

**NSOUKA Ulrich Chrisval**

DOUBLE DIPLÔME 2021-2022 / EBE 5 Option Energie

GEE Option Réseaux Electriques

Tuteur Polytech : Nolwenn LE-PIERRES

Tuteur 2iE : Yrébégnan Moussa SORO

## **RAPPORT DE STAGE FI5**

### **Assistant Chargé d'études**

# TECSOL

Nom de l'organisme d'accueil : TECSOL

Adresse postale : 87 quai des Queyries, 33100 BORDEAUX

Sous la direction de M. **Maximilien ENDLER**, Directeur  
Technique et Responsable de l'agence Nouvelle-Aquitaine

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier **M. André JOFFRE**, Président et Directeur Général de Tecsol, de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de son entreprise.

J'adresse également mes remerciements à mon tuteur de stage en entreprise, **M. Maximilien ENDLER**, Directeur Technique et Responsable de l'Agence TECSOL Nouvelle Aquitaine, pour l'accueil, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de mon stage. Merci de m'avoir confié des missions qui m'ont permis d'apprendre davantage sur le métier de chargé d'études.

Je tiens à remercier **Mme Céleste GRAS**, Chef de Projets chez Tecsol et **M. Nicolas PEIFFER**, Ingénieur R&D chez Tecsol, pour leur accueil chaleureux qui m'a permis de bien m'intégrer dans l'équipe et aussi pour leur accompagnement multiforme tout au long de mon stage. Ils ont su me partager leurs connaissances pour la réussite de mon stage.

Je tiens aussi à remercier mes tuteurs écoles 2iE et Polytech Annecy-Chambéry, **Dr. Yrëbegnan Moussa SORO** et **Pr. Nolwenn LE-PIERRES** pour leur suivi, leurs enseignements tout au long de mon cursus scolaire jusqu'à ce stage de fin d'études.

Arrivant à la fin de mes études de cycle d'ingénieur, j'adresse mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réussite de mon parcours scolaire. Je pense notamment :

- A mon père, **M. NSOUKA Bertrand**. Merci pour la vie, l'éducation de qualité reçue et pour avoir toujours été ma source d'inspiration et un papa formidable pour moi et mes petits frères et sœurs. Papa, que le Seigneur continue à te garder près de nous.
- A ma mère, **Mme MAKAYA Christine**. Merci également pour la vie, tes sacrifices et l'amour inconditionnel que tu me consacres à chaque moment. Puisse le Seigneur te garder le plus longtemps possible à nos côtés.
- A mes petits frères et sœurs. Merci pour le soutien multiforme à mon égard. Vous êtes ma source de motivation.
- A mon parrain, **M. SEVEZ Bernard** et toute la famille **SEVEZ**. Merci pour le soutien multiforme.
- A la **Fondation Perspectives d'Avenir**, d'avoir financé mes études d'ingénieur.
- Au programme **Erasmus+**, d'avoir financé mes études au sein de Polytech Annecy-Chambéry et de m'avoir permis de réaliser ce cursus de double diplôme.
- Au corps enseignant et personnel de l'Institut 2iE pour la formation de grande qualité.
- Au corps enseignant et personnel de Polytech Annecy-Chambéry pour l'accueil et la formation de grande qualité en cursus double diplôme.

- A mes collègues et amis de promotion à 2iE et à Polytech Annecy-Chambéry.

## RESUME

Ce rapport est une synthèse des activités que j'ai effectuées pendant mon stage de fin d'études au sein de TECSOL-Agence Nouvelle-Aquitaine. Au poste d'assistant chargé d'études, les missions que j'ai menées lors de ce stage sont essentiellement la réalisation des études de faisabilité parmi lesquelles l'étude de faisabilité de la Ferme LARRERE avec un potentiel d'installation de 487 kWc en toiture que je détaillerai dans ce rapport. Dans ce projet, mes principales tâches ont été de réaliser les plans d'implantations, choisir les équipements, trouver le productible à l'aide de PVsyst, réaliser le chiffrage et l'analyse de rentabilité.

J'ai aussi travaillé sur la réalisation d'un outil de gestion des courbes de charge. Projet dans lequel j'ai mobilisé mes compétences en programmation VBA Excel. Ce rapport fait aussi état des activités que j'ai menées en parallèle de ces projets cités en amont, notamment la réalisation des demandes de raccordements auprès d'Enedis.

### **Mots clés :**

---

- 1- Faisabilité
- 2- Chiffrage
- 3- Rentabilité
- 4- Courbe de charge
- 5- Raccordement

## LISTE DES ABREVIATIONS

SGE : Système de Gestion des Echanges

HTA : Réseau Haute Tension

BT : Basse Tension

EDF : Electricité de France

OA : Obligation d'Achat

AO : Appel d'Offre

HT : Hors Taxe

MOA : Maître d'Ouvrage

TAp : Taux d'Autoproduction

TAc : Taux d'Autoconsommation

PDL : Point de Livraison

STC : Standard Test Conditions

CRE : Commission de régulation de l'énergie

TURPE : Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité

CSPE : Contribution au Service Public de l'Electricité

TRA : Temps de Retour Actualisé

TRB : Temps de Retour Brut

TRI : Taux de Rentabilité Interne

TEC : Taux d'Enrichissement en Capital

ACip : Autoconsommation Individuelle Partielle

ACit : Autoconsommation individuelle totale

VT: Vente Totale

CAPEX : Capital Expendure (Total des dépenses d'investissement)

OPEX : Operational Expenditure (Charges d'exploitation)

PR : Performance Ratio

S3RENR : Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables

VBA : Visual Basic for Applications

SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	i
<b>RESUME</b> .....	iii
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	iv
<b>SOMMAIRE</b> .....	vi
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	vii
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	viii
<b>Introduction</b> .....	1
<b>1. ENTREPRISE, POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT DURABLE ET ENVIRONNEMENT DIRECT DE TRAVAIL</b> .....	2
1.1 Entreprise .....	2
1.2. Politique de développement durable et environnement direct de travail .....	4
1.2.1 Politique de développement durable : .....	4
1.2.2 Environnement de travail : .....	5
<b>2. ORGANISATION DE TRAVAIL</b> .....	5
<b>3. PRESENTATION DES PROJETS</b> .....	6
3.1 Etude de faisabilité d'une installation solaire en autoconsommation à la ferme LARRERE .....	6
3.1.1 Présentation de l'autoconsommation et contexte du projet Ferme LARRERE .....	7
3.1.2 Méthodologie de travail .....	10
3.1.3 Contraintes liées au projet LARRERE .....	11
3.1.4 Outils de travail .....	14
3.1.5 Dimensionnement technique et bilan économique .....	17
3.1.6 Analyse des résultats et recommandations .....	26
3.2 Réalisation d'un outil de gestion des courbes de charge .....	27
3.2.1 Contexte, problématique et objectif de l'outil .....	27
3.2.2 Méthodologie de la conception .....	28
3.2.3 Description de l'outil et son utilisation : .....	29

3.2.4	Avantages et limites de l'outil .....	31
3.2.5	Compétences mobilisées et acquises sur ce projet.....	32
3.3	Autres missions.....	32
<b>CONCLUSION</b> .....		<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....		<b>35</b>
<b>ANNEXES ET PREUVES DE VALIDATION DE COMPETENCES</b> .....		<b>36</b>

### LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution de la puissance solaire raccordée en France [Source : RTE] .....	1
Figure 2: Domaines d'expertise de TECSOL.....	3
Figure 3: Agences de TECSOL .....	3
Figure 4: Phases de maîtrise d'œuvre complète [Source: TECSOL] .....	6
Figure 5: Schéma de principe d'une installation en vente totale ou en autoconsommation [Source : Tecsol] .....	7
Figure 6: Evolution moyenne du tarif règlementé [Source : Selectra.info] .....	8
Figure 7: Evolution du marché de l'autoconsommation en France [Source : Enedis] .....	8
Figure 8: Localisation de la Ferme LARERRE .....	9
Figure 9: Méthodologie suivie pour toutes les études de faisabilité .....	10
Figure 10: Implantation des modules avec le système d'intégration de JORIS SOLAR [Source : JORIS SOLAR] .....	12
Figure 11: Caractéristiques électriques du module LONGI 370Wc.....	12
Figure 12: Plan de calepinage du projet LARRERE.....	13
Figure 13: Vue de la zone de travail Autocad.....	14
Figure 14: Aperçu des fonctionnalités de PVsyst .....	15
Figure 15: Interface de la plateforme SGE .....	16
Figure 16: Aperçu de l'interface de TECSOL PV .....	16
Figure 17: Principe de fonctionnement d'un MPPT .....	19
Figure 18: Sous Champs .....	19
Figure 19: Bilan énergétique du scénario1.....	21
Figure 20: Bilan économique du scénario 1 .....	23

Figure 21: Bilan énergétique du scénario 2.1_273,8 kWc.....	25
Figure 22: Bilan économique du scénario 2 .....	25
Figure 23: Récapitulatif des résultats .....	26
Figure 24: Interface de l'outil tecsol_sge .....	29
Figure 25:Aperçu de la base de données après appui du bouton « Accès base SGE » .....	29
Figure 26: Formulaire d'ajout des profils .....	30
Figure 27: Formulaire d'ajout et de modification d'un profil.....	30
Figure 28: Listview de l'outil .....	31
Figure 29: Interface de la plateforme de demande de raccordement.....	33

### LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Vérification PVsyst-Calculs.....	18
Tableau 2: Résultats de la simulation PVsyst .....	20

## Introduction

L'énergie solaire est un thème au centre de l'actualité depuis la présentation du plan d'action du Grenelle de l'environnement. Au même titre que l'eau et l'air, le soleil est à la base de la vie sur Terre, à laquelle il apporte chaleur et lumière. Inépuisable, disponible, non polluante, l'énergie solaire fournit de quoi répondre à la consommation annuelle des habitants de la Planète.

Deux grandes technologies sont utilisées pour en tirer le meilleur profit :

- D'une part le solaire photovoltaïque, qui transforme directement le rayonnement du soleil en électricité grâce à des panneaux formés de cellules de semi-conducteurs. Cette énergie électrique, selon les besoins, sera utilisée soit pour alimenter un site isolé, soit pour être vendue totalement ou encore pour une consommation partielle de la production avec vente de l'excédent.
- D'autre part le solaire thermique qui capte la chaleur du soleil à l'aide des capteurs solaires thermiques. La chaleur collectée est utilisée pour les usages de l'habitat et du secteur tertiaire (Eau chaude sanitaire et chauffage) et pour divers besoins de l'industrie. Solaire thermique aussi sert à produire de l'électricité.

La France, dans le cadre de sa stratégie de transition énergétique encadrée par la loi du 17 août 2015 s'est engagée à réduire de 40% les émissions de gaz à effet de serre, de porter la part des énergies à plus de 30% en 2030 et de baisser à 50% la part du nucléaire dans la production d'électricité à l'horizon 2025[1]. Grâce aux programmes nationaux offrant des incitations financières telles que l'obligation pour EDF de racheter l'électricité des particuliers à un tarif attractif pour des installations solaires allant jusqu'à 500 kWc, le marché du solaire photovoltaïque a connu une progression significative comme le décrit la courbe suivante :

### Évolution de la puissance solaire raccordée

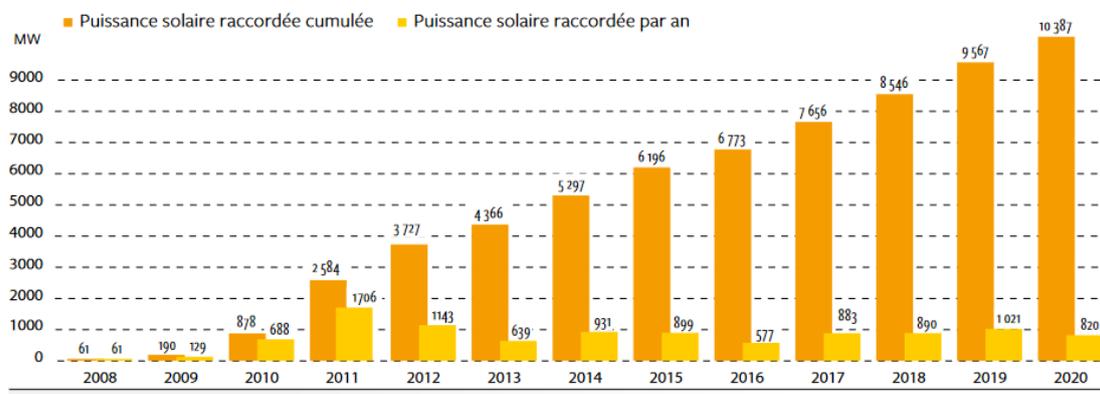


Figure 1: Evolution de la puissance solaire raccordée en France [Source : RTE]

## 1. ENTREPRISE, POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT DURABLE ET ENVIRONNEMENT DIRECT DE TRAVAIL

### 1.1 Entreprise



Fondé en 1983, TECSOL est un bureau d'études technique disposant d'une solide expérience dans le domaine des énergies solaires.

Depuis sa création il y a près de 40 ans, TECSOL s'est toujours investi dans le développement de l'énergie solaire. Le Président, André JOFFRE, s'implique au service de la profession (pôle de compétitivité DERBI, association Qualit'EnR, Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), association ENERPLAN).

TECSOL a instauré un dialogue régulier avec les institutionnels tels que l'ADEME et les Régions et a souhaité être présent sur tout le territoire français auprès des maîtres d'ouvrages. L'agence de Bordeaux couvre une grande partie de la nouvelle région Nouvelle-Aquitaine (Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes) et s'implique auprès des différents acteurs de ce territoire.

Sur le plan national ou en régions, le bureau d'études TECSOL participe aux différents groupes de travail et à l'animation des réseaux pour le développement des technologies solaires.

TECSOL diffuse un certain nombre d'informations par son site internet et son blog, et travaille sur chantier en collaboration avec des bureaux d'études plus généralistes en se concentrant sur les technologies du solaire.

L'implication du bureau d'études TECSOL se matérialise par ailleurs dans la réalisation de nombreuses missions de maîtrise d'œuvre mais aussi dans le suivi des performances des installations solaires (thermiques et photovoltaïques); ceci marque véritablement l'intérêt de la société dans le développement constructif des technologies solaires sur les bâtiments.

En tant que bureau d'études spécialisé, et dans le souhait de développement du solaire, TECSOL participe à l'évolution de tous les acteurs en proposant des sessions de formations gratuites et payantes.



Ces classes présentielle ou virtuelle, dispensées par les ingénieurs de TECSOL, traitent de divers sujets techniques, réglementaires ou encore juridiques autour du solaire thermique et photovoltaïque (notamment l'autoconsommation).

Par sa position de spécialiste et d'indépendant vis-à-vis de tout fabricant, et par sa volonté de s'inscrire à la fois dans des programmes de recherche et de développement, dans l'accompagnement de maîtres d'ouvrage, dans la réalisation de projets, ainsi que dans le suivi des installations, TECSOL a su cultiver sa particularité, tout en s'ancrant dans la réalité des projets.



Figure 2: Domaines d'expertise de TECSOL

TECSOL Compte aujourd'hui 13 agences réparties dans la France métropolitaine et dans les outre-mer.

<p><b>TECSOL Siège social</b> Tecnosud - 105 Av. Alfred Kastler BP 51008 - 66101 PERPIGNAN Tél : +33 4 68 88 16 40 <a href="mailto:contact@tecsol.fr">contact@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Auvergne-Rhône Alpes</b> 4 rue Saint Sidoine 69003 LYON Cedex 03 Tél : 04 78 29 43 96 <a href="mailto:agence.ara@tecsol.fr">agence.ara@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Grand-Est</b> 4 quai Koch, chez Panorama coworking 67000 STRASBOURG Tél : 06 67 52 11 00 <a href="mailto:agence.grandest@tecsol.fr">agence.grandest@tecsol.fr</a></p>
<p><b>TECSOL Ile-de-France</b> 74 cours de Vincennes 75012 PARIS Tél : 06 67 52 01 07 <a href="mailto:agence.idf@tecsol.fr">agence.idf@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Nouvelle-Aquitaine</b> Darwin Eco Système - 87 quai des Queyries 33100 BORDEAUX Tél : 06 67 52 11 01 <a href="mailto:agence.aquitaine@tecsol.fr">agence.aquitaine@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Occitanie</b> 22 rue du Port Saint-Sauveur 31000 TOULOUSE Tél : 06 67 52 11 00 <a href="mailto:agence.mp@tecsol.fr">agence.mp@tecsol.fr</a></p>
<p><b>TECSOL PACA</b> 18, rue Notre Dame 84100 ORANGE Tél : 04 90 51 55 26 <a href="mailto:agence.paca@tecsol.fr">agence.paca@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Pays-de-la-Loire</b> 13 rue Terre Noire 49000 ANGERS Tél : 06 50 38 71 85 <a href="mailto:agence.pdl@tecsol.fr">agence.pdl@tecsol.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Océan Indien</b> <b>Réunion :</b> 16, rue Claude Chappe - SEMIR - Zac 2000 97420 LE PORT -REUNION Tél : 0262 55 15 24 - Fax : 0262 55 15 20 <a href="mailto:agence.ocean-indien@tecsol.fr">agence.ocean-indien@tecsol.fr</a></p>
<p><b>TECSOL Guadeloupe</b> 11, impasse des Dunes - Lot. Marian Saint Alban 97122 BAIE-MAHAULT Tel : 05 90 32 52 00 <a href="mailto:contact@tecsol-antilles-guyane.fr">contact@tecsol-antilles-guyane.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Saint-Martin / Saint-Barthélemy</b> Hope Estate, Grand Case 97 150 Saint-Martin Tel : 05 96 54 27 97 <a href="mailto:contact@tecsol-antilles-guyane.fr">contact@tecsol-antilles-guyane.fr</a></p>	<p><b>TECSOL Martinique</b> Bees Work SASU 12 Allée Université Yale - Résidence Wassai, BAT A - ZAC Hibiscus 97 300 Cayenne Tel : 05 90 32 52 00 <a href="mailto:contact@tecsol-antilles-guyane.fr">contact@tecsol-antilles-guyane.fr</a></p>
<p><b>TECSOL Guyane</b> Bees Work SASU 12 Allée Université Yale - Résidence Wassai, BAT A - ZAC Hibiscus 97 300 Cayenne Tel : 05 90 32 52 00 <a href="mailto:contact@tecsol-antilles-guyane.fr">contact@tecsol-antilles-guyane.fr</a></p>		

Figure 3: Agences de TECSOL

Mon stage s'est déroulé au sein de l'agence Nouvelle-Aquitaine, basée à Bordeaux

## 1.2. Politique de développement durable et environnement direct de travail

### 1.2.1 Politique de développement durable :



Attentif aux problématiques liées à l'environnement, TECSOL est engagé dans une procédure ISO 14001 et très sensibilisé aux exigences environnementales. TECSOL achète à EDF de l'électricité produite à 100% à partir de sources d'énergies renouvelables et son siège à Perpignan est équipé depuis 2007 d'un générateur photovoltaïque de 7 kWc installé en brise-soleil, ce qui permet de compenser une partie du CO<sub>2</sub> que le personnel produit lors de déplacements professionnels.



Lors des missions en tant que Maître d'œuvre, les ingénieurs portent une attention particulière aux matériaux et techniques qui sont retenus, à la participation active des fabricants à des programmes de recyclage (PVCycle pour les panneaux, ...), à la gestion et au recyclage des déchets produits par le chantier (démontage de la couverture existante, emballages des matériels, ...).

De même, TECSOL favorise autant que possible les filières et entreprises locales dans la sélection des candidats pour limiter les déplacements et les distances d'approvisionnement.

L'ensemble des employés du groupe est également sensibilisé aux méthodes permettant à l'entreprise de réduire ses impacts sur l'environnement :

- **DEPLACEMENTS** : pour les trajets quotidiens ou chantiers de proximité, les modes doux (transports en commun, vélos, ...) sont incités (remboursement d'une partie des frais d'abonnement aux réseaux de transports en commun, bureaux à proximité de pistes cyclables, ...). Concernant les déplacements de plus grandes distances (réunions dans une autre ville, département ou région, Assemblées Générales de l'entreprise, ...) les trajets en train ou covoiturage sont fortement encouragés.

- **BUREAUTIQUE** : Pour économiser au maximum la ressource papier, les impressions de documents sont limitées au stricte nécessaire : mails archivés en informatique (impression uniquement si indispensable) ; normes, catalogues et autres support techniques disponibles essentiellement en version informatique...

Les impressions de documents à usage interne se font sur des brouillons (verso de documents, courriers, ... à jeter) ; les documents diffusés sont imprimés en recto verso sur du papier recyclé.

- **GESTION DES ENERGIES** : Les employés de TECSOL sont sensibilisés aux économies d'énergies usuelles : équipements informatiques éteints plutôt que laissés en veille en partant, utilisation des brise-soleil ou stores en première mesure avant la mise en fonctionnement de la climatisation, utilisation des éclairages de bureaux uniquement si nécessaire et extinction obligatoire à la fermeture des locaux, ... De plus, l'ensemble du parc informatique est en cours de renouvellement en faveur d'équipements plus économes en énergie.  
Enfin, TECSOL a souscrit une offre 100% renouvelable via le contrat EDF Équilibre.
- **DECHETS** : Le tri des déchets est obligatoire et des bacs de recyclage sont à disposition des employés.

### 1.2.2 Environnement de travail :

Dès mon arrivée au sein de TECSOL, les outils de travail m'ont été remis pour mener à bien mon stage :

- Un ordinateur portable et son sac accompagné d'une souris ;
- Un badge d'accès aux locaux ;
- Des équipements de protection individuels lors des déplacements sur chantiers. L'agence de Bordeaux se trouve dans un espace de coworking permettant un contact direct entre collaborateurs.

## 2. ORGANISATION DE TRAVAIL

Pour mener à bien mon stage, un plan de travail a été établi dès le début. Ce plan était subdivisé en deux phases :

- **Réunion pour un débrief des missions à faire** : C'est une phase au cours de laquelle le maître de stage me confiait les projets à faire en me donnant tous les documents importants pour mener à bien les missions.

- **Compte-rendus** : Au bout de deux semaines, une réunion de compte rendu était organisée avec le maître de stage pour situer l'état d'avancement des projets. Ce délai pouvait être court pour des missions qui ne nécessitaient pas beaucoup de temps.

Cette méthode de travail avait pour but de me rendre autonome, de m'apprendre à m'organiser pour respecter les délais et de prendre des initiatives pour mieux organiser les différentes tâches qui m'étaient confiées (Annexe.1).

### 3. PRESENTATION DES PROJETS

#### 3.1 Etude de faisabilité d'une installation solaire en autoconsommation à la ferme LARRERE

Une étude de faisabilité consiste à analyser la viabilité et les implications économiques et organisationnelles d'un projet. Dans le cas d'un projet photovoltaïque, il s'agit d'évaluer le potentiel de production d'un site, d'estimer le coût et de faire une analyse financière sur la durée de vie de l'installation pour aider le client à pouvoir prendre la décision d'investir ou non dans son projet solaire.

Dans l'ordre des activités de maîtrise d'œuvre qu'exerce un bureau d'études, l'étude de faisabilité est la première phase. Il convient de préciser que l'étude de faisabilité est une estimation de la rentabilité d'un projet qui après validation par le MOA passe à l'étape de la conception où certains choix de matériels peuvent être affinés ou réétudiés.



Figure 4: Phases de maîtrise d'œuvre complète [Source: TECSOL]

### 3.1.1 Présentation de l'autoconsommation et contexte du projet Ferme LARRERE

Produire son électricité en toute autonomie à l'aide des panneaux solaires pour ensuite consommer cette énergie en totalité ou en partie, c'est le principe de l'autoconsommation. On distingue deux modes d'autoconsommation à savoir :

- L'autoconsommation avec la vente du surplus produit : elle consiste à produire et à consommer sa propre électricité et à vendre le surplus de production à EDF OA ou à un autre acheteur.
- L'autoconsommation totale : la production est consommée en totalité sur place.

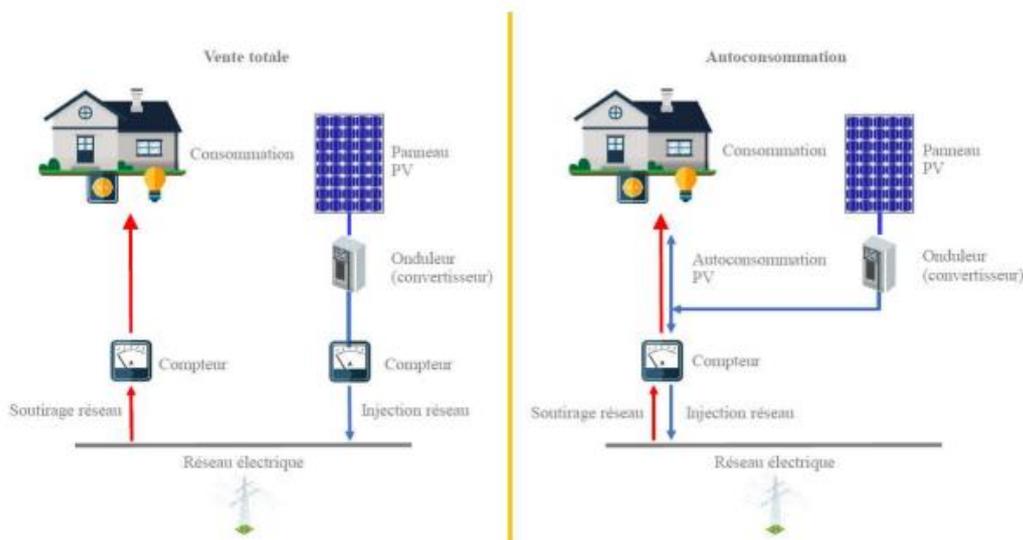


Figure 5: Schéma de principe d'une installation en vente totale ou en autoconsommation [Source : Tecsol]

L'autoconsommation photovoltaïque s'est fortement développée en France ces dernières années. Le coût d'électricité en France ne cesse d'augmenter et certaines études montrent une hausse du prix de l'électricité de l'ordre de 20% à 60% chaque 10 ans en raison des investissements pour le renouvellement du parc nucléaire, de la croissance démographique qui implique une augmentation inéluctablement des besoins en électricité (Voir figure 6). L'autoconsommation, mode de production décentralisé par excellence, permet aux foyers et aux entreprises de faire des économies d'énergie grâce notamment à une politique volontariste de la part du gouvernement.

En effet, la **prime à l'autoconsommation** ou les tarifs d'achat bloqués sur une période de 20 ans, ont fortement encouragé les foyers à passer à l'autoconsommation (Voir figure 7). On compte aujourd'hui

en France plus de 80 000 installations raccordées en autoconsommation toutes puissances confondues [2].

Evolution moyenne du tarif réglementé de l'électricité hors taxes (particuliers)

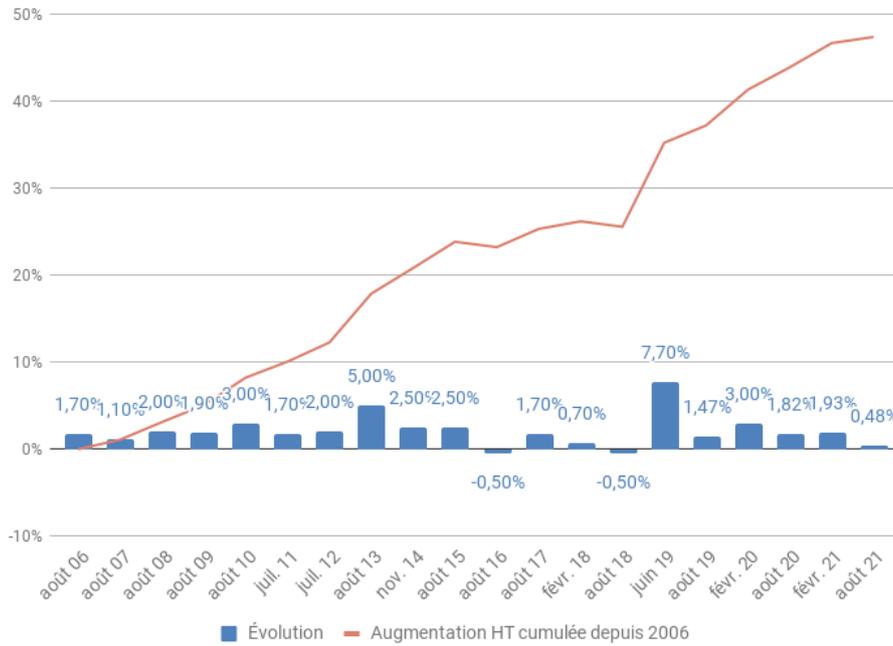


Figure 6: Evolution moyenne du tarif règlementé [Source : Selectra.info]

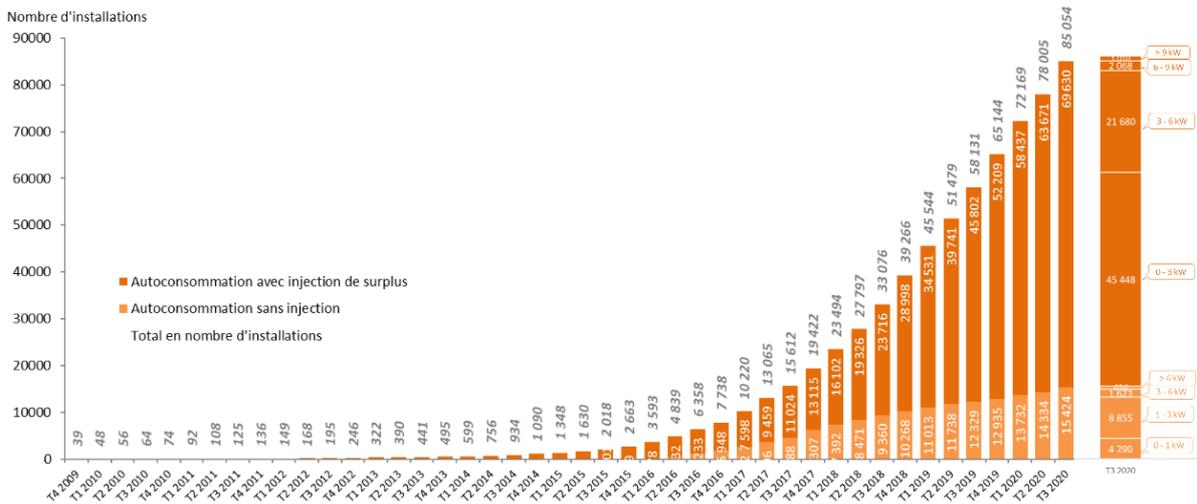


Figure 7: Evolution du marché de l'autoconsommation en France [Source : Enedis]

C'est dans cette dynamique que s'inscrit ce projet photovoltaïque de la ferme LARRERE située dans les LANDES.

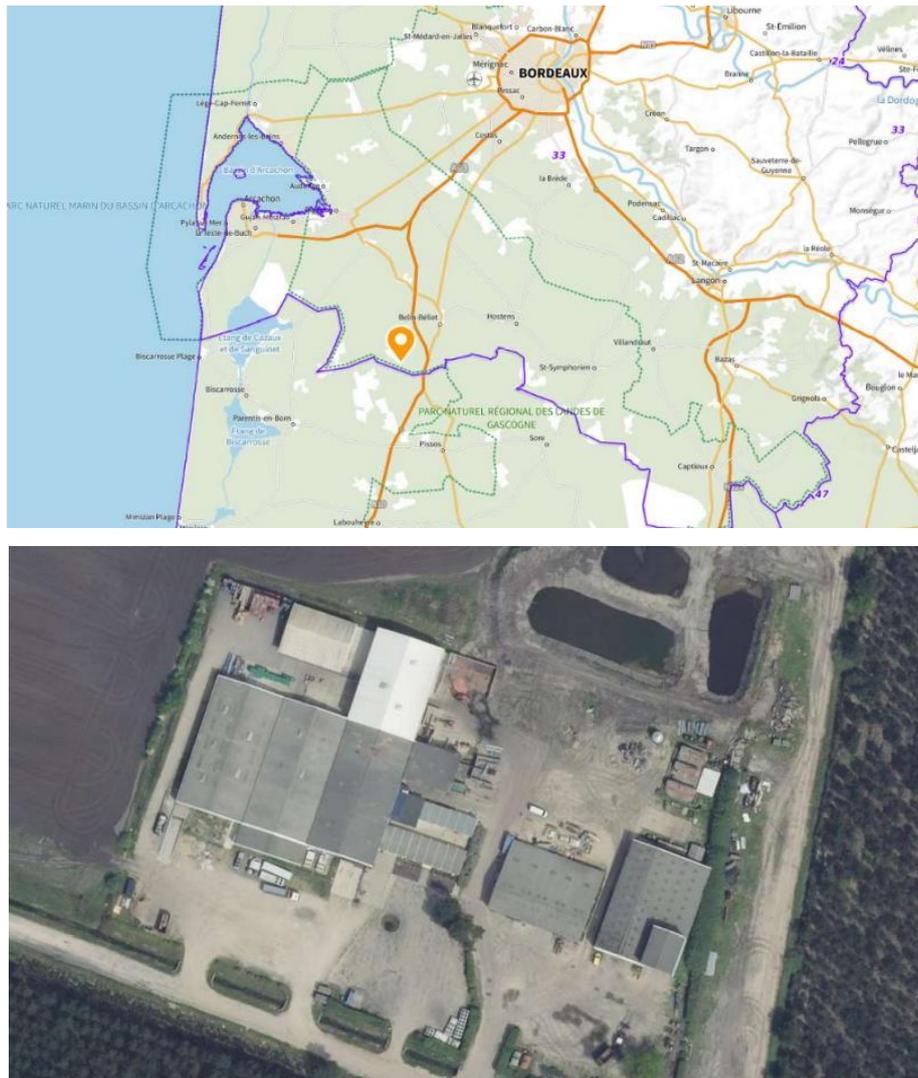


Figure 8: Localisation de la Ferme LARERRE

Le maître d'ouvrage (MOA) a souhaité étudier l'opportunité d'installer un générateur photovoltaïque en toiture dans le but de :

- Valoriser la technologie employée, sa production énergétique et son gain environnemental ;
- Rentabiliser son investissement :
  - Soit par des économies d'énergie en autoconsommation et la valorisation de l'énergie solaire excédentaire sur le réseau public de distribution ;
  - Soit grâce à la vente totale de sa production au gestionnaire de réseau ;
- Participer à la production décentralisée d'énergies renouvelables sur le territoire.

Ma mission portait sur la conception de la configuration technique répondant aux souhaits du MOA tout en recherchant une rentabilité suffisante à l'investissement.

### 3.1.2 Méthodologie de travail

Pour toutes les études de faisabilité que j'ai réalisées durant mon stage j'ai suivi une méthodologie pour organiser mes tâches :

- Situation du projet : Cette phase consiste à contextualiser le projet, à le décrire et le situer géographiquement.
- Contraintes liées au projet : Cette phase consiste à recenser les différentes limites liées au projet. Les contraintes sont des entités qui vont influencer le potentiel de production, le choix du matériel, les modes de valorisation de la production énergétique du projet (par exemple la surface disponible, le type de raccordement, etc....).
- Dimensionnement technique et économique : Une fois les contraintes élucidées et le choix du matériel fait, on peut passer à cette troisième phase qui consiste à trouver le potentiel de production du site et à estimer le coût du projet ainsi que sa rentabilité.
- Analyses des résultats de simulation : Cette phase consiste, au vu de résultats de simulations, à analyser et proposer au MOA le scénario le plus adapté à ses besoins.

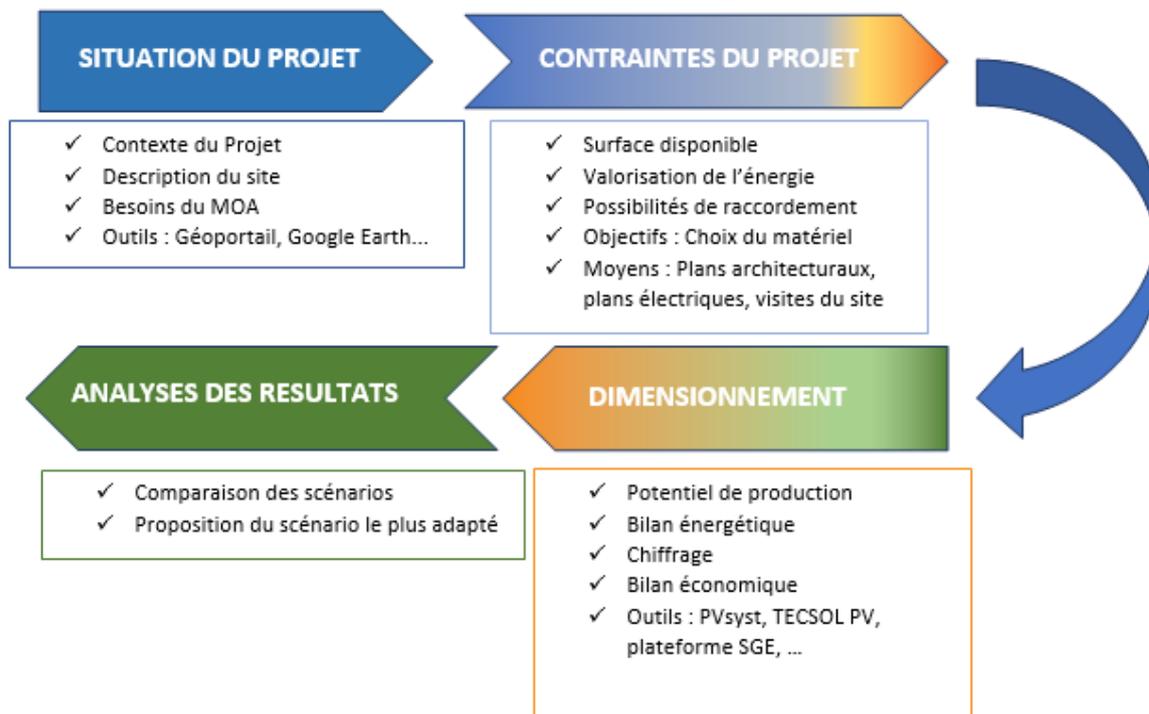


Figure 9: Méthodologie suivie pour toutes les études de faisabilité

### 3.1.3 Contraintes liées au projet LARRERE

Les différentes contraintes qu'il m'a fallu prendre en compte pour le projet LARRERE sont les suivantes :

#### a. Valorisation par l'obligation d'achat

Dans le but de valoriser l'installation, le MOA souhaiterait vendre l'énergie excédentaire en bénéficiant de l'obligation d'achat.

Cette obligation d'achat est encadrée par **l'arrêté du 06 Octobre 2021** qui étend jusqu'à **500 kWc** la puissance totale des projets sur bâtiment, hangar ou ombrière photovoltaïques pouvant bénéficier d'une obligation d'achat auprès d'EDF [3]. A ce critère de limite de puissance s'ajoutent des :

#### ❖ Critères généraux d'implantation pour bénéficier de l'obligation d'achat :

Une installation photovoltaïque respecte les critères généraux d'implantation lorsqu'elle remplit l'une des conditions suivantes :

- Système installé sur toiture d'un bâtiment ou d'un hangar ou sur ombrière et parallèle au plan
- Système installé sur toiture d'un bâtiment ou d'un hangar ou sur ombrière plate (pente inférieure à 5%) ;
- Système remplissant des fonctions d'allège, de bardage, de brise-soleil, de garde-corps, d'ombrière, de pergolas ou de mur-rideau.

#### ❖ Conditions supplémentaires pour bénéficier de l'obligation d'achat :

- L'obligation de qualification professionnelle de l'installateur ;
- Le bilan carbone de l'installation doit être inférieur à 550 kg CO<sub>2</sub>/kWc pour les installations de plus de 100 kWc ;
- Le non-cumul avec des aides publiques soutenant la production d'électricité (régime d'aide local, régional, national ou européen).

Cette contrainte nous a conduit à limiter la puissance à installer à **500kWc** maximum.

#### b. Bâtiment :

Les caractéristiques du bâtiment ont été un élément à prendre en compte dans l'étude car elles déterminent la surface disponible du bâtiment mais aussi le système d'intégration adapté à la toiture.

❖ Couverture :

La couverture de la toiture est un élément qui permet de faire le choix du système d'intégration adapté pour une installation solaire en toiture. Il existe des avis techniques (ATec) ou des enquêtes de technique nouvelle (ETN) sur différents types de couverture qui permettent de choisir le système adapté et les modules photovoltaïques correspondants.

Dans notre cas d'étude, la couverture est faite en fibrociment amianté. Cette toiture ne pouvant pas recevoir une installation solaire, nous avons proposé un remplacement de la couverture par du **bac acier** compatible avec un système d'intégration du fabricant JORIS SOLAR RS-R (sous ETN en cours de validité).



Figure 10: Implantation des modules avec le système d'intégration de JORIS SOLAR [Source : JORIS SOLAR]

Le choix du système d'intégration a induit directement le choix des modules photovoltaïques qui doivent correspondre aux prescriptions de l'avis technique ou de l'enquête de technique nouvelle. Ceci nous a amené à choisir les modules monocristallins **LONGI LR4-60 HPH 370M** d'une puissance unitaire de 370 Wc (Annexe : Fiche technique).

Electrical Characteristics											Test uncertainty for Pmax: ±3%	
Model Number	LR4-60HPH-350M		LR4-60HPH-355M		LR4-60HPH-360M		LR4-60HPH-365M		LR4-60HPH-370M			
Testing Condition	STC	NOCT										
Maximum Power (Pmax/W)	350	259.3	355	263.0	360	266.7	365	270.4	370	274.1		
Open Circuit Voltage (Voc/V)	40.5	37.8	40.7	38.0	40.9	38.2	41.1	38.4	41.3	38.5		
Short Circuit Current (Isc/A)	11.02	8.89	11.10	8.95	11.20	9.03	11.28	9.09	11.37	9.17		
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	33.3	30.8	33.5	30.9	33.7	31.1	33.9	31.3	34.1	31.5		
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.52	8.44	10.60	8.50	10.69	8.57	10.77	8.64	10.86	8.71		
Module Efficiency(%)	18.7		19.0		19.3		19.5		19.8			
STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 C, Spectra at AM1.5												
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20 C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/S												

Figure 11: Caractéristiques électriques du module LONGI 370Wc

### ❖ Surface du bâtiment

La surface constitue aussi une contrainte car elle va limiter la puissance solaire susceptible d'être installée. Aussi faut-il rappeler que dans le cadre de ce projet, la limite de puissance crête maximum à installer se situe à 500 kWc. Les bâtiments censés recevoir l'installation ont été désignés par le maître d'ouvrage. Avec la surface disponible sur les bâtiments, les contraintes liées à la limitation de la puissance et les caractéristiques des modules choisis, il a été possible de réaliser un plan d'implantation permettant d'installer 487,29 kWc soit un total de 1317 modules photovoltaïques.

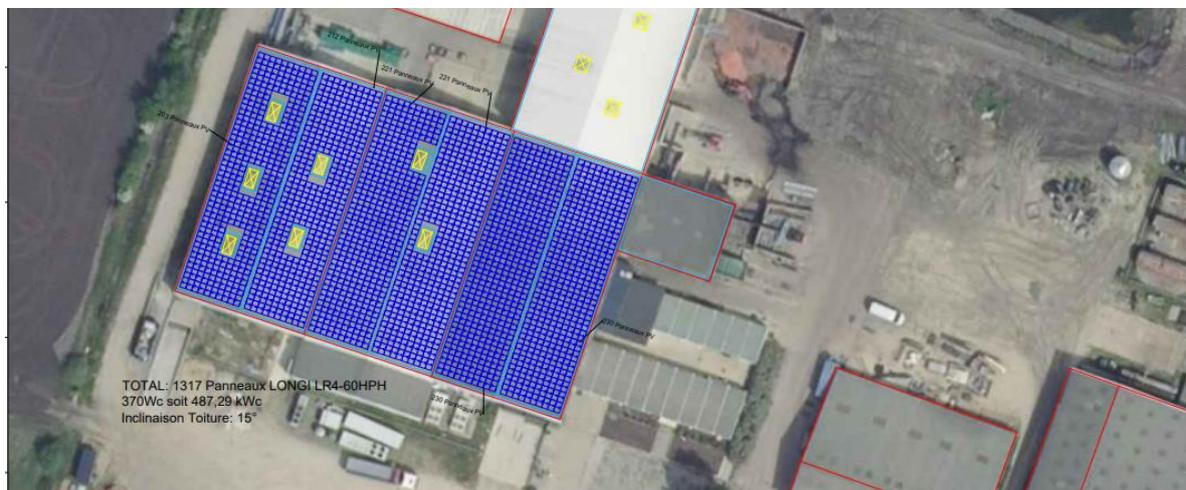


Figure 12: Plan de calepinage du projet LARRERE

### c. Le raccordement au réseau public de distribution

Enedis est un gestionnaire du réseau de distribution d'électricité en France. C'est cette entité qui récupère l'électricité de source renouvelables auprès des producteurs voulant injecter leur production sur le réseau. Le mode de raccordement dépend du niveau de puissance à injecter :

#### **Raccordement BT ( $\leq 250$ kVA) :**

Lorsque la puissance totale à raccorder est inférieure ou égale à 250 kVA, le raccordement peut se faire en Basse Tension (BT). Selon les règles établies par Enedis, pour le raccordement des installations photovoltaïques en BT, si la puissance à raccorder est inférieure ou égale à 120 kVA, il se fera sur le réseau BT existant. Dans le cas où la puissance à raccorder serait supérieure à 120 kVA, un départ dédié au poste de transformation HTA/BT public est nécessaire.

### **Raccordement HTA (> 250 kVA) :**

Lorsque la puissance totale à raccorder est supérieure à 250kVA, le raccordement se fait en Haute Tension (HT). Ce cas nécessite la mise en place d'un poste de transformation à la charge du client.

Dans notre cas, le poste de livraison (PDL), à charge du producteur, est raccordé au réseau public HTA le plus proche, via un raccordement en coupure d'artère (cas le plus courant), un raccordement en antenne ou un raccordement en double dérivation. Le PDL existant dispose de deux cellules d'arrivée et une cellule de départ, avec un comptage en BT.

Il sera donc nécessaire d'intégrer, dans l'ensemble des scénarios de rentabilité qui seront proposés au MOA, la possibilité de se raccorder facilement au réseau par rapport aux particularités que présente son site.

#### **3.1.4 Outils de travail**

Les principaux outils qui m'ont permis de réaliser cette étude sont les suivants :

a. Autocad :

Autocad est un logiciel de dessin assisté par ordinateur développé par Autodesk. Il a principalement servi de pour la réalisation des plans d'implantations dans le cadre de mes études de faisabilité.

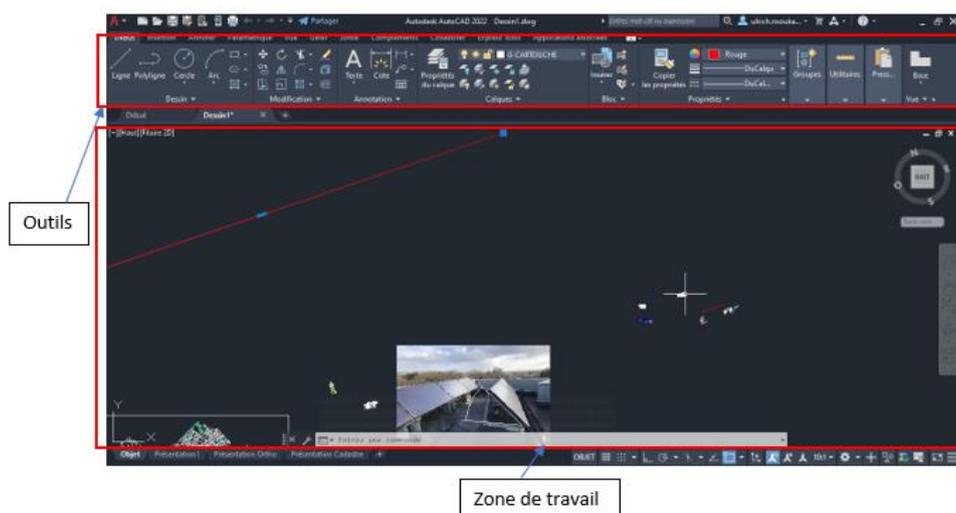


Figure 13: Vue de la zone de travail Autocad

b. PVsyst :

PVsys est un logiciel de dimensionnement d'installations solaires permettant d'obtenir diverses informations telles que la production d'énergie, l'irradiation, la surface nécessaire. Il permet de configurer le système de telle sorte à être le plus proche possible de la configuration réelle de l'installation à dimensionner en permettant à l'utilisateur de définir :

- La localisation du site (la base de données Météonorm permet de fournir les conditions météorologiques sur le site étudié)
- L'orientation et l'inclinaison des modules
- La configuration du générateur qui comprend le choix des modules et des onduleurs
- Les pertes détaillées liées à la chute de tension des câbles, l'inclinaison des panneaux, ...
- Les ombrages proches et lointains qui vont engendrer des pertes de la production à certains moments de la journée, selon les périodes de l'année.

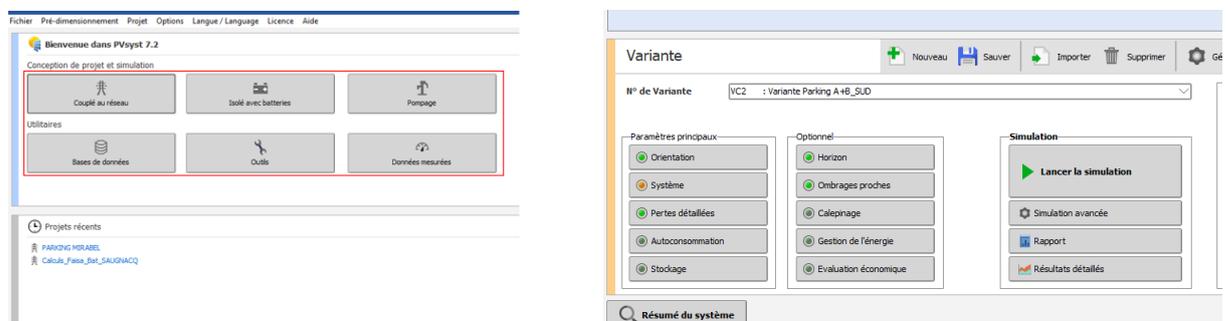


Figure 14: Aperçu des fonctionnalités de PVsys

### c. La plateforme SGE

Le gestionnaire de réseau ENEDIS dispose d'une plateforme nommée SGE (Système de Gestion des Echanges) dans laquelle sont enregistrées les courbes de charge de ses clients au pas de temps de 10min pour certaines et de 30min pour d'autres.

TECSOL dispose d'un accès à cette plateforme accordé par Enedis. Avec une autorisation du client pour lequel on fait une étude photovoltaïque, la plateforme nous donne la possibilité de collecter les données de consommation et toutes les informations de son compteur de consommation.

Un numéro PDL unique à un point de livraison permet de l'identifier et de pouvoir rechercher la courbe de charge sur la plateforme SGE.

Au poste d'assistant chargé d'études, j'avais accès à cette plateforme et en appui aux autres agences de TECSOL, j'ai réalisé plusieurs collectes de données sur la plateforme en dehors des projets sur

lesquels j'ai travaillé. Cette plateforme m'a permis donc de pouvoir trouver le profil de consommation de la Ferme LARRERE qui sera utilisée dans le bilan énergétique.



Figure 15: Interface de la plateforme SGE

#### d. Tecsol PV

Tecsol PV est un outil développé par TECSOL qui permet d'évaluer le bilan énergétique et économique d'un projet. A l'aide des données de consommation et de simulation sur PVsyst, il permet de trouver le taux d'autoconsommation, le taux d'autoproduction et l'excédent d'énergie pouvant être valorisé par injection sur le réseau public. Tecsol PV permet également, à l'aide des données du chiffrage et de la facturation d'une installation, d'estimer les économies à réaliser sur la facture d'électricité et aussi les recettes à réaliser par la vente de la totalité ou du surplus d'énergie. Il calcule directement des paramètres d'analyse financière comme le temps de retour brut (TRB) sur investissement, la valeur nette actualisée (VAN), le taux de retour sur investissement (TRI), le taux d'enrichissement sur la durée totale de l'installation. C'est à partir de cet outil que TECSOL évalue la viabilité technique et financière d'un projet. Dans une démarche de développement durable, l'outil permet aussi d'évaluer les émissions CO2 que générerait l'installation pendant toute la durée de son exploitation.

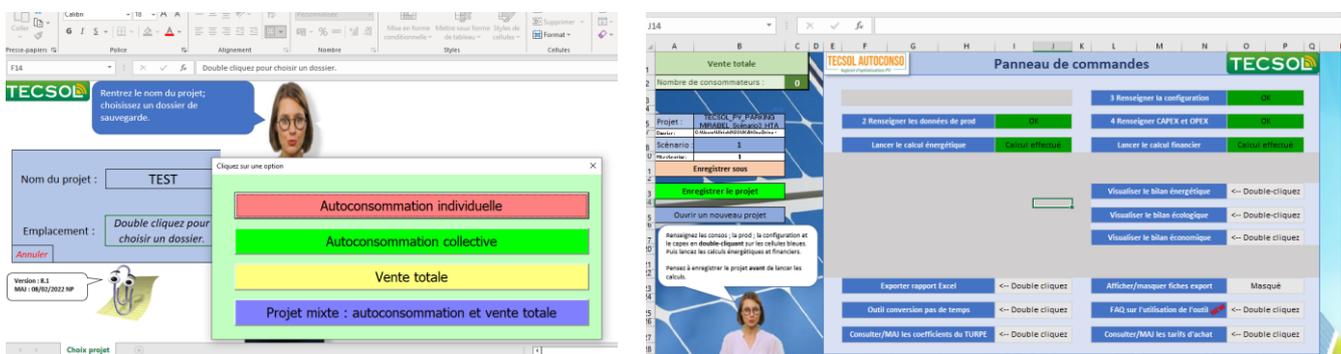


Figure 16: Aperçu de l'interface de TECSOL PV

### 3.1.5 Dimensionnement technique et bilan économique

#### a. Simulation sur PVsyst

Les paramètres et hypothèses de configuration du système pris en compte pour faire la simulation sur PVsyst sont les suivants :

- Orientation et inclinaison : Les modules sont à installer sur tous les rampants de la toiture inclinée de **15°**. Ainsi deux orientations ont été définies : EST (-71° Azimut) / OUEST (109° Azimut).
  - Pertes dues à l'élévation de température : Les modules étant surimposés sur la toiture à l'aide du système d'intégration JORIS SOLAR, le coefficient de ventilation des modules préconisé par le concepteur de PVsyst est de **20 W/m<sup>2</sup>.K**.
  - Pertes des câbles du circuit courant-continu : Ces pertes sont normativement limitées à 3% et conseillées à 1%. Les sections de câbles devront être choisies en fonction de cette valeur dans la phase d'exécution du projet. Au stade faisabilité ces pertes sont estimées à 1,5% aux STC.
  - Pertes dues à l'encrassement des modules : Ces pertes sont considérées à **1%** pour les pentes supérieures ou égales à 10° comme dans notre cas d'étude et à 3% sinon.
  - L'indisponibilité du système est estimée à **2%** du temps de fonctionnement, cinq périodes de coupures sont réparties aléatoirement par le logiciel PVsyst.
- Choix des onduleurs :

Plusieurs paramètres technico-économiques sont à considérer pour choisir un onduleur :

- Le rendement, le seuil de démarrage, la consommation à vide
- Plage de tensions DC, plage de fonctionnement MPPT
- Le nombre et l'efficacité des MPPT
- Tension de sortie (monophasée ou triphasée)
- Régime de neutre
- Capacité de réglage du cos Phi
- Ventilation naturelle ou forcée, capacité de surcharge
- Monitoring intégré
- Certifications : DIN VDE (protection de découplage basse tension)

- Emplacement : Extérieur ou intérieur, Indice de protection, niveau sonore
- Garanties du fabricant

Pour un choix optimisé des onduleurs, le ratio Puissance Onduleur totale/Pcrête de l'installation doit être compris entre **0,8** et **1,2**. En prenant en compte tous les paramètres cités en amont, le choix s'est porté sur des onduleurs **HUAWEI SUN2000 100 KTL de 100 kW**, soit un total de 4 onduleurs. Ce choix d'onduleur a été validé sur PVsyst qui calcule automatiquement le nombre de modules à mettre en série par rapport aux caractéristiques courant et tension de l'onduleur choisi et du module photovoltaïque. Des calculs plus détaillés sont faits à la phase de conception de maîtrise d'œuvre.



L'installation a été divisée en sous-champs pour répartir les chaînes de modules sur les différentes entrées des onduleurs. Une vérification a été faite pour valider le dimensionnement de PVsyst.

MPPT	PVsyst	Formules de vérification*	Vérification Calculs
Modules Série(min)/MPPT	7	$Ns_{min} > \frac{V_{min\_entréeOnd}}{0,8 * V_{OC\_modules}}$	6,05≈7
Modules Série (Max)/MPPT	24	$Ns_{max} < \frac{V_{max\_entréeOnd}}{1,15 * V_{OC\_modules}}$	23,16≈24
Max branches/ MPPT	2		

Tableau 1: Vérification PVsyst-Calculs

\*Ces formules sont issues du cours de solaire photovoltaïque semestre 9.

Le MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un système électronique intégré à certains onduleurs qui permet de rechercher la puissance maximale délivrée par un module ou par une chaîne de modules. Le choix d'un onduleur multi MPPT dans notre cas se justifie non seulement pour la recherche de la puissance maximale délivrée mais aussi parce qu'il permet :

- La connexion de champs avec des angles d'azimut solaire différents : le cas de cette installation solaire.
- La connexion des champs solaires ayant des angles d'inclinaison différents
- La connexion des champs de longueurs de chaîne différentes
- La connexion de chaînes de modules différents

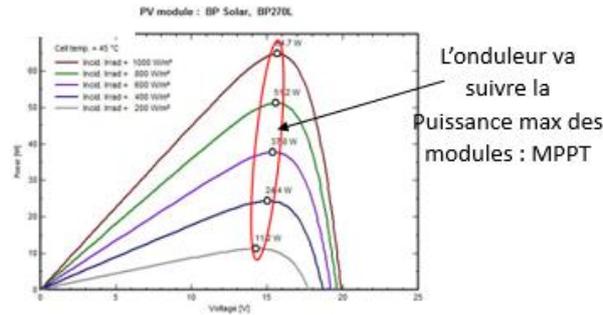


Figure 17: Principe de fonctionnement d'un MPPT

La subdivision faite du champ en sous-champs est la suivante :

	EST1		OUEST 1		EST2		OUEST2		EST3		OUEST3	
	EST1.1	EST1.2	OUEST1.1	OUEST1.2	EST2.1	EST2.2	OUEST2.1	OUEST2.2	EST3.1	EST3.2	OUEST3.1	OUEST3.2
Modules en série	20	15	20	15	17	17	17	17	19	22	18	23
Chaines en parallèle	10	2	10	2	10	3	10	3	10	1	10	1
Nombre de modules	1317											
Onduleurs	4*100 KVA											
MPPT	40 MPPT(10 MPPT/ ONDULEUR)											



Figure 18: Sous Champs

- Résultats de la simulation (suite du tableau : Comparer par rapport aux valeurs de référence)

Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant (rapport de simulation en annexe.) :

Résultats Psys-Ferme LARRERE	
Puissance crête(kWc)	487
Onduleurs (kVA)	400 (4x100 KTL HUAWEI)
Energie annuelle produite (MWh/an)	531
Productible (kWh/kWc/an)	1090
Performance Ratio PR	0.84

Tableau 2: Résultats de la simulation PVsyst

Le productible c'est la quantité d'énergie annuelle (kWh/an) susceptible d'être produite par kWc installé.

Le ratio de performance PR c'est le rapport entre l'énergie réelle produite par l'installation et l'énergie théorique. Il indique la part d'énergie réelle disponible après déduction des pertes (Par exemple : les pertes thermiques, etc...). Une installation correctement dimensionnée présente un PR entre 75% et 85%. Un PR proche de 100% est peu crédible car le fonctionnement d'une installation solaire engendre toujours des pertes.

#### b. Bilan énergétique et économique

Dans le but de trouver la configuration technico-économique la plus intéressante et répondant aux attentes du maître d'ouvrage, deux scénarios ont été simulés :

##### ✓ Scénario 1 : Autoconsommation avec vente de surplus (487,29 kWc)

Le but de ce scénario était de proposer au maître d'ouvrage une installation qui garantira des économies sur facture par l'autoconsommation mais aussi qui lui permettra de valoriser le surplus par l'injection sur le réseau public.

A l'aide de l'outil TECSOL PV, les simulations ont permis d'avoir le bilan énergétique suivant :

Taux autoconsommation	69,29 %
Taux autoproduction	34,08 %
Taux excédent	30,71 %

Mois	Consommation (kWh)	E. PV produite (kWh)	E. autoconsommée (kWh)	E. excédentaire (kWh)	Fraction solaire (%)
janvier	88 767	15 543	14 162	1 382	15,95
février	73 533	25 376	20 345	5 031	27,67
mars	90 328	44 609	32 791	11 818	36,30
avril	56 308	57 409	28 817	28 592	51,18
mai	64 858	67 049	37 062	29 987	57,14
juin	93 784	70 867	46 609	24 258	49,70
juillet	109 456	71 134	51 397	19 737	46,96
août	102 999	65 384	46 910	18 475	45,54
septembre	83 743	50 137	37 188	12 950	44,41
octobre	69 817	31 563	23 769	7 794	34,05
novembre	107 288	17 319	15 097	2 222	14,07
décembre	137 959	14 203	13 524	679	9,80
<b>Total</b>	<b>1 078 839</b>	<b>530 594</b>	<b>367 671</b>	<b>162 924</b>	<b>34,08</b>
<b>Moy. mensu</b>	<b>89 903</b>	<b>44 216</b>	<b>30 639</b>	<b>13 577</b>	

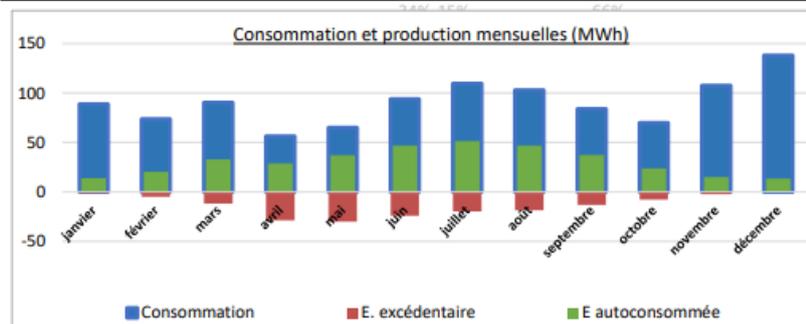


Figure 19: Bilan énergétique du scénario1

Ce scénario révèle qu'il est possible d'autoconsommer 69% de la production solaire, soit 31% d'énergie excédentaire qui sera valorisée en vente de surplus. Le taux d'autoproduction de 34% représente le potentiel d'économie sur la facture d'électricité. Les formules permettant de trouver ces taux sont les suivantes :

$$T_{ac} = \frac{\text{Energie solaire consommée sur site}}{\text{Production solaire totale}} ; T_{ap} = \frac{\text{Energie solaire consommée sur site}}{\text{Besoins de consommation du site}}$$

Ces résultats permettent d'évaluer le potentiel énergétique mais doivent être confrontés à une analyse financière pour pouvoir décider de la viabilité du scénario.

#### ❖ Chiffrage du scénario 1 :

Le chiffrage d'une installation comprend les éléments suivants :

- La maîtrise d'œuvre (conception, consultations, suivi de chantier et démarches de raccordement au réseau) ;

- La fourniture et pose des modules photovoltaïques ;
- La fourniture et pose du système d'intégration ;
- Les raccordements, incluant boîtes de jonction, chemins de câbles, câbles et connexions ;
- Les coffrets électriques de protection ;
- Les onduleurs, locaux techniques, existants à aménager, ou à construire ;
- Les appareils de mesure et système de suivi ;
- Le nouveau poste de livraison HTA : Comme expliqué en amont dans les conditions de raccordement au réseau, dans notre cas, nous voulons injecter 400 kVA sur le réseau. Ceci demande de se raccorder en HTA et donc il faut chiffrer l'achat d'un poste de transformation.

Les assurances chantier ont également été prises en comptes pour l'investissement. Un générateur photovoltaïque nécessite très peu de maintenance. Néanmoins, le matériel électrique employé, notamment les onduleurs, sont susceptibles d'être partiellement remplacés au cours de la vie de l'installation (essentiellement les cartes électroniques de puissance ou de commande). Le bilan économique est obtenu en combinant les principaux paramètres suivants :

- La totalité des investissements nécessaires à la production solaire (CAPEX) ;
- Les coûts annuels d'exploitation (OPEX) ;
- La productivité énergétique du système solaire avec le prix de valorisation de chaque kWh. A ces éléments de base, pour établir le bilan financier sur 25 ans, on ajoute les hypothèses suivantes :
  - Taux d'augmentation du coût des frais annexes (maintenance, assurances, ...) : + 1% par an ; Taux d'augmentation du coût de fourniture de l'électricité (selon recommandation de la CRE) à + 1% par an pour la HT ;
  - Apports en fonds propres : 100 % ;
  - Taux d'actualisation de 2,5% ;
  - Baisse de rendement de l'installation de 0,5%/an ;
  - Autoconsommation avec injection de surplus : des économies réalisées sur la fourniture d'électricité, le TURPE et la CSPE (sur la part autoconsommée) ;
  - Tarif de valorisation du kWh injecté (excédent ou vente totale) selon nouvel arrêté tarifaire du 06 Octobre 2021 ;
  - Quote-part S3RENr : 77,48 €/kVA (en Nouvelle-Aquitaine) pour les installations de plus de 250kVA.

Le chiffrage et le bilan économique réalisés à l'aide de l'outil TECSOL PV sont présentés dans le tableau suivant :

	Scénario 1 400 kVA (HTA)
<b>CAPEX</b>	€ HT
Mise en place du chantier	8 000
Travaux de couverture	0
Fourniture et pose système d'intégration	97 500
Fourniture et pose modules photovoltaïques	170 600
Câblage et équipements électriques (DC/AC/TDGS)	58 500
Onduleurs	58 500
Sécurisation toitures	0
Tranchée VRD	4 000
Raccordement	0
Quote-part S3REnR	31 760
Point de livraison (incluant protection)	100 000
Mesures et Acquisition de données	4 000
Ingénierie (MOE)	25 000
Etudes structure	5 000
Bureau de contrôle	5 000
<b>Investissement total (€ HT)</b>	<b>567 860</b>
Subvention (€)	0
<b>Investissement net de subvention (€ HT)</b>	<b>567 860</b>
Prix au Wc (€/Wc)	1,17

OPEX	Scénario 1 € HT/an
Maintenance et entretien	4 740
Télésuivi, supervision	1 180
Assurances RC	1 700
Compteur de production solaire	241
Taxe IFER	1 262
<b>Charges d'exploitation totales (€ HT/an)</b>	<b>9 123</b>

Les OPEX désignent les charges liées à l'exploitation de l'installation.

NB : Le compteur de production solaire est un abonnement annuel auquel les producteurs doivent souscrire.

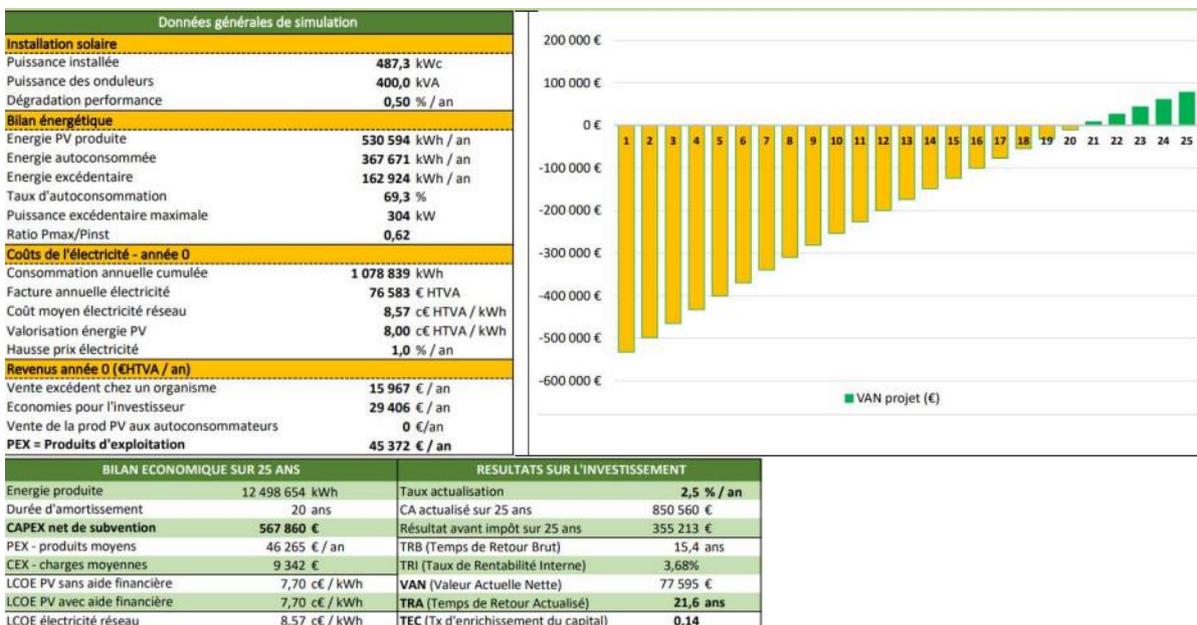


Figure 20: Bilan économique du scénario 1

Dans ce scénario, l'investissement total est de 567 860€ HT. Les économies sur la facture d'électricité liées à l'énergie autoconsommée sur site s'élèvent à 29 406€/an et la recette de la vente de surplus est de 15 967€/an. Ce scénario présente un temps de retour brut (TRB) sur investissement d'environ 15 ans. Le temps de retour brut représente le temps de retour sur investissement sans prendre en compte l'actualisation à la différence du TRA qui prend en compte l'actualisation.

Sur le plan technique, le poste HTA/BT existant dispose de deux cellules d'arrivée et une cellule de départ. Pour pouvoir mettre en œuvre ce scénario (injection en HTA), il faut prévoir une adaptation du poste de livraison.

Cette adaptation est indiquée dans le chiffrage (Point de livraison) et représente un coût énorme d'où l'importance d'étudier un autre scénario moins couteux et simple à mettre en œuvre.

**N.B :** Ce chiffrage n'intègre pas le coût de la réfection de la couverture qui s'élèverait à 203 700€. Il faut noter que même si le maître d'ouvrage n'avait pas un projet solaire à intégrer sur sa toiture, la couverture doit être refaite en raison de son état actuel. Les travaux de réfection de la toiture ne sont donc pas rattachés directement au projet solaire mais des simulations ont été faites en incluant ces travaux de couverture (voir tableau récapitulatif).

✓ **Scénario 2 : Autoconsommation avec vente de surplus + Vente totale**

La proposition faite est de découper l'installation en deux pour pouvoir les raccorder en basse tension (<250 kVA) :

- **273,8 kWc** en autoconsommation avec vente de surplus avec une puissance totale d'onduleur de 200 KVA ;
- **213,49 kWc** en vente totale avec une puissance totale d'onduleurs de 200 KVA.

Les résultats de simulations sur TECSOL PV sont indiqués dans le tableau suivant :

Taux autoconsommation	85,39 %
Taux autoproduction	23,60 %
Taux excédent	14,61 %

Mois	Consommation (kWh)	E. PV produite (kWh)	E. autoconsommée (kWh)	E. excédentaire (kWh)	Fraction solaire (%)
janvier	88 767	8 734	8 430	304	9,50
février	73 533	14 258	12 824	1 434	17,44
mars	90 328	25 065	21 654	3 411	23,97
avril	56 308	32 257	22 986	9 271	40,82
mai	64 858	37 674	28 929	8 744	44,60
juin	93 784	39 819	32 414	7 405	34,56
juillet	109 456	39 969	35 837	4 132	32,74
août	102 999	36 738	33 602	3 136	32,62
septembre	83 743	28 171	25 626	2 545	30,60
octobre	69 817	17 735	15 424	2 311	22,09
novembre	107 288	9 731	9 132	600	8,51
décembre	137 959	7 980	7 722	259	5,60
<b>Total</b>	<b>1 078 839</b>	<b>298 132</b>	<b>254 581</b>	<b>43 551</b>	<b>23,60</b>
<b>Moy. mensuel</b>	<b>89 903</b>	<b>24 844</b>	<b>21 215</b>	<b>3 629</b>	

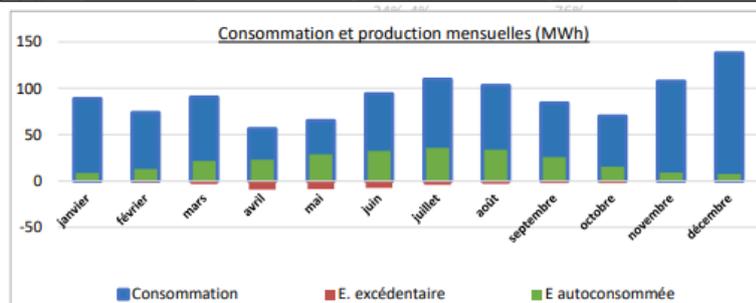


Figure 21: Bilan énergétique du scénario 2.1\_273,8 kWc

Dans ce scénario 2.1, le MOA consomme 85% de sa production et le potentiel d'économies sur facture d'électricité s'élève à 24%. Toutefois ces résultats vont être confrontés à l'étude économique pour déduire la rentabilité du projet.

NB : Le bilan énergétique du scénario 2.2 en vente totale de 213 kWc n'est pas indiqué car il s'agit d'une vente totale qui n'aura aucune incidence sur la consommation du site mais interviendra essentiellement dans les recettes liées à la vente d'énergie du scénario 2 dans sa globalité.

❖ **Chiffrage du scénario 2 :**

La procédure à suivre pour le chiffrage est la même que celle qui est décrite pour le scénario 1.

Scénario 2 200 + 200 kVA (BT)	
CAPEX	€ HT
Mise en place du chantier	8 000
Travaux de couverture	0
Fourniture et pose système d'intégration	97 500
Fourniture et pose modules photovoltaïques	170 600
Câblage et équipements électriques (DC/AC/TDGS)	58 500
Onduleurs	58 500
Sécurisation toitures	0
Tranchée VRD	4 000
Raccordement	15 000
Quote-part S3REnR	31 760
Point de livraison (incluant protection)	0
Mesures et Acquisition de données	4000
Ingénierie (MOE)	25 000
Etudes structure	5 000
Bureau de contrôle	5 000
<b>Investissement total (€ HT)</b>	<b>482 860</b>
Subvention (€)	0
<b>Investissement net de subvention (€ HT)</b>	<b>482 860</b>
Prix au Wc (€/Wc)	0,99

Scénario 2	
OPEX	€ HT/an
Maintenance et entretien	3 740
Télésuivi, supervision	1 180
Assurances RC	1 452
Compteur de production solaire	891
Taxe IFER	1 262
<b>Charges d'exploitation totales (€ HT/an)</b>	<b>8 525</b>

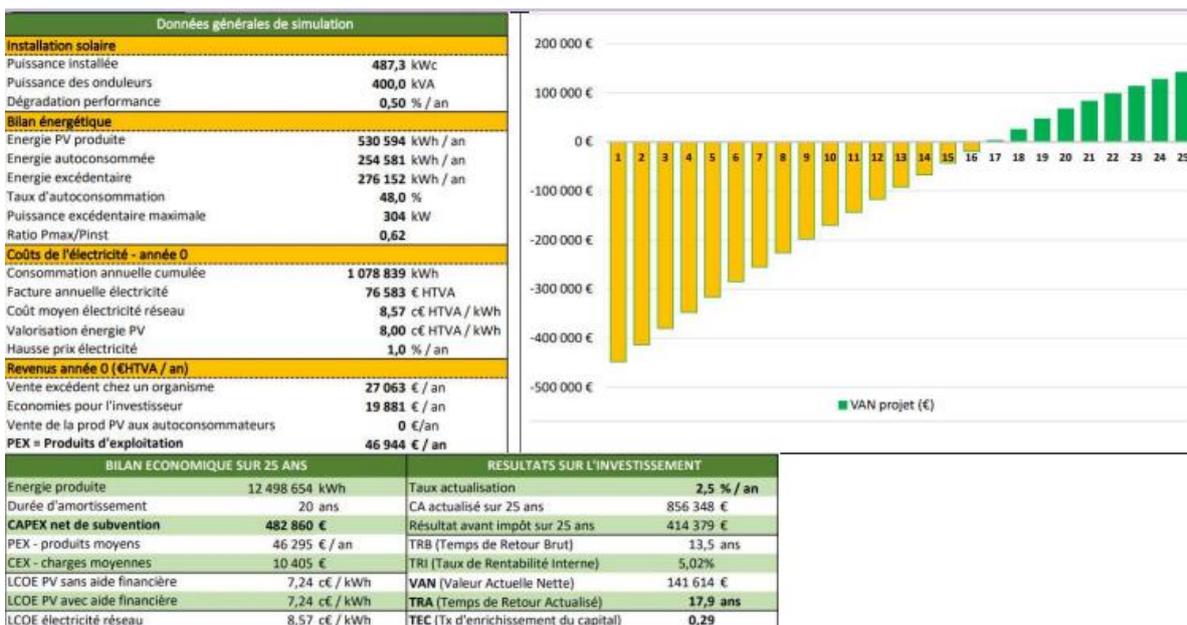


Figure 22: Bilan économique du scénario 2

Dans ce scénario, l'investissement total est de 482 860€. Les économies sur la facture d'électricité liée à l'énergie autoconsommée sur site s'élèvent à 19 881€/an et la recette totale de la vente (surplus + vente totale) est de 27 063€/an. Ce scénario présente un temps de retour brut (TRB) sur investissement de 13,5 ans.

### 3.1.6 Analyse des résultats et recommandations

Cette phase consiste à analyser les deux scénarios puis recommander au MOA le scénario le plus favorable techniquement et économiquement. Voici un récapitulatif des résultats des deux scénarios étudiés :

		Coût PV seul		Coût global incluant travaux de couverture	
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 1	Scénario 2
Puissance crête totale	kWc	487,19	487,19	487,19	487,19
Puissance injectée	kVA	400	400	400	400
Mode de valorisation		ACip	ACip+VT	ACip	ACip+VT
Energie produite	kWh/an	530 594	530 594	530 594	530 594
Consommation site	kWh/an	1 078 839	1 078 839	1 078 839	1 078 839
Tac	%	69%	85%	69%	85%
Tap	%	34%	24%	34%	24%
Economie réalisable sur la facture	€ HT/an	29 406	19 881	29 406	19 881
Recette vente électricité	€ HT/an	15 967	27 063	15 967	27 063
Economie réalisable sur facture	€ HT/an	29 406	19 881	29 406	19 881
CAPEX	€ HT	567 860	482 860	771 560	686 560
	€HT/Wc	1,17	0,99	1,58	1,41
OPEX + taxes	€ HT/an	9 123	8 525	9 123	8 525
TRB investisseur sur 25 ans	ans	15,4	13,5	21,0	19,1
TRI investisseur sur 25 ans	%	3,68	5,02	2,21	1,98
TRA investisseur sur 25 ans	ans	21,6	17,9	>25	>25
VAN investisseur sur 25 ans	€	77 595	141 614	-28 638	-38 270

Figure 23: Récapitulatif des résultats

Le projet photovoltaïque nécessite la réfection de la couverture. C'est pourquoi nous avons raisonné également en coût global en intégrant toutes les dépenses induites par le projet photovoltaïque.

Si les deux scénarios se valent en termes énergétiques, l'analyse économique fait ressortir un intérêt pour le **scénario 2**. Les produits d'exploitation sont les économies sur facture d'une part et la vente d'énergie (surplus et injection totale) d'autre part, et leur somme s'élève à 46 944 €/an. A noter également l'intérêt technique et de mise en œuvre de rester en BT, puisqu'un raccordement en HTA aurait imposé de changer le poste de transformation existant et de l'adapter notamment au projet photovoltaïque (plus coûteux et plus compliqué en termes de mise en œuvre).

### 3.2 Réalisation d'un outil de gestion des courbes de charge.

#### **3.2.1 Contexte, problématique et objectif de l'outil**

La réalisation des études en autoconsommation nécessite de connaître la courbe de consommation du client. Plusieurs moyens permettent d'évaluer la consommation d'un site :

- Les factures d'électricité : Il s'agit de consulter les factures mensuelles du site pour en déduire le comportement de consommation annuelle du site et le délai des différentes composantes de facturation (fourniture, TURPE, taxes).
- Le bilan énergétique des équipements : Il s'agit de recenser les différents équipements consommateurs d'énergie qui composent un site, d'appliquer la durée de leur utilisation pour en déduire l'énergie totale consommée au bout d'une journée, puis au bout d'une année.
- Les plateformes de collecte de courbes de charges : Il s'agit des plateformes gérées par les gestionnaires de réseau qui permettent de collecter à un pas de temps réduit (10min ou 30min) les données de consommation d'un site. Cette méthode s'avère plus précise que toutes les autres citées en amont.

Dans cette quête de précision dans ses études, TECSOL dispose d'un accès à la plateforme SGE d'Enedis décrite en amont (page 12) qui lui permet de collecter les courbes de charge de ses clients.

Toutefois, certains clients ne disposent pas de compteur communicant capable d'enregistrer et de transmettre les index de consommation au pas de temps 10 ou 30min et d'autres clients sont issus d'autres gestionnaires de réseau qui ne disposent pas d'une plateforme comme telle. Il faut noter que même certains profils collectés sur la plateforme peuvent présenter des anomalies telles que :

- Année incomplète due à un arrêt d'enregistrement des données
- Sauts de données sur certains jours, mois...

TECSOL dispose d'un outil qui permet d'extrapoler des données d'un profil incomplet pour avoir une année complète. Toutefois cet outil peut être imprécis.

C'est dans la dynamique de pallier les problèmes cités en amont que s'inscrit la réalisation de cet outil de gestion de courbes de charge qu'on a souhaité nommer « Tecsol\_SGE ». L'outil a pour principal objectif de retrouver à travers des profils déjà issus de la plateforme SGE et enregistrés dans l'outil, des profils pouvant correspondre aux caractéristiques des projets pour lesquels aucune courbe de charge n'est disponible.

### 3.2.2 Méthodologie de la conception

La conception de cet outil a nécessité la mise en place d'une méthodologie en amont permettant d'organiser les tâches (annexe : planning).

#### ❖ Phase 1 : Choix des attributs

Un attribut est une caractéristique d'une entité (dans notre cas : un profil de courbe de charge). Il va servir d'identificateur pour distinguer un profil d'un autre.

Les attributs les plus pertinents pour un profil de courbe de charge qui ont été choisis dans cet outil sont :

- Le numéro PDL : C'est un numéro qui permet d'identifier le point de livraison électrique d'un site. Il est unique à chaque point de livraison.
- Le type de bâtiment (usage : école, bâtiments de bureaux, etc.)
- Le nom du bâtiment
- La surface du bâtiment
- L'adresse, la commune, le code postal
- La zone géographique
- La puissance de raccordement en soutirage
- La consommation annuelle du site
- Le numéro de dossier : C'est le numéro attribué par les ingénieurs au projet permettant de le trouver facilement dans la base de dossiers de TECSOL.
- L'Année de la courbe de charge
- Le type de compteur
- Le mode de chauffage du bâtiment / climatisation
- Le client à qui appartient le point de livraison

#### ❖ Phase 2 : Les fonctions de l'outil

L'outil à concevoir est une base de données qui doit être alimentée et qui doit permettre aux ingénieurs d'afficher un profil, de le modifier, de le supprimer. En partant de ces objectifs spécifiques, j'ai pu définir les différentes fonctions que l'outil doit permettre :

- Accès à la base de données
- Ajouter un profil SGE
- Afficher/modifier

- Supprimer un profil SGE
- Rechercher un SGE par critères

❖ **Phase 3** : Outils

Plusieurs logiciels permettent de concevoir une base de données parmi lesquels : MySQL, PostgreSQL, SAP HANA, Mongo DB, VBA Excel...

Le choix s'est porté sur VBA Excel en raison de sa facilité d'utilisation, de la disponibilité des ressources documentaires pour se former et de l'état de mes connaissances sur le langage de programmation VBA.

❖ **Phase 4** : Programmation et alimentation de la base de l'outil

La programmation a été faite avec le langage VBA Excel (le code en annexe). A l'état actuel de la base, **300** profils complets y sont déjà enregistrés.

**3.2.3 Description de l'outil et son utilisation :**

L'outil est conçu de telle sorte que l'on peut enregistrer un nouveau profil, on peut modifier les informations d'un profil existant, on peut accéder aux données de la courbe de charge mais aussi supprimer un profil qui peut-être a été enregistré par erreur.



Figure 24: Interface de l'outil tecsol\_sge

- **Le bouton « Accès base SGE »** : Ce bouton associé à une macro VBA, permet d'accéder à la base de données de tous les profils enregistrés.

PDI/PRM	Type de bâtiment	Nom	Code Postal	Commune	Domaine de tension	Puissance de raccordement	Consommation de l'année	Zone	Année	N° de Dossier	Type de compteur
30001611544024	MUNICIPAL-Centre Technique	CTM Mérignac	33700	MERIGNAC	BT>36KVA	84		NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2019-148	PME-PMI
30001510130466	INDUSTRIE	VILQUIN Jarnac	16200	JARNAC	HTA	1000	856389	NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2021-007	PME-PMI
30001612248484	ENSEIGNEMENT-Primaire	Complexe Burck	33700	MERIGNAC	BT>36 KVA	84		NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2019-060	PME-PMI
30001641478773	ENSEIGNEMENT-Lycée/Collège	Collège Etchart et Iskatola	64120	LARCEVEAU ARROS	BT>36 KVA	120		NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2021-132	PME-PMI
16433719140305	STEP Station d'épuration	STEP AMENDARITS	64640	ARMENDARITS	BT<=36KVA	36		5103 NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2021-132	LINKY
30001554000589	ADMINISTRATION	Cité Admin de Limoges	87000	LIMOGES	HTA	1000		370391 NOUVELLE-AQUITAINE	2021	2021-202	ICE

Figure 25:Aperçu de la base de données après appui du bouton « Accès base SGE »

- **Le bouton « Ajouter un SGE »** : il permet d'ouvrir un formulaire à travers lequel on peut saisir les informations essentielles d'un profil que l'on souhaite enregistrer.

Figure 26: Formulaire d'ajout des profils

La programmation est faite de sorte que l'on n'ait pas à enregistrer un profil déjà existant.

- **Le bouton « Afficher/ modifier »** : il permet d'afficher à travers un formulaire, les informations essentielles d'un profil déjà enregistré dans la base. Il donne la possibilité de modifier les informations d'un profil et permet aussi d'accéder à la courbe de charge.

Figure 27: Formulaire d'ajout et de modification d'un profil

- **Le bouton « Recherche par critères »** : Agissant comme un filtre, ce bouton permet de filtrer les profils de la base de données. C'est l'une des fonctionnalités clé de cette base car il permet de lister, à partir d'une imbrication de critères, les profils correspondant aux critères entrés.

Les critères de recherche utilisés sont : le type du bâtiment, le domaine de tension, le type de chauffage, la zone géographique.

Une fois les critères entrés, l'outil affiche à travers une listview, tous les profils qui correspondent à la recherche et l'on peut sélectionner à l'aide d'un pointage de curseur, le profil qui semble le plus similaire possible à notre recherche. Sur le formulaire de la listview, un bouton « courbe de charge » permet d'accéder directement au fichier Excel des données de consommation du profil sélectionné.

The screenshot shows a search interface with the following elements:

- Zone de critères:** Search filters for 'Type de bâtiment' (ADMINISTRATION), 'Domaine de tension' (BT>36 KVA), 'Chauffage', and 'Zone Geographique'.
- Listview:** A table of search results with columns: PDL\_PDM, Type de bâtiment, Nom, Surface du bâtiment, Code Postal, Commune, Domaine de tension, Puissance de rac, Consommation de, Zone, and Année. One row is highlighted in blue.
- Profil sélectionné:** A callout box pointing to the highlighted row in the listview.
- Buttons:** 'Rechercher' (green), 'Fermer' (red), 'Efficace saisie', 'Affiche PDL' (30001430620400), 'Affiche N° de dossier' (2021-121), 'TRI resultats', 'P\_Racc', and 'Courbe de charge' (orange).
- Accès courbe de charge:** A callout box pointing to the 'Courbe de charge' button.

Figure 28: Listview de l'outil

TECSOL dispose du système SharePoint permettant l'accès de tous les dossiers à tout son personnel. On a choisi d'y stocker la base de données des courbes de charge pour permettre la fonctionnalité de l'outil indépendamment d'une agence à une autre, d'un ordinateur à un autre. Le bouton « **courbe de charge** » est associée à une macro qui permet d'ouvrir la courbe de charge correspondant à la sélection faite sur la listview.

### 3.2.4 Avantages et limites de l'outil

Cet outil développé vient essentiellement permettre aux ingénieurs de TECSOL de pouvoir :

- Gagner en temps dans la recherche d'une courbe de charge similaire à un projet qui n'en dispose pas.
- Centraliser toutes les courbes recueillies sur la plateforme ENEDIS dans l'outil. L'outil, avec le bouton « Enregistrer un nouveau SGE » permet aux utilisateurs de pouvoir enrichir la base de données au fur et à mesure. Il sied d'ajouter qu'une feuille Excel est faite de 1048576 lignes, ainsi donc la base de données créée peut stocker jusqu'à 1048576 profils.

Il convient de noter que cet outil, au-delà des avantages qu'il présente, a aussi quelques limites notamment sur la feuille Excel qui est limitée en capacité de stockage de données et aussi le temps de traitement qui pourra s'allonger en fonction de la masse des données stockées. Pour contourner ses limites, quelques solutions sont proposées :

- Créer des bases de données annexes.
- Designier un ingénieur qui fera le suivi de l'évolution de la base de données.

### 3.2.5 Compétences mobilisées et acquises sur ce projet

Le développement de cet outil m'a permis de mobiliser certaines compétences sur divers plans à savoir :

- L'Organisation : Comme indiqué dans la méthodologie, j'ai commencé par faire un planning pour chronométrer mes tâches.
- Outils informatiques et programmation : Cet outil a nécessité des connaissances en programmation notamment le langage VBA Excel qui, heureusement, dispose de plusieurs ressources documents et tutoriels sur internet. Il m'a fallu aussi être flexible et rapide par rapport à l'utilisation de l'outil Excel.

### 3.3 Autres missions

En dehors des projets détaillés en amont, je me suis vu confier quelques missions en parallèle en ma qualité d'assistant chargé d'études. Ces missions concernent essentiellement des demandes de raccordement au réseau électrique.

Une demande de raccordement est une procédure qui permet de renseigner auprès d'Enedis, les caractéristiques d'une installation solaire dans le but d'avoir une proposition technique et économique de tous les travaux nécessaires à réaliser pour raccorder l'installation au réseau électrique. La demande de raccordement est généralement faite après la validation de la faisabilité du projet par le MOA.

La procédure est totalement dématérialisée et se fait sur le site d'Enedis [www.raccordement-entreprise-enedis.fr](http://www.raccordement-entreprise-enedis.fr).

Avant de pouvoir procéder à une demande de raccordement, un certain nombre de documents sont à réunir au préalable notamment :

- Un plan de masse avec indication de l'emplacement du point de livraison
- Un plan de calepinage de l'installation solaire

- Un schéma unifilaire (Schéma électrique montrant clairement le nombre de panneaux, d'onduleurs, leur câblage ainsi que les différents organes de protection mis en œuvre pour l'installation).
- Une attestation de propriété
- Un avis SIREN
- La fiche technique des onduleurs utilisés
- Les coordonnées GPS délimitant l'installation.

Les demandes que j'ai réalisées concernent essentiellement des projets en autoconsommation collective, individuelle et en vente totale réunissant toutes les conditions pour bénéficier de l'obligation d'achat. La procédure de demande de raccordement d'une installation sur la plateforme d'Enedis suffit pour que celle-ci bénéficie d'une obligation d'achat dans le cadre de l'arrêté du 06 Octobre 2021.

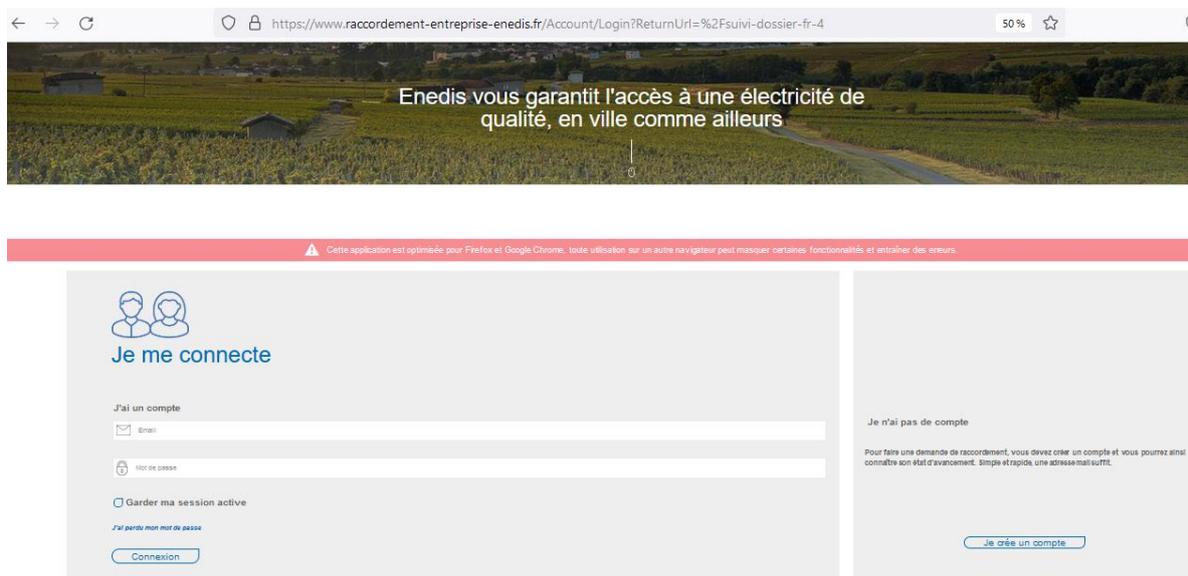


Figure 29: Interface de la plateforme de demande de raccordement

## CONCLUSION

En somme, ce stage m'a permis de découvrir le métier de chargé d'études à travers les différentes missions qui m'ont été confiées. C'est un métier qui demande beaucoup de rigueur, d'organisation, des compétences techniques pour répondre aux besoins des clients (Le cas de la ferme LARRERE). J'ai pu développer ces compétences à travers des études de faisabilité où il a fallu faire des choix techniques et financiers répondant au mieux aux besoins des clients. Au-delà des aspects techniques de ce métier, le relationnel m'a été d'une grande utilité pour bien mener mes missions car j'étais emmené à discuter avec le MOA pour demander des informations complémentaires et essentielles aux études. A toutes ces compétences s'ajoutent des qualités comme la curiosité que j'ai pu développer sur la réalisation de l'outil Tecsol\_SGE.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte

Lien : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385/> [Visité le 25 février 2022]

[2] Augmentation Electricité 2022 et hausse tarif EDF : Explication

Lien : <https://selectra.info/energie/electricite/prix/augmentation> [Visité le 25 février 2022]

[3] Arrêté du 6 octobre 2021 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations implantées sur bâtiment, hangar ou ombrière utilisant l'énergie solaire photovoltaïque.

Lien : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000044173060> [Visité le 25 février 2022]

ANNEXES ET PREUVES DE VALIDATION DE COMPETENCES

**ANNEXE 1 : PLANNING GENERAL DU STAGE**

PLANNING GENERAL -DEROULEMENT DU STAGE - debut 20 Septembre 2021													
Mois	Projets Heure	FAISA-FERME LARRERE		FAISA-PARC DES EXPOS		FAISA-PARKING MIRABEL		OUTIL TECSOL SGE		DEMANDES DE RACCORDEMENT		Appui à l'audit énergétique GRADIGNAN	
		9h-12h	14h-18h	9h-12h	14h-18h	9h-12h	14h-18h	9h-12h	14h-18h	9h-12h	14h-18h	9h-12h	14h-18h
Sept. 2021													
Oct. 2021													
Nov. 2021		*Visite du site *Plans d'implantation *Dimensionnement *Rapport de Faisa						*Méthodologie *Outils *Tutos					
Dec. 2021									Programmation	*13 demandes de raccordement Agence de TOULOUSE			
Janv. 2022					*Bilan Energétique *Analyses des courbes de consommation				Alimentation de l'outil				
												* Visite sur site(07/01) *Evaluation de la production sur SOLOTECSOL	
Fev. 2022								Alimentation de l'outil					
						*Reunion avec Mathilde *Plans d'implantation *Dimensionnement *Rapport de Faisa					10 demandes de raccordement de l'agence de TOULOUSE		
Mar. 2022	<b>FIN DU STAGE</b>												

**ANNEXE 2 : PLANNING DES ACTIVITES- ETUDE DE FAISABILITE D E LA FERME LARRERE**

PLANNING DES ACTIVITES - ETUDE DE FAISABILITE DE LA FERME LARRERE			
Date (mois Nov 2021)	ACTIVITES	Moyens / Observations	Suivi
Lundi 8	Visite du site	Fiche de visite / Contact du MOA	
Mardi 9	Choix du système d'intégration - Plan de calépinage	Consulter les avis techniques et les ETN	
Mercredi 10			
Jeudi 11			
Vendredi 12	Dimensionnement sur Pvsyst	Télécharger l'outil Pvsyst	
Samedi 13			
Dimanche 14			
Lundi 15	Dimensionnement sur Pvsyst	Simulations	
Mardi 16			
Mercredi 17	Reunion avec Maximilien	Corriger les pertes détaillées	
Jeudi 18	Prise en main de l'outil TECSOL PV- Bilan énergétique et économique	Tutos dans les dossiers de TECSOL	
Vendredi 19			
Samedi 20			
Dimanche 14			
Lundi 22	Analyses de résultats - Rédaction du rapport de faisabilité		
Mardi 23			
Mercredi 24	Vérification à faire par Celeste et Maximilien	Validation du rapport de faisabilité avec corrections	
Jeudi 25			
Vendredi 26			
Samedi 27			
Dimanche 28			
Lundi 29			
Mardi 30			

Legende

- Tâche réalisée
- Tâche réalisée avec correction
- Jours fériés

**ANNEXE 3 : SCHEMA UNIFILAIRE DU PROJET LARRERE**

