

ETUDE AVANT PROJET SOMMAIRE CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ECOLE D'ODARS



Maitre d'ouvrage :
ICEA
Appt 1-8, allée de la Pomarède
31670 Labège

Site d'exploitation :
Ecole D'Odars
366, chemin de Papoul
31450 ODARS

Le 12 AVRIL 2019

BET RAMAT
146, Avenue Marceau Hamecher
82000 Montauban

SOMMAIRE

1	SYNTHESE DU PROJET.....	3
2	INTRODUCTION - PRESENTATION DES ACTEURS.....	4
2.1	Présentation du projet.....	4
2.2	Objectif et contenu du rapport	4
2.3	Les acteurs du projet	4
3	CARACTERISTIQUES DU SITE	5
3.1	Présentation du site.....	5
3.2	Ressource solaire	6
4	RAPPEL DES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES ASSOCIES A LA MISE EN OEUVRE DE CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES.....	7
5	NATURE DU PROCEDE D'INTEGRATION PROPOSE	8
6	CARACTERISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES PROPOSES	9
7	CARACTERISTIQUES DE L'ONDULEUR PROPOSE	10
8	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE	10
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
9	BILAN ENERGETIQUE	14
9.1	Détermination de l'ensoleillement reçu dans le plan des modules photovoltaïques.....	14
9.2	Estimation de la production du générateur photovoltaïque	15
10	ANALYSE ECONOMIQUE.....	16
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
11	ANALYSE ENVIRONNEMENTALE	19

12	CONCLUSION	20
-----------	-------------------------	-----------

1 SYNTHÈSE DU PROJET

	CARACTERISTIQUES DU SITE		
	Propriétaire	Commune d'Odars	
	Adresse	366, chemin de Papoul 31450 Odars	
	Altitude	230 mètres	
	Latitude	43,52°	
	Longitude	1,59°	
	Base météorologique	PVgis	
CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE D'ACCUEIL			Unités
Bâtiments	Groupe scolaire		
Type de toiture	Toiture tuiles		
Surface de toiture totale	~760		m²
Orientation	142°/230°		180° SUD
Inclinaison	18°		/HOR
GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES¹			Unités
Type de modules	Modules cadrés		
Technologie	Monocristalline		
Puissance installée	35 840		Wc
Surface valorisée	~190		m²
Production électrique estimée ¹	~44,83		MWh/an
Productivité : (Ratio productible/puissance)	~1 251		kWh/kWc
ANALYSES ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE ²			Unités
Investissement total estimé	41 460		€/HT
Ratio Inv/Wc	1,16		€/Wc
Coût d'achat de l'électricité	0,1207		€/kWh
Recette annuelle	~5 400		€
Charges d'exploitation ³	~750		€ HT
Temps de retour brut TRB	~9		ans
Gain à la fin du contrat d'achat (20 ans)	~30 000		€
Quantité de CO ₂ évitée	~5		T CO ₂ .an

¹ Pour la première année de mise en service du générateur photovoltaïque.

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

³ 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 ICEA, 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 deux bâtiments de l'école publique de la commune d'Odars.

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 : ICEA

Interlocuteur : M. Jean-Paul GARDETTE

Adresse : Appt 1, 8 allé de la Pomarède
31670 Labège

Courriel : jeanpaul.gardette@gmail.com

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

3 CARACTERISTIQUES DU SITE

3.1 PRÉSENTATION DU SITE

Le site héberge une école maternelle et primaire.

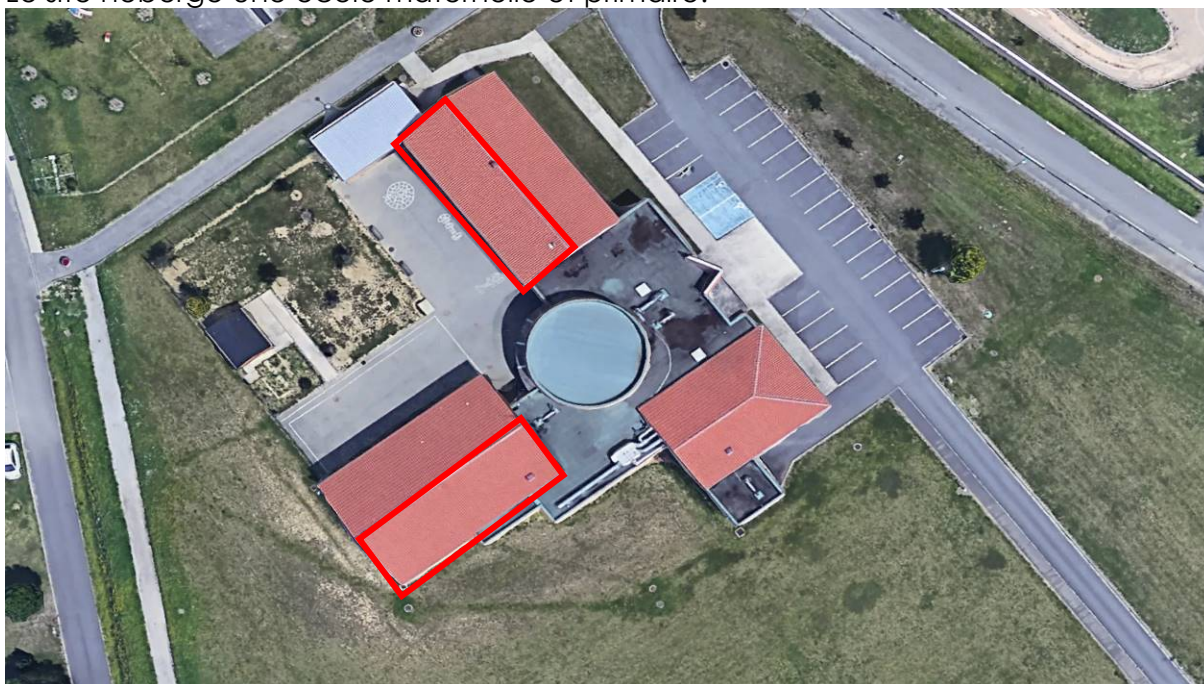


Figure 1 : Photographie aérienne du site

Emplacement des bâtiments concernés.

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

	Bâtiment Sud	Bâtiment Nord
<i>Longueur</i>	~22 m	~22 m
<i>Largeur</i>	~15 m	~13 m
<i>Surface</i>	~315 m ²	~286 m ²
<i>Orientation bâtiment (en ° par rapport au Sud)</i>	-38°	51°
<i>Inclinaison (en ° par rapport à l'horizontale)</i>	18°	18°
<i>Type de couverture</i>	Tuiles	Tuiles
<i>Type de charpente</i>	Bois	Bois
<i>Présence d'un isolant</i>	Isolant sous rampant	Isolant sous rampant
<i>Présence d'équipement en toiture</i>	Crochets d'ancrage en partie haute et tourelles d'extraction	Crochets d'ancrage en partie haute et tourelles d'extraction

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 3,8 kWh/m² en moyenne quotidienne sur l'année, et un global de 1 404 kWh/m².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 _{gh}	44,0	60,8	110,1	136,8	164,6	176,7	193,8	166,2	130,8	86,2	51,6	38,8
I _{diff}	26,4	33,4	52,8	67,0	84,0	86,6	83,3	74,8	53,6	42,2	28,4	22,9
T _{amb}	5,2	4,7	9,2	12,6	15,2	19,3	22,0	22,1	19,1	15,3	10,4	6,7

I_{DIFF} : Irradiation diffuse sur un plan horizontal

T_{AMB} : Température ambiante moyenne

Tableau 2 : Données météorologiques du site

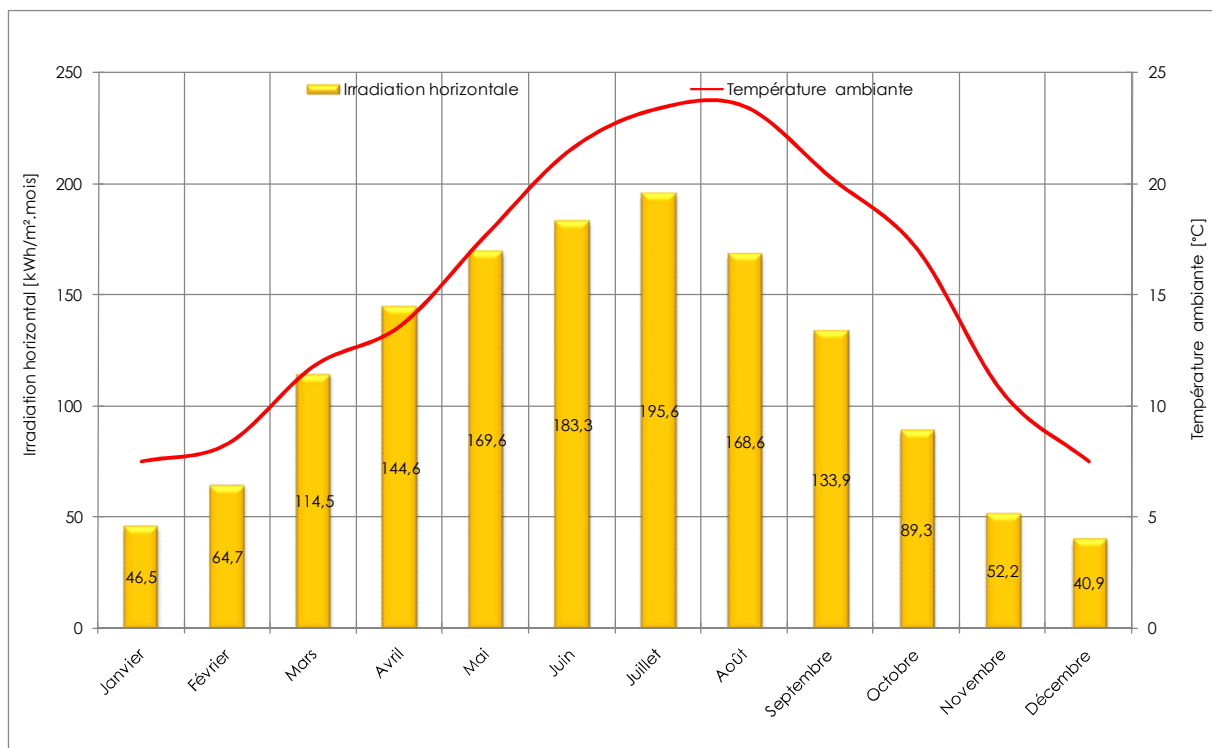


Figure 2 : Irradiation solaire incidente sur l'horizontale et température extérieure moyenne

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.

Ecart d'orientation	+90°/sud ouest	+45°/sud sud-ouest	plein sud	-45°/sud sud-est	-90°/ est
Montage horizontal	89%	89%	89%	89%	89%
Inclinaison de 30°	83%	95%	100%	95%	83%
Inclinaison de 60°	70%	86%	91%	86%	70%
Montage vertical	53%	64%	66%	64%	53%
S	: Situation de la toiture du bâtiment SUD objet de l'étude				
N	: Situation de la toiture du bâtiment NORD 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 1er octobre 2018, les tarifs d'achat ne sont plus majorés en cas d'installation solaire : dite intégré au bâti. On parle seulement d'installation solaire : dite 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 de systèmes réalisant certaines fonctions : allège, bardage, brise soleil et mur rideau.

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 1er trimestre de l'année 2019.

Type et puissance de l'installation photovoltaïque			01/10/2018 ou 31/12/2018
Tarif dit Ta	Installation respectant les critères généraux d'implantation	≤ 3 kWc	18,72
		≤ 9 kWc	15,91
Tarif dit Tb	Installation respectant les critères généraux d'implantation	≤ 36 kWc	12,07
		≤ 100 kWc	11,19

Tableau 4 : Tableau spécifiant les différents tarifs d'achat applicable en c€/kWh en France pour le 1er trimestre 2019

5 NATURE DU PROCEDE D'INTEGRATION PROPOSE

Le système de mise en œuvre proposé permettra de fixer les panneaux solaires au-dessus des éléments de couverture.

Des pattes de fixations pénétreront entre les tuiles pour venir se reprendre sur les éléments porteurs de la charpente (chevrons).

Les pattes accueilleront des rails pour y fixer les panneaux par le biais de bride de serrage et d'écrous.

L'étanchéité sera ainsi toujours assurée par les éléments de couverture.

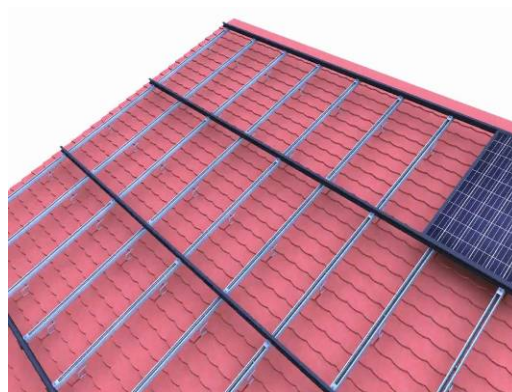
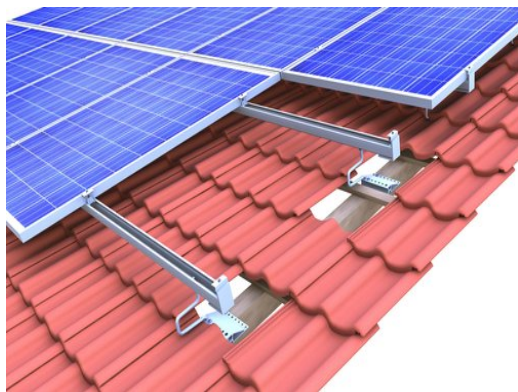


Figure 3 : Exemple de mise en œuvre d'une installation solaire suivant le système d'intégration proposé

Note : La note de calcul visant à valider la stabilité de la charpente vis-à-vis de la nouvelle charge (couverture actuelle + 15 kg/m²) devra être intégrée au dossier.

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>	~320 Wc 0/+5 W
<i>Dimensions unitaires de module photovoltaïque</i>	Longueur : 1 685 mm Largeur : 1000 mm 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>	27 600 VA
<i>Tension</i>	400 V
<i>Dimensions</i>	Longueur : 775 mm Largeur : 315 mm Epaisseur : 260 mm
<i>Poids</i>	45 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 deux toitures du groupe scolaire.

Il est proposé d'étudier le projet suivant la variante suivante : centrale photovoltaïque inférieure ou égale à 36 kWc permettant de bénéficier du tarif Tb « 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. De plus des crochets d'ancrage étant déjà présents en toiture la partie supérieure de la toiture n'est pas exploitable.

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 :

TOITURES	Bâtiment Sud	Bâtiment Nord
<i>Orientation (SUD étant à 180)</i>	142°	230°
<i>Inclinaison (par rapport à l'horizontale)</i>	18°	18°
<i>Nombre de modules photovoltaïques</i>	60	52
<i>Puissance</i>	19 200 Wc	16 640 Wc
<i>Surface de toiture</i>	~315 m ²	~286 m ²
<i>Surface de modules photovoltaïques</i>	~101m ²	~88 m ²

Tableau 7 : Caractéristiques techniques des toitures

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

8.2 EMLACEMENT DES ONDULEURS

Il est proposé de mettre en œuvre les onduleurs 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 des onduleurs.



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

L'armoire sera positionnée à l'extérieur à côté de la porte d'accès chaufferie.



Figure 5 : Implantation des matériels
 [Red box] Emplacement des matériels solaire

8.3 EMBLACEMENT DES COFFRETS DE PROTECTION COURANT CONTINU

Dans le cas présent, l'onduleur intègre en option un coffret de sectionnement 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 de l'école primaire (couloir principal de l'école primaire).

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 des bâtiments 1 et 2 jusqu'à l'aplomb de la toiture terrasse. Une descente sera effectuée pour rejoindre un cheminement en toiture, celui-ci se fera à l'aide d'un chemin de câble posé sur dalette, jusqu'à l'aplomb de la niche photovoltaïque.

Cheminements courant alternatif :

Le cheminement des câbles en courant alternatif entre la niche solaire et le point d'injection se fera par le biais d'un chemin de câble sous les rives, puis par une descente verticale pour atteindre le point d'injection.

Le lecteur pourra se référer au plan de localisation des matériels, annexé à la présente étude de faisabilité.

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 36 kVA, le raccordement se fera sur le réseau BT (anciennement tarif Bleu).

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

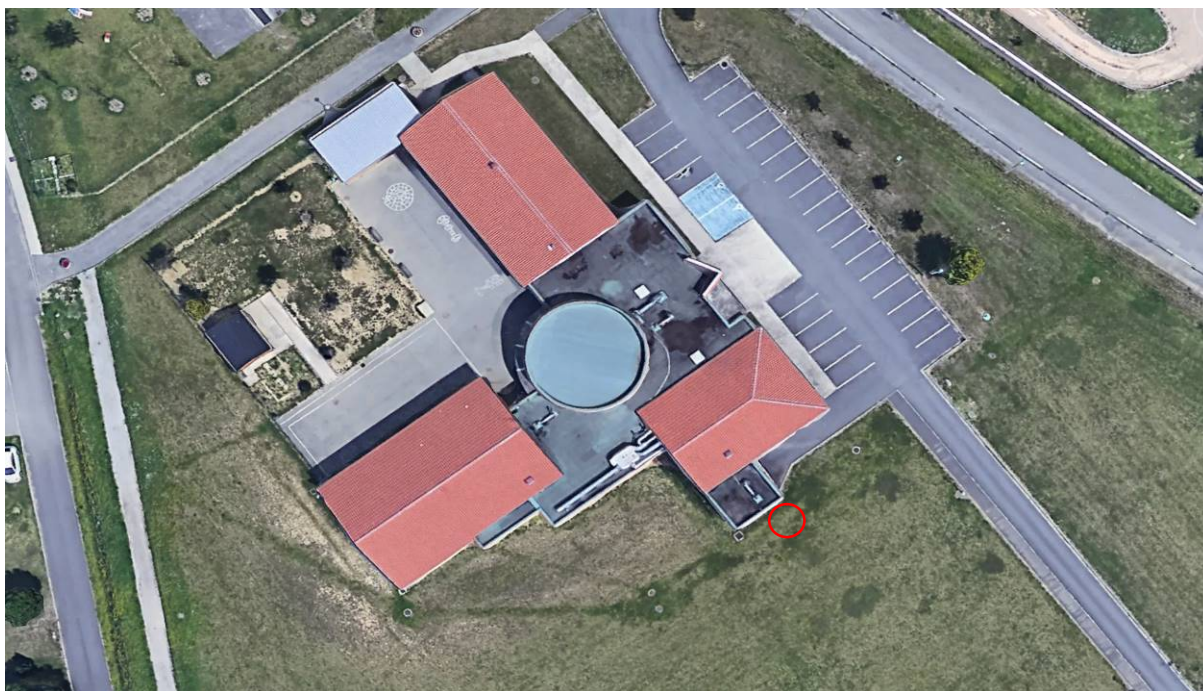


Figure 6 : Point d'injection pressenti / Coffret de coupure

○ 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 dans le TGBT de l'école. 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 m² 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/m².an.**

TOITURES	Bâtiment Sud	Bâtiment Nord
<i>Orientation (SUD / 180°)</i>	142°	230°
<i>Inclinaison</i>	18°	18°
<i>Irradiation solaire sur l'horizontal</i>	1 404 kWh/m ² .an	1 404 kWh/m ² .an
<i>Irradiation solaire dans le plan des modules</i>	1 526 kWh/m ² .an	1 499 kWh/m ² .an
<i>Irradiation solaire sur inclinaison optimale (~30°)</i>	1 633 kWh/m ² .an	
<i>Pertes par rapport à l'optimum (30°)</i>	~7 %	~8,8 %

Tableau 8 : Ensoleillement reçu dans le plan des modules photovoltaïques

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	35 840 Wc
Production la première année de mise en service	~44 MWh/an
Productivité annuelle la première année de mise en service	~1 251 kWh/kWc

Tableau 9 : Détermination de la production d'électricité

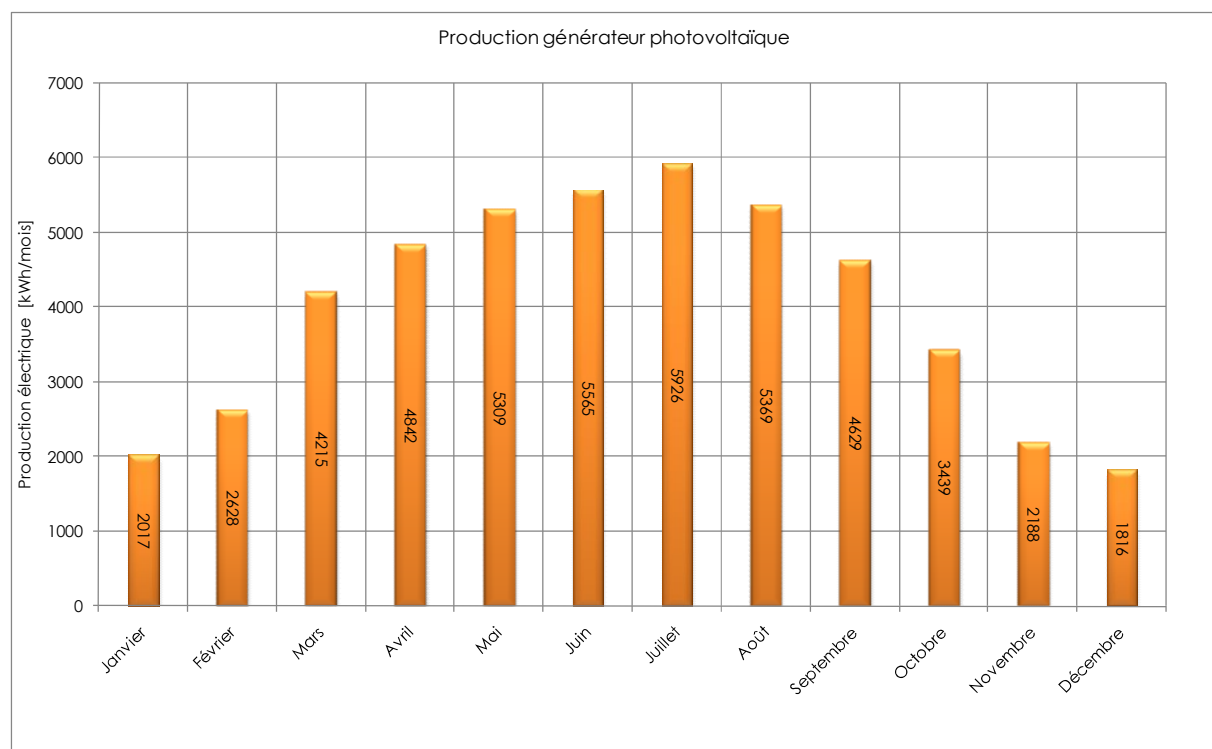


Figure 7 : Production mensuelle des générateurs photovoltaïques la première année

La production du générateur photovoltaïque est évaluée pour la première année à : ~44 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.

Note : L'éventuel renforcement de charpente devra faire l'objet d'une étude.

10.2 EVALUATION DES COÛTS DE LA CENTRALE SOLAIRE

Poste d'investissement	Désignation	Coûts (€ HT)
Mise en sécurité Levage	Pose échafaudage, gardes corps Manitou	2 140
Générateur photovoltaïque	Système d'intégration	34 620
	Modules de 320 Wc	
	Câblage pour les liaisons modules / coffret de raccordement / onduleur	
	Câblage pour les liaisons onduleurs / Coffret de raccordement / TGBT PV	
	Onduleurs synchrones (27 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 réseau électrique de distribution	Liaison générateur solaire / point de livraison	300
	Travaux ENEDIS et mise en service	4 000
Acquisition de mesure	Acquisition de données / data logger	400
Total fourniture et pose générateur photovoltaïque		41 460 € HT Soit 1,16 €/Wc

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).

- La location du compteur ainsi que les frais de gestion restent à la charge du producteur d'électricité solaire. A la date du 1^{er} 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>	35 840 Wc
<i>Puissance de raccordement</i>	27 000 VA
<i>Remplacement de l'onduleur la 10ème année</i>	3 500 €
<i>Frais de location compteur /gestion / profilage</i>	35 €/an
<i>Maintenance / entretien (une visite annuelle)</i>	550 €/an
<i>Assurance installation (responsabilité civile)</i>	104 €/an
<i>Monitoring (GSM)</i>	60 €/an
Charges d'exploitation	750 €/an

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 : 1,8 %
- 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 1er trimestre 2019. Dans le cas d'un générateur photovoltaïque dit respectant les critères généraux d'implantation, le tarif est de **12,07 c€ HT/kWh** pour une centrale dont la puissance est ≤ 36 kWc.

<i>Puissance du générateur PV</i>	34 840 Wc
<i>Investissement global estimé</i>	41 460 €
<i>Tarif d'achat de la production solaire</i>	0,1207 €
<i>Baisse de productible sur 20 ans</i>	~10,8%
<i>Productible annuel moyen sur 20 ans</i>	~44 MWh
<i>Gain annuel lié à la vente d'électricité la première année</i>	~5 400 €
<i>Charges d'exploitation</i>	~750 €/an
<i>Excédent brut d'exploitation</i>	~4 650 €
<i>Résultat net cumulé sur 20 ans</i>	~30 000 €
<i>Coût du kWh solaire sur 20 ans</i>	~0,081 €/kWh
<i>Temps de Retour Brut (TRB)</i>	~9 ans
<i>Taux de Rentabilité Interne (TRI)</i>	8,3 %

Tableau 11 : Analyse économique « Générateur photovoltaïque »

11 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Les gaz responsables de l'effet de serre (CO₂, CH₄, 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂ évité par kWh électrique¹ (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>	35 840 Wc
<i>Baisse de productible sur 20 ans</i>	-10,8%
<i>Productible annuel escompté</i>	~44 MWh
<i>Quantité de CO2 non rejetée dans l'atmosphère</i>	~5 T/an
<i>Nombre de foyers moyens français pouvant être alimentés</i>	~24 foyers

Tableau 12 : Bilan environnemental

12 CONCLUSION

La centrale solaire générera un revenu brut moyen d'environ 5 400 € par an, elle sera remboursée en environ 9 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 :

- Valider que la couverture actuelle permet d'adapter un système d'intégration solaire (note de calcul structure) ;
- Effectuer la déclaration d'autorisation de travaux auprès des services instructeurs ;
- Obtenir le devis de raccordement au réseau ENEDIS.