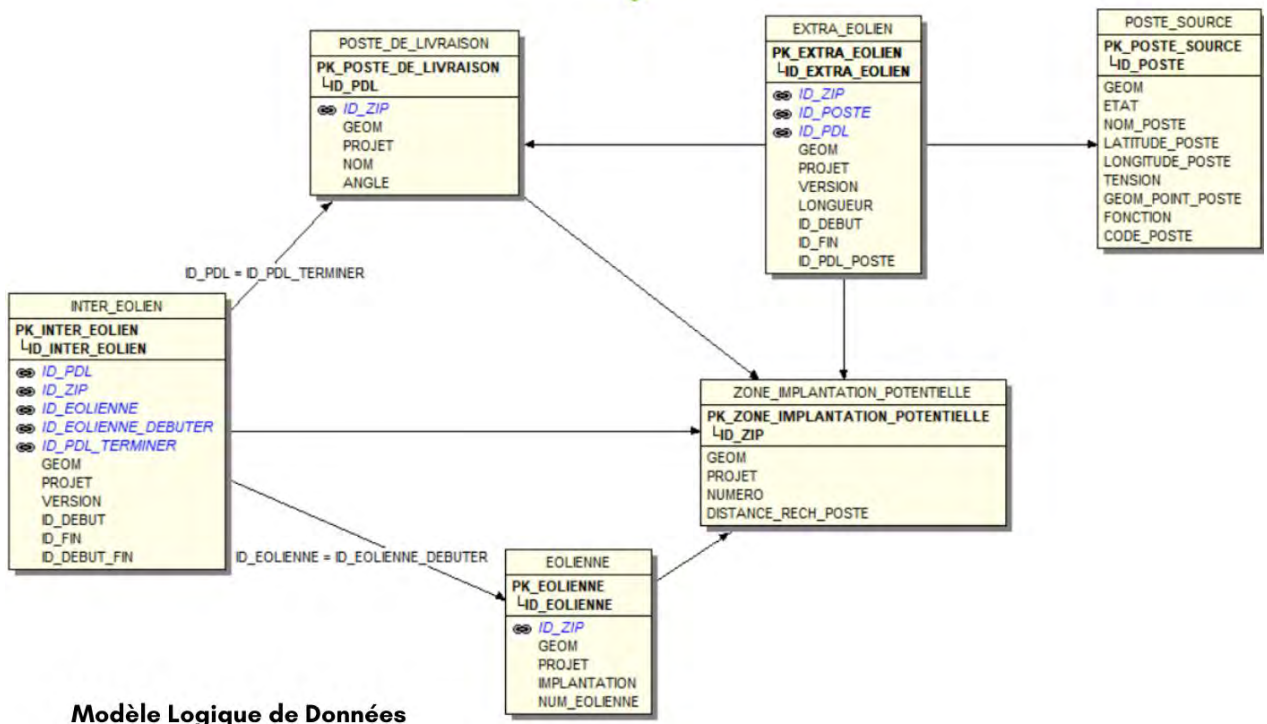
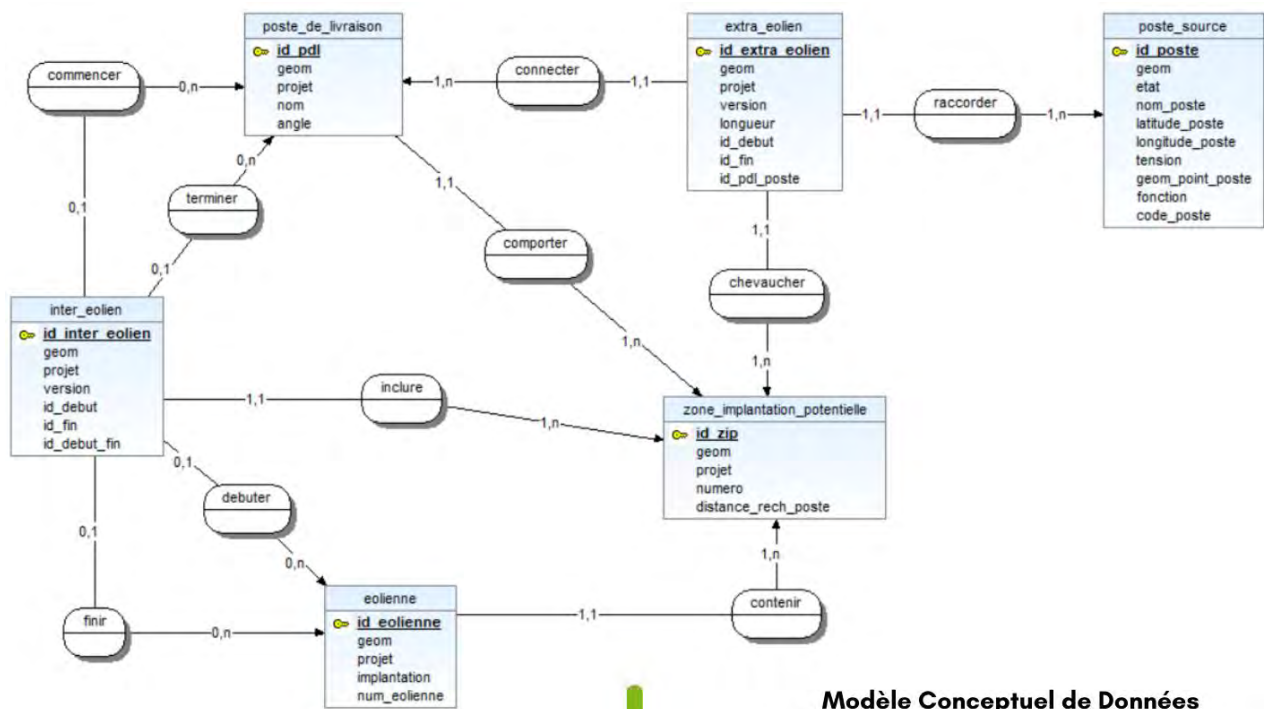


Figure 10 : Modèle Conceptuel de Données et Modèle Logique de Données

3.2. Développement des vues et des *triggers*

À partir des différentes tables, il est possible d'automatiser des actions grâce à des vues et des fonctions *triggers*. Elles permettent notamment de récupérer des informations sur les couches à partir d'autres couches grâce à des requêtes spatiales ou attributaires en langage SQL. Il est également possible de créer des géométries ou des couches grâce aux fonctions spatiales de *PostGIS*. Dans cette partie nous verrons plusieurs exemples de vues et de *triggers* développées pour automatiser des actions lors de l'édition ou l'utilisation des couches sur QGIS. Une liste des différentes vues et fonctions *triggers* développées durant les 6 mois de stage est disponible en annexe (Annexe 2).

3.2.1. La caractérisation des types de postes

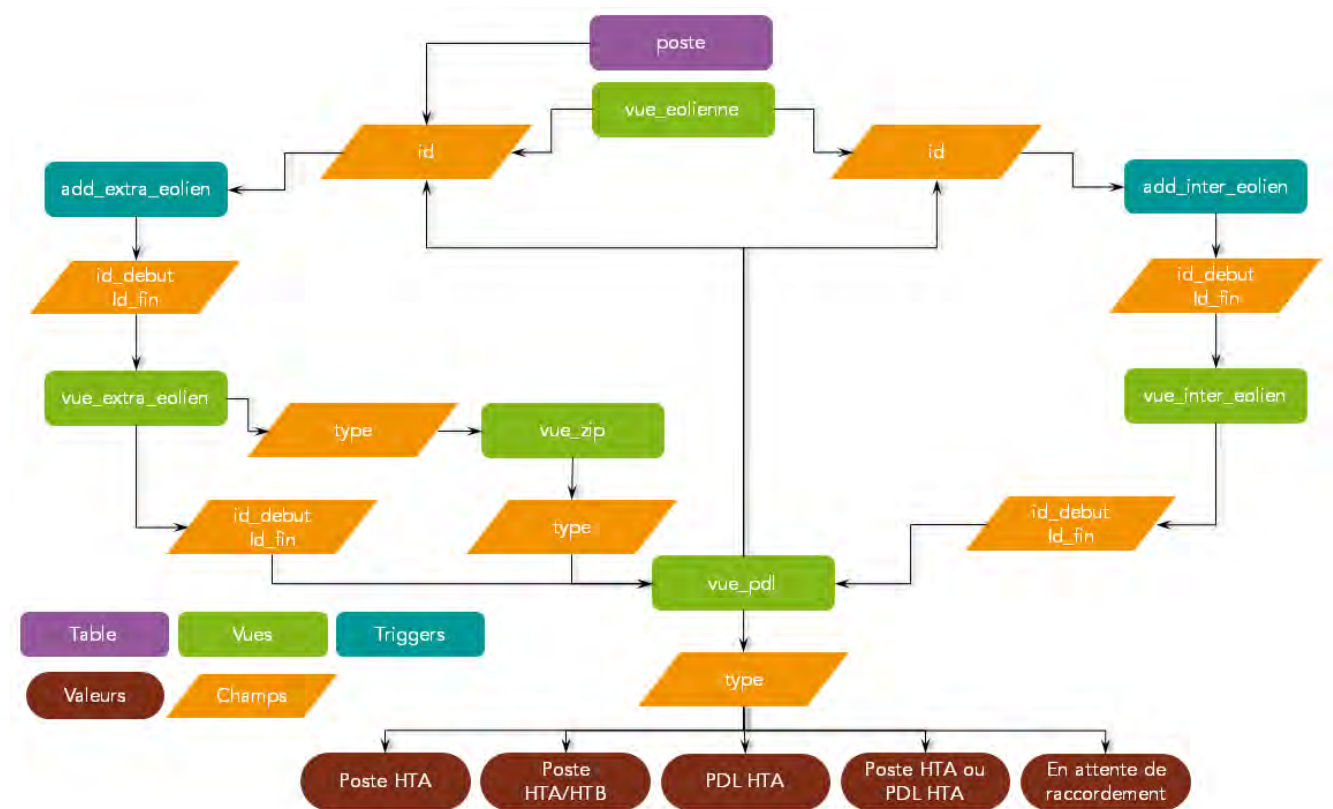
Afin de déterminer le type de poste (Cf. Figure 13 – page 26 - 27), il était nécessaire de mettre en place des vues et fonctions *triggers* par l'intermédiaire de requêtes SQL. Elles sont interdépendantes pour le bon fonctionnement de l'outil et donnent des informations qui vont permettre d'interagir avec d'autres vues ou tables. Par l'intermédiaire des relations qu'elles entretiennent dans la base de données, les valeurs attributaires vont être calculées automatiquement. Pour ce faire, nous avons fait en sorte que les différents postes soient contenus dans une seule vue (« vue_pdl ») et déterminés en fonction du type de raccordement et du type de Zone d'Implantation de Projet (ZIP). Le diagramme de flux (Figure 11 – page suivante) illustre le fonctionnement de la requête pour déterminer le type de poste ainsi que le lien entre les tables, vues et fonctions *triggers*.

Tout d'abord, le trigger « add_extra_eolien », qui se déclenche à l'ajout d'une entité dans la couche « vue_extra_eolien », va récupérer l'id des PDL, des postes et des éoliennes concernés par le raccordement et va remplir automatiquement les champs « id_debut » et « id_fin » de la « vue_extra_eolien ». Ensuite, en fonction des champs « id_debut » et « id_fin », il est possible de déterminer le type d'extra-éolien. S'il est raccordé au début et à la fin par un autre poste c'est un raccordement « HTA/HTB », s'il est raccordé au début ou à la fin à une éolienne c'est également un raccordement « HTA/HTB » dont il s'agit, sinon c'est un raccordement « classique ».

En effet, comme mentionné dans le paragraphe 2.3., nous avons vu qu'il pouvait y avoir deux types de raccordements électriques possibles pour les parcs éoliens. Nous avons donc classé les projets en deux catégories. Ils peuvent être soit « classiques », caractérisés par un raccordement extra-éolien du PDL HTA au poste source RTE, soit « HTA/HTB », déterminés par un raccordement extra-éolien du poste HTA/HTB producteur à un poste HTA ou parfois directement à une éolienne. À partir de ces raccordements, il est donc possible de déterminer le type de ZIP en fonction du type d'extra-éolien pour un même projet.

Pour des raisons d'études de faisabilité, les chargés d'études souhaitaient également avoir la possibilité de raccorder les éoliennes, les postes HTA ou les PDL HTA à la fois à un Poste source RTE et à un Poste HTA/HTB producteur. Il était donc nécessaire de faire en sorte d'avoir des ZIP de type mixte, à la fois « classique » et « HTA/HTB ». Pour ce faire, il a fallu

De cette manière, lorsque l'on obtient le « type » de ZIP, les valeurs des champs «id_debut » et « id_fin » des raccordements inter-éoliens et extra-éoliens, il est possible de déterminer les types de postes contenus dans la « vue_pdl ».



La requête SQL complète de la « vue_pdl » est disponible en annexe (Annexe 3). La traduction de la requête SQL en français (Figure 12) permet de comprendre comment les informations sont obtenues pour définir le champ « type » de la vue. Le type de ZIP va en premier lieu conditionner les types de postes qui peuvent être déterminés. Ensuite le type de raccordement du point et les entités qui se trouvent à l'autre bout de ce même raccordement vont permettre d'identifier précisément le type de poste dont il s'agit. Dans ce cas précis, la requête n'est pas optimisée afin de prendre en compte tous les cas de figures possibles lors de l'ajout d'entités sur QGIS.

Si le type de la ZIP est « *classique* » alors
« *PDL HTA* »

Si le type de la ZIP est « *HTA/HTB* » alors
Si le point est raccordé à un inter-éolien et un extra-éolien alors
« *Poste HTA* »
Si le point est raccordé à un extra-éolien mais pas à un inter-éolien alors
« *Poste HTA/HTB* »
Sinon « *Poste HTA* »

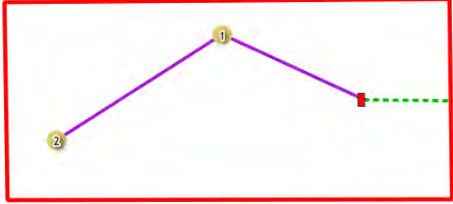
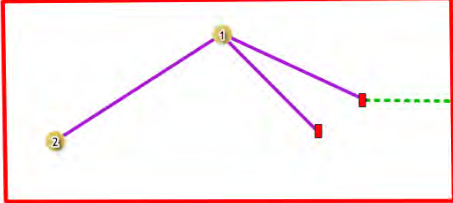
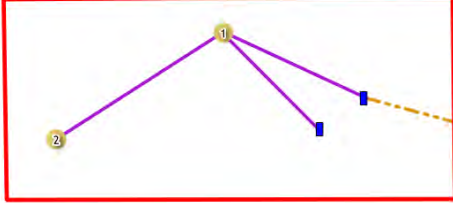
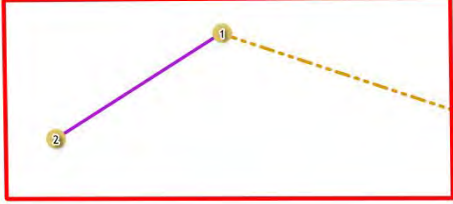
Si le type de la ZIP est à la fois « *classique* » et « *HTA/HTB* » alors
Si le point est raccordé à un inter-éolien alors
Si le point est le début de l'extra-éolien alors
Si le point de fin de ce même extra-éolien est un Poste RTE alors
« *PDL HTA* »
Si le point de fin de ce même extra-éolien est un autre PDL alors
« *Poste HTA* »
Si le point est la fin de l'extra-éolien alors
Si le point de début de ce même extra-éolien est un Poste RTE alors
« *PDL HTA* »
Si le point de début de ce même extra-éolien est un autre PDL alors
« *Poste HTA* »
Sinon « *Poste HTA ou PDL HTA* »

Si le point n'est pas raccordé à un inter-éolien alors
Si le point est le début de l'extra-éolien alors
Si le point de fin de ce même extra-éolien est une éolienne alors
« *Poste HTA/HTB* »
Si le point de fin de ce même extra-éolien est un autre PDL alors
« *Poste HTA/HTB* »
Si le point est la fin de l'extra-éolien alors
Si le point de début de ce même extra-éolien est une éolienne alors
« *Poste HTA/HTB* »
Si le point de début de ce même extra-éolien est un autre PDL alors
« *Poste HTA/HTB* »
Sinon « *Poste HTA ou PDL HTA* »

Si le type de la ZIP est « *NULL* »
Alors « *En attente de raccordement* »

Figure 12 : Traduction de la requête « *vue_pdl* » pour déterminer le « *type* » de poste

À partir des différentes valeurs d'attributs, il est possible de créer différentes couches sur QGIS. Ainsi, les relations entre les classes vont modifier les valeurs des vues qui sont liées au moment de l'ajout ou de la suppression d'entités. Un tableau des différents cas de figures possibles ci-dessous (Figure 13) permet de visualiser comment les types de postes peuvent automatiquement être modifiés en fonction du type de raccordement et du type de ZIP dont ils dépendent.

Type de ZIP	Raccordements	Commentaires
NULL		Les points ne sont pas raccordés. Le type de la ZIP est NULL. Les points sont en attente de raccordement.
Classique		Le point est raccordé à une éolienne et à un poste RTE. Le type de la ZIP est classique. Le point devient un PDL HTA.
Classique		Les points ajoutés dans une ZIP de type 'classique' deviennent des PDL HTA.
HTA/HTB		Les points sont raccordés à une éolienne par un inter-éolien et à un autre point par l'extra-éolien. Le type de la ZIP est HTA/HTB. Les points deviennent des postes HTA et postes HTA/HTB.
HTA/HTB		Pour les projets avec un poste HTA/HTB producteur, le raccordement peut être réalisé directement sur une éolienne avec un extra-éolien. Le type de la ZIP est HTA/HTB. Le

		point devient un poste HTA/HTB.				
Classique et HTA/HTB		Les points sont raccordés par un extra-éolien à un Poste RTE d'une part et d'autre part à un autre point. Le type de la ZIP est classique et HTA/HTB. Les points raccordés à une éolienne par un inter-éolien deviennent poste HTA et PDL HTA en fonction du poste source. Le point seulement raccordé par un extra-éolien à un autre point devient un Poste HTA/HTB.				
Classique et HTA/HTB		Les points ajoutés dans une ZIP mixte, classique et HTA/HTB, qui ne sont pas raccordés à un poste source par un extra-éolien sont indéterminés. Ce seront soit des postes HTA soit des PDL HTA.				
Raccordement des parcs éoliens <table><tr><td>Implantations Zone d'implantation potentielle Éoliennes</td><td>Postes PDL HTA Poste RTE Poste HTA</td><td> Poste HTA/HTB En attente de raccordement Poste HTA ou PDL HTA</td><td>Raccordements Inter-éolien Extra-éolien classique Extra-éolien HTA/HTB</td></tr></table>			Implantations Zone d'implantation potentielle Éoliennes	Postes PDL HTA Poste RTE Poste HTA	Poste HTA/HTB En attente de raccordement Poste HTA ou PDL HTA	Raccordements Inter-éolien Extra-éolien classique Extra-éolien HTA/HTB
Implantations Zone d'implantation potentielle Éoliennes	Postes PDL HTA Poste RTE Poste HTA	Poste HTA/HTB En attente de raccordement Poste HTA ou PDL HTA	Raccordements Inter-éolien Extra-éolien classique Extra-éolien HTA/HTB			

Figure 13 : Définition des postes en fonction des raccordements

3.2.2. Les emprises

Les couches d'emprises permettent de définir les différentes emprises des entités qui doivent apparaître sur les diverses cartes à produire. Il est possible de créer des vues sur *PostGIS* qui peuvent être utilisées comme couche d'emprise sur *QGIS* en créant des polygones qui englobent la totalité d'une entité choisie. L'emprise permet ainsi de définir par la suite l'emprise de la carte en utilisant les valeurs X et Y minimales et maximales d'une entité. Ces vues offrent ainsi la possibilité d'avoir des cartes automatiquement toujours bien centrées sur les entités (Figure 14). De cette manière, à chaque ajout ou suppression d'entités sur une couche qui est liée à une vue d'emprise, une nouvelle emprise est à son tour créée ou supprimée dans la base de données géographique.

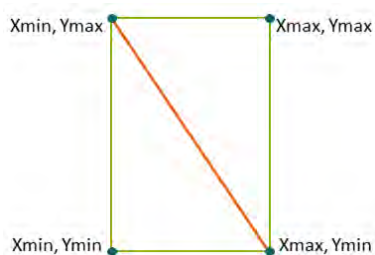


Figure 14 : Emprise d'une ligne

La requête SQL stockée dans la vue « *emprise_inter_eolien* » est disponible en annexe (Annexe 4). Dans cet exemple, la requête permet de sélectionner les valeurs Xmax, Xmin, Ymax et Ymin de chaque entité des raccordements inter-éoliens. A partir de cette sélection, il est possible de créer des polygones en traçant des lignes entre ces points grâce aux fonctions spatiales de *PostGIS* (*st_makepoint*, *st_makeline*, *st_makepolygon*). Enfin, il est possible de regrouper ces emprises (polygones) en fonction du projet et de la version de l'inter-éolien. Par exemple, à chaque ajout de version d'un raccordement inter-éolien sur un même projet, une nouvelle emprise sera créée (Figure 15).



Figure 15 : Emprises en fonction des versions d'inter-éoliens

3.3. La mise en place des atlas cartographiques

Pour les chargés d'études, la mise en page des différentes cartes qu'ils doivent produire est chronophage. Cartographier un territoire peut devenir une corvée surtout lorsqu'il y a une multitude de projets éoliens et de variantes d'implantations potentielles. Par conséquent, l'objectif est d'automatiser la production d'une série de cartes grâce à la fonction atlas sur QGIS. Elle offre la possibilité d'éditer un grand nombre de cartes à la fois, ce qui permet un gain de temps et d'efficacité pour les chargés d'études. De plus, elle permet d'obtenir une cohérence entre les cartes par l'élaboration d'une mise en page au format commun et l'application de la charte graphique de l'entreprise.

Cette partie a pour but de présenter la méthode utilisée pour générer un atlas à partir du composeur d'impression. Il faut d'abord paramétrer les éléments de la mise en page de l'atlas. Ensuite, configurer l'atlas pour choisir les cartes à produire par la suite. Mettre en forme les données en déclarant des variables pour afficher les objets et les attributs géographiques souhaités. Enfin, sélectionner les entités géographiques pour exporter l'atlas.

- **Paramétrage des éléments de la mise en page**

L'objectif des atlas est de cartographier l'ensemble des infrastructures des parcs éoliens en fonction des projets éoliens et des variantes d'implantations. Dans cet exemple, il s'agit d'éditer, sous forme d'atlas cartographique, toutes les cartes nécessaires aux dossiers d'études d'impact, notamment le plan de situation du projet éolien, le plan de l'inter-éolien et le plan de l'extra-éolien. La liste complète des atlas et des cartes à produire durant ce stage est disponible en annexe (Annexe 5).

Tout d'abord, un nouveau modèle de mise en page comprenant les éléments de la charte graphique de VALOREM a été créé afin de garder une homogénéité entre les différentes cartes produites (Figure 16).

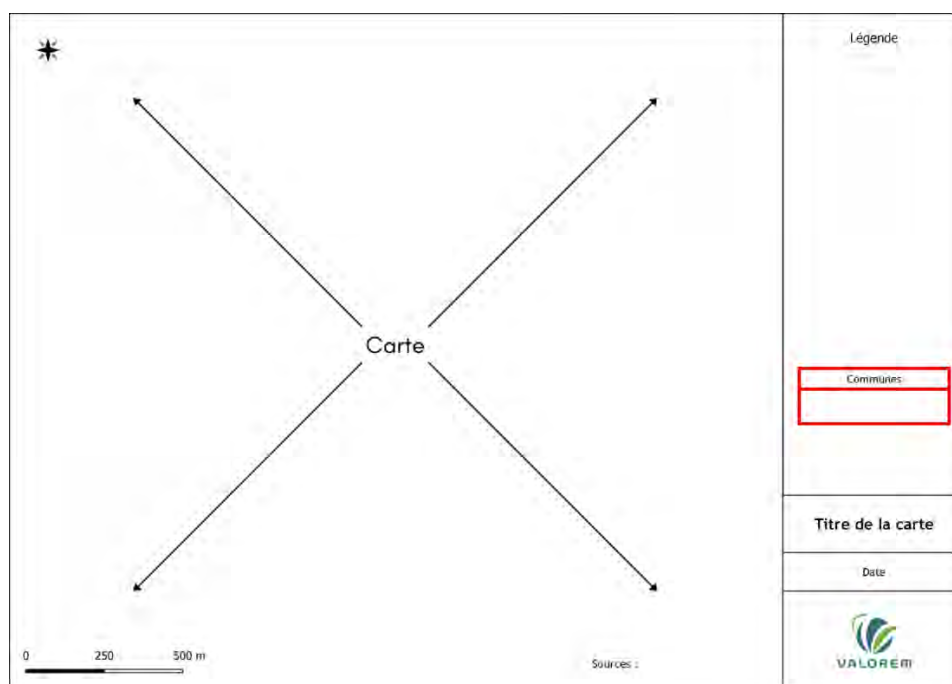


Figure 16 : Mise en page type

- Configuration de l'atlas QGIS

Plusieurs éléments sont importants pour configurer l'atlas QGIS (Figure 17). Dans notre cas, la « couche de couverture », le « nom de la page » et l'option « filtrer avec » sont des éléments essentiels pour paramétrer l'atlas afin de sélectionner les entités qui apparaîtront sur les différentes cartes.

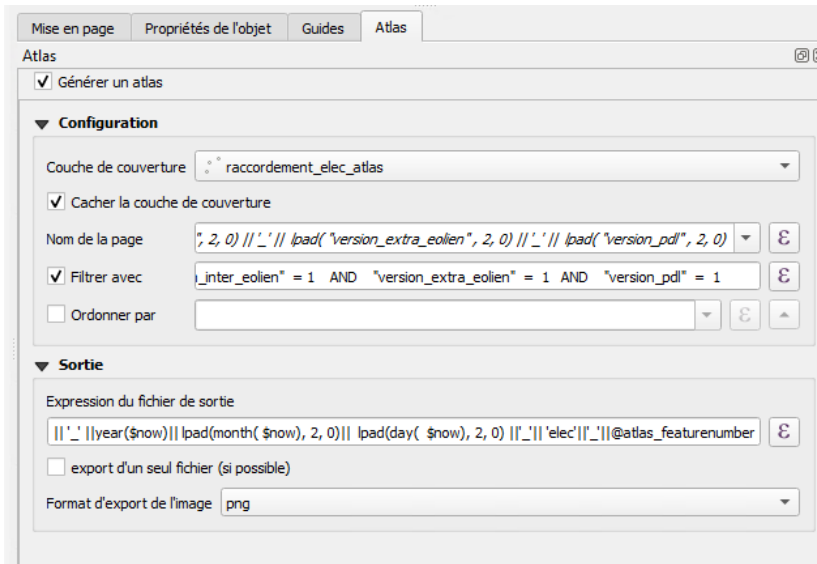


Figure 17 : Configuration de l'atlas QGIS dans l'onglet Atlas

Tout d'abord, la couche de couverture est la couche SIG qui définit les emprises géographiques des cartes produites correspondant à tous les objets géographiques contenus dans cette couche. Dans cet exemple, la couche de couverture est la couche « raccordement_elec_atlas » (Figure 18).

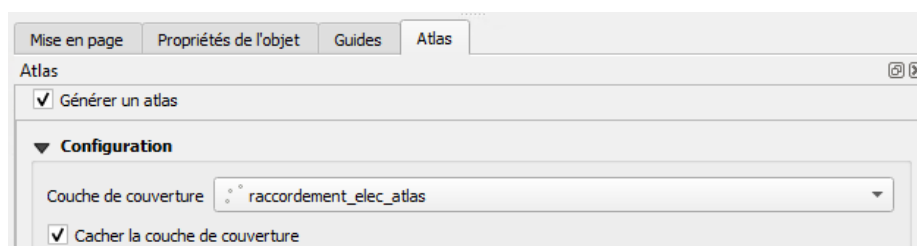


Figure 18 : Sélection de la couche de couverture

Cette couche est une compilation de plusieurs tables ou vues regroupées dans une seule vue. Le code SQL pour développer cette vue est une sélection des emprises des raccordements inter-éoliens, extra-éoliens, des postes de livraison et des ZIP. Il sera ainsi possible de sélectionner les diverses emprises géographiques pour générer les différentes cartes correspondantes.

Ensuite, il était nécessaire de paramétrer le nom de la page en sélectionnant les champs de la couche de couverture qui doivent être pris en compte. L'objectif par la suite, est de produire les différentes cartes en sélectionnant le nom du projet et les différentes versions des infrastructures en fonction de ce nom de page (Figure 19). Dans le cas des études

d'impacts, les chargés d'études doivent avoir la possibilité de choisir le nom du projet, la version d'implantation d'éoliennes, d'inter-éolien, d'extra-éolien et de poste de livraisons.

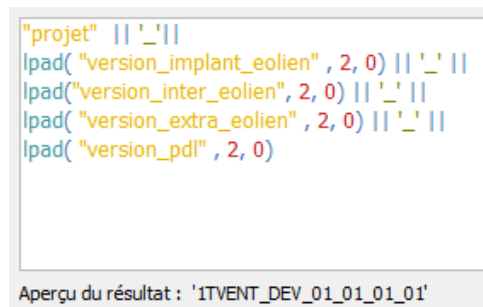


Figure 19 : Configuration du nom de la page

- **Mise en forme des données**

Une fois le nom de la page configuré, il est possible de faire un zoom sur l'étendue géographique de l'entité retenue. Toutefois, pour des raisons de lisibilité, cet objet sélectionné doit être mis en évidence par rapport aux autres entités géographiques. Il fallait donc définir une symbologie pour la couche et paramétrer un ensemble de règles pour la symbologie en utilisant une fonction dédiée aux atlas pour filtrer l'affichage de la couche (Figure 20). De cette manière, l'application de règles de symbologie sur la couche associée aux variables de l'atlas met en évidence sur la carte l'entité géographique sélectionnée. L'expression signifie que lorsque le projet et la version de la couche SIG est identique à celui du nom de la page de l'atlas *QGIS* alors la symbologie est appliquée.

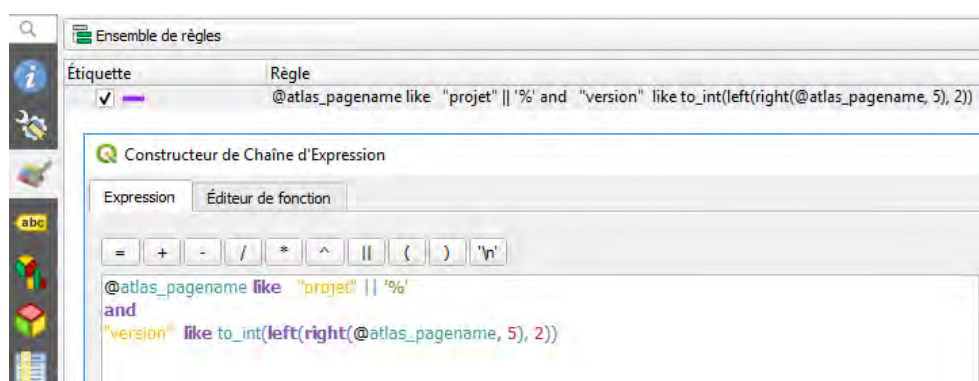


Figure 20 : Règle pour filtrer l'affichage des couches

- **Générer un atlas**

Après avoir configuré les couches qui doivent apparaître sur les différentes cartes, il faut sélectionner les entités retenues pour générer les cartes de l'atlas. L'option « filtrer avec » permet ainsi de choisir les attributs des couches. Les chargés d'études doivent simplement

sélectionner dans le même ordre que le nom de la page, les entités qu'ils souhaitent visualiser sur les différentes cartes à produire (Figure 21).

```
"projet" = '1TVENT_DEV'
AND
"version_implant_eolien" = 1
AND
"version_inter_eolien" = 1
AND
"version_extra_eolien" = 1
AND
"version_pdl" = 1
```

Aperçu du résultat : 1

Figure 21 : Sélection des entités

Après avoir terminé la configuration et le paramétrage de l'Atlas, il est possible de visualiser et d'exporter la mise en page (images, pdf ou svg). Le rendu de l'export avec un nom paramétré pour les fichiers de sortie est disponible dans le dossier préalablement choisi (Figure 22). Un exemple de carte en annexe (Annexe 6).

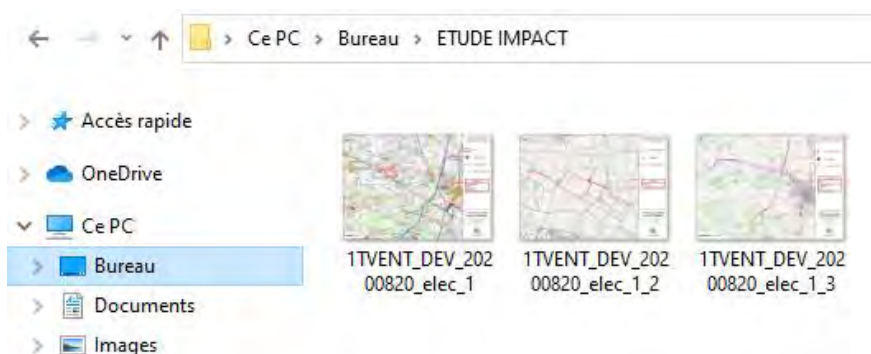


Figure 22 : Atlas généré automatiquement

Grâce à l'outil de mise en page et à la réalisation d'atlas cartographiques pour chaque demande de dossiers, le temps moyen pour générer un atlas est minimisé. En effet, le fait d'organiser les objets spatialisés et de préconfigurer les éléments de l'atlas QGIS optimise le rendu cartographique. Les chargés d'études doivent seulement choisir le nom du projet et la version d'infrastructure qu'ils souhaitent afficher sur les cartes. Ceci permet donc un gain de temps important par rapport à un travail manuel comme précédemment.

4. RESULTATS

4.1. La réponse apportée au Bureau d'Étude Electricité

Les solutions proposées pendant cette mission ont permis de proposer un outil d'édition et de consultation des projets éoliens afin d'automatiser la production de cartes pour le bureau d'études électricité.

Dans un premier temps, cet outil a nécessité la production d'une base de données spatiale pour centraliser les données géographiques. Initialement, chaque chargé d'études avait ses méthodes de travail et utilisait les projets *QGIS*, ainsi que les fichiers *shapefiles* correspondants, dans des dossiers personnels. Ils perdaient donc beaucoup de temps lorsqu'ils souhaitaient retrouver une couche géographique à importer sur *QGIS* pour la consulter ou l'éditer. De plus, il pouvait y avoir des fichiers en double dans les différents dossiers, des règles de saisie différentes lors de l'édition et des pertes versions ou de mises à jour des données.

Cet outil permet donc de centraliser toutes les entités des projets éoliens dans la même base de données. Grâce à une connexion au SGBD *PostgreSQL* par l'intermédiaire de l'interface *QGIS*, l'accès aux jeux de données est beaucoup plus performant. Tous les projets éoliens sont maintenant centralisés dans un même projet *QGIS* et les couches géographiques sont regroupées dans les mêmes tables. De cette manière, lorsque les chargés d'études veulent éditer un nouveau projet éolien et qu'ils enregistrent une nouvelle entité sur une couche géographique, les données sont sauvegardées sur une même table de la base de données. Par exemple, toutes les éoliennes des différents projets éoliens dans la même table « eolienne ».

La création d'une base de données spatiale, associée au développement de vues et fonctions *triggers* sur les couches permet l'automatisation d'un certain nombre d'actions. En effet, l'un des principaux objectifs de l'outil est d'optimiser les méthodes de travail et d'améliorer certains aspects au moment de l'édition des couches sur *QGIS*. Il permet par exemple de déterminer le type de projet éolien ou de poste en fonction du type de raccordement (Cf. paragraphe 3.2.1.).

L'outil se charge également de remplir automatiquement les champs des couches par l'intermédiaire de requêtes spatiales ou attributaires. La mise en place de formulaires sur *QGIS*, permet au chargé d'études de saisir le moins de valeurs possible afin d'éviter les erreurs et les pertes de temps importantes. La mise en place de contraintes de saisie permet également de garder une concordance entre les différents enregistrements.

Par exemple, dans le formulaire de saisie de la couche « implantations éoliennes » (Figure 23 – page suivante), les chargés d'études doivent seulement renseigner la version d'implantation et le numéro de l'éolienne.

Figure 23 : Formulaire de la couche "implantations éoliennes"

Dans la table attributaire de la même couche, l'identifiant de chaque éolienne, le nom du projet dans lequel elles sont implantées, les coordonnées X et Y en Lambert 93 et Lambert 2 étendu ainsi que les coordonnées degrés, minutes, secondes (DMS) en WGS 84 sont saisies automatiquement lors de l'enregistrement des entités (Figure 24).

	id	Projet	Version d'implantation	Numéro d'éolienne	X	Y	WGS	X	Y
1	TEST_02_03	TEST	2	3	404580	6510516	45°37'49.12" ...	355998	2074854
2	TEST_02_02	TEST	2	2	403270	6510251	45°37'38.49" ...	354688	2074578
3	TEST_02_01	TEST	2	1	401772	6510001	45°37'28.05" ...	353191	2074316
4	TEST_01_03	TEST	1	3	404487	6512014	45°38'37.48" ...	355892	2076353
5	TEST_01_02	TEST	1	2	403176	6511749	45°38'26.84" ...	354582	2076077
6	TEST_01_01	TEST	1	1	401649	6511591	45°38'19.35" ...	353055	2075907

Figure 24 : Table attributaire « implantations éoliennes »

Concernant la production cartographique, les chargés d'études ont maintenant à disposition 5 atlas (Annexe 5) permettant l'automatisation d'une dizaine de cartes à destination des divers partenaires internes et externes. Dans chacun de ces atlas, ils peuvent exporter plusieurs cartes automatiquement à différentes échelles.

C'est grâce à la fonction atlas du logiciel *QGIS*, qu'ils peuvent maintenant générer automatiquement plusieurs cartes rapidement. Le temps moyen pour l'export d'un atlas varie de 2 à 10 minutes environ en fonction du nombre de cartes contenues dans les atlas ou en fonction des changements éventuels à prévoir. En effet, dans certains cas exceptionnels les chargés d'études doivent ajouter des couches sur les cartes, ce qui peut allonger la durée de configuration de la mise en page. Parfois l'ajout d'une infrastructure propre à un projet éolien est nécessaire pour répondre à des demandes particulières en interne (ex : plateformes, accès à créer). Lorsque les cartes sont déjà paramétrées, les couches sont verrouillées ce qui bloque un ajout ou une suppression de couche éventuelle sur l'objet carte. De ce fait, ajouter les couches à la mise en page et reconfigurer la carte est un travail supplémentaire pour les chargés d'études afin d'exporter les atlas.

En règle générale, étant donné que pour chaque atlas, les mises en page sont déjà paramétrées, avec la configuration du choix de la couche de couverture, du nom de la page et des règles de symbologie pour filtrer l'affichage des couches, le temps moyen pour générer un atlas est optimisé. En effet, les chargés d'études ont seulement besoin de saisir le nom du

projet et les différentes versions d'implantations dans l'option « filtrer avec » pour afficher les entités qu'ils souhaitent sur les cartes. Ceci permet un gain de temps important par rapport à un travail manuel où rien n'était préconfiguré à l'avance.

4.2. Guide d'utilisation du projet QGIS

Un guide d'utilisation du projet QGIS a également été rédigé à l'attention des chargés d'études pour les aider à prendre en main le logiciel et à générer les différents atlas dans le composeur d'impression. L'objet de ce document est de présenter l'outil QGIS pour les accompagner dans les différentes phases de traitement et d'utilisation du projet afin qu'ils soient autonomes. Il s'articule en trois parties, d'abord une présentation de l'ensemble des données ainsi que les éléments utiles à la consultation et l'édition des projets éoliens. Puis une présentation des différentes couches que les chargés d'études sont amenés à utiliser. Cette partie a pour but de montrer les différentes phases d'édition des couches et les particularités de chacune d'entre elles lors de l'enregistrement (automatisation d'actions sur QGIS grâce aux vues et fonctions *triggers*). En effet, cette démonstration est importante car il est parfois nécessaire de suivre le bon ordre d'édition des couches pour un projet éolien car elles sont interdépendantes. Enfin, la dernière partie est une démonstration de la méthode à suivre pour générer un atlas dans le composeur d'impression et des potentiels ajouts de couches sur les cartes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Après 6 mois de stage au sein du groupe VALOREM, l'ensemble des objectifs ont été menés à bien, afin de satisfaire les demandes des membres du bureau d'études électricité. En effet, il répond aux besoins en termes de système de stockage des données, d'assistance pour l'édition des couches géographiques et d'automatisation de la production cartographique. Le principal avantage de la migration des données vers une base de données est la réduction de l'abondance des fichiers. Les données géographiques sont centralisées dans une même base de données spatiale et les entités sont maintenant stockées qu'une seule fois dans les différentes tables. Les membres du bureau d'études électricité admettent qu'ils n'auront plus à chercher les multiples fichiers, dispersés dans les différents dossiers.

Les chargés d'études ont maintenant à disposition un outil qui les accompagne et les assiste pour l'édition des couches géographiques. En effet, le développement de vues et fonctions *triggers*, par l'intermédiaire du SGBD *PostgreSQL*, offre la possibilité d'automatiser un certain nombre d'actions lors de l'édition des couches sur *QGIS*. Ceci permet d'obtenir une concordance entre les différents enregistrements, ainsi que d'éviter les erreurs et les pertes de temps importantes lors de la saisie des attributs.

Concernant l'automatisation de la production cartographique, la mise en place d'atlas *QGIS* permet de réaliser des cartes rapidement, de gagner en efficacité et de garder une certaine homogénéité entre les différents exports. Les chargés d'études n'ont plus à réaliser manuellement chaque carte comme c'était le cas précédemment. Le temps libéré par cette production automatique leur permettra de se concentrer sur d'autres aspects de leur travail.

Cependant, l'outil peut parfois se montrer assez restrictif car il contraint les chargés d'études à adopter une méthode de travail imposée. Cela peut donc constituer un frein pour faire en sorte qu'ils adoptent ces nouvelles méthodes car ils n'ont plus la liberté d'éditer et de stocker la donnée de la manière dont ils le souhaitent. Certains peuvent également être réticents à l'idée de faire évoluer leurs habitudes et ne peuvent pas forcément adhérer à ces changements. Une phase d'apprentissage et d'appropriation va donc être nécessaire afin qu'ils puissent appréhender l'outil et acquérir de nouvelles compétences.

Un guide d'utilisation de l'outil a été rédigé à l'attention des chargés d'études. Il permet de les accompagner pour prendre en main le logiciel et pour générer les différentes cartes des atlas sur *QGIS*. Etant donné que je ne serai plus présent dans l'entreprise à l'issue du stage, il était également nécessaire d'effectuer une transmission de l'environnement de travail à ma maître de stage Léa Simeray, cartographe géomaticienne, afin qu'elle puisse récupérer l'outil. Ainsi, elle pourra mettre en œuvre les éventuelles évolutions nécessaires à son bon fonctionnement et envisager de possibles retours en arrière. Pour ce faire, il faudra observer son utilisation à long terme ainsi que le ressenti globale des utilisateurs.

Les perspectives d'évolutions au sein du bureau d'études électricité et les différents changements organisationnels permettent d'envisager le développement d'outils similaires, notamment pour l'édition des projets photovoltaïques par exemple. A terme, une utilisation et une migration de ce genre d'outil est également envisageable vers l'interface *Lizmap*. Elle consisterait à regrouper et stocker les différents projets *QGIS*, afin d'éditer directement les parcs éoliens via une interface web.

Bilan personnel

Ce stage de fin d'études réalisé au sein du groupe VALOREM, m'a permis de mobiliser les compétences acquises durant la formation du Master SIGMA. Professionnellement, ces 6 mois ont également été l'occasion d'améliorer beaucoup d'autres compétences techniques. Côté gestion de base de données, j'ai eu l'occasion de m'impliquer dans toutes les phases de conception, d'intégration et de gestion de la base de données spatiale. En prenant en compte l'ensemble des difficultés qui peuvent être rencontrées, il a été nécessaire pour moi de trouver des solutions appropriées. Côté programmation, j'ai pu grandement approfondir mes connaissances du langage SQL. J'ai eu l'occasion de réaliser de multiples requêtes SQL, parfois très complexes, afin d'interroger et d'interagir avec les données. Cela m'a donné un sens de la rigueur et de la persévérance afin de trouver une façon efficace de résoudre les problèmes posés par le dysfonctionnement d'une requête.

Au vu du contexte sanitaire, j'ai eu seulement 2 semaines dans l'entreprise pour prendre mes marques en début de stage. Le télétravail étant imposé, cela m'a également permis de gagner en autonomie et d'adapter ma gestion du temps de travail.

Associer la géomatique au domaine des énergies renouvelable m'a permis de voir comment un système d'information géographique (SIG), devient un puissant outil d'analyse qui permet d'évaluer le potentiel en énergies renouvelables d'un territoire et de concevoir des projets d'installations. Dans le cadre de ma mission, ce stage m'a donné l'opportunité d'avoir une expérience dans la création d'outils cartographiques et l'aide à la réalisation du raccordement des projets éoliens.

Ce stage aura aussi été très enrichissant humainement. Bien qu'ayant réalisé la moitié de mon stage en télétravail (3 mois), ma maître de stage Léa Simeray, ainsi que les chargés d'études ont toujours su être à l'écoute de mes besoins lorsque cela était nécessaire et m'ont toujours accompagnés pour réussir mes missions. Effectuer ce stage dans un groupe qui intervient sur toute la chaîne de valeur des centrales, de la prospection à la maintenance en passant par la construction, m'a également permis de travailler avec des personnes aux profils variés et de découvrir différents domaines d'activités au sein de l'entreprise.

Il a également été agréable d'effectuer ce stage dans une entreprise où l'environnement de travail participe à construire un avenir énergétique durable. Le groupe met à la disposition des salariés, une Amap exclusivement réservée à la société VALOREM et le versement d'indemnités kilométriques vélo pour les déplacements domicile-travail.

Bibliographie

Bergougnoux, P. (2019). *Modélisation Conceptuelle de Données - Une Démarche Pragmatique*. Bergougnoux Pat. 320p.

Delahaye, F. (2020). *ATLAS QGIS : Création de cartes, Échelle, Filtre et Export*. Geomatick. <https://www.geomatick.com/2020/01/27/atlas-qgis-creation-de-cartes-echelle-filtre-et-export/>

Lelong, C. (2016, septembre). *Bases de données spatiales PostgreSQL/PostGIS* [Diapositives]. https://ocw.un-ihe.org/pluginfile.php/4035/mod_folder/content/0/Geobase.pdf?forcedownload=1

Martin, C. (2017, novembre). *Les objets postgresQL* [Diapositives]. http://rdd.cnrs.fr/IMG/pdf/presentation_objets.pdf?337/f04fda438f3c328d00666ee1b01c3e6289307cde

Mackaness A. et Fisher P. (1987). *Automatic Recognition and Resolution of Spatial Conflicts in Cartographic Symbolisation*. Proceedings of Auto-Carto 8. 709-718

Mericskay, B. (2016). *Production d'un atlas cartographique avec QGIS 2.14* [Diapositives]. https://www.academia.edu/10365940/Atlas_sous_QGIS_2_14

Ritchie, C. (2008). *Database Principles and Design* (3^e édition). Cengage Learning EMEA. 416p.

Simeray, L. (2015). *Mise en place d'une application partagée de saisie des opérations sur les rivières* [Mémoire de stage]. <http://eprints2.insa-strasbourg.fr/1873/>

Touya, G. (2017). *Vers l'automatisation de la production de cartes*. Informatique [cs]. Université Paris Est.