



Université de Toulouse

MASTER 2 GEOMATIQUE

« **Sciences Géomatiques en environneMent et Aménagement** » (**SIGMA**)

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

RAPPORT DE STAGE

Création d'une base de données et d'un outil cartographique mobile pour gérer la récolte de résidus de cultures destinés à la méthanisation.

TRONC-LAURES Anne-Sophie

SAS PROSEM

atesyn

Plateforme
d'ingénierie
environnementale

Maître de stage : Francis GOUZY - ATESyn

Enseignant-référent : Guillaume SUEUR

Septembre 2020

Résumé

La méthanisation est une énergie renouvelable qui permet la production de biogaz à partir de matière organique. Le projet Biogaz Basse Ariège consiste en la création d'une unité de méthanisation pour transformer des déchets de la production agricole, en particulier des résidus de culture de la production de semences de maïs. La société PROSEM est chargée d'organiser la récolte de ce gisement, le bureau d'étude ATESyn les accompagne dans cette mission. L'objectif du stage est de construire un outil géomatique pour aider PROSEM dans la rationalisation et l'optimisation de la récolte. Un jeu de données « test » a permis de construire sur Qgis une première cartographie des parcelles « à récolter ». L'organisation de la récolte a été modélisée dans une base de données PostgreSQL / PostGIS, allant de l'exploitation agricole concernée jusqu'au transport à l'unité de méthanisation. Puis, une analyse des différentes solutions mobiles a conduit vers le choix de l'application Qfield, pour saisir les parcelles, les visualiser et compléter un formulaire sur le terrain. Enfin, la création d'une page internet avec l'API Leaflet permettra de visualiser la cartographie et les résultats quantifiés de la récolte de l'année. Ces différents éléments qui doivent encore évoluer, notamment pour une meilleure prise en main par les utilisateurs, constitueront des outils d'aide à la décision pour organiser la récolte et pourront être complétés pour accompagner l'organisation de l'épandage du digestat, produit résiduel de la méthanisation.

Abstract

Methanization is a renewable energy that allows the production of biogas from organic matter. The project Biogaz Basse Ariège consists in the creation of a methanisation unit to transform waste from agricultural production, in particular crop residues from the production of corn seeds. The PROSEM company is in charge of organizing the harvesting of this deposit, the ATESyn engineering and design department accompanies them in this mission. The objective of the internship is to build a geomatic tool to help PROSEM in the rationalization and optimization of the harvest. A "test" dataset allowed to build on Qgis a first cartography of the plots "to be harvested". The organization of the harvest was modeled in a PostgreSQL / PostGIS database, from the farm concerned to the transport to the methanization unit. Then, an analysis of the different mobile solutions led to the choice of the Qfield application, to enter the plots, visualize them and complete a form in the field. Finally, the creation of a web page with the Leaflet API will allow to visualize the cartography and the quantified results of the year's harvest. These various elements, which have yet to be developed, particularly for better user handling, will be decision support tools for organizing the harvest and can be completed to support the organization of the spreading of digestate, the residual product of methanation.

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier ma famille qui, par son soutien et son implication, m'a permis de réaliser cette année de formation, études et stage.

Je remercie l'équipe d'ATESyn pour le suivi réalisé au cours du stage, mon maître de stage Francis Gouzy et la directrice d'ATESyn Sophie Privat. Je remercie Mathilde Castillon pour les échanges réguliers que nous avons eus pendant toute cette période. Je remercie toute l'équipe d'avoir maintenu le suivi au cours du confinement.

Je remercie les responsables de PROSEM du temps qu'ils m'ont accordé pour m'expliquer le fonctionnement sur le terrain, répondre à toutes mes questions et faire un retour sur les outils géomatiques proposés. En particulier, je remercie Franck Walleim, responsable de la récolte et Jean Mistou, le président de PROSEM.

Je remercie Guillaume Sueur, mon tuteur du master, pour le suivi réalisé et s'être rendu disponible pour répondre à toutes mes questions.

Je remercie l'ensemble de l'équipe pédagogique du master pour la richesse et la qualité de la formation et pour sa disponibilité au cours du stage.

Je remercie les membres de la promotion SIGMA 2019/2020 pour leur esprit d'entraide et de coopération permanent.

Table des matières

Résumé.....	2
Abstract	2
Remerciements.....	3
Table des figures.....	6
Introduction :.....	7
I) Contexte : Un projet innovant de méthanisation de déchets agricoles.	8
A. Contexte du stage :	8
1) Définitions préalables : méthanisation et culture de maïs semence.	8
2) Présentation du projet Biogaz Basse Ariège : de la collecte à l'épandage.	10
3) Les structures encadrantes du stage : PROSEM et ATESyn	14
B. Problématique du stage et organisation du travail :	15
1) Problématique du stage	15
2) Organisation du travail.....	15
II) Acquisition de données, cartographie et calcul d'itinéraires.	16
A. Analyse des besoins et problématique :.....	16
B. Des données « tests » pour la cartographie et le calcul d'itinéraires.	17
1) Les données issues du Registre Parcellaire Graphique.....	17
2) Les données issues du Plan d'Epandage et de l'étude logistique.....	17
3) Cartographies des parcelles de maïs.....	18
C. Collecte des données de terrain 2020.	19
D. Calcul d'itinéraires des parcelles aux plateformes :	20
1) Objectifs	20
2) Réseau routier.....	21
3) Calcul d'itinéraires et affectation des parcelles aux plateformes.....	21
E. Conclusions et perspectives.....	24
III) Construction de la base de données « récolte ».	26
A. Organisation de la récolte et Modèle Conceptuel de Données (MCD)	26
1) Description de l'organisation de la récolte.	26
2) Modèle Conceptuel de Données.....	27
B. Base de données PostgreSQL : création et spécificités.	29
1) Choix techniques et création de la base.	29
2) Adaptations de la base de données pour le formulaire sur Smart-Phone.	30
3) Indexation.....	30

C. Requêtes et résultats.....	32
D. Conclusions et perspectives.....	34
IV) Un outil mobile adapté aux besoins du terrain.....	35
A. Analyse des besoins :	35
B. Analyse comparative des différentes solutions de SIG mobile et choix technique.	35
C. Création du formulaire et de l'outil mobile.....	36
1) Choix des fonds de carte :	36
2) Création du formulaire sur Qgis.....	37
3) Préparation et création du projet pour Qfield.....	38
D. Synchronisation et création de versions.....	40
1) Objectifs	40
2) Recherches	40
3) Installation et test de SyncThing	41
4) Utilisation d'Ogr2Ogr	41
E. Conclusions et perspectives.....	42
V) La prise en main par les utilisateurs : création d'une page web.	43
A. Construction d'une page Web pour afficher les résultats.....	43
1) Choix techniques	43
2) Création de flux WFS avec Géoserver	43
3) Code et affichage de la page Web	44
4) Problèmes de CORS et configuration d'un proxy.....	46
B. Conclusions et perspectives.....	47
Conclusion	48
Bibliographie :.....	49
Webographie :	49

Table des figures

Figure 1 : Schéma du processus de méthanisation (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture, s.d.).....	8
Figure 2 : Photo d'une parcelle de maïs à Saverdun (Ariège).....	9
Figure 3 : Carte de localisation de l'unité Biogaz Basse Ariège.	11
Figure 4 : Tableau des matières entrantes dans l'unité Biogaz Basse Ariège (ARSEME, L'ARTIFEX, 2017)	12
Figure 5 : Schéma du processus de méthanisation (Arseme, L'Artifex, 2017)	12
Figure 6 : Schéma simplifié de l'approvisionnement et épandage de BBA.	16
Figure 7 : Exemple de cartographie de parcelles de maïs classées par agriculteur	19
Figure 8 : Extrait du fichier des parcelles 2020 transmis par le SPSMS.....	20
Figure 9 : Cartographie des itinéraires entre centroïdes des parcelles de maïs et plateformes de stockage à partir des données du plan d'épandage.	23
Figure 10 : Modèle Conceptuel de Données pour les couches géographiques de la récolte	26
Figure 11 : Modèle Conceptuel de Données de l'organisation de la récolte	28
Figure 12 : Exemple d'une requête et du résultat exporté dans excel.....	33
Figure 13 : Tableau donnant le volume théorique affecté à chaque plateforme (données de la base « recoltemais_test »)	34
Figure 14 : Capture d'écran de la configuration du formulaire sur Qgis.	37
Figure 15 : Capture d'écran du formulaire pour une parcelle saisie.	38
Figure 16 : Configuration des couches du projet pour l'export dans Qfield	39
Figure 17 : Capture d'écran de l'entête du site internet	44
Figure 18 : Capture d'écran de la carte interactive du site internet	45
Figure 19 : Capture d'écran de la page internet (1er tableau)	45
Figure 20 : Capture d'écran du site internet (tableau 2 et 3)	46

Introduction :

Provenant de sources très variées, telles que le soleil, le vent, les marées, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu d'émissions ou de déchets polluants. Parmi celles-ci, le procédé de méthanisation permet la production de biogaz à partir de matières organiques. Le projet Biogaz Basse-Ariège porté par la société ARSEME vise à produire du biogaz qui sera injecté dans le réseau de gaz naturel à partir de déchets agricoles, résidus de culture de maïs et colza, et de lisier en provenance d'élevages laitiers.

La SAS PROSEM est chargée de la collecte du gisement (pieds mâles de maïs et colza) et de l'organisation de l'épandage. ATESyn, plateforme d'ingénierie environnementale, accompagne les sociétés PROSEM et ARSEME dans l'aboutissement du projet de méthanisation.

L'objectif du stage est de créer un outil géomatique pour accompagner le suivi de la récolte afin d'optimiser la gestion technique et économique des flux entrants dans l'unité de méthanisation.

En premier lieu, la construction d'une cartographie des parcelles récoltées, adossée à une base de données reprenant l'ensemble de l'organisation de la collecte, permet à la fois de connaître l'existant (contrats signés par les agriculteurs, parcelles récoltées...) et de faire des calculs (les surfaces récoltées, les quantités, les distances parcourues) qui serviront de base à l'organisation et à la prise de décisions futures.

Pour collecter les données de terrain au moment de la récolte, il est nécessaire que ceux qui la mettent en œuvre, les chauffeurs des machines agricoles, puissent disposer d'une application mobile. Celle-ci permettra de visualiser les parcelles à récolter et d'avoir, pour chacune d'elles, un formulaire à compléter. Ainsi, l'analyse pourra se faire à partir d'éléments les plus précis possibles.

Enfin, pour que les responsables de PROSEM puissent visualiser les résultats, une page internet dédiée à la récolte a été construite avec une cartographie et les résultats des différents calculs.

Ce rapport présente toutes les étapes de construction de l'outil cartographie, base de données, outil mobile et page internet, puis ouvre vers les possibilités de futures améliorations.

I) Contexte : Un projet innovant de méthanisation de déchets agricoles.

A. Contexte du stage :

1) Définitions préalables : méthanisation et culture de maïs semence.

a) Qu'est-ce que la méthanisation ?

La méthanisation est un procédé qui permet la production de biogaz à partir de matière organique, grâce à l'action de différentes bactéries et en l'absence d'oxygène (digestion anaérobie) (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture, s.d.).

En France, la méthanisation n'est autorisée que pour le traitement de déchets d'origines diverses : industries agro-alimentaires, collectivités (tontes de pelouses, boues de stations d'épurations...) ou sous-produits d'exploitations agricoles (effluents d'élevage, résidus de cultures...).

A l'issue du processus de méthanisation, nous obtenons :

- ✓ Du biogaz, qui est un mélange de méthane, dioxyde de carbone et autres gaz.
- ✓ Du digestat, qui contient de la matière organique et des matières minérales (Azote, Phosphore et Potassium pour des intrants agricoles, autres résidus selon les intrants).

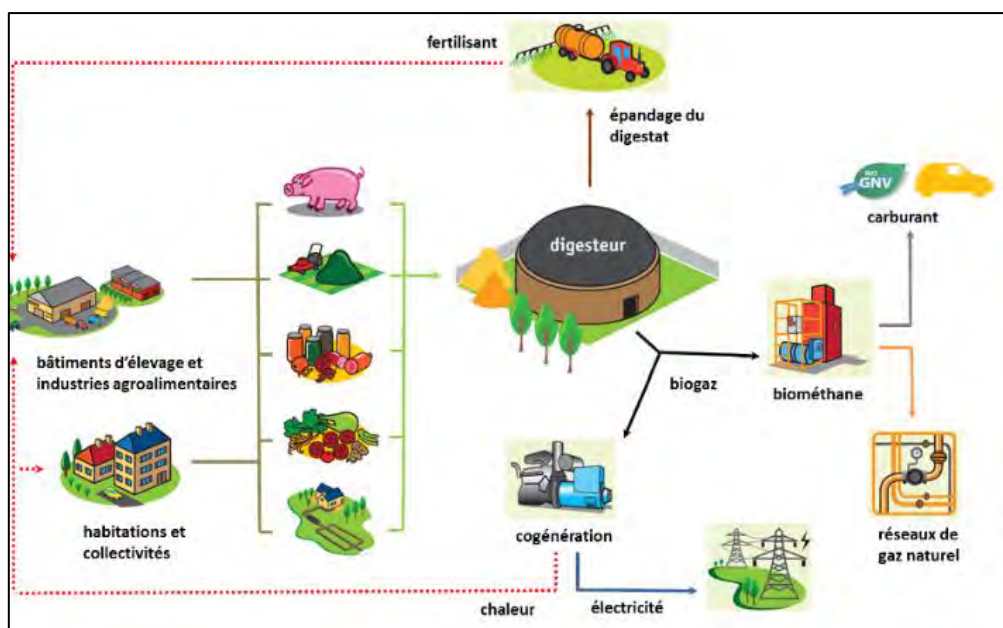


Figure 1 : Schéma du processus de méthanisation (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture, s.d.)

La méthanisation présente plusieurs intérêts (Arseme, L'Artifex, 2017):

- ✓ La production d'énergie renouvelable sous la forme de biométhane, utilisable en bio-carburant ou dans le réseau Gaz Naturel, d'électricité et de chaleur.
- ✓ La valorisation d'effluents agricoles, permettant de réduire les émissions de Gaz à effet de serre (GES) des élevages.
- ✓ La valorisation du digestat par les exploitations en tant qu'apport azoté organique, en compensation d'un apport chimique, conduisant à une plus grande autonomie dans ce domaine.

✓ La création de projets territoriaux combinant traitement des déchets, valorisation énergétique locale et création de valeurs ajoutées et d'emplois.

Dans le projet Biogaz Basse Ariège, les matières entrantes sont des résidus de l'activité agricole : ensilage de pieds mâles de maïs semence et de colza semence, à fort pouvoir méthanogène, et lisier de bovins, principalement (Arseme, L'Artifex, 2017).

L'objet du stage portant sur la création d'outils pour rationaliser la récolte de maïs semence, une présentation rapide de cette production est exposée dans le paragraphe suivant.

b) La production de maïs semence : éléments importants pour le projet.

La production de semence de maïs (*Groupe National Interprofessionnel des Semences et plants, 2017*) s'organise autour de grands groupes internationaux, entreprises de commercialisation de semences qui ont des contrats annuels avec des agriculteurs-multiplicateurs. L'objectif est la production par ces agriculteurs de grandes quantités de semences de variétés définies à l'avance. Les semences sont ensuite revendues par les entreprises aux maïsiculteurs.

Concrètement, sur les parcelles, les agriculteurs sèment avec une alternance définie des rangs d'une variété qui jouent le rôle de femelles et des rangs qui jouent le rôle de mâles¹. Par exemple, le protocole de semis 4/3 correspond au semis de 4 rangs de variété « femelle » et 3 rangs de variété « mâle ».

Les épis des rangs femelles sont récoltés pour la production de semences, les pieds mâles sont broyés et laissés sur place. Le projet décrit ici consiste en la valorisation de ces déchets végétaux pour approvisionner l'unité de méthanisation.



Figure 2 : Photo d'une parcelle de maïs à Saverdun (Ariège)

¹ Concrètement, chaque pied de maïs porte des fleurs mâles et femelles. Pour éviter l'autofécondation, les pieds femelles de maïs sont castrés avant l'émission de pollen par la panicule (fleur mâle), puis les pieds mâles sont détruits après la fécondation, seuls sont récoltés en fin de culture les grains des pieds femelles.

2) Présentation du projet Biogaz Basse Ariège : de la collecte à l'épandage.

a) Biogaz Basse Ariège : l'aboutissement de dix ans de travail et de réflexion.

En 2010, le Syndicat des Producteurs de Semences de Maïs et de Sorgho de l'Ariège (SPSMS 09) a fait réaliser une première étude sur la faisabilité de la mise en place d'une unité de méthanisation pour valoriser les déchets de production de maïs et de colza semences.

Devant les premiers résultats encourageants, une cinquantaine d'agriculteurs semenciers ont créé en 2013 la SAS PROSEM² qui a poursuivi les investigations.

En 2014, la SAS ARSEME a été créée pour faire aboutir le volet industriel du projet de méthanisation de résidus de l'activité agricole en Basse Ariège, avec comme actionnaire principal la société PROSEM (66% des parts).

ARSEME a recherché un site pour implanter l'unité puis a démarré les démarches pour l'obtention du permis de construire et l'enregistrement du projet par le préfet en tant qu'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

L'arrêté d'enregistrement de l'ICPE (*Préfecture de l'Ariège, 2017*) a été pris en octobre 2017.

De nouveaux partenaires, de statuts publics et privés, ont rejoint la SAS ARSEME faisant du projet industriel Biogaz Basse Ariège (BBA), un véritable projet de territoire.

b) Projet d'unité de méthanisation :

L'unité de méthanisation BBA est en cours de construction au moment du stage. Elle est localisée sur la commune de Montaut, dans la basse vallée de l'Ariège, zone de plaine alluviale à forte vocation agricole, dédiée surtout aux grandes cultures (céréales, maïs).

² Acronyme de PROducteurs de SEMences

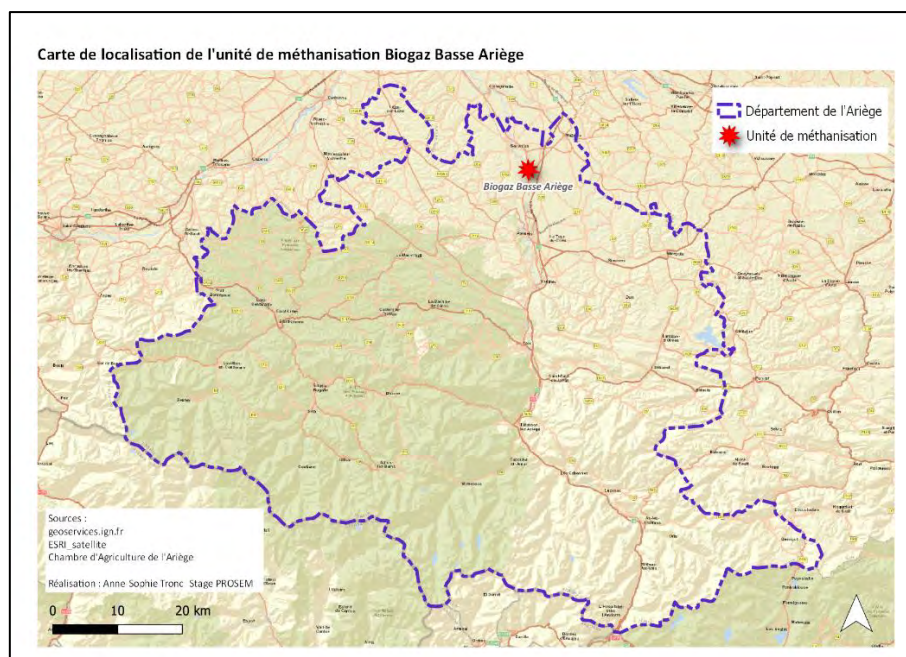


Figure 3 : Carte de localisation de l'unité Biogaz Basse Ariège.

L'arrêté d'enregistrement de l'ICPE fixe les caractéristiques principales de l'unité de méthanisation, les modalités de stockage des digestats et de l'épandage. Il est basé sur un dossier ICPE (Arseme, L'Artiflex 2017) qui, outre une description complète du projet et des conditions naturelles (géologie, pédologie, hydrologie...) et socio-économiques de son implantation, amène les éléments de vérification de la conformité du projet par rapport aux différents règlements (urbanisme, environnement...).

Le fonctionnement de l'unité de méthanisation s'articule autour de la collecte des matières entrantes, le procédé de méthanisation (en infiniment mélangé) employé sur le site et l'épandage des digestats.

✓ La collecte des matières entrantes :

Le tableau ci-dessous rend compte des quantités prévisionnelles des déchets agricoles entrants :

Intrants	Code déchet	Sous-produits animal	Tonnage annuel (MB tonnes/an)	Provenance	Total annuel (tonnes/an)	Total journalier (tonnes/jour)
Effluents d'élevage						
Lisier bovin	02 01 06	C2 dérogatoires	5 750	Exploitations agricoles de la SAS PROSEM	5 750	15,8
Matières végétales						
Ensilage de maïs semence	02 01 03	-	12 500	Exploitations agricoles de la SAS PROSEM	16 100	44,1
Résidus d'égrenage de maïs			1 800			
Ensilage de colza semence			1 800			
TOTAL					21 850	59,9

Figure 4 : Tableau des matières entrantes dans l'unité Biogaz Basse Ariège (ARSEME, L'ARTIFEX, 2017)

Ces matières entrantes doivent être disponibles toute l'année :

- Le lisier est produit toute l'année, amené et stocké au fur et à mesure sur le site de méthanisation.
- Les ensilages de colza et de maïs sont récoltés respectivement, au printemps (8 semaines) et pendant l'été (8 semaines), stockés en plateformes décentralisées ou sur site et apportés au méthaniseur au fur et à mesure pendant un an. Les résidus d'égrenage de maïs suivent le même circuit.

✓ Le procédé de méthanisation employé :

Le schéma ci-dessous montre le process de méthanisation choisit pour Biogaz Basse Ariège :

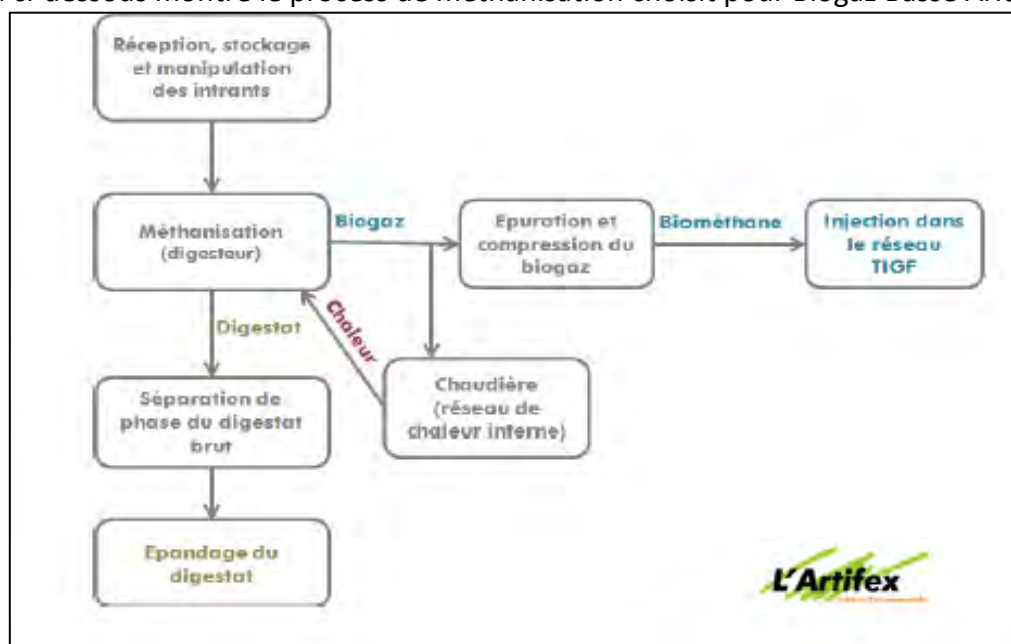


Figure 5 : Schéma du processus de méthanisation (Arseme, L'Artifex, 2017)

Le biogaz produit est épuré en biométhane pour être injecté dans le réseau de gaz naturel. L'unité de production est dimensionnée pour produire près de 3 millions de mètres cubes par an de biogaz, soit la consommation annuelle de 1400 foyers raccordés au réseau gaz.

✓ L'épandage des digestats :

En plus du biométhane, l'unité de méthanisation produira 6 955 Tonnes de digestat solide et 23 150 Tonnes de digestat liquide. Un plan d'épandage (*Chambre d'Agriculture de l'Ariège, David Brus, 2017*) a été établi pour permettre de maîtriser l'apport en matière organique (azote, phosphore, potassium) du digestat sur les surfaces épandables, les surfaces épandables étant ici les surfaces qui ont produit les intrants du méthaniseur.

c) *Une organisation nécessaire pour la récolte et l'épandage :*

Afin d'optimiser et de tracer les opérations de collecte et d'épandage, notamment en termes de transport et de stockage de la matière, une étude logistique (*Chambre d'Agriculture de l'Ariège, ATESYN, ARSEME, 2016*) a été réalisée.

Cette étude détaille :

✓ L'organisation de la collecte :

L'ensilage collecté sur les parcelles est transporté sur une plateforme de stockage. L'emplacement de 5 plateformes a été défini. Chaque parcelle est affectée à une plateforme. La surface totale collectée doit atteindre 1500 hectares pour remplir les objectifs de production d'ARSEME.

L'ensilage est ensuite transporté petit à petit par camion-benne sur l'unité de méthanisation.

Le lisier est apporté directement par les éleveurs de vaches laitières sur l'unité de méthanisation par tonne à lisier.

Les matières entrantes sur l'unité de méthanisation, par camion-benne ou tonne à lisier, sont pesées à l'entrée du site grâce à un pont à bascule.

✓ L'organisation de l'épandage :

En majorité, le digestat solide est transporté de l'unité de méthanisation directement en « bout de champ » des parcelles épandables. Il est aussi prévu que le transport puisse se réaliser vers les mêmes plateformes de stockage que pour l'ensilage, avec un mur en béton pour séparer les deux parties.

Le digestat liquide va de l'unité de méthanisation à 6 points de stockage : les 5 plateformes et un autre point de stockage (chez un producteur de lisier). Il est stocké en hiver pendant 4 mois (obligation réglementaire) avant d'être épandu.

Pour savoir sur quelle parcelle épandre le digestat et les quantités, il faudra se reporter au programme réglementaire prévisionnel des épandages. Le digestat est très riche : 60 % des besoins en azote, 100 % pour le potassium, 100 % pour le phosphore ; l'épandage se fait en moyenne tous les 3 ans sur une parcelle.

Le stage devait initialement traiter de l'organisation de la collecte et de l'épandage. Etant donné l'ampleur du travail et la complexité à collecter des données, notamment pendant la période de confinement, le sujet a été recentré autour de l'organisation de la collecte.

3) Les structures encadrantes du stage : PROSEM et ATESyn

✓ **La SAS PROSEM**, déjà citée précédemment, est une société qui regroupe une soixantaine d'agriculteurs. Son objet est le volet agricole de la méthanisation : la collecte du gisement (pieds mâles de maïs et colza), c'est-à-dire la production et la livraison de la matière première qui entre dans l'unité de méthanisation, et l'organisation de l'épandage.

✓ **ATESyn**, plateforme d'ingénierie environnementale, accompagne depuis 2012 les porteurs de projets de production d'énergies renouvelables et apporte son conseil dans différents domaines :

- Expertise, diagnostic, prospection, étude de faisabilité
- Gestion stratégique et conduite de projets
- Conseil juridique en droit de l'eau, de l'environnement et de l'énergie
- Rédaction et suivi de dossiers administratifs et études environnementales
- Assistance administrative et financière
- Animation, communication et formation autour de projets en Energie Renouvelable.

ATESyn accompagne PROSEM et ARSEME pour l'ensemble des étapes du projet Biogaz Basse Ariège et possède un mandat de gestion pour ces deux entités.

Concrètement, le stage a été porté par PROSEM et encadré par ATESyn.

B. Problématique du stage et organisation du travail :

1) Problématique du stage

Le stage a pour objectif de créer une base de données et un outil cartographique mobile pour l'organisation de la récolte des pieds mâles.

Dans un premier temps, la base de données et l'outil cartographique sont créés sur ordinateur. Puis l'objectif est de transférer les éléments nécessaires sur le terrain sur mobile (Smart-Phone ou tablettes Android) avec un formulaire à compléter.

ATESyn et PROSEM n'ont pas de géomaticien dans leur personnel. Une salariée d'ATESyn est familiarisée avec Qgis et suivra le projet à la suite du stage. L'outil de cartographie et de collecte de données sur mobile est utilisé par les agriculteurs responsables de PROSEM et les chauffeurs de machines agricoles qui réalisent la récolte. A chaque étape, cartographie, base de données, outil mobile, il a été réfléchi à la conception d'un outil simple pour la prise en main, l'utilisation et la mise à jour. De plus, le postulat de base est de n'utiliser que des outils Open Source et gratuits.

De manière globale, il s'agit d'un projet en cours de démarrage. Certes la récolte de pieds mâles de maïs semence s'effectue déjà depuis quelques années mais avec un enjeu de moindre importance, puisque l'unité de méthanisation n'est pas encore construite. Par contre, en fonctionnement de Biogaz Basse Ariège en régime de croisière, la gestion économique et la traçabilité des flux de matières seront une obligation durable de PROSEM.

2) Organisation du travail

Au démarrage, il a été défini une planification et une organisation du travail, qui a été mise à jour au cours du stage.

Au fur et à mesure de l'avancée du stage, il a été décidé de ne traiter que la partie récolte et d'abandonner la partie épandage, par manque de temps et de données de terrain.

L'annexe 1 présente le schéma des différentes tâches réalisées durant le stage et l'annexe 2 correspond au diagramme de Gantt, montrant la répartition des tâches au cours du temps.

En plus des outils mentionnés dans la figure 6, différents langages de programmation ont permis de construire l'outil géomatique : Sql, Html, JavaScript, Css, Php, Shell. Nous verrons, au déroulé du rapport, l'utilité de chacun d'eux, et l'intégralité du code pourra être retrouvée en annexes.

II) Acquisition de données, cartographie et calcul d'itinéraires.

A. Analyse des besoins et problématique :

Au démarrage du stage, ATESyn et PROSEM n'étaient en possession d'aucune donnée géographique.

Les résidus agricoles apportés à l'unité de méthanisation peuvent concerner des cultures de maïs ou de colza, mais le stage s'est concentré sur les parcelles de maïs, le projet pourra ensuite être étendu aux parcelles de colza.

Voici le schéma simplifié du processus d'approvisionnement et d'épandage de l'unité :

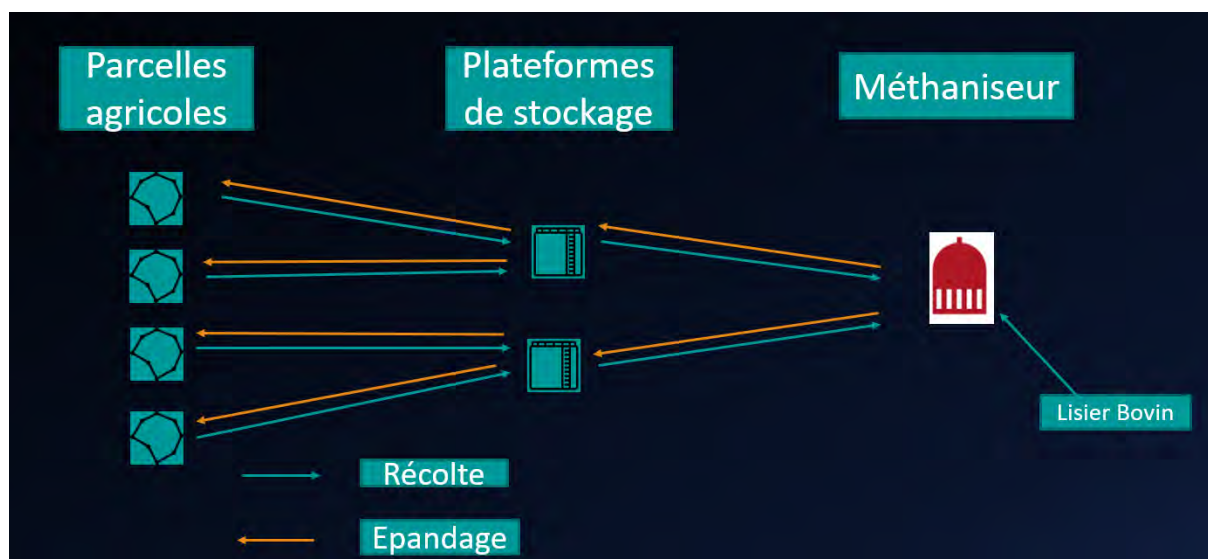


Figure 6 : Schéma simplifié de l'approvisionnement et épandage de BBA.

En termes de données géographiques, la donnée centrale et essentielle est la parcelle agricole, ou plutôt la « culture annuelle ». En effet, les parcelles de maïs récoltées sont différentes chaque année, en fonction de l'assolement³ décidé par l'entreprise semencière et l'agriculteur.

Les agriculteurs apporteurs du gisement sont liés à PROSEM par un contrat de cinq ans. Chaque année, ils préciseront sur une fiche, par exploitation, quelles sont les parcelles qui seront récoltées pour le projet de méthanisation et leurs caractéristiques (surface, variété, protocole de semis...). Les données de cette fiche (Annexe 3) ne comportent aucune donnée de localisation.

Au début du stage, au mois de mars 2020, aucun contrat, ni aucune fiche n'était encore complétée. En effet, les données ne peuvent être exactes qu'après semis de toutes les parcelles de maïs, soit entre le 15 et le 30 juin, selon les conditions climatiques.

Il a donc fallu trouver des données concernant les parcelles de maïs :

- D'abord en mobilisant les données libres de la PAC.
- Ensuite, en utilisant un jeu de données « test » de la Chambre d'Agriculture de l'Ariège.

³ Répartition des cultures de l'année entre les parcelles d'une exploitation.

B. Des données « tests » pour la cartographie et le calcul d'itinéraires.

1) Les données issues du Registre Parcellaire Graphique

Les parcelles de maïs font toutes l'objet d'une déclaration à la Politique Agricole Commune (PAC). Les parcelles déclarées à la PAC sont incluses dans des ilots. Chaque ilot est défini et codifié, dans sa forme polygonale, en début de période interannuelle de la PAC. A l'intérieur de l'ilot, annuellement, sont déclarées des parcelles de culture, dont la culture de maïs semence, ouvrant droit aux aides de la PAC. Les polygones « ilots » ou « parcelles » n'ont aucun lien avec les parcelles cadastrales.

Pour construire l'outil géomatique, nous avons commencé par extraire les parcelles et ilots du Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2018⁴, appartenant au groupe de culture « 2 » (attribut dans la table attributaire) qui correspond aux parcelles de maïs grain et ensilage. Cela a été fait pour toutes les communes d'Ariège au nord de Foix, zone large de culture potentielle de maïs semence.

Par contre, cette méthode ne permet pas de relier les parcelles aux agriculteurs qui les cultivent car les données du RPG sont anonymisées⁵. De plus, elle ne peut pas être « durable » dans le temps car les données PAC ne sont accessibles librement qu'avec deux ans de décalage et ne peuvent pas être transmises avec les noms des exploitations par la Direction Départementale des Territoires, service de l'Etat gestionnaire de la PAC.

Cette méthode a été rapidement abandonnée pour utiliser un jeu de données « tests » venant de la Chambre d'Agriculture de l'Ariège, partenaire du projet.

2) Les données issues du Plan d'Epandage et de l'étude logistique.

La première cartographie de parcelles de maïs utilise les données suivantes :

✓ Les polygones des parcelles « tests » de maïs semences sont issues du Plan d'Epandage (*Chambre d'Agriculture de l'Ariège, David Brus, 2017*). Il s'agit de parcelles de maïs semence cultivées par les adhérents de PROSEM, qui ne sont pas trop éloignées de l'unité de méthanisation ou des plateformes de stockage décentralisées, et les géométries sont issues des données PAC pour l'année 2015.

✓ Les ilots PAC sont extraits du RPG de la même année (IGN-Géoservices).

✓ Les plateformes de stockage décentralisées de la récolte avant le transport à l'unité de méthanisation ont une position géographique connue. Les coordonnées GPS ont été extraites de l'étude logistique (*Chambre d'Agriculture de l'Ariège, ATESYN, ARSEME, 2016*).

⁴ Source : IGN – Géoservices

⁵ Cette méthode a été expérimentée en attendant l'acquisition des données tests de la Chambre d'Agriculture qui a été retardée par le début du confinement.

✓ Les limites de communes viennent de data.gouv.fr, les fonds de carte d'Esri (utilisation de l'extension Quick Map Services sur Qgis). En effet, les fonds de carte des données libres de l'IGN ne sont pas assez précis.

3) Cartographies des parcelles de maïs

A partir des données issues du Plan d'Épandage, il a été possible de réaliser la première cartographie sur Qgis des parcelles de maïs.

Lors des premiers entretiens, les responsables de PROSEM ont souligné l'inconvénient de garder comme référence le polygone de chaque parcelle. En effet, d'une part, la géométrie est différente chaque année même si la parcelle reste cultivée en maïs ; d'autre part, la saisie de polygones demande un travail plus important qui est source d'erreurs, notamment au niveau topologique. Par exemple, l'outil « Vérifier les géométries » de Qgis appliqué aux parcelles de la PAC du Nord de l'Ariège a fait ressortir un grand nombre d'erreurs topologiques.

Par conséquent, le choix s'est porté sur la représentation des « cultures annuelles » par un point. Pour les données issues du plan d'épandage, ce point est défini comme étant le centroïde du polygone de l'année. Pour les données réelles de l'année 2020, ce point est constitué par l'entrée à la parcelle des engins motorisés et il est saisi sur le terrain avec le Smart-Phone ou issu des données du Syndicat des Producteurs de Maïs Semence et de Sorgho (SPSMS) qui effectue le relevé GPS des points d'entrée de parcelles.

En suivant ce principe, les premières cartographies ont pu être réalisées, dont voici un exemple :

Récolte de maïs : exemple de déclaration de parcelles annuelles. Représentation d'un point (centroïdes) par parcelle.

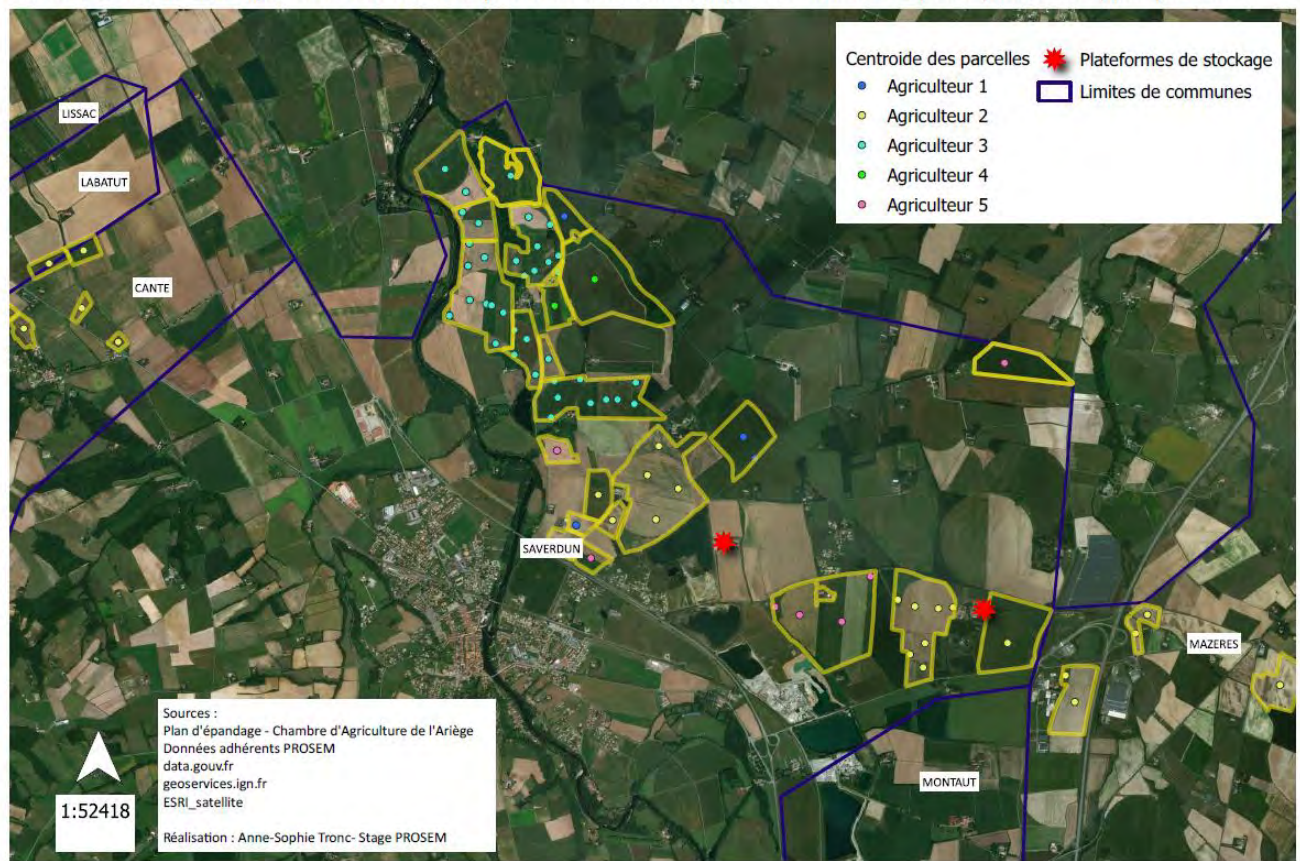


Figure 7 : Exemple de cartographie de parcelles de maïs classées par agriculteur

L'Annexe 4 présente le diagramme de Flow de construction de la carte.

C. Collecte des données de terrain 2020.

A la fin du mois de juin, une fois toutes les parcelles de maïs semences semées, la SAS PROSEM s'est posée la question de collecter la localisation et les caractéristiques des parcelles dont les pieds mâles seront récoltés cette année.

En effet, même si les contrats et les fiches « cultures » seront complétés dans l'été, aucun de ces documents ne permet d'avoir la localisation des parcelles à récolter.

Deux solutions ont été envisagées :

- La saisie sur Qfield⁶ de chaque point correspondant à l'entrée de la parcelle à récolter.
- L'utilisation du fichier des parcelles de maïs de l'année fourni par le SPSMS :

⁶ Les détails de l'utilisation de cette application seront décrits dans la quatrième partie de ce rapport.

Exploitant	Nom de la parcelle	Variété	Surface culture	y_WGS84	x_WGS84	SEMENCIER
	Abdon	KEFRANCOS	15	43.2506089	1.6662399	
	Sinorre	FIGARO ST	1,8	43.0728891	1.7389762	
	La Monge	KELINDOS	14	43.1589297	1.5893483	
	Sous Maillole	KOLETIS ST	7	43.0570278	1.7451299	
	Les Lames 3	KWS GUSTAVIUS	15,5	43.0636032	1.7391615	
	Les Lames 3	KWS GUSTAVIUS	15,5	43.0632909	1.7391919	
	Les Lames 3	KWS GUSTAVIUS	15,5	43.0632909	1.7391919	
	La Rose	FIGARO ST	9,18	43.0720673	1.741896	
	Rivière et Le Lac	AMAROC ST	12,5	43.2588887	1.5756019	
	Lac	SY_CARIGCA STE	7	43.2508503	1.5795775	
	Roumenigoux	LG30258 S	10	43.0846624	1.9121889	
	Plaine de Vals	PODIUM	17	43.0961086	1.7562241	
	Plaine de Vals	PODIUM	17	43.0964161	1.7554488	
	Plaine	SY_ENERGETIC	11	43.2223162	1.3834832	
	Plaine de Vals	PODIUM	17	43.0972037	1.7537432	
	Plaine de Vals	PODIUM	17	43.0990383	1.7513093	
	Les Sciepieries 2	KAPRIJAS	23,28	43.1297376	1.7293701	
	Frairas 2	DKC6980 STE	7	43.2487485	1.5620602	
	Les Sciepieries 2	KAPRIJAS	23,28	43.1226185	1.7271611	
	Gasq	KALIMERAS	4	43.1132555	1.6538267	
	Gasquet	ATLETICO	7	43.112019	1.6519298	
	St Amadou 5	DKC4391	32,48	43.1158146	1.7305993	
	St Amadou 5	DKC4391	32,48	43.1143951	1.7312895	
	Pivot	HEUCHO	9,5	43.1677863	1.6767515	
	St Amadou 5	DKC4391	32,48	43.1133304	1.7319554	

Figure 8 : Extrait du fichier des parcelles 2020 transmis par le SPSMS⁷

Les coordonnées GPS permettent de localiser les points sur Qgis.

Avec ces données, il sera cartographié l'ensemble des parcelles semées en maïs semence de l'année, c'est-à-dire une quantité de parcelles beaucoup plus importante que celles qui seront récoltées par PROSEM. La différence sera visible sur cartographie par la classification entre parcelles récoltées sous contrat PROSEM et parcelles non récoltées.

De même, il manque certains attributs des parcelles (écartement entre planches, type d'irrigation...) que les responsables de PROSEM devront collecter chez leurs adhérents.

Pour l'année 2020, PROSEM a choisi d'utiliser les données du syndicat.

D. Calcul d'itinéraires des parcelles aux plateformes :

1) Objectifs

Une problématique forte pour PROSEM concerne l'économie du transport et du stockage des intrants. Le transport entre la parcelle et la plateforme de stockage peut se faire de deux manières différentes, soit par l'agriculteur avec son tracteur et sa remorque-benne, soit par camion effectué par un prestataire extérieur.

Le coût du transport entre les parcelles, les plateformes et l'unité de méthanisation est supporté par PROSEM. Les responsables de PROSEM et d'ATESyn souhaitent avoir une simulation d'itinéraires entre les parcelles et les plateformes en fonction de la distance la plus courte afin de réaliser les calculs de coût du transport.

⁷ Les noms des exploitations et des semenciers ont été gommés.

2) Réseau routier

Le calcul d'itinéraires implique de posséder une couche de données avec le réseau routier :

✓ Des essais ont été effectués avec la couche « Route 500 » de l'IGN en données libres. Le résultat n'a pas été satisfaisant car le réseau s'arrête au niveau départemental. Pour construire l'accessibilité aux parcelles il faut disposer du réseau le plus fin possible car les parcelles sont souvent reliées à des chemins d'exploitation puis à des routes communales.

✓ L'accès au réseau routier de la BD Topo de l'IGN s'est révélé payant pour PROSEM, en tant que structure professionnelle privée. Le montant du devis pour l'emprise des parcelles issues du plan d'épandage, soit 348 km², s'élevait à 243 € Hors Taxe par an pour une licence définitive (avec 50 € par an de mise à disposition des données) ou 73 € pour une licence annuelle (avec 50 € de mise à disposition des données). A terme, PROSEM pourra récolter des parcelles en Ariège, dans l'Aude et en Haute Garonne car il y a des adhérents dans ces trois départements. Les coûts pour l'accès à la BD Topo sont alors beaucoup plus élevés : 1583 € HT pour le thème routier pour une licence d'un an, 5285 € HT pour une licence définitive.

✓ Le choix final s'est porté sur le réseau route d'Open Street Map (OSM), en accès libre sur le site de GEOFABRIK8. Les types de routes et chemins ont été triés en fonction des métadonnées de la couche9, pour enlever à la fois les autoroutes et les voies non accessibles aux véhicules motorisés.

3) Calcul d'itinéraires et affectation des parcelles aux plateformes.

Les calculs d'itinéraires entre les parcelles et les plateformes, d'une part, et les plateformes et l'unité de méthanisation, d'autre part, ont été réalisés sur Qgis avec les modules de Grass dédiés à la création de réseaux pour des couches vecteurs. En effet, les outils internes à Qgis de « Network Analysis » ne conviennent pas car ils ne permettent pas le calcul d'itinéraires entre deux couches de plusieurs points chacune.

Les traitements utilisés ont été v.net et v.net.distance.

✓ **V.net** permet de relier les centroïdes de parcelles au réseau routier d'OSM. Les parcelles peuvent être très grandes, jusqu'à 50 hectares, et n'être reliées qu'à des chemins qui n'apparaissent pas dans le réseau. Ces liens entre les centroïdes et le réseau créés à vol d'oiseau peuvent être éloignés de la réalité du parcours réellement suivis pour rejoindre la route. Le réseau sera sans doute plus juste avec les points de l'année 2020 qui correspondent au point d'entrée de la parcelle par les engins.

✓ **V.net.distance** permet de créer les itinéraires entre les centroïdes des parcelles et la plateforme la plus proche et calcule la distance qui les sépare. Les sens uniques, précisés dans le réseau d'OSM, ont été pris en compte, avec la création des champs « coutavant » et « courarrière »

⁸ Source : <https://download.geofabrik.de/europe/france/midi-pyrenees.html>

⁹ Source : <https://download.geofabrik.de/osm-data-in-gis-formats-free.pdf>

qui calculent le coût en fonction du « sens » de la route et qui rentrent dans les paramètres du traitement V.net.distance. L'Annexe 5 présente le diagramme de Flow de la réalisation de ces traitements.

Le même traitement est effectué entre les plateformes et l'unité de méthanisation. Cela a permis ensuite pour chaque parcelle d'affecter la plateforme « la plus proche » et une distance à la plateforme.

Une cartographie de ces itinéraires a été effectuée sur les données « test » du plan d'épandage.

Répartition des parcelles de maïs par rapport aux plateformes en fonction de la distance la plus courte possible.

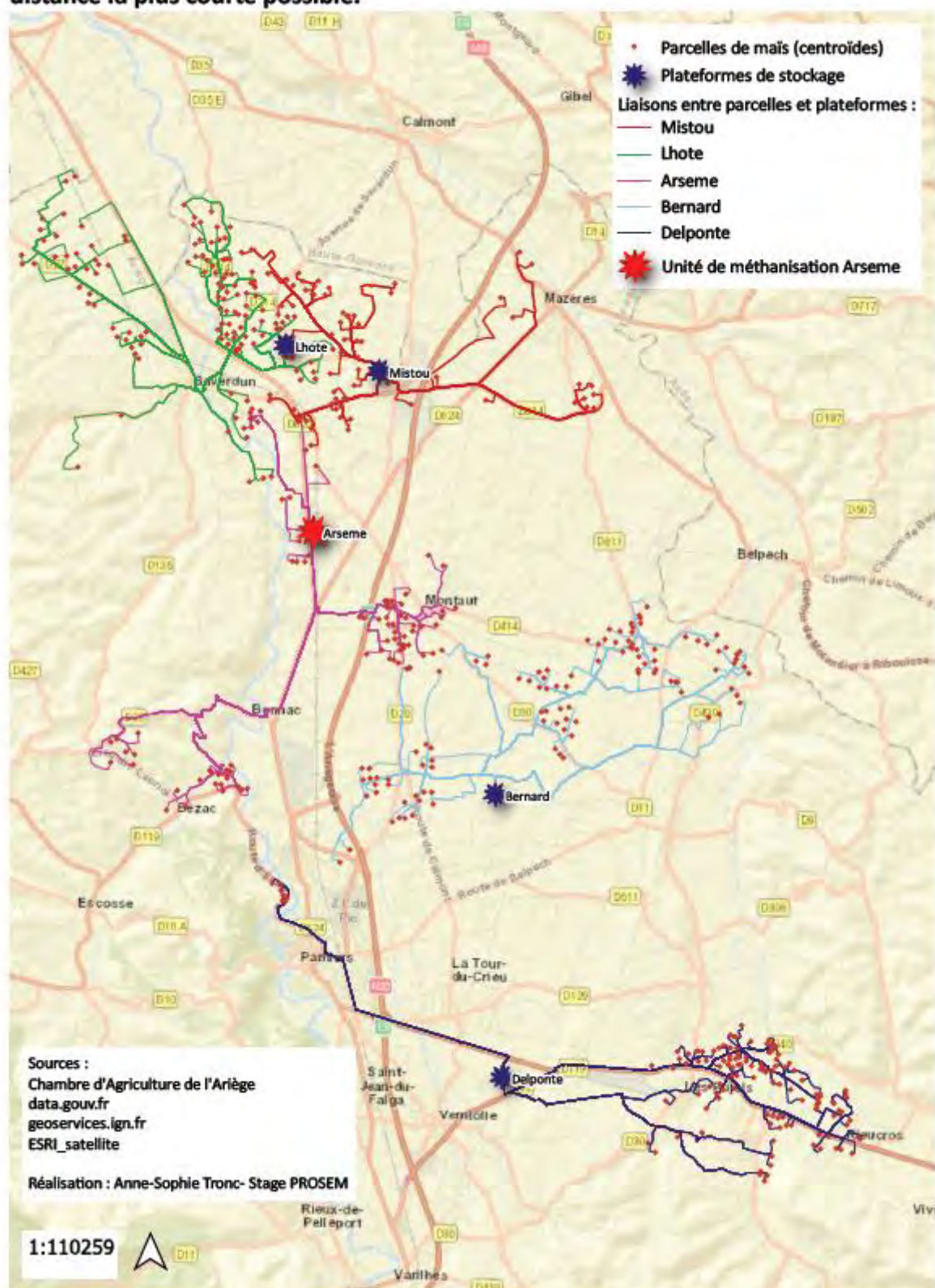


Figure 9 : Cartographie des itinéraires entre centroïdes des parcelles de maïs et plateformes de stockage à partir des données du plan d'épandage.

E. Conclusions et perspectives.

✓ L'utilisation de données nominatives implique le respect du Règlement Général de la Protection des Données (RGPD)

A la demande d'ATESyn, une fiche concernant le respect de la réglementation a été rédigée en début de stage (Annexe 6). Selon cette réglementation, il apparaît que la formalisation d'échanges de données doit se faire auprès :

- Des adhérents de PROSEM pour l'utilisation de leurs données pour le Système d'Information Géographique en interne. Il suffirait d'inclure une clause dans le contrat.
- Du SPSMS pour l'échange des données parcellaires annuelles par le biais d'une convention signée entre les deux structures.
- De la Chambre d'Agriculture pour l'utilisation du jeu de données test.

Pour aller plus loin, PROSEM demandera un conseil auprès d'un juriste.

✓ La poursuite de la construction du Système d'Information Géographique démarré au cours de ce stage implique de sécuriser l'accès aux données, notamment la localisation des parcelles annuelles de maïs semences et leurs attributs.

Dans cette partie du rapport, nous avons vu qu'il s'agissait d'une problématique importante du stage, pour laquelle nous n'avons pas pu disposer de données « réelles » pour tester les outils. Le démarrage du confinement a retardé l'accès aux données « tests », qui a pu se faire malgré tout ; de plus, le confinement a compliqué les échanges, notamment avec les responsables de Prosem.

A cela s'ajoute, une temporalité assez courte : les données complètes ne peuvent pas être récupérées avant fin juin et la récolte a lieu au mois d'août / septembre. Il faut donc récupérer les données et les traiter au cours du mois de juillet pour l'année en cours, au moins pour l'utilisation de l'outil mobile par les chauffeurs.

Plusieurs pistes peuvent être proposées :

- La récupération annuelle de la totalité des données concernant les parcelles semées en maïs semence via le SPSMS. La seule objection que cela soulève est que la base de données comportera une grande quantité de données dont PROSEM n'a pas l'utilité car non récoltée pour la méthanisation.
- Une tournée de terrain au mois de juillet auprès des adhérents de PROSEM avec une saisie sur Smart-Phone des données.
- Une saisie sur Qgis avec la présence des agriculteurs, comme cela se fait annuellement pour la saisie des données de la PAC auprès des Chambres d'Agriculture et d'autres organismes.

✓ Le calcul d'itinéraires entre parcelles et plateformes ne prend en compte que la distance la plus courte. Hors d'autres paramètres auraient pu être pris en compte :

- La vitesse du véhicule :

A ce stade, la vitesse ne peut pas être prise en compte car nous ne savons pas si, pour chaque parcelle, le transport se fera en tracteur ou en camions, qui ne circulent pas à la même vitesse.

- La limite de stockage de chaque plateforme :

Dans la troisième partie du rapport, les requêtes réalisées sur la base de données permettent de calculer le volume prévisionnel stocké par plateforme, en fonction d'un volume prévisionnel de production des parcelles. Ainsi, nous verrons que le stockage à la plateforme la plus proche ne correspond pas aux volumes de stockage possibles.

Le choix de PROSEM et d'ATESyn a été de revenir à une logique de terrain plutôt que d'approfondir les calculs géomatiques sur les itinéraires. Il sera mentionné pour chaque parcelle à quelle plateforme elle est réellement affectée. Cela permettra de construire la carte des itinéraires « réels » et de réfléchir à une méthode d'optimisation ensuite.

Des calculs d'itinéraires plus complexes impliqueraient de faire des tests avec d'autres outils que les modules vecteurs de Grass. Notamment, nous verrons dans la troisième partie du rapport qu'une base de données PostGreSQL a été construite pour la récolte. Il serait possible d'ajouter l'extension pgRouting sur cette base pour réaliser les calculs d'itinéraires. En effet, pgRouting est un complément de PostGIS qui permet d'incorporer des coûts et des restrictions dans les calculs d'itinéraires.

III) Construction de la base de données « récolte ».

La création d'une base de données concernant l'organisation de la récolte fait partie des demandes initiales du stage. Les objectifs sont :

- ✓ D'organiser les différentes entités de la récolte liées les unes aux autres.
- ✓ De pouvoir faire des requêtes qui permettent de synthétiser les éléments importants de la récolte et de faire des calculs dont les résultats permettront d'orienter les choix stratégiques pour les futures campagnes de récolte.

A. Organisation de la récolte et Modèle Conceptuel de Données (MCD)

1) Description de l'organisation de la récolte.

Les informations concernant l'organisation de la récolte sont issues des contenus du contrat et d'entretiens avec les responsables de PROSEM et d'ATESyn. L'Annexe 7 détaille le dictionnaire des données nécessaires à la construction du Modèle Conceptuel des Données.

✓ Dans les premières parties du rapport, nous avons déjà décrit en partie la récolte et les éléments géographiques qui la composent. Une parcelle récoltée est représentée par un point, centroïde de polygone ou localisation de l'entrée motorisée. Un ilot contient une ou plusieurs parcelles. La récolte de chaque parcelle est acheminée à une des cinq plateformes existantes sur le terrain. Les relations entre ces trois entités sont modélisées de la manière suivante :

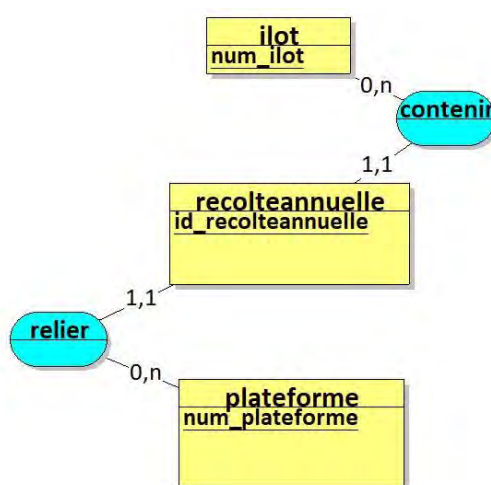


Figure 10 : Modèle Conceptuel de Données pour les couches géographiques de la récolte

Les deux relations de 1 à n entre ces couches ont été paramétrées dans QGIS avec « recolteannuelle » comme table « enfant » et « ilot » (pour la première relation) et « plateforme » (pour la deuxième relation) en tant que tables « parents ».

✓ Comme déjà précisé auparavant, une exploitation va signer un contrat interannuel avec PROSEM pour une superficie moyenne de maïs semence destinée à la méthanisation ; chaque année, selon l'assolement et les contrats annuels semencier-agriculteur, l'exploitation mettra à disposition de la méthanisation la superficie réelle de maïs semence. Dans le cas des données départementales récupérées auprès du SPSMS 09, il y a aussi le cas où une exploitation n'a pas de contrat : elle cultive du maïs semence dont les pieds mâles ne sont pas récoltés par PROSEM.

✓ La fiche annuelle (Annexe 3) qui répertorie les parcelles qui seront récoltées dans l'année permettra de connaître les caractéristiques au moment du semis :

- L'ilot : numéro de l'ilot auquel appartient la parcelle
- L'identifiant : il s'agit d'un identifiant qui permet à l'agriculteur et au chauffeur de savoir avec certitude de quelle parcelle il s'agit. Cet identifiant est construit de la manière suivante : nom exploitation + indication géographique de la parcelle ou semencier (dans le cas où l'exploitation sème une seule parcelle avec ce semencier). Ce champ n'est pas l'identifiant de la couche au sens géomatique, pour cela il existe le champ « id_recolte ».
- La superficie déclarée en hectares.
- Le type d'irrigation : pivot, intégrale, canon ou un mélange de ces trois types.
- La variété
- Le protocole de semis : il s'agit de l'alternance entre pieds « femelles » et pieds « mâles ». Par exemple, le protocole « 2-1 » correspond à l'alternance de deux pieds femelles et d'un pied mâle.
- L'écartement entre les planches : écartement qui permet à la machine qui récolte d'enjamber les pieds femelles pour les laisser intacts.
- Le semis RTK ou non des parcelles : Il s'agit d'une méthode de guidage GPS très précis lors du semis. Cela donne une indication quant à la précision du semis.

✓ Sur le terrain, au moment de la récolte, le chauffeur devra compléter le formulaire avec : la date de récolte, l'heure d'arrivée et de départ, le temps de trajet depuis la parcelle précédente, la présence (ou non) de l'agriculteur propriétaire de la parcelle, la surface réelle récoltée, ses observations et celles de l'agriculteur s'il y en a.

✓ L'ensilage récolté sur chaque parcelle est transporté à une plateforme. Plus tard, l'ensilage de la plateforme sera transporté, au fil de l'eau, à l'unité de méthanisation à raison de 60 m³ par jour, soit trois navettes par jour. Au retour, le camion transportera du digestat solide venant de Biogaz Basse Ariège soit jusqu'à la plateforme, soit en « bout de champ » pour épandage. Un pont à bascule sur le site permet de peser l'ensilage entrant et le digestat sortant.

✓ Les parcelles de maïs et leurs caractéristiques correspondent à une année donnée (contrat annuel semencier-agriculteur). L'objectif est de conserver, dans la base de données, les parcelles de chaque année.

2) Modèle Conceptuel de Données

La figure 13 montre le Modèle Conceptuel de Données (MCD) global de l'organisation de la récolte.

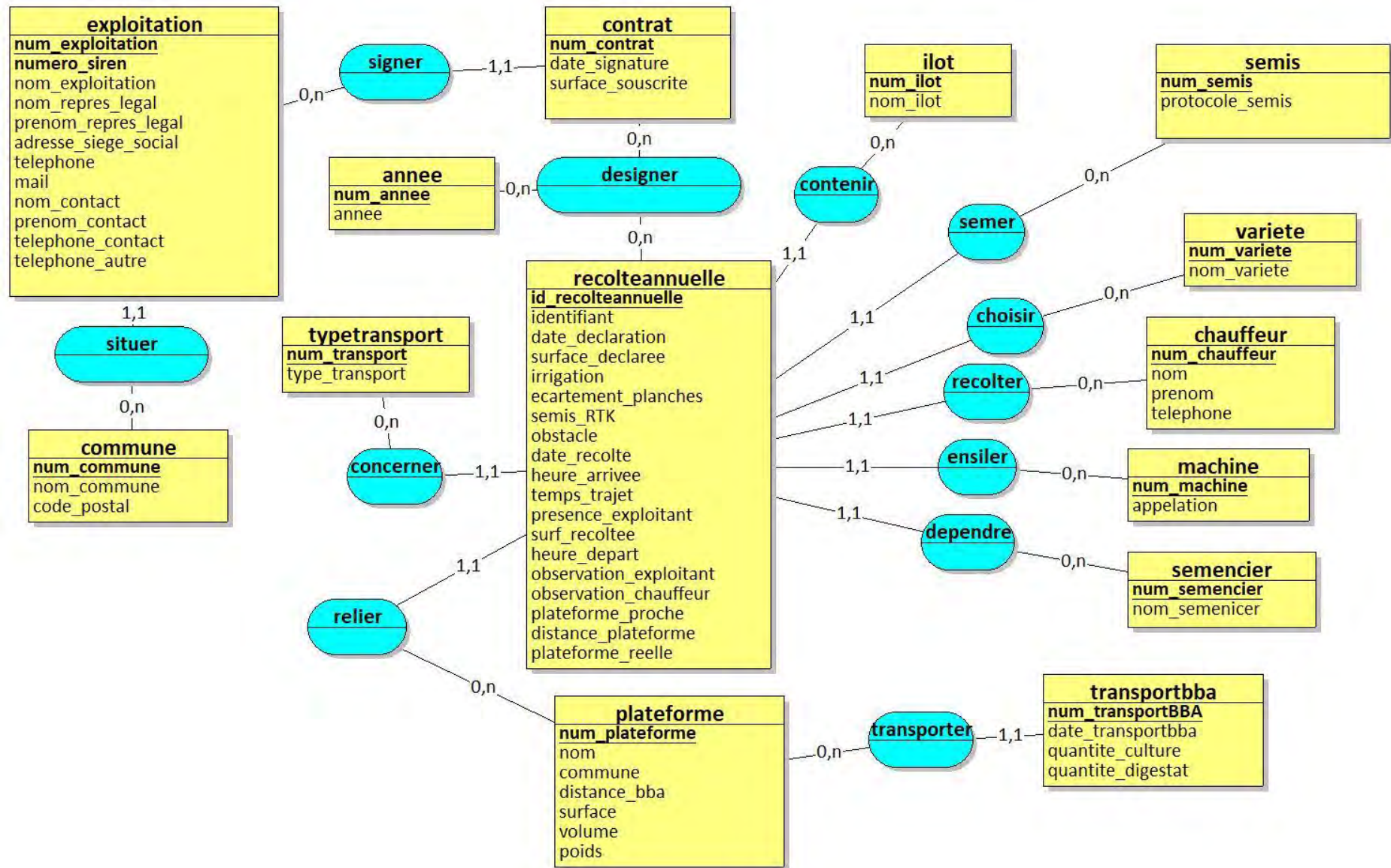


Figure 11 : Modèle Conceptuel de Données de l'organisation de la récolte

B. Base de données PostgreSQL : création et spécificités.

1) Choix techniques et création de la base.

Le Système de Gestion de Base de Données (SGBD) choisi pour créer la base est PostgreSQL (version 12.3) avec l'extension PostGis et le client PGAdmin (version 4).

Le logiciel Looping a permis de créer le MCD et de générer automatiquement le Modèle Logique de Données (MLD) et le code SQL correspondant. La base de données « recoltemais » a été créée dans PG admin avec un schéma du même nom pour éviter de travailler dans le schéma « Public ».

Les couches « recolteannuelle », « plateformes » et « ilot » créées sur Qgis sont exportées dans la nouvelle base de données en précisant les paramètres suivants :

- Le champ correspondant à la clef primaire.
- La création d'une colonne géométrique nommée « geom ».
- Le système de coordonnées : Lambert 93 (ou EPSG 2154).
- La création d'un index spatial.

Les autres tables ont été ajoutées à la base à partir du code SQL généré avec Looping.

Les Annexes 8 et 9 présentent respectivement le MLD et le code SQL de création de la base. L'Annexe 10 présente des exemples de requêtes SQL nécessaires pour corriger les erreurs à la création, compléter les tables et permettre le bon fonctionnement de la base. Dans ce projet, où les sources de données sont diverses et incomplètes, il est important de ne pas mettre trop de conditions « NOT NULL » lors de la création des tables pour ne pas se retrouver bloqué du fait de l'incomplétude de certains champs.

Au fur et à mesure de l'avancée du projet, une deuxième base de données a été créée sur le même modèle que la première avec les premières données pour l'année 2020 : les premiers contrats, les premières parcelles. Cette base, qui correspond à la mise en production du modèle, a été nommée « recoltemais_prod » et la première a été renommée « recoltemais_test » grâce au code suivant :

```
--Renommer la base de données
--Vérifier la connexion
SELECT
*
FROM
    pg_stat_activity
WHERE
    datname = 'db';
--End the connection
SELECT
    pg_terminate_backend (pid)
FROM
    pg_stat_activity
WHERE
    datname = 'recoltemais';
--Renommer
ALTER DATABASE recoltemais RENAME TO recoltemais_test ;
```

Les tables « recolteannuelle », « ilot », « designer » de la base recoltemais_prod ont été vidées avant l'ajout de nouvelles données, grâce à la requête suivante :

`TRUNCATE recoltemais.ilot, recoltemais.recolteannuelle, recoltemais.designer ;`

Dans la base de données « recoltemais_test », le champ correspondant au numéro PAC de la parcelle dans la table « recolteannuelle » a été conservé car il correspond au code PAC des polygones initiaux. Cela permet de ne pas perdre le lien entre polygones et centroïdes et d'avoir la possibilité de remonter aux polygones initiaux.

2) Adaptations de la base de données pour le formulaire sur Smart-Phone.

La réflexion concernant le formulaire nécessaire à la création de l'outil mobile a impliqué de modifier la base de données pour obtenir le résultat voulu.

En effet, le formulaire concerne la table « recolteannuelle » qui comprend les observations liées à la récolte de chaque parcelle, mais nous avons aussi besoin d'informations provenant d'autres tables : contrat, exploitation, machine, semis, variété, semencier.

Il n'est pas possible de créer des sous-formulaires dans Qgis car « recolteannuelle » est la table « enfant¹⁰ » et les sous-formulaires ne peuvent être créés que dans des tables « parent ». Il faut donc réaliser des jointures dans la base de données pour insérer les données nécessaires dans « recolteannuelle » :

✓ En premier lieu, nous avons fait une jointure entre les tables « exploitation » et « contrat » pour avoir le nom de l'exploitation et les coordonnées du contact de l'exploitation dans chaque contrat. Suit ci-dessous l'exemple du code d'une requête :

```
UPDATE recoltemais.contrat SET nom_contact = (SELECT  
exploitation.nom_contact FROM recoltemais.exploitation
```

✓ Plusieurs jointures successives ont permis de rapatrier pour chaque entité de « recolteannuelle » les informations concernant le contrat, l'exploitation, la machine, le chauffeur, le semis, la variété, afin d'avoir l'information disponible pour chaque parcelle récoltée. Suit ci-dessous l'exemple du code d'une requête :

```
UPDATE recoltemais.recolteannuelle SET nom_chauffeur =  
(SELECT chauffeur.nom_chauffeur FROM recoltemais.chauffeur  
WHERE chauffeur.num_chauffeur=recolteannuelle.num_chauffeur)
```

3) Indexation

Pour le moment, la base de données (« recoltemais_test ») ne comporte que peu d'enregistrements : 517 enregistrements dans la table « recolteannuelle » pour l'année 2015 et 287 enregistrements

¹⁰ Dans Qgis, dans Projet – Propriétés création de relations de 1 à n avec « recolteannuelle » comme table enfant et les autres tables comme table parent.

dans la table « ilot ». De ce fait, le temps d'exécution des requêtes est très court (moins d'une seconde).

Toutefois, l'objectif, notamment avec la base « recoltemais_prod » est d'accumuler et d'interroger la base sur l'ensemble des données qu'elle gardera en mémoire année après année.

La méthode la plus courante pour optimiser une base de données est l'utilisation d'index. « Un index permet au serveur de bases de données de retrouver une ligne spécifique bien plus rapidement que sans index » (*Documentation PostgreSQL 2.8.23 – Langage SQL – Index, Disponible sur : <https://docs.postgresql.fr/8.2/indexes.html>*)

A cet effet, différents types d'index ont été créés dans la base « recoltemais_test » :

- ✓ Des index spatiaux de type Gist ont été créés sur les géométries des tables « plateforme », « ilot », « recolteannuelle », lors de l'export depuis Qgis dans PostGis. Ces index permettront d'optimiser les requêtes spatiales.

- ✓ La table « recolteannuelle » est celle qui comporte le plus grand nombre de champs et qui fait l'objet du plus grand nombre de requêtes. Différents tests ont été réalisés sur des champs qui font l'objet de requêtes. Les durées des requêtes ont été comparées en réalisant trois lancements successifs avec rafraîchissement de la base à chaque fois.

Suit ci-dessous le code d'un exemple de test sur une requête avec différents index :

```
SELECT SUM (recolteannuelle.surf_decla), recolteannuelle.num_contrat
FROM recoltemais.recolteannuelle
GROUP BY recolteannuelle.num_contrat
-- Temps de la requête sans index : 159, 134, 114 ms
-- Temps de la requête avec index sur surf_decla de type btree : 100 ms, 127
ms, 129 ms. Pas de temps gagné avec l'index.
-- Temps de la requête avec index sur num_contrat de type btree : 132 ms,
120ms, 131 ms.
-- Temps de la requête avec index sur surf_decla et num_contrat : 69 ms, 72
ms, 92ms. La mise en place des 2 index sur chacun des deux champs fait gagner
du temps.
```

Les différents tests ont conduit à générer des index de type B-tree sur les champs correspondant à la surface déclarée (« surf_decla »), la surface récoltée (« surf_recol ») et au numéro de contrat (« num_contrat »).

Des index ont aussi été créés sur les clefs primaires, aussi champ de jointure, des tables jointes à « recolteannuelle » pour gagner du temps sur les jointures. Le type d'index B-Tree est le seul qui puisse s'appliquer aux clés primaires.

Le tableau ci-dessous récapitule les index créés :

Table	Champ	Type d'index
<i>ilot</i>	geom	gist
<i>plateforme</i>	geom	gist
<i>recolteannuelle</i>	geom	gist
	surf_decla	btree
	surf_recol	btree
	num_contrat	btree
<i>machine</i>	num_machine	btree
<i>chauffeur</i>	num_chauffeur	btree
<i>semis</i>	num_semis	btree
<i>variété</i>	num_variete	btree

Lorsque la base « recoltemais_prod » sera complétée, il faudra créer les mêmes index. Pour que ces index restent efficaces, il faudra nettoyer les données avec la commande VACUUM après qu'un grand nombre de requêtes ait été réalisé dans la base.

C. Requêtes et résultats.

Un objectif majeur du stage est de créer une base de données associée à un outil géomatique permettant, d'abord, d'organiser une campagne annuelle de récolte, et ensuite, de réaliser des calculs dont le résultat aidera à optimiser l'organisation de la collecte à venir.

Les premières requêtes réalisées sur la base de données « recoltemais_test » sont répertoriées ci-dessous :

INTITULE
Liste des contrats par exploitation
Superficie de récolte de l'année par contrat
Superficie récoltée à l'instant T par contrat
Superficie qui reste à récolter à l'instant T par contrat
Poids théorique récolté sur une parcelle (en tonnes)
Poids théorique du contrat dans l'année (en tonnes)
Poids théorique récolté d'un contrat à l'instant T (en tonnes)
Coût de transport calculé (par parcelle, contrat)
Indemnisation annuelle service de collecte du maïs (10 €/ha)
Surface récoltée par chaque machine
Temps de collecte de chaque parcelle
Volume théorique affecté à chaque plateforme

L'Annexe 11 présente le code SQL de ces requêtes. Les résultats de chaque requête sont exportés dans le format CSV pour ensuite créer le classeur excel « REQUETES.xlsx ». De même, le contenu de chaque table de la base est exporté en CSV pour compléter le classeur « TABLES BD.xlsx ».

Ces classeurs excel permettront aux responsables de PROSEM et d'ATESyn, qui ne manipulent pas la base de données dans PGAdmin, d'avoir, à disposition et de manière ordonnée, toutes les données contenues dans la base et les résultats des calculs afin de les prendre en main et de réaliser leurs propres calculs et analyses.

La figure 15 présente l'exemple de la requête concernant le calcul du coût de transport par parcelle, selon les paramètres établis dans l'étude logistique (*Chambre d'Agriculture de l'Ariège, ATESYN, ARSEME, 2016*).

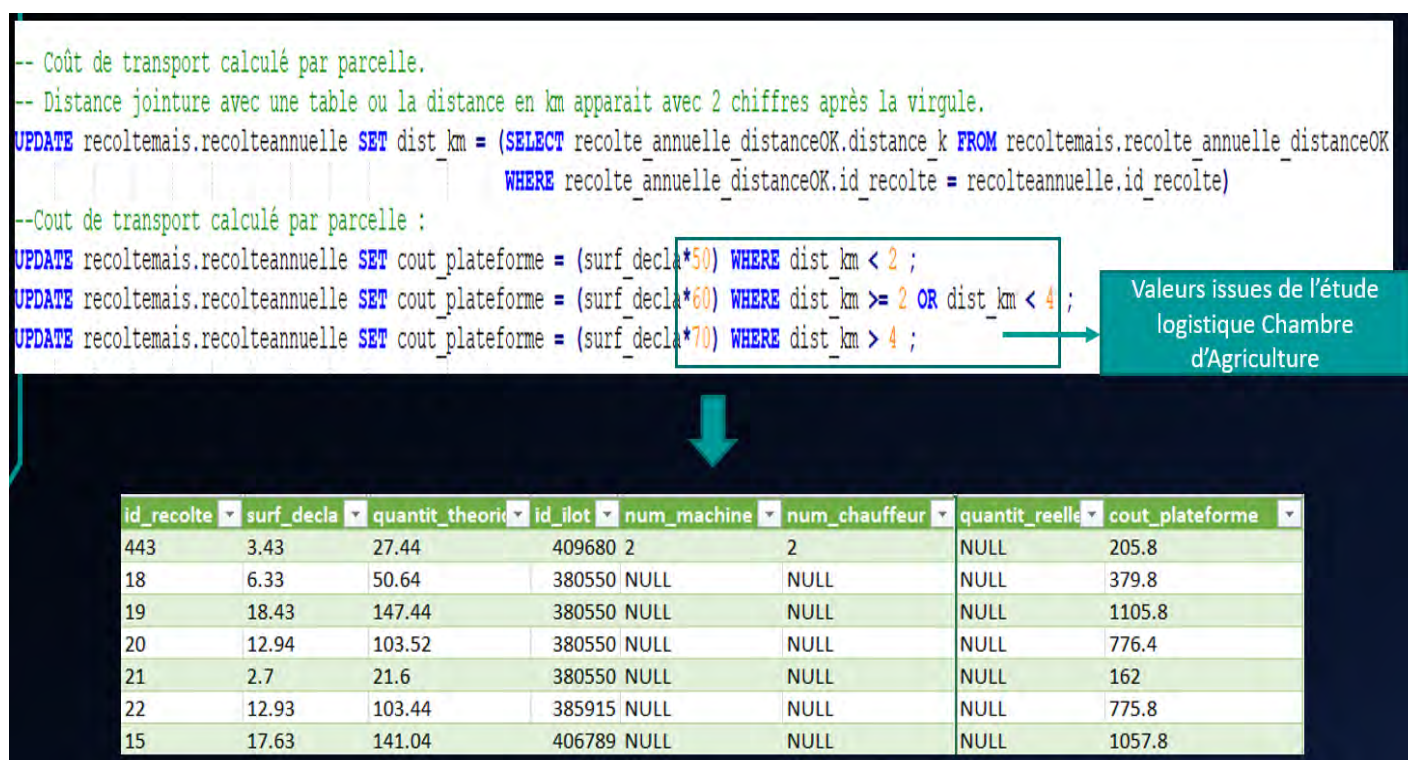


Figure 12 : Exemple d'une requête et du résultat exporté dans excel

Parmi les calculs réalisés sur les données de la base « recoltemais_test », il convient de s'interroger sur le résultat suivant :

Numéro plateforme	Appellation plateforme	Volume stockage prévu (m3)	Volume théorique affecté (m3)
1	Mistou	3300	8003.06
2	Lhote	2500	14340.76
3	Arseme	9000	7695.36
4	Delponte	3129	12520.65
5	Bernard	1270	9390.20

Figure 13 : Tableau donnant le volume théorique affecté à chaque plateforme (données de la base « recoltemais_test »)

Le volume théorique affecté à la plateforme correspond au volume qui serait stocké sur cette plateforme si on y amenait l'ensilage des parcelles les plus proches, selon le calcul d'itinéraires réalisé et décrit dans la partie II du rapport. Ce calcul est basé sur la surface déclarée par parcelle, un rendement moyen de 8 tonnes par hectares et le ratio moyen (densité) : 1 tonne d'ensilage de maïs occupe 0,7 m³¹¹.

Quand on regarde les résultats de ce tableau, on constate que le volume affecté ne correspond pas au volume des plateformes. Cela montre que le calcul d'itinéraires qui prend uniquement en compte la plus courte distance entre parcelles et plateformes ne suffit pas, comme cela a déjà été mentionné dans la partie II. Cependant, il est nécessaire de refaire le calcul avec des parcelles réellement récoltées pour mesurer l'écart réel entre volume de stockage et volume (potentiellement) affecté.

D. Conclusions et perspectives.

✓ L'outil Base de Données est vraiment central dans ce projet. Dans les parties suivantes du rapport, nous verrons qu'il servira aussi de base pour la création de l'outil mobile et la page internet.

✓ Un avantage important est la possibilité de manipuler les données facilement, avec QGIS et PGAdmin, pour construire une base la plus complète possible malgré des sources de données et des formats disparates.

✓ La structure de la base doit être testée avec des données « réelles » pour savoir s'il est nécessaire de la faire évoluer. Notamment, il ne faut pas oublier qu'une autre base de données ou une extension de celle-ci devra être construite pour la partie épandage du digestat.

✓ Les premières requêtes présentées ci-avant ressortent d'échanges avec PROSEM avant que ne soit créée la base de données : nul doute que les requêtes à venir seront d'une nature plus fine et plus complexe, nécessitant alors une bonne connaissance de l'outil.

¹¹ Ces chiffres de rendement et de volume ont été définis avec les responsables de PROSEM, selon des études déjà réalisées.

IV) Un outil mobile adapté aux besoins du terrain.

A. Analyse des besoins :

Des entretiens avec le responsable de PROSEM en charge de la récolte ont permis de connaître les besoins en matière d'outil mobile :

- ✓ Il s'agit de pouvoir afficher la cartographie des parcelles récoltées pour la campagne en cours, les ilots dans lesquels elles sont incluses et les plateformes de stockage.

- ✓ Le chauffeur qui va récolter la parcelle doit compléter un formulaire avec des données constatées sur le terrain : date et heure, surface réelle récoltée, présence de l'agriculteur pour valider la récolte...

Les données qui devront être affichées et/ou complétées dans le formulaire sont listées dans l'annexe 7 (champs surlignés en bleu).

Comme pour les autres étapes, l'objectif est d'utiliser un logiciel libre.

L'outil mobile sera utilisé par les chauffeurs des machines agricoles : il faut une application simple d'utilisation et que le formulaire soit complété rapidement pour chaque parcelle. Cet outil sera utilisé simultanément par deux chauffeurs et le responsable de la récolte doit pouvoir contrôler en fin de journée ce qui a été fait.

Au cours du stage, il est apparu que l'outil mobile pouvait aussi servir pour la saisie des parcelles de l'année à récolter (tableau en Annexe 3). Pour cela, on utilisera le même formulaire mais avec des paramétrages différents. Deux configurations d'utilisation de l'outil mobile sont donc créées : la configuration « saisie » et la configuration « récolte ».

B. Analyse comparative des différentes solutions de SIG mobile et choix technique.

Des recherches ont été effectuées sur les différentes solutions de SIG mobile. Un premier tri a été réalisé pour éliminer les applications qui ne correspondaient pas du tout aux besoins. Certaines applications payantes, comme celles proposées par Esri, ont été incluses dans l'analyse du fait qu'elles sont largement diffusées et connues dans le marché du SIG.

Sur la base des besoins énoncés plus haut, l'application recherchée doit répondre aux critères suivants :

- ✓ Fonctionner sur l'OS¹² Android sur Smart-Phone et/ou tablette.
- ✓ Fonctionner en mode « hors ligne » : pouvoir enregistrer les données en l'absence de réseau.
- ✓ Pouvoir afficher et superposer différentes couches de données géographiques exportables depuis Qgis.
- ✓ Permettre la collecte de nouvelles données à la fois géographiques et attributaires.

¹² Operating System

- ✓ Posséder un formulaire personnalisé.
- ✓ Être gratuit ou à un coût peu élevé.

Différentes applications ont été comparées sur la base de ces critères. L'Annexe 12 du rapport récapitule dans un tableau les caractéristiques de chacune d'elles. Sur cette base, le choix s'est porté sur l'application Qfield, logiciel libre développé par l'entreprise OPENGIS.ch ; basée en Suisse.

C. Création du formulaire et de l'outil mobile.

Le projet complet est créé sous QGIS avant d'être configuré spécifiquement pour QField.

1) Choix des fonds de carte :

L'objectif est d'avoir deux fonds de carte : un plan (type plan IGN) et des photos aériennes (ortho-photo). Pour Qfield, il est conseillé de convertir ces fonds au format GEOPACKAGE (GPKG), moins lourd qu'un tif¹³.

Il faut que ce soit suffisamment précis sans que les fichiers soient trop lourds : plusieurs essais ont été réalisés en ce sens.

Les fonds de carte qui ont fait l'objet d'essais et qui n'ont pas été retenus sont :

Fond de carte	Format	Explication de l'abandon de ce fond
IGN Scan 250	GPKG	Manque de précision
IGN Ortho 5m	GPKG	Raster fusionné illisible par endroit Fichiers trop gros
IGN Ortho 50cm	GPKG	Fichiers trop gros
OSM France Standard	GPKG (obtenu avec IGN Map ¹⁴)	Problème de calage avec certaines entités de la couche ilot (certaines parcelles sur la route).

Il semble difficile d'avoir des fichiers d'ortho-photos d'une taille convenable pour l'enregistrer dans le projet.

Il semble qu'il soit plus facile d'utiliser des flux WMS. Pour cela, les fonds de carte retenus par le projet sont les flux :

- ✓ OSM France Standard
- ✓ Google Satellite¹⁵.

Ces flux seront transformés en GPKG lors de la création du paquet « Qfield » avec l'extension Qfield-Sync sur la zone définie par l'utilisateur. Ainsi, il sera possible d'avoir un affichage des fonds de carte même en dehors de toute connexion au réseau.

¹³ Source : Guide d'utilisateur de QField - <https://qfield.org/docs/fr/user-guide/index.html>

¹⁴ Télécharger sur <http://ignmap.ign.fr/spip.php?article1>

¹⁵ Obtenus avec l'extension Qgis QuickMapServices

2) Création du formulaire sur Qgis.

Pour créer un projet Qfield, il faut d'abord configurer le projet sur Qgis.

✓ Après divers essais, il a été décidé d'ajouter directement les couches de la base PostGIS puisqu'il s'agit d'un format supporté par Qfield.

✓ Dans les propriétés du projet, des relations de 1 à n ont été créées entre les tables « ilot, plateforme, chauffeur, machine, semis, variété, semencier » en tant que couche parent et « cultureannuelle »¹⁶ en tant que couche enfant (7 relations créées).

✓ Le formulaire a été configuré dans la couche « cultureannuelle ». Dans ce formulaire, trois catégories ont été créées : contrat, culture et récolte. Chaque catégorie contient plusieurs champs.

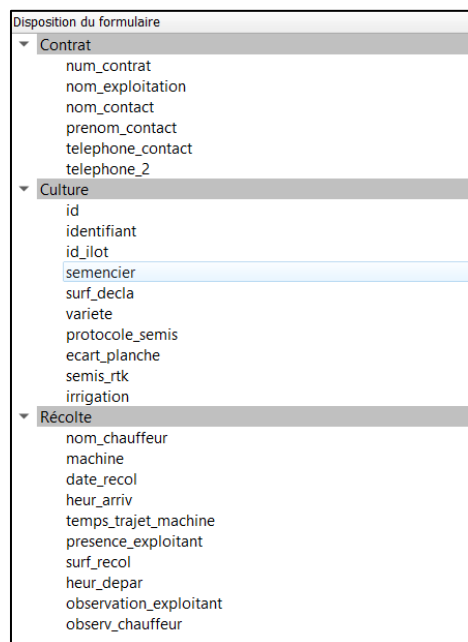


Figure 14 : Capture d'écran de la configuration du formulaire sur Qgis.

- Dans la configuration « saisie », il s'agit de saisir les parcelles de maïs de l'année et les attributs connus au moment du semis. Par conséquent, les champs des catégories « Contrat » et « Culture » sont éditables, tandis que ceux de la catégorie « Récolte » sont rendus non-éditables (car ils n'ont pas lieu d'être complétés à cette étape). L'Annexe 13 présente le diagramme de flow de la création du formulaire en mode « saisie des parcelles ». Notamment, les champs « semencier », « protocole_semis », « ecart_planches » pourront être saisis dans une liste déroulante faisant appel au contenu de la même ou d'autres tables (semencier, semis). Afin d'éviter qu'un enregistrement puisse être écrasé par un autre, l'identifiant « id_recolte » doit être unique et non null. Pour chaque champ, des « alias » explicites sont choisis pour apparaître sur le formulaire.

¹⁶ Il s'agit de la couche « recolteannuelle » qui a été renommée dans la base « recoltemais_prod ».

Figure 15 : Capture d'écran du formulaire pour une parcelle saisie.

- Dans la configuration « récolte », le chauffeur devra compléter les attributs constatés sur le terrain au moment de la récolte. Seuls les champs de la catégorie « Récolte » sont rendus éditables. A ce stade, les champs des catégories « contrat » et « culture » doivent avoir été complétés au préalable et sont présents à titre informatifs et non modifiables. Les champs « nom_chauffeur » et « machine » sont complétés avec l'outil « valeur relationnelle », c'est-à-dire que les valeurs proviendront des couches « chauffeur » pour le nom du chauffeur et « machine » pour l'appellation de la machine de récolte. Le champ surface récoltée (« surf_recol ») prend comme valeur par défaut la valeur déclarée. Cette valeur ne sera modifiée que si le chauffeur constate un écart (obstacle, récolte impossible sur une partie de la parcelle) sur le terrain.

3) Préparation et création du projet pour Qfield.

- ✓ Afin de rendre l'outil mobile et le formulaire le plus clair et lisible possible, la couche « cultureannuelle » est paramétrée de la manière suivante :
 - Echelle de visibilité : 1/200 000
 - Etiquettes : Identifiant de la parcelle (affichage à partir de l'échelle 1/100 000ème).
 - Ajout d'un titre « Identifiant de la parcelle » à l'entité.
 - Symbologie : Création d'un ensemble de règles pour obtenir deux couleurs sur les parcelles selon qu'elles sont récoltées ou non :

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| ☒ | ♦ Récolte à faire | "date_recol" IS NULL |
| ☒ | ♦ Récolte faite | "date_recol" IS NOT NULL |

✓ Les tables qui n'ont pas besoin d'apparaître dans le projet Qfield sont « cachées » grâce au plugin « Invisible layers and group ».

✓ Deux thèmes de carte sont créés : photo aérienne et plan. Cela permettra de modifier le fond de carte selon les besoins dans Qfield.

✓ Dans les propriétés du projet, les sources de données sont configurées de la manière suivante :

Couche	Identifiable	Lecture seule	Recherchable	Requis
 cultureannuelle	☒	☐	☒	☐
 plateforme	☐	☒	☐	☐
 ilot	☐	☒	☐	☐
 Plan	☒	☐	☐	☐
 Photo aérienne	☒	☐	☐	☐
 Tables_cachées	☐	☐	☐	☐
 variete	☐	☒	☐	☐
 semencier	☐	☒	☐	☐
 semis	☐	☒	☐	☐
 machine	☐	☒	☐	☐
 contrat	☐	☒	☐	☐
 chauffeur	☐	☒	☐	☐

Figure 16 : Configuration des couches du projet pour l'export dans Qfield

L'ensemble de ces paramétrages est détaillé dans le diagramme de Flow dans l'Annexe 15.

✓ L'extension Qfield Sync permet de réaliser la configuration finale du projet qui est ensuite exportée dans le téléphone, dans un répertoire accessible à Qfield. Le schéma de l'annexe 16 précise la configuration nécessaire du projet. La couche « cultureannuelle » qui sera mise à jour dans Qfield et réimportée dans Qgis doit être mise en « édition hors-ligne ».

Le rendu de l'application est visualisable dans les annexes 17 et 18 qui sont les tutoriels d'utilisation de l'application mobile à destination des chauffeurs et des responsables de PROSEM.

D. Synchronisation et création de versions.

1) Objectifs

L'utilisation classique de Qfield implique de copier le projet dans le téléphone après la création du « paquet pour Qfield » avec l'extension « Qfield-Sync » et de reconnecter le téléphone pour « synchroniser depuis Qfield ». Ce procédé présente l'avantage de mettre à jour directement la base de données mais implique de connecter le téléphone et d'ouvrir Qgis à chaque fois que l'on veut mettre à jour la base de données.

Les chauffeurs qui récoltent l'ensilage ont un rythme de travail très intense pendant toute la récolte. Ils n'ont pas le temps d'amener chaque soir leur téléphone au siège de la société pour qu'un opérateur récupère les fichiers. L'objectif est de pouvoir récupérer directement les données du téléphone avec une synchronisation à distance.

Un autre point important est que les deux chauffeurs (bientôt trois) travaillent sur la même couche mais ne mettent jamais à jour les mêmes entités puisque chacun récolte des parcelles différentes. Il faut veiller à ce que la synchronisation se fasse de manière à ce que les mises à jour d'un chauffeur n'écrasent pas les mises à jour d'un autre chauffeur. Voilà pourquoi nous nous sommes intéressés aux outils de « Versionning ».

2) Recherches

✓ En premier lieu, les recherches se sont tournées vers des possibilités d'extension de l'application et un contact a été pris avec l'entreprise OPENGIS.ch qui propose de travailler sur ces problématiques dans le cadre de prestations¹⁷. Par ailleurs, l'entreprise est en train de développer l'extension « Qfield-Cloud » qui devrait permettre de réaliser la synchronisation « online » et « offline » de projets Qfield. D'après les échanges avec une collaboratrice, un test bêta est sorti en juillet 2020 et la version publique sortira plus tard dans l'année. L'utilisation privée basique de Qfield-Cloud sera gratuite et les fonctionnalités avancées et professionnelles seront payantes.

✓ L'extension « Versionning Plugin » de Qgis permet à priori de faire à la fois la synchronisation et de gérer les versions entre une base Spatialite sur mobile et une base PostGreSQL / PostGIS. Les possibilités de cette extension n'ont pas été explorées et testées pendant le stage.

✓ GeoGig est un outil open-source qui s'inspire du fonctionnement de Git, notamment avec la création de branches, pour gérer le versionning de données géospatiales. « Les utilisateurs peuvent importer des données géospatiales brutes (actuellement à partir de Shapefiles, PostGIS ou Spatialite) dans un référentiel où chaque modification des données est suivie. Ces modifications peuvent être affichées dans un historique, restaurées vers des versions plus anciennes, ramifiées, fusionnées de nouveau et transférées vers des référentiels distants. » (GEOGIG – A tool for geospatial data management,

¹⁷ Les tarifs standards d'intervention sont consultables sur <https://www.opengis.ch/qgis-support/>

✓ SyncThing est un programme open-source de synchronisation de fichiers en continu développé par la société suédoise Kastelo. Elle synchronise les fichiers entre plusieurs ordinateurs, Smart-Phone ou tablettes en temps réels.

3) Installation et test de SyncThing

Le choix s'est porté sur l'application SyncThing du fait de sa simplicité d'installation et de manipulation, notamment car la synchronisation est entièrement automatique : les chauffeurs n'auront besoin de faire aucune manipulation sur leur téléphone.

L'application a d'abord été installée sur l'ordinateur de PROSEM. L'application n'a pas besoin d'adresse IP, elle fonctionne sur le réseau local et sur internet. Chaque machine (ordinateur ou Smart-Phone) possède un identifiant qui va permettre de les connecter entre elles. L'interface graphique est disponible sur le port 8384 : <http://127.0.0.1:8384/#>

On identifie d'abord l'ordinateur de PROSEM puis les appareils mobiles sont ajoutés : il suffit d'activer la connexion Wifi entre le téléphone et l'ordinateur pour que le repérage se fasse de manière automatique, sans avoir à rentrer l'identifiant du téléphone.

Une fois les appareils connectés, il faut paramétrer les dossiers à partager. Dans le cas qui nous intéresse, les projets Qfield de chaque chauffeur sur leur mobile seront synchronisés avec le dossier Qfield de l'ordinateur. Il faut créer un dossier différent par chauffeur pour éviter d'écraser les données mises à jour. Pour le responsable de la collecte, la synchronisation se fera entre son téléphone et l'ordinateur mais avec un fichier contenant l'ensemble des données mises à jour dans la base de données.

SyncThing permet aussi de conserver différentes versions d'un projet, dans le sens où il peut archiver l'ancienne version d'un fichier lorsqu'il est supprimé ou remplacé par une version plus récente. Le « versionnage » des fichiers n'existe pas par défaut mais peut-être configuré pour chacun des dossiers partagés.

Dans le cas de la récolte 2020, il a été choisi de configurer le versionnage de « style poubelle » pour une durée de trois jours : cela signifie que les anciennes versions de fichiers sont conservées pendant trois jours avant d'être supprimées définitivement.

L'Annexe 19 présente le détail de certaines étapes de la configuration de SyncThing.

4) Utilisation d'Ogr2Ogr

Avec l'étape précédente, il existe une synchronisation en continu entre les fichiers sur ordinateur et les fichiers sur mobile. Il reste à extraire les mises à jour de chacun des fichiers pour mettre à jour la base de données.

Le format de fichier de départ est un GEOPACKAGE. Pour extraire les données des GPKG, nous avons utilisé OGR, sous-ensemble de la bibliothèque GDAL, qui permet d'accéder à la plupart des formats courants de données vectorielles. Plus particulièrement, « ogr2ogr » est utilisé pour convertir des entités en différents formats.

Ainsi pour extraire les données mises à jour par chaque chauffeur du dossier GPKG, nous avons exécuté les lignes de commandes suivantes dans OSGeo4W Shell¹⁸ :

```
ogr2ogr -where "\"nom_chauffeur\"=\"Mazet\""
C:\Users\utilisateur\Documents\STAGE_PROSEM\Qgis\Qfield_essai2\mazet.gpkg
C:\Users\utilisateur\Documents\STAGE_PROSEM\Qgis\Qfield_essai2\recolteannuelle_modif.gpkg

ogr2ogr -where "\"nom_chauffeur\"=\"BORGHINI\""
C:\Users\utilisateur\Documents\STAGE_PROSEM\Qgis\Qfield_essai2\borghini.gpkg
C:\Users\utilisateur\Documents\STAGE_PROSEM\Qgis\Qfield_essai2\recolteannuelle.gpkg
```

On obtient donc deux fichiers GPKG, mazet.gpkg et borghini.gpkg (nom des deux chauffeurs) qui ne contiennent que les entités complétées par l'un ou l'autre. Il suffit ensuite de mettre à jour la couche « cultureannuelle » de la base de données. Pour cela, il faut passer par le gestionnaire de base de données de Qgis et importer le fichier dans la base. Il est possible de faire au préalable une sélection en fonction de la date de récolte, afin d'importer uniquement les entités récoltées depuis la dernière mise à jour.

E. Conclusions et perspectives

Dans cette partie, plusieurs pistes permettraient d'améliorer l'outil mobile :

- ✓ Concernant le formulaire, dans la configuration « saisie de parcelles », il faudrait paramétrer le remplissage automatique de champs dans la catégorie « contrat » : nom, prénom, téléphone... Cela pourra se faire dès que la table « contrat » sera complétée. De même, il faudrait pouvoir compléter le champ « id_recolte » automatiquement.

- ✓ Concernant la synchronisation pour l'utilisation multi-utilisateurs, il faudra comprendre et tester les possibilités offertes par Qgis Cloud lors de sa sortie.

- ✓ D'autres outils pourront être installés et testés pour les problématiques de versionnage et de synchronisation, tels que l'extension « Versionning Plugin » et GeoGig afin de choisir l'outil le plus adapté.

- ✓ Quel que soit l'outil utilisé, il serait souhaitable d'automatiser au maximum la mise à jour de la base de données. Par exemple, il faudrait que la mise à jour se fasse tous les jours à minuit.

- ✓ Enfin, si l'utilisation multi-utilisateurs se développe, sur mobile et/ou d'autres supports, PROSEM devra réfléchir à la mise en place d'un serveur et d'un accès à distance de type Virtual Personal Network (VPN).

¹⁸ Installation automatique avec Qgis.

V) La prise en main par les utilisateurs : création d'une page web.

A. Construction d'une page Web pour afficher les résultats.

Comme il a été dit précédemment, PROSEM n'a pas, pour le moment, de personnel qualifié pour faire de la cartographie ou manipuler la base de données. En dehors de l'outil mobile et des exports Excel, la visualisation des résultats demande de savoir manipuler Qgis et PgAdmin.

L'idée de créer une page web dédiée à la récolte est de rendre accessible la cartographie et les résultats des requêtes réalisées.

1) Choix techniques

Plutôt que d'utiliser une application comme Lizmap, il a été décidé de créer complètement l'application web cartographique pour plus de souplesse et de possibilités d'améliorations par la suite.

✓ Pour l'affichage des données géographiques, le serveur géographique GéoServer (version 2.14.1) a été installé afin de pouvoir créer des flux WFS¹⁹ avec les données vectorielles. Au préalable, il a fallu installer Java 8 et Tomcat 9.

✓ La création de la carte s'est faite avec l'API²⁰ Open Source Leaflet, bibliothèque en JavaScript qui permet de créer des cartes interactives.

✓ La page Web a été construite en local avec l'installation de Wamp Server pour pouvoir publier le code PHP.

2) Création de flux WFS avec Géoserver

De manière générale, le service WFS permet, au moyen d'une URL²¹ formatée, d'interroger des serveurs cartographiques afin de manipuler des objets géographiques (lignes, points, polygones...). L'intérêt est que le WFS permet d'accéder aux objets vecteurs de la table et de réaliser des requêtes dessus. De plus, l'URL peut aussi être utilisée dans Qgis si nécessaire.

✓ Un nouvel espace de travail (Workspace) est créé et nommé « prosem » ainsi qu'un nouveau « datastore » qui paramètre la connexion à la base de données PostGis « recoltemais_test ».

✓ A partir de là, il est possible d'ajouter les trois couches « recolteannuelle », « ilot », « plateforme » dans « Layers ». Par contre, pour créer des cartes avec Leaflet, il faut changer le système de coordonnées, passer de l'EPSG 2154 à l'EPSG 4326, qui est le seul reconnu par Leaflet.

¹⁹ Web Feature Service

²⁰ Applications Programming Interface.

²¹ Uniform Resource Locator

✓ Enfin, dans « Layer Preview », nous pouvons sélectionner, pour chacune des trois couches, le format WFS GeoJSON qui va générer l'URL utilisée pour la création du site internet.

3) Code et affichage de la page Web

Le code est structuré de la manière suivante :

✓ Une page « index.php », page html, qui donne la structure générale du site.
Les API et framework nécessaires à la création du site sont chargés dans le « head » de la page.
Il s'agit de :

- Leaflet
- Le plugin Leaflet-WFS (car Leaflet n'a pas de classe dédiée au protocole WFS).
- Le framework Bootstrap (en JavaScript et CSS), utilisé pour la barre de navigation et le container.
- La bibliothèque jQuery.
- La page de style CSS.

Cette page contient le code du haut de la page, de la barre de navigation et inclut les pages « carte.php » et « tableaucontrat.php. »



Figure 17 : Capture d'écran de l'entête du site internet

✓ Une page « carte.php », en HTML(5) et JavaScript, contient le code de la carte interactive qui permet de visualiser :

- Les parcelles, plateformes et ilots affichés à partir du flux WFS créé sur Géoserver.
- Des popup²² sur les parcelles et les plateformes, avec les informations principales pour chacune d'elle.
- Le choix entre deux fonds de carte (photo aérienne ou plan). Les fonds de plan sont fournis par ESRI.
- La légende et l'échelle de la carte.

²² Bulle qui s'affiche lorsque l'utilisateur « clique » sur une entité.

Carte des parcelles

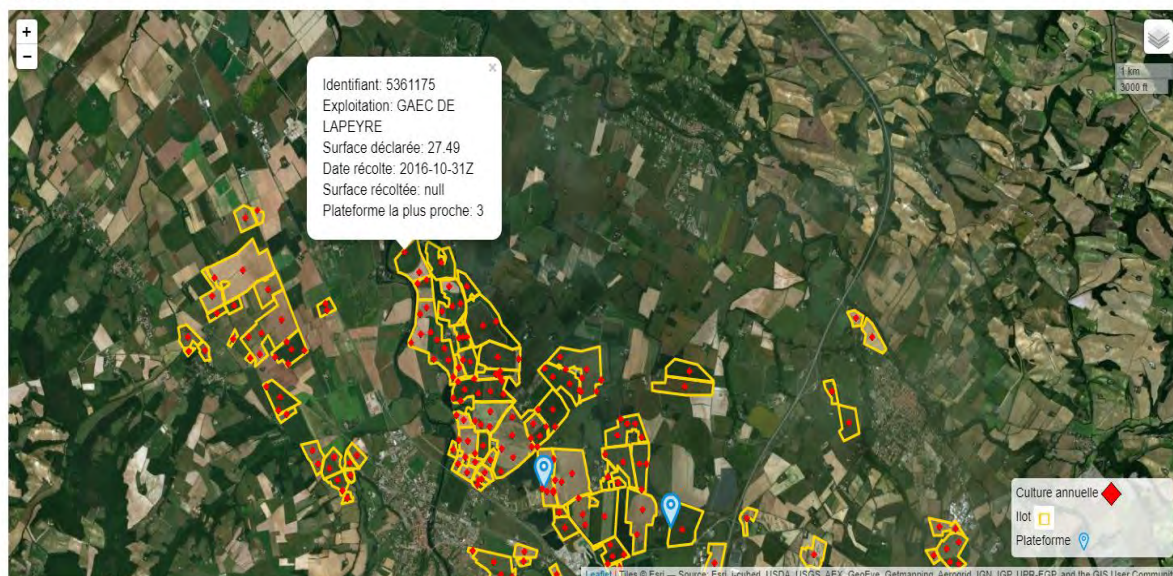


Figure 18 : Capture d'écran de la carte interactive du site internet

✓ Une page « `connection.php` » permet de se connecter à la base de données PostGIS. Pour que cela puisse fonctionner, il faut installer l'extension PHP `pdo_pgsql` dans WampServer.

✓ Une page « `tableaucontrat.php` », codée en PHP, SQL et HTML, réalise les requêtes sur la base de données et affiche les résultats dans des tableaux. Pour le moment, il s'agit des mêmes requêtes que celles réalisées directement sur la base de données et exportées dans excel (cf. partie III C du rapport).

Numéro contrat	Nom exploitation	Surface déclarée (ha)	Surface récoltée (ha)	Poids récolté (tonnes)	Cout de transport (€)	Indemnisation agriculteur (€)
1		20.21	4.64	37.12	1277	46
2		123.53	2.50	20.00	8420	25
3		116.65	9.00	72.00	7904	90
4		91.19	1.30	10.40	6023	13
5		108.91	1.00	24.00	7494	30
6		92.47			6313	
7		119.31			8352	
8		101.42			6765	
9		130.92			8723	
10		150.70			10566	
11		185.13			11448	
12		71.00			4676	
13		30.92			1900	
14		24.01			1597	
15		194.18			13064	
16		41.27			2476	
17		116.75			7875	
18		104.48			7147	
19		46.06			3026	

Figure 19 : Capture d'écran de la page internet (1er tableau)²³

²³ Les noms des exploitants ont été gommés.

Surface récoltée par machine à ensiler		
Numéro machine	Appellation machine	Surface récoltée (ha)
1	labraud	14.94
2	v1	5.50

Volume théorique affecté à chaque plateforme			
Numéro plateforme	Appellation plateforme	Volume stockage prévu (m3)	Volume théorique affecté (m3)
1	Mistou	3300	4001.53
2	Lhofe	2500	7170.38
3	Arseme	9000	3847.68
4	Delponte	3129	6260.33
5	Bernard	1270	4695.10

→ SAS PROSEM - 58 RUE LOUIS PASTEUR 09340 VERNIOLLE - par Anne-Sophie Tronc -

Figure 20 : Capture d'écran du site internet (tableau 2 et 3)

Le site affiche également les détails concernant les données et le mode de calcul.

✓ Une page « style.css » comprend tous les styles CSS utilisés dans la page. L'objectif était de créer un visuel similaire à celui de l'application mobile, toujours dans une recherche de simplicité et de rapidité de lecture.

L'Annexe 20 reprend l'intégralité du code l'application web, page par page.

4) Problèmes de CORS et configuration d'un proxy.

Lors de la création du site, des difficultés ont émergé, liées au « Cross-origin resource sharing²⁴ » (CORS). « Le CORS est un mécanisme qui consiste à ajouter des en-tête HTTP afin de permettre à un agent utilisateur d'accéder à des ressources d'un serveur situé sur une autre origine que le site courant »²⁵. Pour des raisons de sécurité, les requêtes HTTP d'origines multiples sont limitées. Ainsi, la carte ne pouvait pas s'afficher car la page « carte.php » appelait deux domaines différents, celui des flux WFS de Géoserveur (<http://localhost:8080/geoserver/>) et celui sur du site (<http://localhost/>).

Pour résoudre ce problème, dans un premier temps et de manière provisoire, l'extension « CORS Unblock » a été installée sur Chrome. Cela a permis d'afficher la carte mais cela ne permettait pas de résoudre le problème de manière durable.

La véritable solution a été de configurer un proxy²⁶ sur le serveur web Apache. De manière générale, un proxy (ou serveur proxy Web) est un serveur qui sert d'intermédiaire entre l'ordinateur et internet. Pour le serveur Apache, dans le fichier httpd.conf, « le mod_proxy et ses modules associés implémentent un mandataire pour le serveur HTTP Apache et supportent de nombreux protocoles courants. »²⁷

²⁴ Partage des ressources entre origines multiples en français (peu usité)

²⁵ Source : <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/HTTP/CORS>

²⁶ Peut se traduire par mandataire.

²⁷ Source : https://httpd.apache.org/docs/current/fr/mod/mod_proxy.html

Dans Wamp Server, les modules Apache suivants ont été chargés : *proxy_module*, *proxy_http_module*, *proxy_ajp_module*.

Le code suivant a été rajouté au fichier httpd.conf :

```
#Mandataire direct
ProxyRequests Off
ProxyPreserveHost On

<Proxy /geoserver>
    Require all granted
</Proxy>

#Mandataire inverse
ProxyPass /geoserver http://127.0.0.1:8080/geoserver
ProxyPassReverse /geoserver http://127.0.0.1:8080/geoserver
```

Suite à ces modifications, les URL des flux WFS générées par Géoserver sont du type :
'<http://localhost:/geoserver/prosem/ows?service=WFS&version=1.0.0&request=GetFeature&typeName=prosem%3Arecolteannuelle&maxFeatures=1000&outputFormat=application%2Fjson>'

La référence au port 8080 a disparu, le site fonctionne sans l'extension « CORS Unblock » sur Chrome et pourra fonctionner sur un serveur Web classique.

B. Conclusions et perspectives.

✓ En premier lieu, pour faire fonctionner le site, il faut maintenant que PROSEM choisisse un hébergeur et un nom de domaine. L'accès doit être restreint aux responsables de PROSEM.

✓ Au niveau technique, plusieurs alternatives à ce qui a été proposé peuvent être étudiées et testées :

- Geoserver est un serveur géographique mais il en existe d'autres : Mapserver, QgisServer... Il faudrait comparer ces différentes solutions et choisir la plus adaptée.
- Pour réaliser la carte interactive, il faudrait comparer Leaflet avec Open Layers qui est l'autre API open source en webmapping, d'autant qu'Open Layers n'a pas besoin de plugin pour utiliser le protocole WFS.

✓ Pour aller plus loin, il faudrait faire des recherches pour automatiser la mise à jour de la carte lors de la modification de la base de données. Comme pour l'outil mobile, la mise à jour pourrait se faire quotidiennement en période de collecte.

✓ Cette page présente quelques informations succinctes et pourrait être étoffée. En premier lieu, un bouton pourrait permettre d'accéder aux fichiers Excel de la base de données et des résultats des requêtes. De même, on pourrait rendre accessible les tutoriels de l'outil mobile (en format PDF et/ou sous format Vidéo). En fonction des besoins de PROSEM, des développements plus poussés pourraient être réalisés : création d'un site de présentation de PROSEM, affichage interactif de résultats de requêtes (par exemple, demander l'affichage de toutes les parcelles d'une exploitation donnée, ou d'une variété...)

Conclusion

A la fin du stage, fin juillet 2020, la base de données, l'outil mobile, y compris la synchronisation et la mise à jour de la base, sont prêts à être testés pour la campagne de récolte 2020. Les applications sont installées sur les smartphones des chauffeurs et du responsable de la récolte, les tutoriels sont disponibles.

Avant même d'avoir l'expérience de la récolte, la suite du projet dépend, en premier lieu, de la mise en place d'une organisation et d'une méthode pour la collecte des données, c'est-à-dire la localisation et les caractéristiques des parcelles cultivées dans l'année. En effet, cette organisation permettra de faciliter l'alimentation de la cartographie et de la base de données et la configuration de l'outil mobile avant le démarrage de la collecte.

L'année de « test » 2020 permettra de réfléchir pour l'année suivante à l'amélioration de tous les outils créés pendant le stage : base de données, outil mobile et page internet.

Le contenu du stage a permis d'aborder des thèmes géomatiques très variés. Le fait qu'il n'y ait pas de base géomatique au départ a ralenti la création des outils mais cela a aussi permis de construire un outil totalement dédié au projet, bâti au fur et à mesure, en tenant compte à chaque étape des demandes des utilisateurs.

Comme cela été précisé dans le rapport, chaque thématique (base de données, outil mobile, page internet) peut être améliorée et approfondie, tout en restant au plus près de la demande des utilisateurs. A titre d'exemple, le calcul d'itinéraires pourrait être approfondi techniquement mais ce point ne semble pas forcément prioritaire ; par contre, il serait souhaitable d'aller plus loin dans l'automatisation de la mise à jour de la base de données et de la page web, à la fois pour gagner du temps et pour pallier l'absence d'un géomaticien dans les structures qui suivent le projet.

Enfin, dans les perspectives, la problématique de l'épandage pourrait être abordée de la même manière que celle de la récolte, soit par ajout à l'existant, soit en créant un autre outil similaire.

Bibliographie :

Arseme, L'Artifex. (2017). Dossier de demande d'enregistrement pour les rubriques 2781 (méthanisation) et 2910-C (combustion) - Unité de méthanisation.

Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture. (s.d.). Disponible sur : <https://chambres-agriculture.fr/exploitation-agricole/developper-des-projets/economie-et-production-denergies/la-methanisation-agricole/>

Chambre d'Agriculture de l'Ariège, ATESyn, ARSEME. (2016). Projet de méthanisation basse vallée de l'Ariège, Etude de la logistique.

Chambre d'Agriculture de l'Ariège, David Brus. (2017). Plan d'épandage de l'unité de méthanisation d'Arseme - Etude préalable.

Groupeement National Interprofessionnel des Semences et plants. (2017, avril). Récupéré sur <https://www.semencemag.fr>: <https://www.semencemag.fr/production-francaise-semences-mais.html>

Préfecture de l'Ariège. (2017, octobre 9). Arrêté préfectoral. Foix, Ariège.

Webographie :

Documentation PostgreSQL, version 12, Disponible sur : <https://docs.postgresql.fr/>

Documentation PostgreSQL 8.2.23- Langage SQL – Index, Disponible sur : <https://docs.postgresql.fr/8.2/indexes.html>

GEOINFORMATIONS, Espace Interministériel de l'information géographique, PostGIS, support pédagogique (mars 2016 modifié en novembre 2019), Disponible sur : <http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/postgis-support-pedagogique-a3347.html>

Langage SQL, Disponible sur : <https://sqlpro.developpez.com/>

QField – la solution [Q]GIS mobile (2019), Disponible sur : <https://qfield.org/docs/fr/index.html>

Autoriser le CROSS ORIGIN avec Openlayers et Geoserver, DELAHAYE Florian (janvier 2017), Disponible sur : <https://www.geomatick.com/2017/01/14/autoriser-le-cross-origin-avec-openlayers-et-geoserver/>

Introduction aux flux WM(T)S, WFS(-T) et WCS, DELAHAYE Florian (décembre 2016), Disponible sur : <https://www.geomatick.com/2016/12/21/introduction-aux-flux-wms-wfs-et-wcs/>