

# ETUDE AVANT PROJET SOMMAIRE CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE CANTINE DU GROUPE SCOLAIRE



Maitre d'ouvrage  
RAYONS VERTS  
Mairie de Venerque  
12, Place Saint-Pierre  
31810 Venerque

Site d'exploitation :  
CANTINE DU GROUPE SCOLAIRE  
70, Impasse du stade  
31870 Lagardelle-sur-Lèze

Le 18 OCTOBRE 2019

BET RAMAT  
146, Avenue Marceau Hamecher  
82000 Montauban

## SOMMAIRE

|           |                                                                                                                  |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>SYNTHESE DU PROJET.....</b>                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>2</b>  | <b>INTRODUCTION - PRESENTATION DES ACTEURS.....</b>                                                              | <b>4</b>  |
| 2.1       | Présentation du projet .....                                                                                     | 4         |
| 2.2       | Objectif et contenu du rapport.....                                                                              | 4         |
| 2.3       | Les acteurs du projet.....                                                                                       | 4         |
| <b>3</b>  | <b>CARACTERISTIQUES DU SITE .....</b>                                                                            | <b>5</b>  |
| 3.1       | Présentation du site .....                                                                                       | 5         |
| 3.2       | Ressource solaire .....                                                                                          | 6         |
| <b>4</b>  | <b>RAPPEL DES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES ASSOCIES A LA MISE EN<br/>OEUVRE DE CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES.....</b> | <b>7</b>  |
| <b>5</b>  | <b>NATURE DU PROCEDE D'INTEGRATION PROPOSE .....</b>                                                             | <b>8</b>  |
| <b>6</b>  | <b>CARACTERISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES PROPOSES .....</b>                                               | <b>9</b>  |
| <b>7</b>  | <b>CARACTERISTIQUES DE L'ONDULEUR PROPOSE .....</b>                                                              | <b>10</b> |
| <b>8</b>  | <b>CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE .....</b>                                            | <b>10</b> |
| 8.1       | Zones d'implantation retenue .....                                                                               | 10        |
| 8.2       | Emplacement des onduleurs .....                                                                                  | 11        |
| 8.3       | Emplacement des coffrets de protection courant continu .....                                                     | 12        |
| 8.4       | Tableau Général Basse Tension Photovoltaïque (TGBT PV) .....                                                     | 12        |
| 8.5       | Mise à la terre de l'installation.....                                                                           | 12        |
| 8.6       | Cheminement des câbles électrique .....                                                                          | 12        |
| 8.7       | Raccordement de la centrale solaire au réseau de distribution électrique.....                                    | 13        |
| 8.8       | Coffret de comptage et acquisition des données .....                                                             | 13        |
| 8.9       | Coupure d'urgence .....                                                                                          | 14        |
| <b>9</b>  | <b>BILAN ENERGETIQUE .....</b>                                                                                   | <b>14</b> |
| 9.1       | Détermination de l'ensoleillement reçu dans le plan des modules photovoltaïques .....                            | 14        |
| 9.2       | Estimation de la production du générateur photovoltaïque.....                                                    | 15        |
| <b>10</b> | <b>ANALYSE ECONOMIQUE.....</b>                                                                                   | <b>16</b> |
| 10.1      | Les différents postes d'investissements.....                                                                     | 16        |
| 10.2      | Evaluation des coûts de la centrale solaire .....                                                                | 17        |
| 10.3      | Frais de fonctionnement.....                                                                                     | 18        |
| 10.4      | Analyse économique.....                                                                                          | 18        |
| <b>11</b> | <b>ANALYSE ENVIRONNEMENTALE .....</b>                                                                            | <b>19</b> |

|           |                         |           |
|-----------|-------------------------|-----------|
| <b>12</b> | <b>CONCLUSION .....</b> | <b>20</b> |
|-----------|-------------------------|-----------|

## 1 SYNTHÈSE DU PROJET

|                                                                                   |                                 |                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|
|  | <b>CARACTERISTIQUES DU SITE</b> |                                                   |
|                                                                                   | Propriétaire                    | Commune de Lagardelle-Sur-Lèze                    |
|                                                                                   | Adresse                         | 70, Impasse du Stade<br>31870 Lagardelle-Sur-Lèze |
|                                                                                   | Altitude                        | 183 mètres                                        |
|                                                                                   | Latitude                        | 43,41°                                            |
|                                                                                   | Longitude                       | 1,39°                                             |
|                                                                                   | Base météorologique             | PVgis                                             |
| <b>CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE D'ACCUEIL</b>                                   |                                 | <b>Unités</b>                                     |
| Bâtiments                                                                         | Cantine scolaire                |                                                   |
| Type de toiture                                                                   | Toiture tuiles                  |                                                   |
| Surface de toiture totale                                                         | ~360                            | m²                                                |
| Orientation                                                                       | 200°                            | 180° SUD                                          |
| Inclinaison                                                                       | 18°                             | /HOR                                              |
| <b>GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES<sup>1</sup></b>        |                                 | <b>Unités</b>                                     |
| Type de modules                                                                   | Modules cadrés                  |                                                   |
| Technologie                                                                       | Monocristalline                 |                                                   |
| Puissance installée                                                               | 8 910                           | Wc                                                |
| Surface valorisée                                                                 | ~45                             | m²                                                |
| Production électrique estimée <sup>1</sup>                                        | ~11,8                           | MWh/an                                            |
| Productivité : (Ratio productible/puissance)                                      | ~1 324                          | kWh/kWc                                           |
| <b>ANALYSES ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE <sup>2</sup></b>                       |                                 | <b>Unités</b>                                     |
| Investissement total estimé                                                       | 19 200                          | €/HT                                              |
| Ratio Inv/Wc                                                                      | 2,15                            | €/Wc                                              |
| Coût d'achat de l'électricité                                                     | 0,1586                          | €/kWh                                             |
| Recette annuelle (année 1)                                                        | ~1 871                          | €                                                 |
| Charges d'exploitation <sup>3</sup>                                               | ~330                            | € HT                                              |
| Temps de retour brut TRB                                                          | ~13,5                           | ans                                               |
| Gain à la fin du contrat d'achat (20 ans)                                         | ~5 846                          | €                                                 |
| Quantité de CO <sub>2</sub> évitée                                                | ~1,42                           | T CO <sub>2</sub> .an                             |

<sup>1</sup> Pour la première année de mise en service du générateur photovoltaïque.

<sup>2</sup> Intégrant une perte de productible de 0,54 % par an sur 20 ans.

<sup>3</sup> Les charges d'exploitation comprennent : l'accès au réseau de distribution, la maintenance préventive et les assurances du générateur photovoltaïque.

## 2 INTRODUCTION - PRESENTATION DES ACTEURS

### 2.1 PRÉSENTATION DU PROJET

Le groupement de citoyens Rayons Verts, dans le but de participer aux développements des énergies vertes, propose de faire analyser la faisabilité d'intégrer une installation de production d'énergie photovoltaïque en couverture de la cantine de l'école élémentaire de Lagardelle-Sur-Lèze.

Cette démarche permettra de sensibiliser et communiquer le plus largement en direction des citoyens, personnels de la collectivité, sur les atouts pour l'environnement de produire de l'électricité « verte » d'origine photovoltaïque (réduction des gaz à effet de serre, valorisation d'une ressource locale, etc.), tout en proposant une centrale de production d'énergie économiquement performante.

### 2.2 OBJECTIF ET CONTENU DU RAPPORT

L'objectif de l'étude de faisabilité est de fournir au Maître d'Ouvrage une aide à la décision, permettant de juger de l'opportunité et de la pertinence (technique, économique et environnementale) de la mise en œuvre d'un générateur photovoltaïque raccordé au réseau de distribution électrique public.

#### **L'étude précise :**

- Les hypothèses de dimensionnement des équipements constituant la centrale photovoltaïque ;
- Le dimensionnement de l'installation et la productivité escomptée ;
- La description et l'implantation des matériels solaires ;
- L'analyse économique et environnementale simplifiée du projet.

L'étude d'Avant Projet Sommaire a été confiée à la société BET RAMAT.

#### **Limites de l'étude de faisabilité :**

L'étude APS se situe en amont d'une mission d'ingénierie de type Avant Projet Détaillé.

Après analyse des résultats de l'étude, si le souhait du Maître d'ouvrage est de s'engager vers la réalisation du générateur photovoltaïque, une mission d'ingénierie de type Projet sera engagée, pour la solution retenue.

### 2.3 LES ACTEURS DU PROJET

Maître d'ouvrage :

Nom : RAYONS VERTS  
Adresse : Mairie de Venerque  
12, place Saint-Pierre  
31810 VENERQUE

Bureau d'études :

Nom : BET RAMAT  
 Interlocuteur : M. Gabriel RAMAT  
 Adresse : 146, Avenue Marceau Hamecher  
 82000 MONTAUBAN  
 Téléphone : 06 25 75 14 64  
 Courriel : [contact@bet-ramat.fr](mailto:contact@bet-ramat.fr)

### 3 CARACTERISTIQUES DU SITE

#### 3.1 PRÉSENTATION DU SITE

Le site héberge une école élémentaire et une cantine.



Figure 1 : Photographie aérienne du site  
 Emplacement du bâtiment concerné.

Le tableau ci-dessous propose une synthèse des caractéristiques des toitures objets de la présente étude

|                                                |                     |
|------------------------------------------------|---------------------|
| Longueur                                       | ~29 m               |
| Largeur                                        | ~13,6 m             |
| Surface                                        | ~360 m <sup>2</sup> |
| Orientation bâtiment (en ° par rapport au Sud) | 200°                |
| Inclinaison (en ° par rapport à l'horizontale) | 18°                 |
| Type de couverture                             | Tuiles              |
| Type de charpente                              | Bois                |
| Présence d'un isolant                          | Oui                 |
| Présence d'équipement en toiture               | Verrière            |

Tableau 1 : Caractéristiques de la toiture

## 3.2 RESSOURCE SOLAIRE

**Données météorologiques :**

Les données météorologiques utilisées dans la présente étude sont celles de la base de données PVgis pour la situation géographique du projet (Toulouse).

L'irradiation solaire sur le plan horizontal, notée  $I_{GH}$ , atteint 3,85 kWh/m<sup>2</sup> en moyenne quotidienne sur l'année, et un global de 1 404 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Les données météorologiques mensuelles sont proposées dans le tableau suivant :

| Mois              | J    | F    | M     | A     | M     | J     | J     | A     | S     | O    | N    | D    |
|-------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| I <sub>gh</sub>   | 46,5 | 64,7 | 114,5 | 144,6 | 169,6 | 183,3 | 195,6 | 168,6 | 134,0 | 89,3 | 52,2 | 40,9 |
| I <sub>diff</sub> | 26,4 | 33,2 | 50,2  | 63,2  | 78,6  | 81,3  | 78,2  | 69,0  | 50,8  | 40,1 | 27,9 | 22,9 |
| T <sub>amb</sub>  | 7,5  | 8,3  | 11,8  | 13,6  | 17,7  | 21,6  | 23,4  | 23,5  | 20,3  | 17,1 | 10,6 | 7,5  |

I<sub>DIFF</sub> : Irradiation diffuse sur un plan horizontal

T<sub>AMB</sub> : Température ambiante moyenne

Tableau 2 : Données météorologiques du site

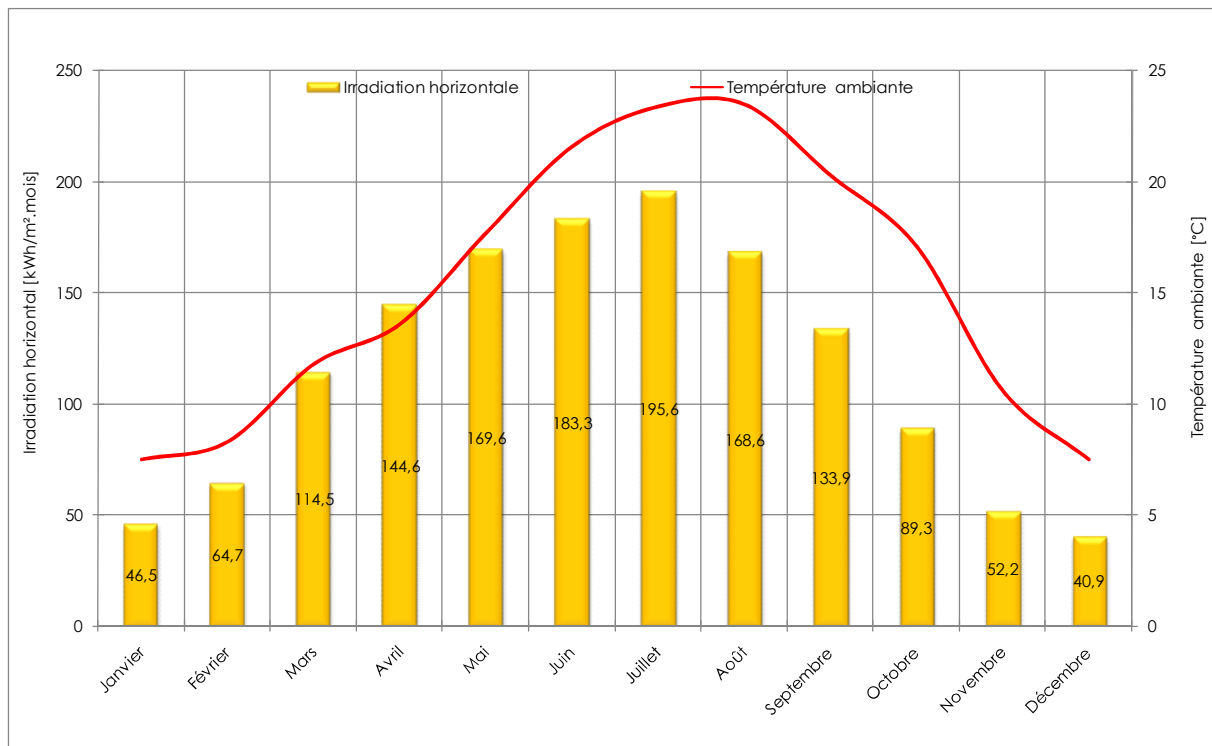


Figure 2 : Irradiation solaire incidente sur l'horizontale et température extérieure moyenne



### Préambule sur l'influence de l'orientation et de l'inclinaison sur la performance des capteurs photovoltaïques :

Ci-dessous les facteurs de correction du gisement solaire (par rapport à une inclinaison de 30° et une orientation SUD correspondant à la disposition optimale du capteur) selon une inclinaison et une orientation donnée, pour une installation située dans le sud de la France.

| <i>Ecart d'orientation</i>    | <b>+90°/sud<br/>ouest</b>                              | <b>+45°/sud<br/>sud-ouest</b> | <b>plein sud</b> | <b>-45°/sud<br/>sud-est</b> | <b>-90°/<br/>est</b> |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|
| <i>Montage horizontal</i>     | 89%                                                    | 89%                           | 89%              | 89%                         | 89%                  |
| <i>Inclinaison<br/>de 30°</i> | 83%                                                    | 95%                           | <b>100%</b>      | 95%                         | 83%                  |
| <i>Inclinaison<br/>de 60°</i> | 70%                                                    | 86%                           | 91%              | 86%                         | 70%                  |
| <i>Montage vertical</i>       | 53%                                                    | 64%                           | 66%              | 64%                         | 53%                  |
|                               | : Situation de la toiture du bâtiment objet de l'étude |                               |                  |                             |                      |

Tableau 3 : Facteur de correction du gisement solaire en fonction de l'orientation par rapport au sud et de l'inclinaison par rapport à l'horizontale

#### 4 RAPPEL DES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES ASSOCIES A LA MISE EN OEUVRE DE CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES

##### Installations inférieures à 100 kWc :

Depuis le décret du 9 mai 2017, les tarifs d'achat dépendent du type d'installation solaire : dite intégrée au bâti ou sur bâtiment respectant les critères généraux d'implantation.

Les systèmes intégrés au bâti restent essentiellement constitués de capteurs en intégration toiture (le capteur réalise l'étanchéité) ou des systèmes réalisant certaines fonctions : allège, bardage, brise soleil et mur rideau.

Ces systèmes sur la base d'une puissance maximale de 9 kWc faisaient l'objet d'une prime à l'intégration, dégressive, qui a été supprimée.

Nous allons donc assister progressivement à la suppression des modules en élément d'étanchéité.



A titre d'information, le tableau ci-dessous présente les tarifs d'achats du 3ème trimestre de l'année 2019.

| Type et puissance de l'installation photovoltaïque |                                                              |            | 01/07/2019<br>au<br>30/09/2019 |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------|
| Tarif dit Ta                                       | Installation respectant les critères généraux d'implantation | <= 3 kWc   | 18,66                          |
|                                                    |                                                              | <= 9 kWc   | 15,86                          |
| Tarif dit Tb                                       | Installation respectant les critères généraux d'implantation | <= 36 kWc  | 12,07                          |
|                                                    |                                                              | <= 100 kWc | 10,94                          |

Tableau 4 : Tableau spécifiant les différents tarifs d'achat applicable en c€/kWh en France pour le 3ème trimestre 2019

## 5 NATURE DU PROCEDE D'INTEGRATION PROPOSE

La charpente étant peu accessible et l'entraxe des chevrons important (supérieur à 3m) nous émettons l'hypothèse qu'un système d'intégration en surimposition ne serait pas validé sans renforcement de la charpente. Nous proposons donc d'alléger la charge sur cette même charpente. En effet le système d'intégration envisagé est le procédé photovoltaïque "Easy-Roof Evolution" il vient en remplacement des éléments de couverture (tuiles).

Les cadres du système seront fixés sur des lattes, préalablement mise en œuvre par l'installateur, par le biais de pate de fixation.

Les panneaux solaires seront ensuite fixés au-dessus des cadres avec des brides de serrage.

L'étanchéité inter module sera assurée par le système de cadre, en périphérie des abergements seront implantés. Il est proposé afin de supprimer la reprise d'étanchéité basse, d'implanter les panneaux à proximité immédiate de la gouttière (une simple bavette sera mise en œuvre).

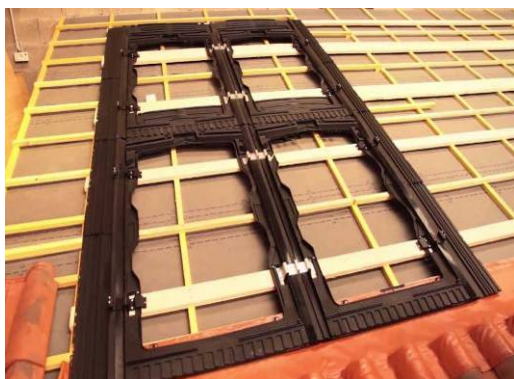




Figure 3 : Exemple de mise en œuvre d'une installation solaire suivant le système d'intégration proposé

## 6 CARACTERISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES PROPOSES

Les modules photovoltaïques proposés auront pour principales caractéristiques techniques :

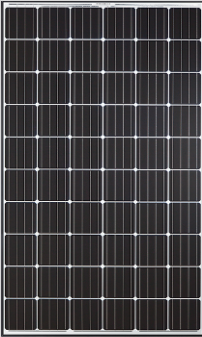
| Module photovoltaïque verre trempé équipé d'un cadre aluminium                      |                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <i>Technologie</i>                                                                  | Monocristalline                                               |
| <i>Puissance crête nominale</i>                                                     | ~330 Wc 0/+5 W                                                |
| <i>Dimensions unitaires de module photovoltaïque</i>                                | Longueur : 1 685 mm<br>Largeur : 1000 mm<br>Epaisseur : 32 mm |
| <i>Poids</i>                                                                        | 18,7 kg                                                       |
|  |                                                               |

Tableau 5 : Caractéristiques techniques des modules photovoltaïques

## 7 CARACTERISTIQUES DE L'ONDULEUR PROPOSE

L'onduleur solaire proposé aura pour principales caractéristiques techniques :

| Onduleur solaire                                                                   |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>Technologie</i>                                                                 | Modulaire en association avec des optimiseurs               |
| <i>Puissance nominale</i>                                                          | 7 000 VA                                                    |
| <i>Tension</i>                                                                     | 400 V                                                       |
| <i>Dimensions</i>                                                                  | Longueur : 540 mm<br>Largeur : 315 mm<br>Epaisseur : 191 mm |
| <i>Poids</i>                                                                       | 17 kg                                                       |
|  |                                                             |

Tableau 6 : Caractéristiques techniques des onduleurs

## 8 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

### 8.1 ZONES D'IMPLANTATION RETENUE

Les panneaux photovoltaïques seront déployés sur une partie de la toiture de la cantine.

Il est proposé d'étudier le projet suivant la variante suivante : centrale photovoltaïque inférieure ou égale à 9 kWc permettant de bénéficier du tarif Ta « installation respectant les critères généraux d'implantation ».

Lors du calepinage nous avons laissé en périphérie de l'espace afin de faciliter les opérations de maintenance ainsi qu'un accès pour les services publics de secours et de lutte contre l'incendie.

En tenant compte de la surface de toiture disponible, de celles des modules photovoltaïques définis précédemment, des zones de non-implantation, le pré-dimensionnement du générateur photovoltaïque est le suivant :

|                                                  |          |
|--------------------------------------------------|----------|
| <i>Orientation (SUD étant à 180)</i>             | 290°     |
| <i>Inclinaison (par rapport à l'horizontale)</i> | 18°      |
| <i>Nombre de modules photovoltaïques</i>         | 27       |
| <i>Puissance</i>                                 | 8 910 Wc |
| <i>Surface de toiture</i>                        | ~360 m²  |
| <i>Surface de modules photovoltaïques</i>        | ~45 m²   |

Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la toiture

Un exemple de calepinage des modules photovoltaïques est annexé à la présente étude de faisabilité.

## 8.2 EMBLACEMENT DES ONDULEURS

Il est proposé de mettre en œuvre l'onduleur et le coffret électrique à l'intérieur d'une niche photovoltaïque. Cette armoire permettra de protéger les matériels des intempéries, elle sera aussi fermée à clé afin de n'autoriser l'accès qu'aux personnes habilitées.

La niche photovoltaïque devra aussi être ventilée de manière naturelle pour limiter la montée en température de l'onduleur.



Figure 4 : Exemple de mise en œuvre et fixation des onduleurs

L'armoire sera positionnée à l'extérieur sur la façade au Nord/Ouest du bâtiment.



Figure 5 : Implantation des matériels  
Emplacement des matériels solaire

### 8.3 EMBLEMENT DES COFFRETS DE PROTECTION COURANT CONTINU

Dans le cas présent, il faut prévoir un coffret de protection pour l'onduleur celui-ci est constitué d'un inter-sectionneur qui permet d'isoler l'onduleur des modules. Cet inter-sectionneur permet de pouvoir intervenir en toute sécurité sur l'onduleur (consignation).

### 8.4 TABLEAU GÉNÉRAL BASSE TENSION PHOTOVOLTAÏQUE (TGBT PV)

Chaque sortie d'onduleurs sera protégée par un disjoncteur, ce disjoncteur sera équipé d'un bloc différentiel 30 mA pour la protection des personnes. Cette sortie rejoindra l'interrupteur/sectionneur général à coupure extérieure avec dispositif de consignation. Un parafoudre ainsi que sa protection associée seront implantés en tête du TGBT PV.

Le TGBT PV sera situé à proximité des onduleurs dans la niche photovoltaïque.

### 8.5 MISE À LA TERRE DE L'INSTALLATION

Les cadres des modules photovoltaïques, la structure porteuse, les cheminements (s'ils sont métalliques), les masses métalliques de l'onduleur, la connectique du parafoudre, les matériels alimentés par le réseau électrique doivent être reliés à la prise de terre générale située dans le TGBT du site.

### 8.6 CHEMINEMENT DES CÂBLES ÉLECTRIQUE

#### **Cheminements courant continu :**

La mise en série des modules photovoltaïques se fera en face arrière des modules photovoltaïques.

Les câbles chemineront en toiture du bâtiment. Puis dans les combles jusqu'à l'aplomb de la niche technique. Une descente sera effectuée jusqu'à cette niche technique via un chemin de câble capoté.

#### **Cheminements courant alternatif :**

Le cheminement des câbles en courant alternatif entre la niche solaire et le point d'injection se fera dans un fourreau souterrain. Il faudra prévoir de disquer l'enrobé en périphérie de la cantine pour permettre une remontée de câble au ras du mur. Le fourreau rejoindra directement le coffret de comptage ENEDIS en limite de propriété.



#### 8.7 RACCORDEMENT DE LA CENTRALE SOLAIRE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

Le type de raccordement au réseau électrique dépend de la puissance d'injection des onduleurs. Pour une puissance d'injection de 9 kVA, le raccordement se fera sur le réseau BT (anciennement tarif Bleu).

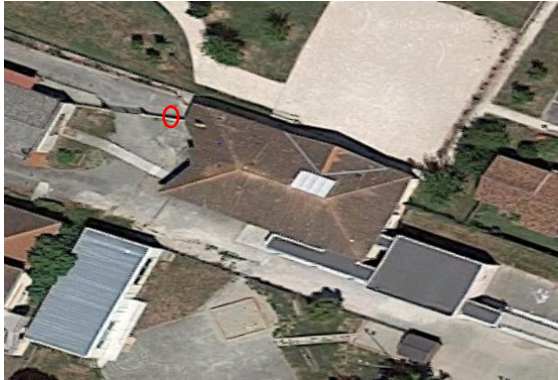


Figure 6 : Point d'injection pressenti / Coffret de coupure

○ Point d'injection demandé.

Le synoptique électrique de la centrale est annexé à la présente étude de faisabilité.

#### 8.8 COFFRET DE COMPTAGE ET ACQUISITION DES DONNÉES

L'acquisition de donnée est composée de l'organe suivant :

- Enregistreur de données dit « data logger », intégré à l'onduleur ;

Le « data logger » recueillera les données provenant :

- De chaque panneau (courant, tension, puissance) ;

La transmission des données sera effectuée via un modem GSM.

### 8.9 COUPURE D'URGENCE

Une coupure d'urgence sur le circuit AC (disjoncteur général) sera implantée à proximité immédiate du TGBT de la cantine. Elle sera de type à émission de courant et actionnera le disjoncteur général.

## 9 BILAN ENERGETIQUE

### 9.1 DÉTERMINATION DE L'ENSOLEILLEMENT REÇU DANS LE PLAN DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

L'irradiation solaire incidente dans le plan des modules correspond à l'intrant solaire brut, c'est-à-dire l'énergie solaire que reçoit une surface d'1 m<sup>2</sup> selon son orientation et son inclinaison.

Compte tenu de la ressource solaire du site, et de la disposition des modules photovoltaïques, **l'irradiation solaire incidente dans le plan horizontal est de : 1 404 kWh/m<sup>2</sup>.an.**

|                                                            |                              |
|------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <i>Orientation (SUD / 180°)</i>                            | 200°                         |
| <i>Inclinaison</i>                                         | 18°                          |
| <i>Irradiation solaire sur l'horizontal</i>                | 1 404 kWh/m <sup>2</sup> .an |
| <i>Irradiation solaire dans le plan des modules</i>        | 1 562 kWh/m <sup>2</sup> .an |
| <i>Irradiation solaire sur inclinaison optimale (~30°)</i> | 1 664 kWh/m <sup>2</sup> .an |
| <i>Pertes par rapport à l'optimum (30°)</i>                | ~6 %                         |

Tableau 8 : Ensoleillement reçu dans le plan des modules photovoltaïques



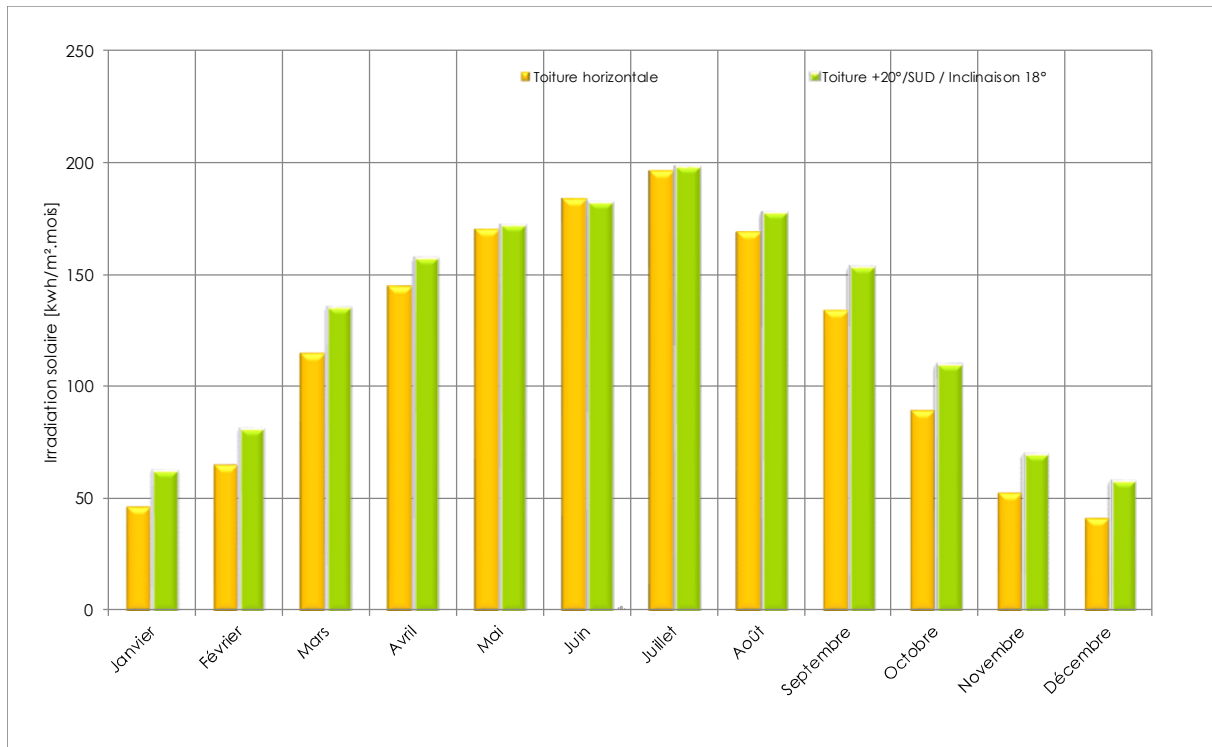


Figure 7 : Irradiation solaire incidente dans le plan des modules photovoltaïques et dans le plan horizontal

Cette énergie captée est ensuite convertie en énergie électrique par les modules photovoltaïques. La prise en compte des rendements des différents composants du système permet d'estimer un productible net annuel présenté au paragraphe suivant.

#### 9.2 ESTIMATION DE LA PRODUCTION DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Etant donné l'ensoleillement reçu dans le plan des modules, la production annuelle d'électricité solaire du générateur photovoltaïque en toiture a été évaluée à :

|                                                            |                |
|------------------------------------------------------------|----------------|
| Puissance crête                                            | 8 910 Wc       |
| Production la première année de mise en service            | ~11,8 MWh/an   |
| Productivité annuelle la première année de mise en service | ~1 324 kWh/kWc |

Tableau 9 : Détermination de la production d'électricité

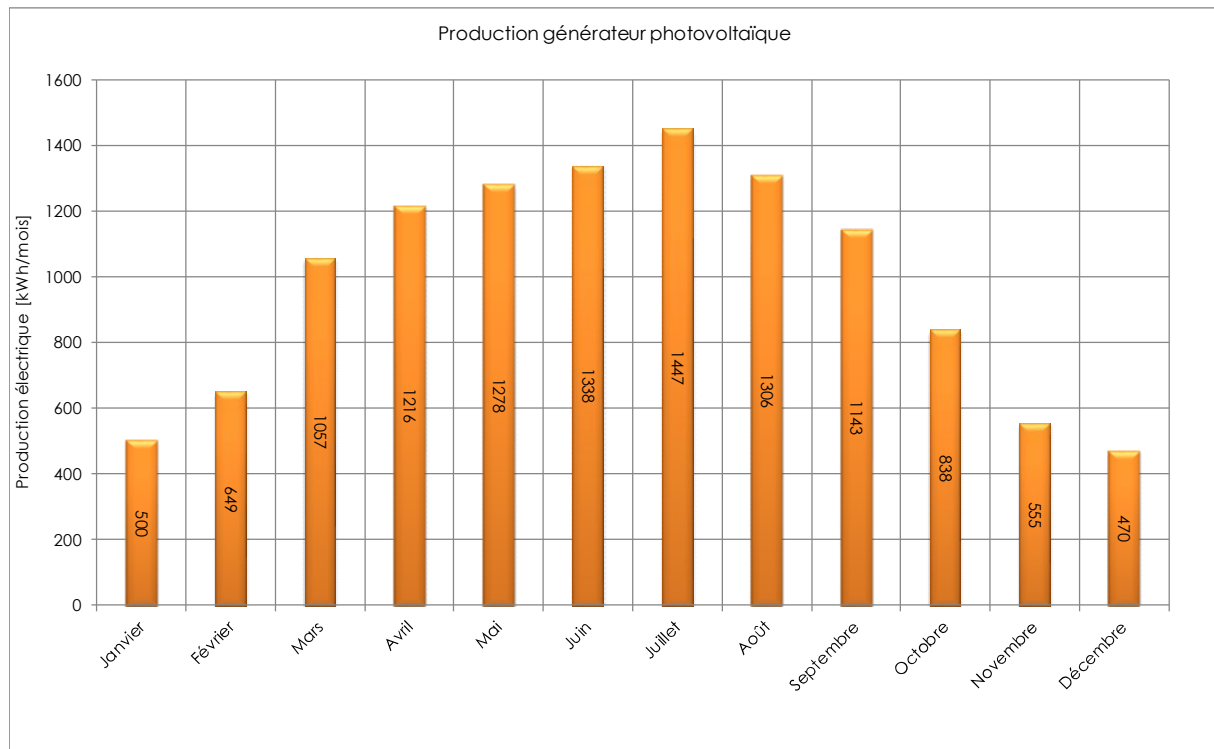


Figure 8 : Production mensuelle des générateurs photovoltaïque la première année

La production du générateur photovoltaïque est évaluée pour la première année à : ~11,8 MWh/an.

## 10 ANALYSE ECONOMIQUE

### 10.1 LES DIFFÉRENTS POSTES D'INVESTISSEMENTS

Les coûts d'installation du générateur photovoltaïque raccordé au réseau comportent les postes suivants :

#### **La mise en sécurité / levage :**

Ce poste de dépense correspond à la mise en œuvre des éléments suivants :

- Mise en œuvre de sécurité collective ;
- Utilisation d'un élévateur pour levage des matériels ;

#### **Générateur photovoltaïque :**

Ce poste de dépense correspond à la fourniture du générateur photovoltaïque, comprenant les éléments suivants :

- Les supports d'intégrations ;
- Les modules photovoltaïques ;
- L'onduleur adapté au couplage réseau ;
- Les tableaux de protections électriques et coffrets de raccordement ;
- Les câblages entre les différents équipements « modules / onduleur(s) / TGBT PV » ;
- Liaison vers le point d'injection ;
- Main d'œuvre et pose du générateur photovoltaïque.

**Raccordement au réseau du générateur photovoltaïque :**

Ce poste d'investissement correspond aux travaux pour le raccordement de l'installation photovoltaïque sur le branchement réseau BT. Ces travaux de raccordement sont généralement réalisés par ENEDIS avec prise en charge du coût à la charge du producteur d'électricité solaire (maître d'ouvrage).

Ces travaux consistent à créer un coffret de branchement (puissance à souscrire selon la taille du générateur) pour l'injection de l'électricité photovoltaïque.

**Acquisition de données :**

Afin de disposer d'un retour d'expérience vis-à-vis des performances du système, le générateur photovoltaïque sera équipé d'un système de supervision des données de production.

*10.2 EVALUATION DES COÛTS DE LA CENTRALE SOLAIRE*

| Poste d'investissement                                    | Désignation                                                             | Coûts (€ HT)                                |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Mise en sécurité<br>Levage                                | Pose échafaudage, gardes corps<br>Manitou                               | 600                                         |
| Générateur<br>photovoltaïque                              | Système d'intégration                                                   | 15 450                                      |
|                                                           | Modules de 330 Wc                                                       |                                             |
|                                                           | Câblage pour les liaisons modules / coffret de raccordement / onduleur  |                                             |
|                                                           | Câblage pour les liaisons onduleurs / Coffret de raccordement / TGBT PV |                                             |
|                                                           | Onduleur synchrone 7 kVA avec accessoires de fixation et raccordement   |                                             |
|                                                           | Tableaux de raccordement côté courant continu (CC)                      |                                             |
|                                                           | 1 Tableau TGBT PV, protections / sectionnements, etc.                   |                                             |
|                                                           | Main d'œuvre pose et mise en œuvre générateur                           |                                             |
| Raccordement au<br>réseau électrique de<br>distribution   | Liaison générateur solaire / point de livraison                         | 1 200                                       |
|                                                           | Travaux ENEDIS et mise en service                                       | 1 500                                       |
| Acquisition de mesure                                     | Acquisition de données / data logger                                    | 450                                         |
| <b>Total fourniture et pose générateur photovoltaïque</b> |                                                                         | <b>19 200 € HT</b><br><b>Soit 2,15 €/Wc</b> |

### 10.3 FRAIS DE FONCTIONNEMENT

La création par ENEDIS d'un branchement / coffret comptage spécifique pour le générateur photovoltaïque entraînera des frais de location de compteurs et de disjoncteurs (outre les frais relatifs aux travaux de pose du coffret de comptage par EDF).

- La location du compteur ainsi que les frais de gestion restent à la charge du producteur d'électricité solaire. A la date du 1<sup>er</sup> Aout 2018 la composante de comptage s'élève à 19,8 € HT/an et la composante de gestion 14,88 € HT/an pour un total de 34,28 €. HT/an

Les charges d'exploitation, sur 20 ans, liées au fonctionnement d'une installation photovoltaïque sont limitées aux coûts d'entretien, de maintenance préventive, d'assurance, ainsi qu'au renouvellement de l'onduleur (durée de vie estimée à 10 ans).

Ces tâches préventives consistent en une inspection visuelle du champ photovoltaïque et au contrôle des autres composants.

|                                                             |                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| <i>Puissance du générateur</i>                              | 8 910 Wc        |
| <i>Puissance de raccordement</i>                            | 9 000 VA        |
| <i>Remplacement de l'onduleur la 10<sup>ème</sup> année</i> | 1 000 €         |
| <i>Frais de location compteur /gestion / profilage</i>      | 35 €/an         |
| <i>Maintenance / entretien (une visite annuelle)</i>        | 250 €/an        |
| <i>Assurance installation (responsabilité civile)</i>       | 46 €/an         |
| <b>Charges d'exploitation</b>                               | <b>330 €/an</b> |

Tableau 10 : Frais de fonctionnement

### 10.4 ANALYSE ECONOMIQUE

#### Définition des paramètres économiques :

**Taux de Rentabilité Interne** : Taux d'actualisation pour lequel le résultat net cumulé est nul. Si le TRI est inférieur au taux d'actualisation, le projet n'est pas viable ; s'ils sont égaux, le projet ne rapporte rien, mais ne fait pas perdre d'argent ; si le TRI est supérieur au taux d'actualisation, le projet rapporte de l'argent.

#### Hypothèses :

- Inflation : 1,5 %
- Taux d'intérêt d'emprunt : 1,5 %
- Part de fonds propres : 0 %
- Part d'emprunt : 100 %
- Durée de l'emprunt bancaire : 15 ans

#### Analyse économique :

En considérant une injection totale de la production d'électricité, on peut déterminer la rentabilité de l'investissement du générateur photovoltaïque en prenant en compte le tarif d'achat du 3<sup>ème</sup> trimestre 2019. Dans le cas d'un

générateur photovoltaïque en intégration au bâti au sens de l'arrêté du 9 mai 2017, le tarif est de **15,86 c€ HT/kWh** pour une centrale dont la puissance est  $\leq 9$  kWc.

|                                                      |                  |
|------------------------------------------------------|------------------|
| <i>Puissance du générateur PV</i>                    | 8 910 Wc         |
| <i>Investissement global estimé</i>                  | 19 200 €         |
| <i>Tarif d'achat de la production solaire</i>        | 0,1586 €         |
| <i>Baisse de productible sur 20 ans</i>              | ~10,3%           |
| <i>Productible annuel moyen sur 20 ans</i>           | ~11,19 MWh       |
| <i>Revenu brut moyen sur 20 ans</i>                  | ~1 860 €         |
| <i>Charges d'exploitation moyenne sur 20 ans</i>     | ~432 €/an        |
| <i>Excédent brut d'exploitation moyen sur 20 ans</i> | ~1 428 €         |
| <i>Résultat net cumulé sur 20 ans</i>                | ~5 846 €         |
| <i>Coût du kWh solaire sur 20 ans</i>                | ~0,1288 €/kWh    |
| <i>Temps de Retour Brut (TRB)</i>                    | <b>~13,5 ans</b> |
| <i>Taux de Rentabilité Interne (TRI)</i>             | <b>4,20 %</b>    |

Tableau 11 : Analyse économique « Générateur photovoltaïque »

## 11 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Les gaz responsables de l'effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.) sont naturellement présents dans l'atmosphère. Cependant, du fait de l'activité humaine, la concentration de ces gaz s'est sensiblement modifiée : ainsi la concentration de CO<sub>2</sub>, principal gaz à effet de serre, a augmenté de 30 % depuis l'ère préindustrielle. L'utilisation de l'énergie solaire à la place des installations classiques à sources fossiles permet de diminuer les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Si l'on considère que la production photovoltaïque équivaut à la production d'électricité évitée, en prenant en considération un ratio de 120 g de CO<sub>2</sub> évité par kWh électrique (correspondant à un usage intermittent), une consommation de 2 000 kWh / an par foyer hors chauffage, le bilan environnemental est le suivant :

|                                                                |             |
|----------------------------------------------------------------|-------------|
| <i>Puissance du générateur</i>                                 | 8 910 Wc    |
| <i>Baisse de productible sur 20 ans</i>                        | -10,3%      |
| <i>Productible annuel moyen escompté</i>                       | ~11,19 MWh  |
| <i>Quantité de CO2 non rejetée dans l'atmosphère</i>           | ~1,34 T/an  |
| <i>Nombre de foyers moyens français pouvant être alimentés</i> | ~5,6 foyers |

Tableau 12 : Bilan environnemental

## 12 CONCLUSION

La centrale solaire générera un revenu brut moyen d'environ 1 860€ par an, elle sera remboursée en environ 13,5 ans pour un contrat d'achat d'énergie de 20 ans.

A la fin du contrat d'achat d'énergie la centrale sera en capacité de produire de l'énergie durant 10 années supplémentaires, il y aura donc surement des possibilités pour vendre de l'énergie au prix du marché pendant 10 années.

Avant de lancer un appel d'offres travaux le maitre d'ouvrage devra :

- Effectuer la déclaration d'autorisation de travaux auprès des services instructeurs ;
- Obtenir le devis de raccordement au réseau ENEDIS pour confirmer la provision de raccordement.