



**Panneaux photovoltaïques**

## **Etude technique et financière**

**Client :**  
**Mr et Mme XXXXXX**

**Projet :**  
**Centrale photovoltaïque raccordée au réseau  
(autoconsommation ou vente)**



# Sommaire

1	Préambule.....	3
1.1	Réserves techniques .....	3
1.2	Propriété de l'étude .....	3
1.3	Recommandations – Préconisations.....	3
2	Présentation du projet.....	4
2.1	Situation globale.....	4
2.2	Description du besoin.....	5
2.3	Caractéristiques diverses .....	5
3	Définition et caractérisation de la consommation .....	6
4	Etude des ombrages et de l'ensoleillement .....	9
4.1	Analyse dynamique des ombres .....	9
4.2	Prévisions d'ensoleillement.....	10
4.2.1	Ensoleillement brut sur le site .....	10
4.2.2	Ensoleillement net du champ photovoltaïque .....	11
5	Solution de centrale en autoconsommation.....	11
5.1	Choix des panneaux photovoltaïques et structure de pose.....	11
5.2	Installation de la centrale photovoltaïque.....	11
5.3	Choix de l'onduleur.....	12
5.4	Simulation de fonctionnement .....	12
5.5	Offre de prix .....	14
6	Solution de centrale en injection (vente de l'électricité).....	15
6.1	Choix des panneaux photovoltaïques et structure de pose.....	15
6.2	Installation de la centrale photovoltaïque.....	15
6.3	Choix de l'onduleur.....	16
6.4	Simulation de fonctionnement – Prévisions de production.....	16
6.5	Simulation financière .....	17
6.5.1	Prévision de revenus.....	17
6.5.2	Offre de prix .....	18
6.5.3	Coûts annexes.....	18
6.5.4	Estimation de rentabilité.....	18
7	Planning prévisionnel .....	19
8	Annexes.....	19

# 1 Préambule

## 1.1 Réserves techniques

Cette étude technique et financière a pour but d'évaluer le fonctionnement et la rentabilité de l'installation d'une centrale photovoltaïque. Elle tient compte d'un maximum d'éléments techniques relevés lors de la visite technique.

Cependant, Expénergie se réserve le droit de modifier et d'adapter le système selon des contraintes techniques nouvelles qui apparaîtraient lors de l'installation du matériel.

Cette proposition est valable sous réserve de l'état des bois et de la charpente, après découverte.

Cette étude, les simulations effectuées et leurs illustrations ne sont donc pas contractuelles.

## 1.2 Propriété de l'étude

Cette étude reste la propriété exclusive d'Expénergie et aucun de ces éléments ne peut être divulgué ou utilisé sans l'accord de la société.

## 1.3 Recommandations – Préconisations

Nous nous permettons d'attirer l'attention du porteur du projet sur les points suivants :

- L'installateur photovoltaïque doit détenir une assurance décennale à jour, spécifique à l'activité d'installation de centrales photovoltaïques, et vous produire sur demande l'attestation correspondante,
- Au-delà de compétences reconnues, la qualification Quali PV Elec et Quali PV Bat à jour de l'installateur, agréée « Reconnue Grenelle de l'Environnement » est indispensable pour bénéficier d'aides fiscales. Il s'agit de la clause d'écoconditionnalité en place à compter du 01/01/2015.
- Les études et devis que vous comparez doivent contenir le détail du matériel préconisé (marque et modèle), avec leur origine de fabrication
- Les études doivent contenir des notes de calcul argumentées et cohérentes avec la situation de votre projet, quant aux prévisions de production.

## 2 Présentation du projet

### 2.1 Situation globale

La centrale photovoltaïque serait posée le toit d'une villa, cadastré xxx parcelle xx situé :

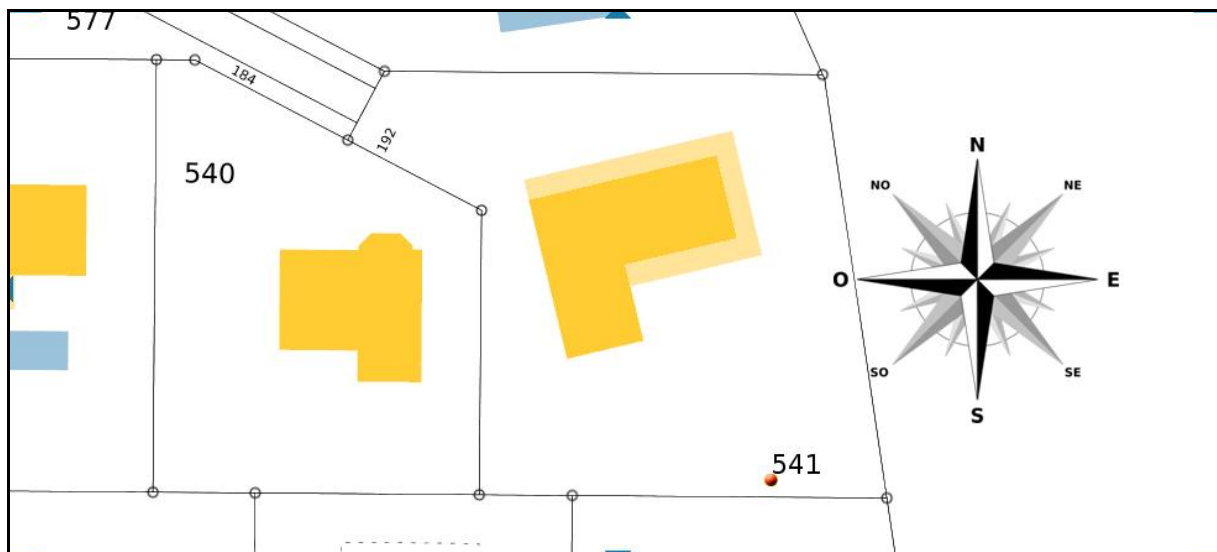
Adresse

Adresse

Monsieur xxxx se déclare propriétaire du lieu ci-dessus.

Les caractéristiques du site sont les suivantes :

Caractéristiques	Valeur
Latitude	44,447'' N
Longitude	1,204'' O
Altitude	50 m
Orientation du rampant	10°SO
Pente du rampant	20°
Type de tuile	Mécanique fort galbe 23x36
Type de charpente	Traditionnelle.
Etat de charpente	Neuve
Rives	Tuiles vissées
Faitage	Posé, ventilé
Présence de film sous-toiture	Oui
Hauteur de l'égout	3 à 6 m
Largeur utile	7 m
Hauteur utile	23 m en façade basse
Masquage	Arbres Sud et Ouest (voir relevé)
Sous zone ABF	Non
Accessibilité	OK





## **2.2 Description du besoin**

Le projet consiste en l'installation d'une centrale photovoltaïque soit en injection eu réseau, soit en autoconsommation sans stockage selon les résultats de l'étude.

## **2.3 Caractéristiques diverses**

Le raccordement de la centrale s'effectuera par la gaine technique centrale descendant au tableau principal (cheminement à voire avec l'électricien).

L »installation se fera sur le rampant Sud et sur le rampant Ouest supérieur afin d'échapper au mieux aux ombrages remarqués lors de la première étude de Mai 2014.

### 3 Définition et caractérisation de la consommation

Pour l'optimisation du fonctionnement d'une centrale photovoltaïque fonctionnant en autoconsommation, sur une installation raccordée au réseau électrique, il convient de définir précisément les caractéristiques de la consommation (quantité et mode) électrique actuelle et future (après adaptation des comportements).

En effet, il conviendra de faire correspondre au mieux les courbes de production et de consommation électrique.

Nous n'incluons pas dans cette définition, la consommation liée à l'éclairage, celle-ci étant supposée d'une part relativement négligeable, d'autant plus si elle est réalisée par des ampoules et luminaires adaptés, notamment à LEDs, et d'autre part réalisée en quasi totalité de nuit, soit en opposition horaire avec la production photovoltaïque.

Nous distinguons pour la consommation :

- La consommation de bruit de fond permanent : consommation permanente 24h/24h des appareils (réfrigérateurs, congélateurs, appareils en veille). Cette consommation peut être différente selon les saisons.
- La consommation ponctuelle maîtrisable\* (appareils de lavage, séchage, repassage)
- La consommation ponctuelle non maîtrisable\* (appareils de cuisine, télévision)

*On parle de maîtrise en termes de planning de mise en fonctionnement des appareils.*

Il convient également d'estimer la puissance instantanée nécessaire pour chaque « lot » d'appareils consommateurs.

Dans notre cas :

Type d'appareil	Instantanée	Fréquence	Annuelle	Jour	
	W		kWh	Wh	
<b>Consommation de bruit de fond permanent</b>					
Frigo	250	24/24 10min/h	365	1000	
Congélateur armoire	200	24/24 10 min/h	292	800	
TV LCD en veille	5	24/24	44	121	
Démodulateur	15	4h/jr	22	60	
Web box	10	24/24	88	241	
Chargeurs/transfos	50	24/24	438	1200	
Radio-réveil	8	24/24	70	192	
Ballon 200 l	2000	2h/jr	1448	4000	
Ventilation puits canadien	200	12h/jr	876	2400	
<b>Sous-Total</b>			<b>3 643</b>	<b>10 013</b>	
<b>Consommation de bruit de fond été seulement</b>					
Frigo	250	24/24 10min/h	90	1000	
Congélateur armoire	200	24/24 10 min/h	72	800	
TV LCD en veille	5	24/24	11	30	
Demodulateur	15	4h/jr	5	60	
Web box	10	24/24	22	60	
Chargeurs/transfos	50	24/24	110	1200	
Radio-réveil	8	24/24	18	49	
Ballon 200 l	2000	2h/jr	362	4000	

<b>Sous-Total</b>			<b>690</b>	<b>7 200</b>	
<b>Consommation de bruit de fond permanent automne/hiver</b>					
Radiateurs chauffage 60m <sup>2</sup>	4500	6/12 mois - 10min/h	3276	18000	
<b>Sous-Total</b>			<b>3 276</b>	<b>18 000</b>	
<b>Consommation ponctuelle maitrisable demi année</b>					
PAC piscine	2500	6/12 mois - 4h/jr	1820	10000	
Filtrage piscine	1500	6/12 mois - 6h/jr	1638	9000	
Pompe Cascade	1500	6/12 mois - 3h/jr	819	4500	
<b>Sous-Total</b>			<b>4277</b>	<b>23500</b>	
<b>Consommation ponctuelle maitrisable été seulement</b>					
Machine à laver	2500	1h ts les 2 jours	112	1250	
Fer à repasser	1000	2h/sem	26	285	
Lave-vaisselle	1200	1h ts les jours	110	1200	
Aspirateur	800	3h/sem	41	342	
<b>Sous-Total</b>			<b>289</b>	<b>3077</b>	
<b>Consommation ponctuelle maitrisable toute l'année</b>					
Machine à laver	2500	1h ts les 2 jours	456	1250	
Fer à repasser	1000	2h/sem	104	285	
Lave-vaisselle	1200	1h ts les jours	438	1200	
Aspirateur	800	3h/sem	125	342	
<b>Sous-Total</b>			<b>1 123</b>	<b>3 077</b>	
<b>Consommation ponctuelle non maitrisable été seulement</b>					
TV LCD en service	200	4h/jr	72	800	
Four micro-ondes	1200	1h/sem	18	170	
cafetière	800	0h30/jr	36	266	
Hotte	100	1h/jr	9	99	
cuisinière	1000	1h/jr	90	1000	
<b>Sous-Total</b>			<b>225</b>	<b>2 335</b>	
<b>Consommation ponctuelle non maitrisable toute l'année</b>					
TV LCD en service	200	4h/jr	292	800	
Four micro-ondes	1200	1h/sem	62	170	
cafetière	800	0h30/jr	97	266	
Hotte	100	1h/jr	36	99	
Cuisinière	1000	1h/jr	365	1000	
<b>Sous-Total</b>			<b>852</b>	<b>2 334</b>	
<b>TOTAL</b>			<b>14 375</b>	<b>33 425</b>	<b>en hiver</b>
				<b>51537</b>	<b>en été</b>
				<b>38925</b>	<b>en printemps</b>

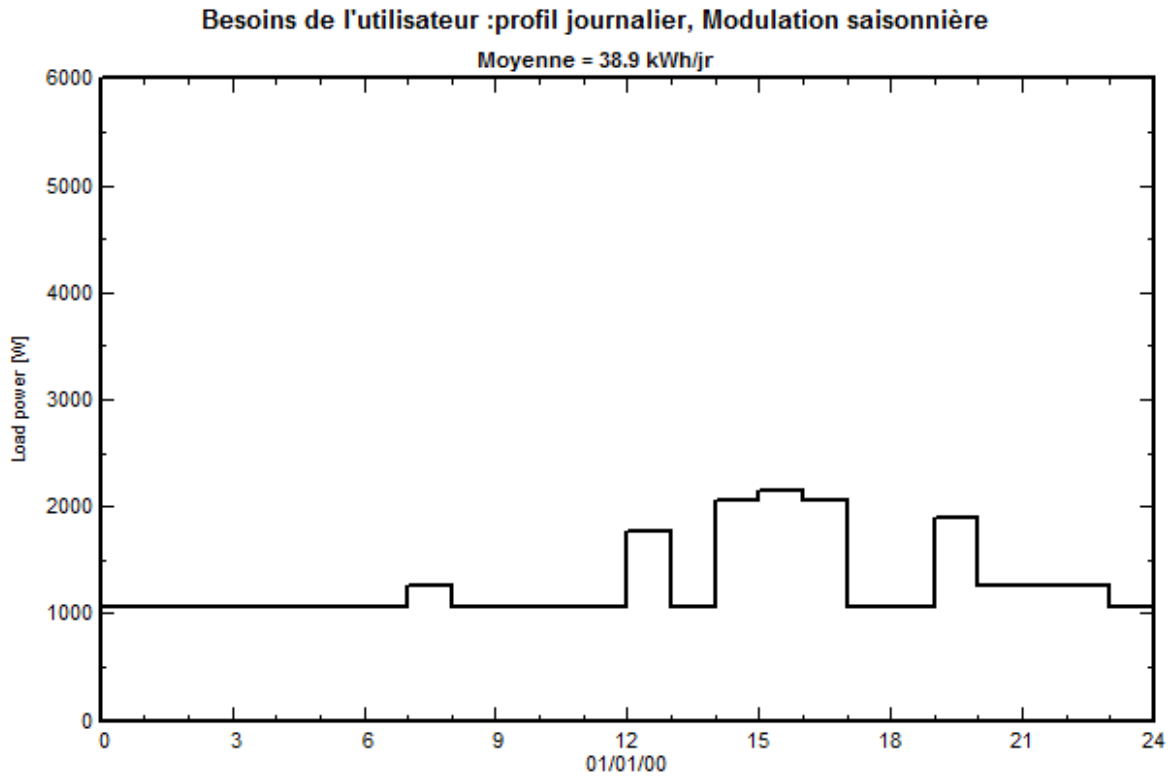
### Résumé de l'estimation :

- consommation quotidienne automne/hiver : 33.425kWh
- consommation quotidienne printemps : 38.925kWh
- consommation quotidienne été : 51.537kWh
- consommation annuelle totale : 14 375kWh

### Le profil horaire a été constitué comme suit :

- bruit de fond 24/24 différencié pour printemps, été et automne/hiver
- étalement des utilisations maitrisables sur la période 9H00-19H00
- ajout des utilisations non maitrisables pendant les repas

Compte tenu des puissances instantanées des divers appareils, il conviendra d'éviter au mieux le chevauchement de l'utilisation de ceux-ci.



*Profil de consommation journalière en automne et hiver*



## 4 Etude des ombrages et de l'ensoleillement

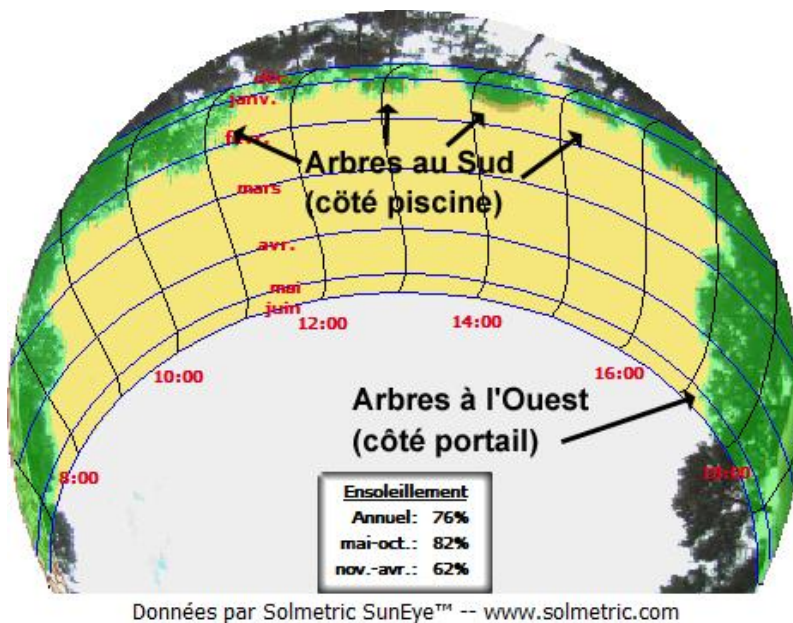
### 4.1 Analyse dynamique des ombres

L'analyse des ombres portées par l'environnement conditionne les caractéristiques de la centrale dont :

- La taille
- Le positionnement sur le rampant
- La technologie utilisée (onduleur central ou micro-onduleurs)
- Le nombre et positionnement des chaînes de panneaux
- Le profil de consommation

Dans notre cas, le relevé panoramique et l'étude dynamique révèlent des ombres portées principalement en période automnale/hivernale, dues aux arbres côté Sud principalement. Ces ombres sont cependant largement moindres sur ces rampants supérieurs que sur les toitures inférieures considérées lors de la première étude.

Dans l'illustration ci-dessous, la zone d'ensoleillement est matérialisée en jaune, en fonction des mois et de l'heure.

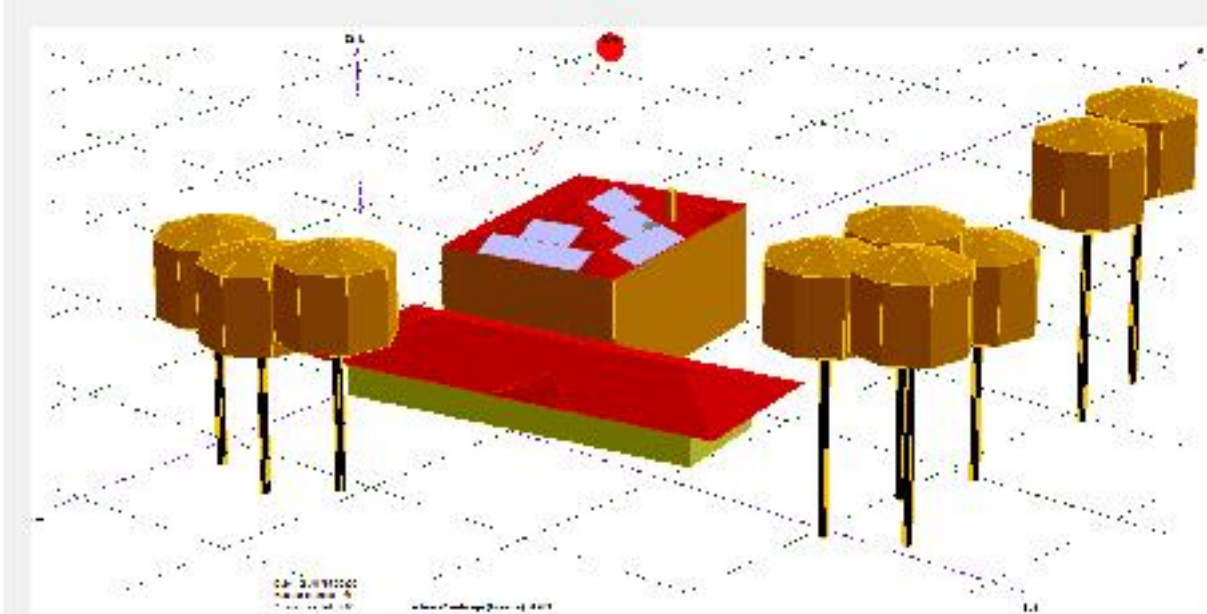


Il existe également une ombre portée balayante due à la cheminée du rampant Sud, qui nous a fait choisir de ne pas installer de panneaux au dessus et à l'Est de la cheminée. Dans ces conditions l'ombre balayante présente un impact jusqu'à environ 10h00, ce qui laisse une possibilité d'exploitation importante le reste de la journée pour la version autoconsommation.

Les études comparatives pour la solution en injection (vente totale de l'électricité) montre par contre que la mise en place d'une architecture à micro onduleurs se justifie afin d'optimiser la production sur la totalité de la journée et la totalité de l'année.

Cette architecture permet de considérer l'ombrage quasiment linéaire (en surface) et limité sur l'année à environ 15%, alors qu'une architecture en chaîne verrait un impact non linéaire estimé à environ 30% (une ombre sur un panneau de la chaîne impact l'ensemble des 11 panneaux de la chaîne de la même proportion).

Ci-dessous, un exemple d'ombre portée de la cheminée le 21 Juin à 9h00.

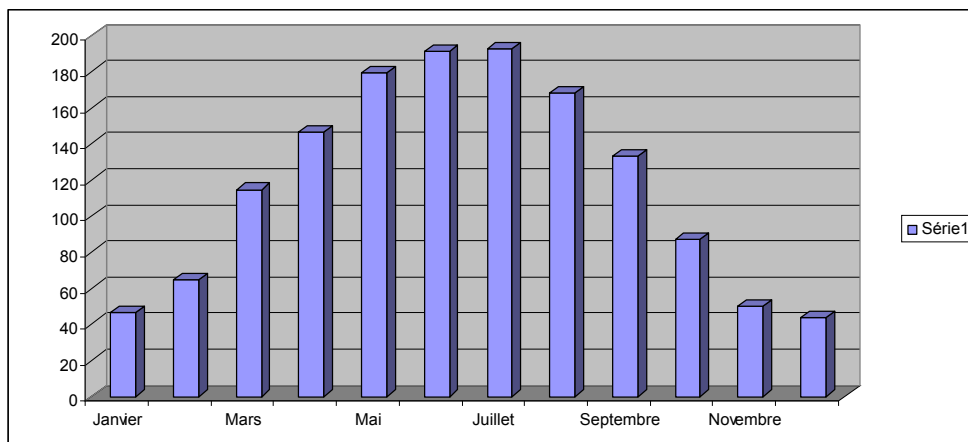


## 4.2 Prévisions d'ensoleillement

### 4.2.1 Ensoleillement brut sur le site

Ces données dépendent uniquement de la localisation du site de l'installation, et dans une moindre mesure de son altitude. Il s'agit de l'ensoleillement sur un plan horizontal.

**Total annuel : 1369 kWh/m<sup>2</sup>**



## 4.2.2 Ensoleillement net du champ photovoltaïque

Ces données sont le résultat de l'ensoleillement brut, corrigé par les paramètres particuliers de l'installation suivants : orientation, inclinaison, masquages, ombre portée.

Dans ces conditions, l'ensoleillement net annuel s'élève à **1199 kWh/m<sup>2</sup>**.

## 5 Solution de centrale en autoconsommation

### 5.1 Choix des panneaux photovoltaïques et structure de pose

Nous préconisons des panneaux **monocristallins Solarworld de 275Wc (Allemagne)** chacun.

Ces panneaux présentent notamment les caractéristiques suivantes :

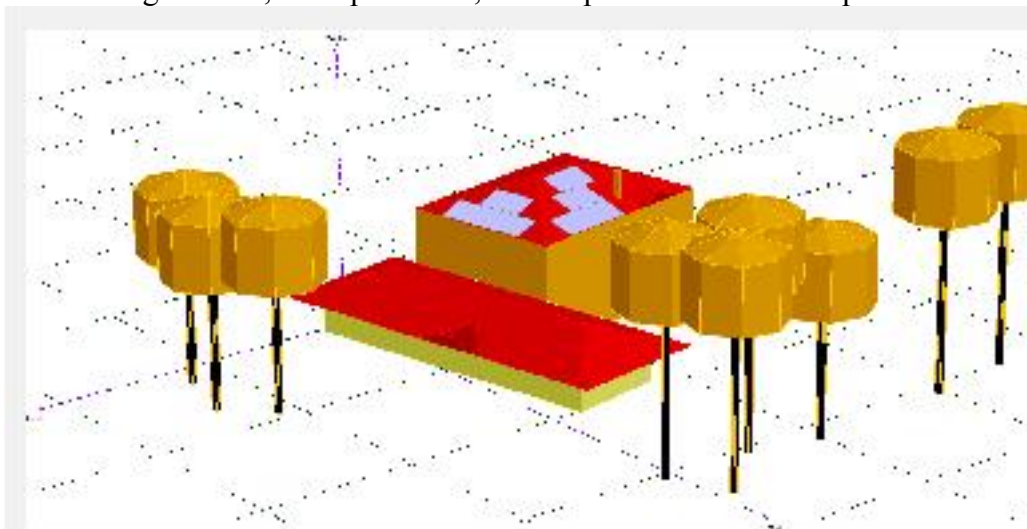
- Esthétique noire
- Garantie linéaire de production 80% au bout de 25 ans
- Fabrication européenne.
- 3 diodes bypass

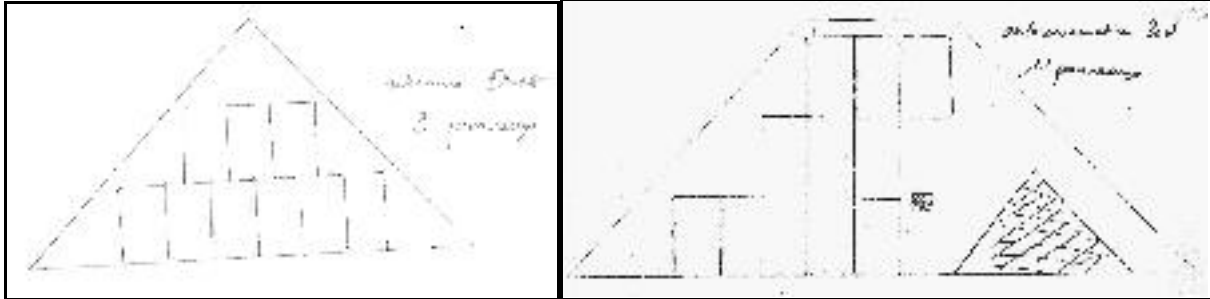
Les autres caractéristiques techniques sont reprises en annexe.

### 5.2 Installation de la centrale photovoltaïque

La centrale est constituée de 20 panneaux de 275Wc soit 5500 Wc, installés en portrait :

- 2 lignes de 6 et 3 panneaux, soit 9 panneaux sur le rampant Ouest.
- 3 lignes de 5,3 et 3 panneaux, soit 11 panneaux sur le rampant Sud





La structure de pose est le système **CrossRail36/Crosshook de K2 Systems (Allemagne)**

Il s'agit d'une structure en surimposition au dessus de la toiture. La surépaisseur est d'environ 70mm au-dessus de la toiture.

Les appareils électriques (onduleur, coffrets de protection) seront placés à proximité du tableau général.

### **5.3 Choix de l'onduleur**

L'onduleur est un élément important de la centrale : il permet de transformer l'énergie recueillie par les modules photovoltaïques, en électricité compatible avec le réseau EDF. Ses caractéristiques dépendent de la configuration et du matériel choisi. On prête également attention à la fiabilité de l'appareil et à son rendement.

Nous proposons un onduleur monophasé **Power One PVI 6000 OUTD (Etats-Unis/Italie)**, présentant la capacité d'accepter 2 chaînes via 2 MPPT (Maximum Power Point).

### **5.4 Simulation de fonctionnement**

**Production annuelle autoconsommée : 5530kWh.**

- soit 38% de la consommation totale,
- 93% de la production photovoltaïque

**Bouvyer Sud totale autoconso 20P pvi**  
**Bilans et résultats principaux**

	<b>GlobHor</b> kWh/m²	<b>T Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m²	<b>GlobEff</b> kWh/m²	<b>EArray</b> kWh	<b>E Load</b> kWh	<b>E User</b> kWh	<b>E_Grid</b> kWh
<b>Janvier</b>	42.0	6.30	50.5	31.1	168.0	1036	153.9	4.1
<b>Février</b>	60.0	6.90	69.5	54.8	297.6	936	234.6	50.2
<b>Mars</b>	106.0	10.20	116.3	99.1	532.7	1207	495.8	16.6
<b>Avril</b>	143.0	12.10	148.7	127.3	680.0	1168	631.1	24.4
<b>Mai</b>	172.0	14.60	171.3	149.4	786.6	1207	703.5	54.6
<b>Juin</b>	184.0	17.90	181.0	159.1	825.6	1558	788.0	8.2
<b>Juillet</b>	194.0	19.80	192.1	168.8	865.4	1610	826.4	8.2
<b>Août</b>	170.0	20.10	173.7	150.6	771.8	1610	735.9	8.1
<b>Septembre</b>	130.0	18.20	140.4	120.5	624.9	1003	390.8	211.3
<b>Octobre</b>	82.0	14.00	93.2	77.1	410.0	1036	295.5	98.0
<b>Novembre</b>	50.0	9.60	59.7	40.6	217.7	1003	175.6	30.9
<b>Décembre</b>	36.0	7.10	44.0	20.5	108.9	1036	100.6	0.0
<b>Année</b>	1369.0	13.10	1440.4	1199.0	6289.2	14409	5531.7	514.6

Simulation de rentabilité autoconsommation

Bouvyer

Pour rappel : augmentation du kWh en France : +10% par an depuis 4 ans

Base de calcul                   % kWh av 2019                   8%

  % kWh ap 2019                   6%

Production autoursommée(kWh)

5531

Année	kWh/c€)	Economie	
		Annuelle	Cumulée
1	13,50	747 €	747 €
2	14,58	806 €	1 553 €
3	15,75	871 €	2 424 €
4	17,01	941 €	3 365 €
5	18,37	1 016 €	4 381 €
6	19,84	1 097 €	5 478 €
7	21,42	1 185 €	6 663 €
8	23,14	1 280 €	7 942 €
9	24,99	1 382 €	9 324 €
10	26,49	1 465 €	10 789 €
11	28,08	1 553 €	12 342 €
12	29,76	1 646 €	13 988 €
13	31,55	1 745 €	15 733 €
14	33,44	1 850 €	17 583 €
15	35,45	1 960 €	19 543 €
16	37,57	2 078 €	21 621 €
17	39,83	2 203 €	23 824 €
18	42,22	2 335 €	26 159 €
19	44,75	2 475 €	28 634 €
20	47,43	2 624 €	31 258 €



## 5.5 Offre de prix

Elément non publié

## 6 Solution de centrale en injection (vente de l'électricité)

### 6.1 Choix des panneaux photovoltaïques et structure de pose

Nous préconisons des panneaux **monocristallins Solarworld de 275Wc (Allemagne)** chacun.

Ces panneaux présentent notamment les caractéristiques suivantes :

- Esthétique noire
- Garantie linéaire de production 80% au bout de 25 ans
- Fabrication européenne.
- 3 diodes bypass

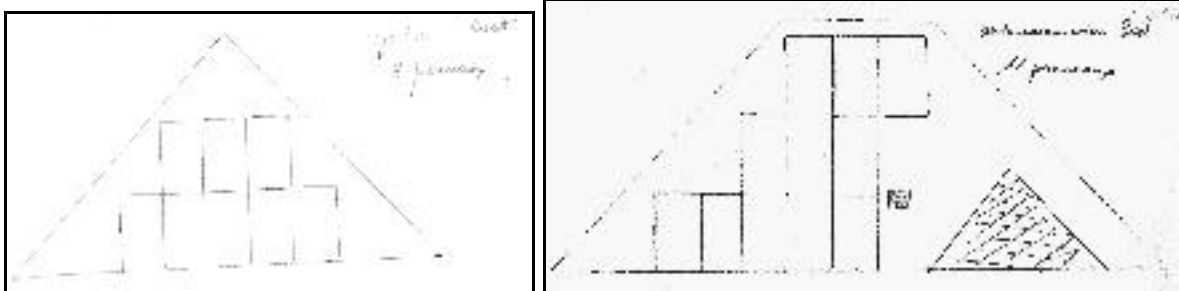
Les autres caractéristiques techniques sont reprises en annexe.

### 6.2 Installation de la centrale photovoltaïque

La centrale est constituée de 19 panneaux de 275Wc soit 5500 Wc, installés en portrait :

- 2 lignes de 5 et 3 panneaux, soit 9 panneaux sur le rampant Ouest.
- 3 lignes de 5,3 et 3 panneaux, soit 11 panneaux sur le rampant Sud

On notera la différence de disposition par rapport à l'autoconsommation en raison de la structure de pose intégré imposant l'alignement vertical des panneaux pour assurer les écoulements.



La structure de pose intégrée est **Easyroof Evolution de IRFTS (France)**.

Les appareils électriques (onduleur, coffrets de protection) seront placés à proximité du tableau général.

### 6.3 Choix de l'onduleur

L'onduleur est un élément important de la centrale : il permet de transformer l'énergie recueillie par les modules photovoltaïques, en électricité compatible avec le réseau EDF. Ses caractéristiques dépendent de la configuration et du matériel choisi. On prête également attention à la fiabilité de l'appareil et à son rendement.

Nous proposons un onduleur monophasé **Power One PVI 6000 OUTD (Etats-Unis/Italie)**, présentant la capacité d'accepter 2 chaînes via 2 MPPT (Maximum Power Point).

### 6.4 Simulation de fonctionnement – Prévisions de production

Ces prévisions sont calculées en fonction de l'ensoleillement net (en considérant toutes les caractéristiques de situation exposées ci-dessus) et des caractéristiques techniques de la centrale photovoltaïque. Voir détails sur fiches PVSYST en annexe.

Il s'agit de la valeur nette injectée sur le réseau.

**Total annuel : 5758kWh\***

***\*Dans des conditions optimales, la production attendue dans les Landes pour une installation 6kWc est environ de 8700kWh***

En estimant une perte annuelle de rendement de 0,5% des panneaux, la production et l'économie équivalente en CO<sup>2</sup> seront les suivantes pour les 20 années concernées par le contrat de rachat :

Année	Prod (kWh)	CO <sup>2</sup> (en kg)
1	5758	345
2	5735	344
3	5712	343
4	5689	341
5	5667	340
6	5644	339
7	5622	337
8	5599	336
9	5577	335
10	5555	333
11	5533	332
12	5511	331
13	5489	329
14	5467	328
15	5445	327
16	5423	325
17	5402	324
18	5380	323
19	5359	322
20	5337	320
<b>TOTAL</b>	<b>110904</b>	<b>6654</b>



## 6.5 Simulation financière

### 6.5.1 Prévision de revenus

L'évolution des revenus annuels peut évoluer en fonction de 3 paramètres :

- L'ensoleillement : il peut varier statistiquement de 15% entre une excellente année et une très mauvaise année. Cependant, la moyenne sur 10 ans est considérée stable.
- Le prix de rachat : il est fixé à **0.2657€ /kWh**. Il est indexé par un coefficient calculé selon la formule suivante :

$$L = 0,8 + 0,1 (ICHTrev-TS/ICHTrev-TSo) + 0,1 (FM0ABE0000/ FM0ABE0000o),$$

où les variables sont l'indice du coût horaire du travail et l'indice des prix à la production de l'industrie française. Ces variables représentent approximativement l'indice de l'inflation.

Prenons une hypothèse réaliste de 2,5% d'inflation annuelle, soit une indexation annuelle de 0.5% du tarif de rachat :

	Revenu
Année	
1	1 529,90 €
2	1 531,42 €
3	1 532,91 €
4	1 534,36 €
5	1 535,78 €
6	1 537,16 €
7	1 538,50 €
8	1 539,81 €
9	1 541,09 €
10	1 542,33 €
11	1 543,53 €
12	1 544,70 €
13	1 545,84 €
14	1 546,94 €
15	1 548,01 €
16	1 549,05 €
17	1 550,06 €
18	1 551,03 €
19	1 551,97 €
20	1 552,88 €
<b>TOTAL</b>	<b>30 847,28 €</b>

**Total des revenus générés par l'installation sur 20 ans: 30 847€ pour 5.5kWc\***

**\*Dans des conditions optimales, le revenu généré par une installation 6kWc peut atteindre 46 608€**

Notons que la centrale photovoltaïque n'est néanmoins pas obsolète après 20 ans ; elle continuera à produire, et reste totalement valorisable.



## 6.5.2 Offre de prix

Elément non publié

## 6.5.3 Coûts annexes

Il reste à la charge du client le prix du raccordement par la régie de distribution après sa visite technique et la location des compteurs. Pour information, pour ERDF, le raccordement coûte environ 900€ et la location 60€ annuel.

## 6.5.4 Estimation de rentabilité

Elément non publié

\*revenu brut moins location compteur

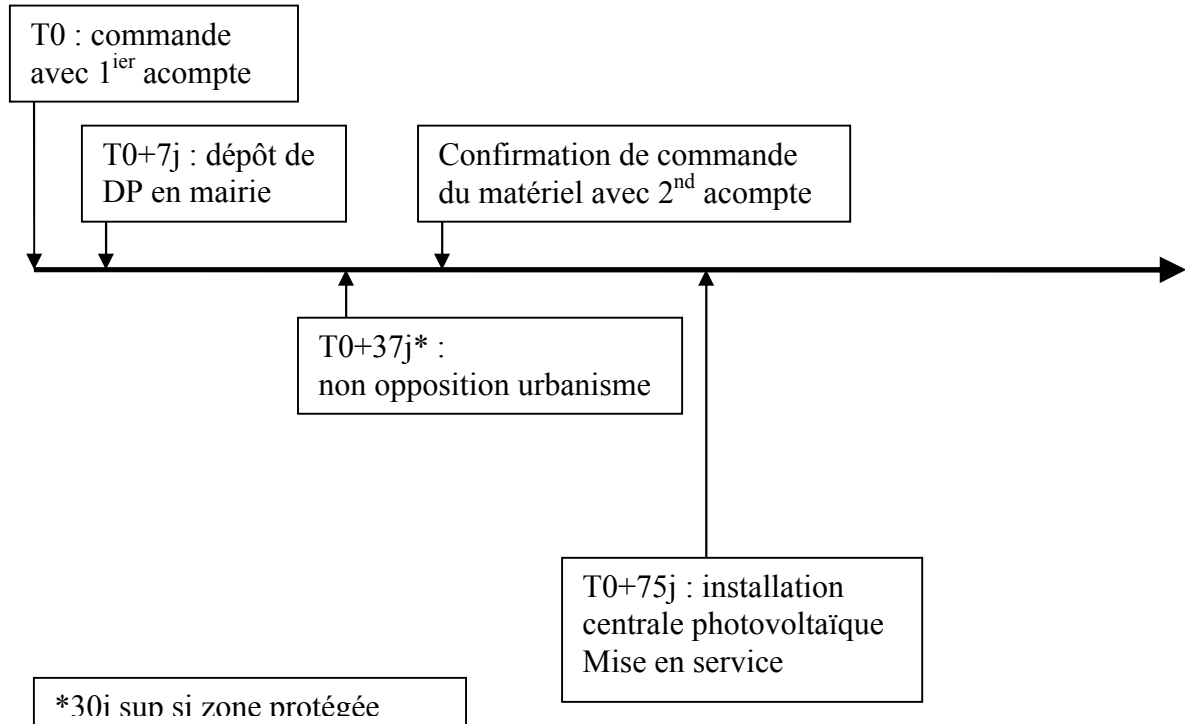
***Bénéfice au bout de 20 ans : xxxx€***

***Amortissement au bout de x ans.***

***L'installation représente une plus-value pour le bien immobilier.***

***L'installation permet d'économiser x tonnes de CO<sup>2</sup> sur vingt ans, et permet la production propre et locale d'électricité.***

## 7 Planning prévisionnel



## 8 Annexes

- Offres de prix originales
- Fichiers de calcul de production PVSYST
- Fiche technique panneau solaire Solarworld Sunmodule Plus 275
- Fiche technique micro onduleur PVI 6000 OUTD
- Certification QualiPV
- Assurance décennale