

**Site n° 30 – Parking Aéroport Entzheim**

**Adresse :** Rue d'Erstein  
**Commune :** Entzheim  
**Energie retenue :** Ombrières photovoltaïques



**Synthèse**

**Récapitulatif du projet**

<b>Surface disponible</b>	6 569 m <sup>2</sup>
<b>Puissance installée</b>	1 200 kWc
<b>Production annuelle</b>	1 080 MWh
<b>Investissement*</b>	1 700 000 €TTC
<b>TRB</b>	25 ans

<b>Points forts</b>	<b>Points faibles</b>
Pas de contraintes urbanistiques, environnementale	Etude d'éblouissement à réaliser
Pas de conflits d'usage	Vérifier la tenue de la structure du parking souterrain
Superficie importante	

\*Calculé avec des panneaux produits en France

**Contexte réglementaire**

Le tableau ci-après reprend les différentes procédures concernant la valorisation de l'énergie produite. Il existe également la solution de l'autoconsommation (le kWh produit est substitué au kWh consommé), le surplus d'énergie produit doit être géré au cas par cas.

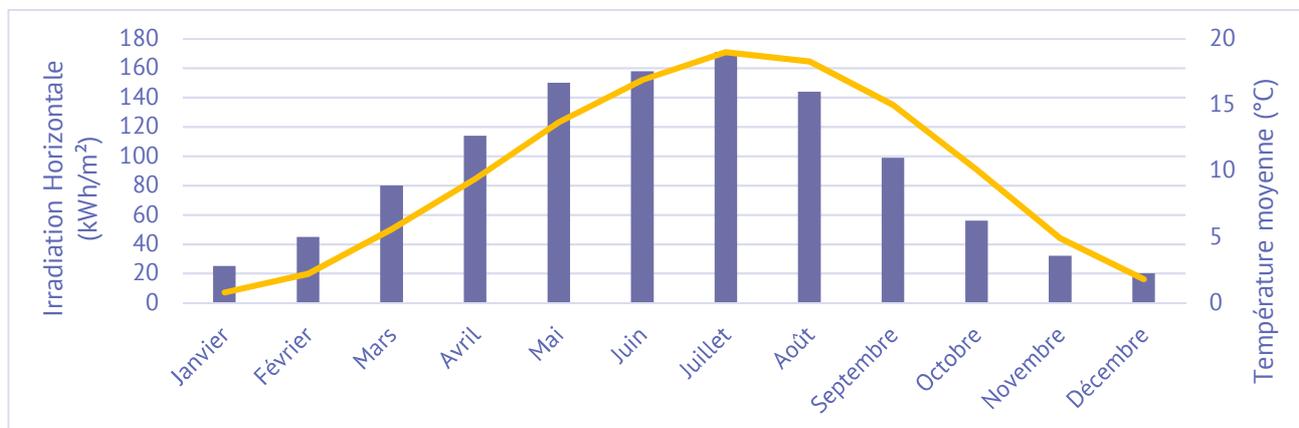
La procédure en fond vert est préconisée pour le site étudié.

	<b>Guichet ouvert</b>	<b>Procédures de mise en concurrence</b>			
	Obligation d'achat	Appel d'Offres Bâtiment	Appel d'Offres Bâtiment	Appel d'Offres Autoconsommation (suspendu jusqu'à nouvel ordre)	Appel d'Offres Parcs au sol ou ombrière
<b>Seuils de puissance</b>	< 100 kW	de 100 à 500 kWc	de 500 kWc à 8 MWc	de 100 kWc à 1 MWc	de 500 kWc à 30 MWc
<b>Dispositif contractuel de la rémunération</b>	Contrat d'achat avec tarif d'achat fixé par l'Etat	Contrat d'achat avec prix d'achat proposé par le candidat	Contrat de complément de rémunération avec prix de complément proposé par le candidat	Contrat de complément de rémunération avec prix de complément proposé par le candidat	Contrat de complément de rémunération avec prix de complément proposé par le candidat
<b>Modalités</b>	Selon arrêté tarifaire	Selon cahier des charges		Selon cahier des charges	Selon cahier des charges

Source : photovoltaïque.info



La valorisation de la production énergétique se fera en répondant à un Appel d'Offre lancé par la Commission de Régulation de l'énergie. La dernière période s'achève le 3 juin 2019. Lors de la réalisation de l'étude, le calendrier futur n'a pas encore été communiqué.



Le graphique représente l'irradiation horizontale en kWh/m<sup>2</sup> à Strasbourg. C'est-à-dire que c'est l'énergie issue du soleil que reçoit une surface de 1m<sup>2</sup> disposée horizontalement à Strasbourg. En annexe est proposé le graphique de productible à échelle nationale. Il montre clairement que le Grand Est n'est pas la région la plus favorisée en termes d'ensoleillement.

**Rappel données phase 2**

Nom du site	Adresse	Territoire
None	Aérogare Strasbourg Entzheim ENTZHEIM	Eurométropole de Strasbourg

Superficie (m <sup>2</sup> )	Source d'identification	Type (bâti : non bâti / parking / autre)
5663	Friche DDT67	???

Atouts	Propriété
	ETAT

**Contraintes Milieu Naturel**

ZNIEFF 1	-	Reserve biologique naturelle	-
ZNIEFF 2	X	Réserve naturelle	-
Natura 2000	-	Terrier Hamster d'Alsace à proximité	-
Zones humides	-		

**Contraintes Urbanistiques et patrimoniales**

Monument historique	-	Zonage PLU	UXE2
PPRi	-	Servitude aéronautique	-

**Historique des décisions**

--

**Situation du site**

Source : Géoportail



La zone d'implantation envisagée est en fond orangé.

 Emprise  
proposée



## Calepinage

Le calepinage est la réalisation d'un dessin visant à déterminer la forme et l'emplacement d'éléments de construction, dans ce cas, des panneaux photovoltaïques.



Les hypothèses retenues pour le calepinage sont avec une inclinaison à 20°, azimut -82 :

- 7 allées d'ombrières, soit un total de 4030 panneaux installés et pour une puissance raccordée équivalente à 1,2 MWc.

Pour effectuer les calculs, un panneau standard de 300 Wc en Silicium polycristallin est proposé.

Les autres zones d'implantation ne sont pas étudiées en raison de la présence d'arbres. De plus l'orientation des panneaux serait parallèle à la piste d'atterrissage/décollage et pourrait éblouir les pilotes.

Une étude de structure devra être réalisée pour vérifier la résistance au poids de la toiture du parking souterrain.

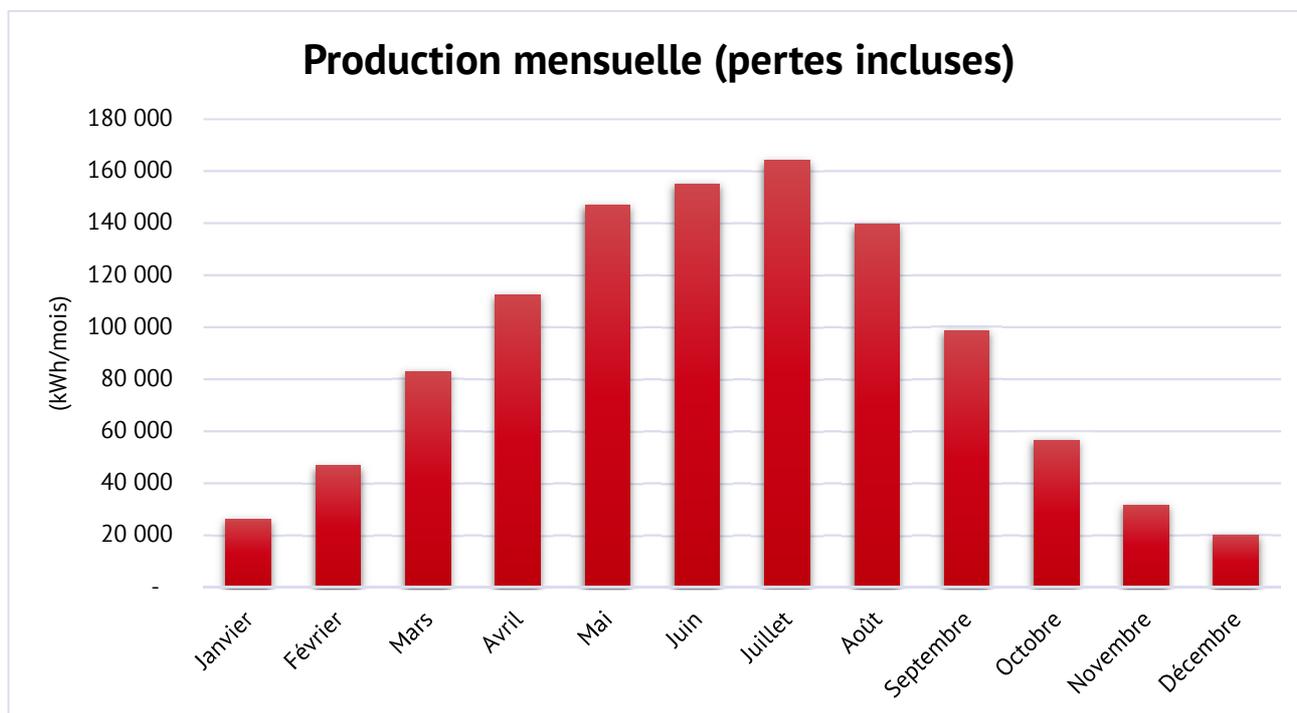
A noter qu'il existe des panneaux photovoltaïques fabriqués en Alsace. Dans cette étude, il est pris parti que ce serait un fournisseur pour les différents projets. Cela impacte notamment le chiffrage des éléments.

L'azimut est défini comme l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. L'angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord. Usuellement, le Sud est à 0°, l'Est à 90° et l'Ouest à -90°.

**Avant toute conclusion concernant la faisabilité de ce projet, il est impératif de réaliser une étude d'éblouissement afin de valider le calepinage.**



Etude technique



Production mensuelle (Source PV Syst)

Le productible a été calculé à l'aide du logiciel PV Syst . Il prend en compte plusieurs paramètres tels qu'ombrage proche et lointain, azimut, perte de l'installation...

	Irradiation mensuelle horizontale (kWh/m <sup>2</sup> )	Température moyenne (°C)	Production mensuelle (kWh)
<b>Janvier</b>	25	0,8	26 342
<b>Février</b>	45	2,2	46 633
<b>Mars</b>	80	5,6	82 793
<b>Avril</b>	114	9,4	112 428
<b>Mai</b>	150	13,7	147 039
<b>Juin</b>	158	16,9	155 223
<b>Juillet</b>	171	19,0	164 163
<b>Août</b>	144	18,3	139 511
<b>Septembre</b>	99	15,0	98 526
<b>Octobre</b>	56	10,1	56 640
<b>Novembre</b>	32	4,9	31 638
<b>Décembre</b>	20	1,8	19 951
<b>Total</b>	<b>1 094</b>	<b>9,9</b>	<b>1 080 886</b>



**Analyse Financière**

PREPARATION DE CHANTIER	20 000,00 €
SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE	836 180,00 €
STRUCTURE DES OMBRIERES	523 150,00 €
TRAVAUX DIVERS	45 000,00 €
<b>TOTAL - €HT</b>	<b>1 424 330,00 €</b>
<b>TVA - 20%</b>	<b>284 866,00 €</b>
<b>TOTAL - €TTC</b>	<b>1 709 196,00 €</b>

Le coût d'achat de l'électricité a été fixé à 8,6 c€/kWh, tarif moyen de rachat du kWh des installations lors de la dernière période des AO CRE. En prenant en compte les frais d'exploitation, de maintenance, les diverses taxes ainsi que l'augmentation du coût de l'électricité (3%), l'analyse financière donne :

<b>T.R.A. =</b>	<b>39,4 ans</b>
<b>T.R.B. =</b>	<b>24,9 ans</b>

<b>V.A.N. 20ans=</b>	<b>-498 800 €</b>	<b>V.A.N. 30ans=</b>	<b>-260 556 €</b>
<b>T.R.I. 20ans =</b>	<b>-1,27%</b>	<b>T.R.I. 30ans =</b>	<b>1,47%</b>

<b>LCOE 20ans=</b>	<b>142,1 €/MWh</b>
<b>LCOE 30ans =</b>	<b>145,0 €/MWh</b>

Il est important de souligner qu'il s'agit d'une étude d'opportunité. Lors d'une étude de faisabilité, le développeur ou le bureau d'étude peuvent améliorer certains paramètres (notamment le ratio de production kWh/kWc/an), permettant ainsi d'améliorer la viabilité économique.



Annexe

Estimation des coûts

 L'ÉNERGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE UN PÔLE DE COMPÉTENCES N·E·P·S·E·N	<b>Coût d'investissement</b>  <b>Parking Aéroport Entzheim</b>
--	--

ART.	DESIGNATION des OUVRAGES	U	QTE	P.U. € HT	TOTAL € HT
<b>I</b>	<b>PREPARATION DE CHANTIER</b>				
	Gestion de chantier (Protections, nettoyage, gestion des déchets compris évacuation, installations diverses, zone de stockage, <b>base vie 4 mois ...</b> )	Ens	1	10 000,0 €	10 000,00 €
	Etudes d'exécution	Ens	1	7 000,0 €	7 000,00 €
	Dossier des Ouvrages Exécutés	Ens	1	3 000,0 €	3 000,00 €
<b>II</b>	<b>SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE</b>				
	Modules photovoltaïques (4030 x 300Wc)	Wc	1209000	0,52	628 680,00 €
	Système d'intégration	Wc	1209000	0,00	- €
	Onduleur photovoltaïque	VA	1200000	0,14	168 000,00 €
	Structure "Support Onduleur"	Ens	3	2 000,0 €	6 000,00 €
	Coffret DC	Ens	3	1 000,0 €	3 000,00 €
	Câblage DC	mL	3000	4,0 €	12 000,00 €
	Chemin de câble	mL	300	30,0 €	9 000,00 €
	Coffret AC	Ens	1	1 000,0 €	1 000,00 €
	Protection contre le surintensités	Inclus dans Objet "Coffret AC" et "Coffret DC"			
	Câblage AC	Ens	200	35,0 €	7 000,00 €
	Mise à la Terre au bâtiment	Ens	1	1 500,0 €	1 500,00 €
<b>III</b>	<b>STRUCTURE DES OMBRIERES</b>				
	Ossature métallique avec moilage bois	Wc	1209000	0,4 €	423 150,00 €
	Eaux pluviales	Ens	1	10 000,0 €	10 000,00 €
	Fondations (plots bétons)	Ens	1	80 000,0 €	80 000,00 €
	Forages avant travaux/Etude structure	Ens	1	5 000,0 €	5 000,00 €
	Eclairage	U	1	5 000,0 €	5 000,00 €
<b>IV</b>	<b>TRAVAUX DIVERS</b>				
	Borne de recharge électrique	U	1	10 000,0 €	10 000,00 €
	Panneau didactique	U	1	3 500,0 €	3 500,00 €
	Gabarit en entrée de parking	U	1	3 500,0 €	3 500,00 €
	Tranchées	mL	150	100,0 €	15 000,00 €
	Regards	U	10	1 000,0 €	10 000,00 €
	Démarches administratives	Ens	1	3 000,0 €	3 000,00 €

## Eléments techniques

### Ordre de grandeur

#### Puissance et énergie

La **puissance** (mesurée en Kilowatt, kW) est une notion instantanée : c'est ce qu'une centrale peut apporter rapidement au réseau à un instant donné. **L'énergie** (mesurée en kilowattheures, kWh) se rapporte elle à la durée de production d'une centrale.

#### Ordres de grandeur

Pour un appartement ou une maison d'environ 120 m<sup>2</sup>, mal isolé, habité par 4 personnes, on estime une consommation moyenne annuelle « de chaleur » d'environ **14 MWh**, contre **3,5 MWh** pour son équivalent bien isolé.

Pour un ménage de 4 personnes, la consommation électrique annuelle est environ de **2,5 MWh** hors chauffage. Elle se décompose par exemple en consommation par exemple : un sèche-linge : 900 kWh, un congélateur : 350 kWh, un lave-linge 1 150 kWh, l'éclairage : 100 kWh, un ensemble téléphone-télévision-ordinateur : 150 kWh...

### L'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque transforme le rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques assemblées dans des panneaux, eux-mêmes installés sur des bâtiments ou posés sur des structures ancrées au sol.

L'électricité produite peut être consommée sur place, stockée (dans des batteries par exemple) ou réinjectée dans le réseau de distribution électrique.

## 1. RESSOURCE

Les technologies photovoltaïques (PV) reposent sur des cellules de silicium qui transforment l'énergie du rayonnement solaire en courant électrique continu. Ces cellules sont assemblées entre elles pour former un module, ou panneau photovoltaïque, l'onduleur se charge de convertir ce courant continu en alternatif. La combinaison de plusieurs panneaux reliés à différents composants électriques (tels qu'onduleurs, boîtier de boîtes de jonction, régulateur, batterie etc.) constitue un générateur photovoltaïque. La durée de vie d'un module est de l'ordre de 25 ans, et un onduleur de 10 ans.

La "puissance-crête" est une donnée normative utilisée pour caractériser les cellules et modules photovoltaïques. Elle correspond à la puissance que peut délivrer une cellule, un module ou un champ sous des conditions optimales et standardisées d'ensoleillement (1000 W/m<sup>2</sup>) et de température (25°C). On parle ainsi de panneaux solaires de 250 Wc, d'une centrale de 1Mw etc.



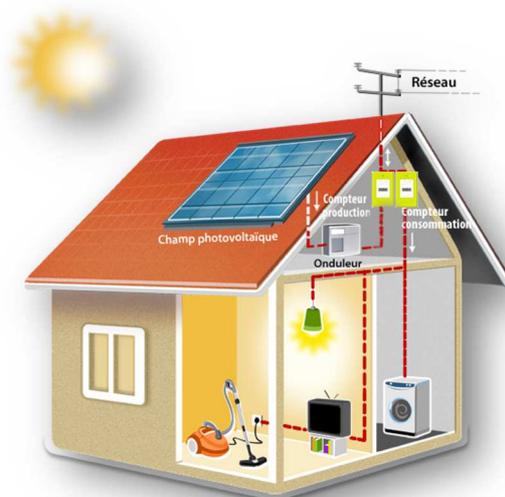


Figure 1 : Exemple d'installation photovoltaïque avec injection réseau (Source : Hespul)

Différentes technologies de cellules sont disponibles sur le marché avec des stades différents de maturité technologique :

- Silicium cristallin : les cellules sont constituées de fines plaques de silicium, élément que l'on extrait du sable ou du quartz. On obtient alors du silicium monocristallin (de meilleure qualité mais plus cher à produire) ou du silicium multi-cristallin/polycristallin (moins cher à produire mais offrant des rendements moins élevés). Bien que plus ancienne, cette technologie représente 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances. La durée de vie des modules photovoltaïques fabriqués à partir de ces cellules est estimée entre 25 et 30 ans.
- Couches minces : ces cellules sont obtenues en déposant des couches de matériaux semi-conducteurs et photosensibles sur un support en verre, en plastique, en acier, etc. La part de marché pour l'ensemble de ces technologies est d'environ 10 %.
- Cellules organiques : ces modules sont constitués de molécules organiques. Les capteurs solaires se présentent sous forme de films de type photographique, souples, légers et faciles à installer. Cette technologie est en cours de développement.
- Cellules à concentration (technologie dite CPV) : cette technologie utilise des lentilles optiques qui concentrent la lumière sur de petites cellules photovoltaïques à haute performance. Cette technologie est en cours de développement.



## 2. APPLICATIONS

Le solaire photovoltaïque produit de l'électricité, qui peut être consommée sur place (autoconsommation), stockée dans des batteries ou injectée sur le réseau électrique pour d'autres usagers.

## 3. TECHNOLOGIES

Les générateurs photovoltaïques peuvent être installés de différentes manières : sur bâti ou au sol.

Dans le cas des installations en toiture, deux alternatives se présentent :

- L'intégration au bâti ou la surimposition en toiture, c'est-à-dire que le capteur est posé dans un plan parallèle à la toiture inclinée.
- Disposition sur une toiture terrasse : les panneaux sont posés sur une toiture plane avec un degré d'inclinaison permettant une production maximale.



*exemple de panneaux en toiture inclinée (Source Ademe)*



*exemple de panneaux en toiture terrasse (source CRER)*

Dans le cas des installations au sol, se distinguent deux types : les ombrières de parkings et les centrales photovoltaïques.



*exemple d'ombrières de parking (Source Helexia)*



*exemple de centrale photovoltaïque (source SOLON SE Berlin)*

Une ombrière de parking est un dispositif spécifique permettant la pose de panneaux solaire sur une structure et proposant un abri pour des véhicules stationnés en dessous.



Une centrale photovoltaïque au sol est composée des modules photovoltaïques, des câbles de raccordement, des locaux techniques abritant les onduleurs et du poste de livraison.

Les centrales au sol sont de deux natures ; les installations fixes se distinguant des installations mobiles.

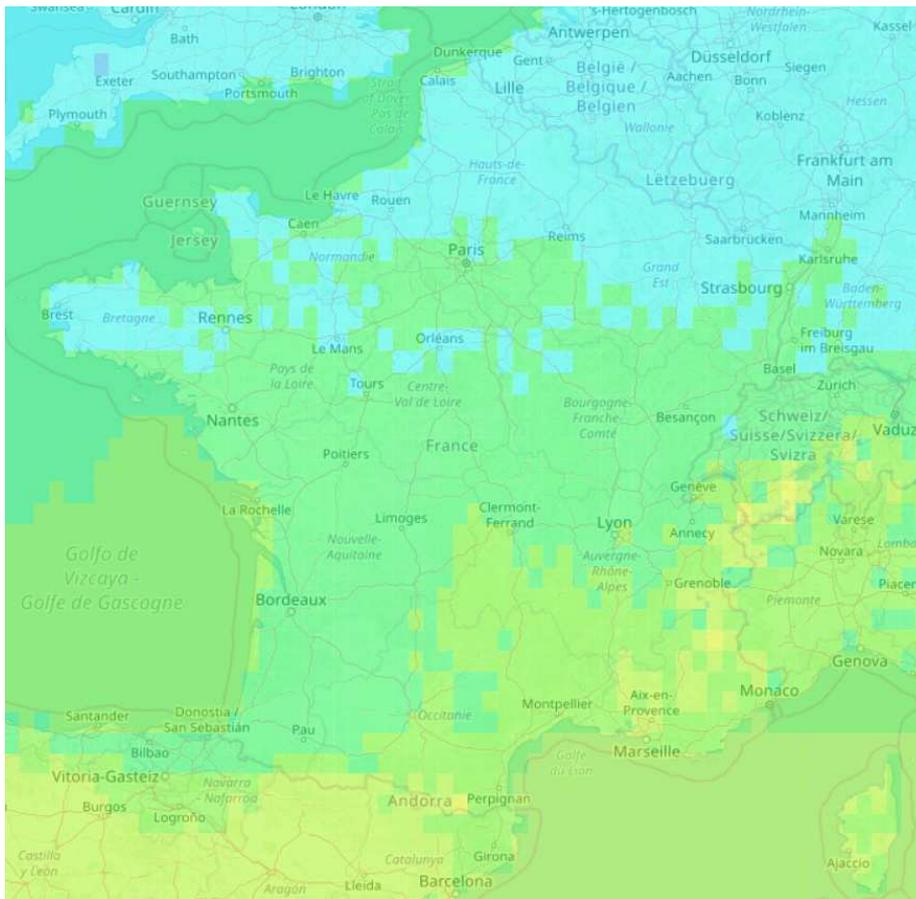
- **Les installations fixes** : Les modules photovoltaïques sont implantés sur des châssis qui sont orientés au sud selon un angle d'exposition pouvant varier de 25 à 30 ° en fonction de la topographie locale
- **Les installations mobiles ou orientables** : elles sont équipées d'une motorisation leur permettant de suivre la course du soleil. Elles nécessitent un investissement et un entretien plus importants pour une productivité supérieure.

Les installations solaires photovoltaïques au sol ont aujourd'hui atteint un stade de maturité technique. Leur implantation mobilise environ 2 à 3 ha pour 1 MWc.

## 4. PRODUCTIBLE

L'illustration suivante montre le productible en kWh/kWc pour des panneaux solaires à l'échelle de la France. Il s'agit de l'énergie produite annuellement en kWh par 1kWc de panneaux installés plein Sud à 30° sans compter les effets d'ombrage.





**PhotoVoltaire .info**  
**CARTOGRAPHIE DE PRODUCTIBLE  
PHOTOVOLTAÏQUE**

- Juin 2018 - Mai 2019 -

— LÉGENDE —



## Définitions

**TRA** : Le temps de retour actualisé est le nombre d'année de production de l'installation photovoltaïque pour rembourser l'investissement en tenant compte du coût de la monnaie et de la maintenance. Ce temps de retour actualisé doit être inférieur à la durée d'exploitation (ou à la durée garantie durant laquelle l'achat des kWh est assuré) pour que le projet soit rentable.

**TRB** : Le temps de retour brut est l'investissement initial divisé par la recette annuelle, donc le nombre d'années pour rembourser l'investissement initial. Cette valeur, souvent utilisée car simple à calculer, est un indicateur moins fiable que le TRA sur la rentabilité d'un projet car il ne tient pas compte du taux d'actualisation de la monnaie, de la maintenance et de la durée d'exploitation de l'installation PV.

**VAN** : La valeur actuelle nette est le gain financier en fin d'exploitation de l'installation photovoltaïque. Si la VAN est positive, c'est que le projet est rentable.

**TRI** : Le taux de rentabilité interne (TRI) est le taux de rendement du capital investi pour qu'à la fin de la durée de l'exploitation, l'investissement soit juste remboursé. Ce taux de rentabilité interne doit au moins être égal au taux d'actualisation de la monnaie pour que le projet soit à l'équilibre et supérieur ou coût de la monnaie pour être profitable.

**LCOE** : Le prix de revient ou coût global actualisé (CGA) du kWh photovoltaïque est ce que coûte la production d'un kWh en tenant compte de l'investissement (subventions déduites), de la maintenance, de l'actualisation de la monnaie et de la durée de vie de l'installation photovoltaïque. Pour que le projet photovoltaïque soit rentable, le tarif d'achat du kWh photovoltaïque doit être supérieur aux prix de revient de ce kWh photovoltaïque.

