

**Intensifs inter-cycles - Construire quand tout s'effondre**  
L'architecture à l'heure du dérèglement planétaire

**FICHE ÉQUIPEMENT**

**Produire de l'énergie**



La centrale thermosolaire de Gemasolar près de Séville, le 4 octobre 2011. AFP Photos / Gemasolar Handout

Par BOUGUADIDA Sarah & GATUINGT Alix

ENSAPM 2021 | Encadré par Adrien Poullain & Joseph Maussion

# **ÉQUIPEMENT EXISTANT :**

## **LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES**

### **- Nom de l'équipement**

Cette étude porte sur les modules photovoltaïques monocristallins de SunPower : le MAXEON 3 (v.1.1)

### **- Applications et caractéristiques techniques**

- Chauffage, éclairage, alimentation électrique, revente de la production d'énergie à des entreprises comme EDF (Une somme qui servira à alimenter le fond travaux, pour les copropriétaires de l'immeuble).
- Le bâtiment témoin utilise 12 panneaux photovoltaïques, ils permettent une production d'électricité de courant continu. Pour qu'elle soit utilisable en usage domestique, elle doit subir une transformation. Cette opération est assurée par un appareil nommé onduleur, il transforme le courant continu en courant alternatif.
- Rendement : 20% (rendement supérieur à un panneau polycristallin)
- Masse : 19 kg
- Surface : 1,77 m<sup>2</sup>
- Dimension : 1690x1046x40 mm

### **- Puissance de l'équipement (Watt)**

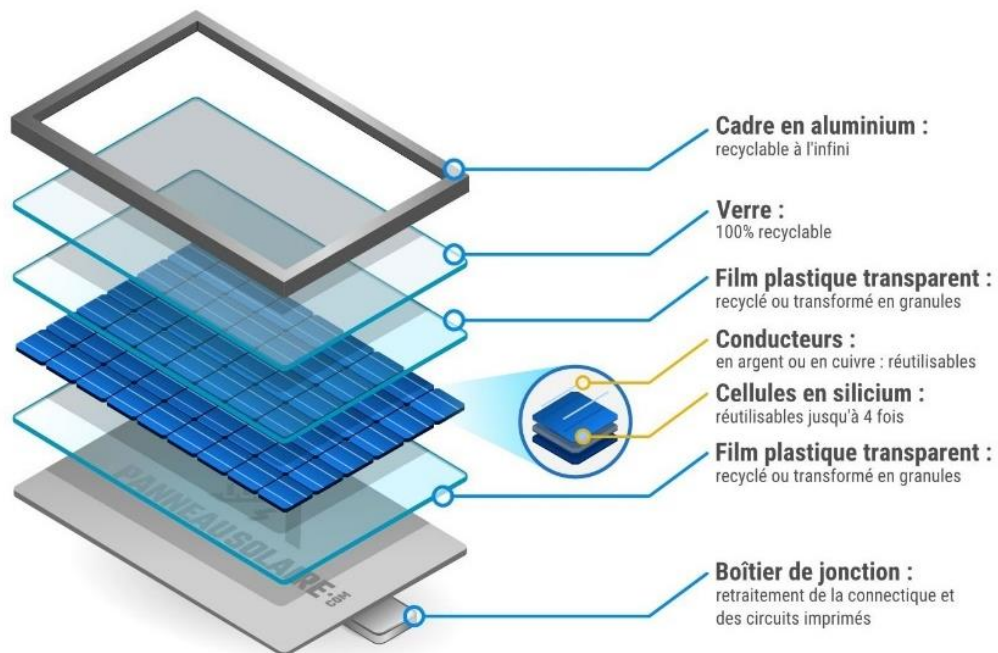
Un panneau produit 370 Wc (Watt-Crête : quantité d'énergie solaire transformée en énergie électrique multiplié par la surface. Plus le nombre en Wc d'un panneau est élevé, plus il est performant) d'électricité photovoltaïque sur 1,77 m<sup>2</sup> de site exposé au rayonnement solaire avec une dégradation maximale de 0,25% de la production par an. Le bâtiment témoin use de 12 panneaux photovoltaïques, ainsi dans des conditions d'ensoleillement optimales, l'ensemble produira théoriquement 4,45 kWc.

### **- Émission de CO2 en kg CO2 eq. pour un panneau d'une puissance de 370 Wc**

- Produits durant la fabrication : 1,93E+02
- Produits durant la distribution : 5,05E+00
- Produits durant l'installation : 7,84E-01
- Produits en fonctionnement : aucune émission
- Produits en fin de vie : 5,08E+00

## - Composition de l'équipement ou de la machine

PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE	
Verre contenant de l'antimoine	70%
Cadre en aluminium	18%
Connecteur en cuivre	1%
Adhésif à base de polymère (EVA) (couche d'encapsulation)	5,1%
Couche arrière (à base de fluorure de polyvinyle)	1,5%
Cellule solaire en silicium métallique	3,56%
Argent	0,053%
Conducteur interne en aluminium	0,53%
Conducteur interne en cuivre	1,14%
Autres métaux : plomb, étain	0,053%



## - Origine

- Provenances des machines : Fabrication et assemblage au Mexique
- Le module photovoltaïque est distribué de la dernière plateforme logistique du producteur au lieu de mise en œuvre en France. Une distance de 8800 km par bateau et de 1000 km par camion est prise en compte.



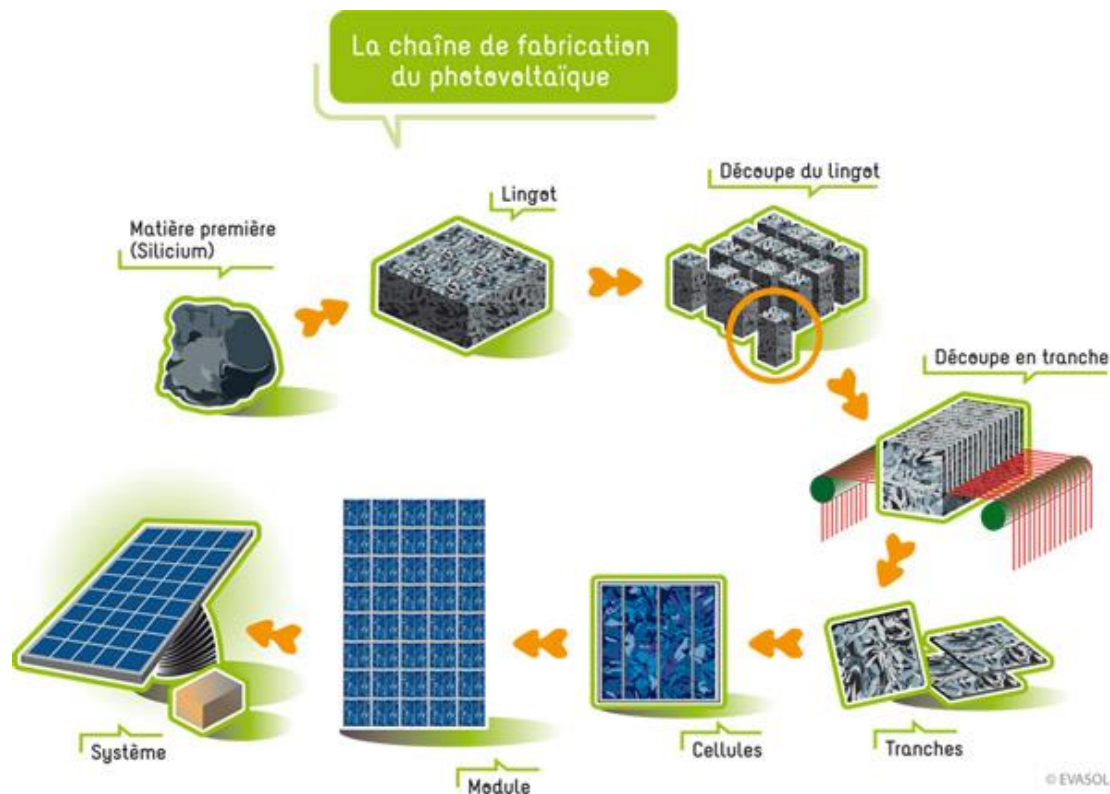
## - Mode de production

Un panneau solaire monocristallin est fabriqué à partir d'un seul bloc de silice. Il est de couleur sombre, noir, ou noir gris. Il est recouvert d'une plaque en verre. Les cellules sont encapsulées dans un revêtement étanche. Il les protège de l'eau et de la vapeur d'eau. Il est relié à un onduleur. Celui-ci a pour fonction de transformer la tension de sortie en tension alternative.

### Résumé du processus industriel de fabrication de l'équipement :

La matière première utilisée est la silice. Elle est d'abord extraite du sol, puis purifiée pour atteindre la qualité métallurgique, ensuite, elle est transformée en composé chimique pour atteindre une pureté photovoltaïque. Durant l'étape de création primaire, cette matière est fondue à très haute température, des lingots sont alors produits et sortent en bout de chaîne. Chaque lingot de cellules monocristal sera ensuite découpé en fines tranches (appelées Wafer), ces tranches ont une épaisseur de quelques centaines de micromètres. Elles subissent un dopage, traitement qui leur permet de devenir photovoltaïques.

Ce traitement consiste à y introduire des impuretés de façon contrôlée, on parle de dopage P ou N. Les photons des radiations solaires sont captés puis traités, ils génèrent un champ électrique permanent sur le panneau solaire. Les cellules sont ensuite recouvertes d'une grille collectrice. Un conducteur est déposé en ligne sur la face de la cellule, c'est ce qui est appelé la métallisation. Ces lignes de métallisation sont ensuite reliées à des contacts électriques. La cellule monocristalline photovoltaïque est née.



## Liste approximative des matériaux entrant dans la fabrication :

Les matières constitutives (sans l'emballage) du produit type sont :

Plastiques		Métaux		Autres	
EVA	6,8%	Aluminium	7,7%	Verre	73,6%
PET	3,6%	Cuivre	0,5%	Bois	4,2%
PP	1,2%	Etain	<0,1%	Silicium	2,3%
PEBD	<0,1%	Argent	<0,1%	Papier	<0,1%
				Diode	<0,1%
<b>Total :</b>	<b>11,6%</b>	<b>Total :</b>	<b>8,3%</b>	<b>Total :</b>	<b>80,2%</b>

Source : INIES | Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment (base-inies.fr)

### - Durée de vie estimée (en années)

La plupart des entreprises offrent une garantie de 20 à 25 ans sur les panneaux solaires, mais certains panneaux solaires industriels peuvent durer beaucoup plus longtemps s'ils sont bien entretenus.

Tous les panneaux solaires dépendent de la météo car l'effet photovoltaïque convertit l'énergie du soleil. En cas de mauvais temps avec des nuages, des chutes de neige ou une chaleur extrême, l'efficacité du panneau solaire diminue.

Cet inconvénient peut donner certaines incohérences à certaines périodes de l'année. Cependant, les panneaux solaires continuent de produire de l'énergie avec la lumière indirecte du soleil ou pendant les mois d'hiver, ils sont toujours en marche.

L'installation de panneaux solaires est la partie la plus compliquée du processus. Une fois installés, il faut simplement nettoyer la surface du panneau pour éliminer la poussière et les débris. Il faut aussi faire examiner tous les six ans l'installation par un expert.

### - Déchets pour 1 m<sup>2</sup> d'unité fonctionnelle

#### INDICATEURS OBLIGATOIRES

Indicateur	Unité	Total / UF	Étape de fabrication	Étape de distribution	Étape d'installation	Étape d'utilisation	Étape de fin de vie
Réchauffement climatique	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,03E+02	1,93E+02	5,05E+00	7,84E-01	0,00E+00	5,08E+00
Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq.	1,44E-04	1,43E-04	8,88E-07	1,45E-08	0,00E+00	1,85E-07
Acidification des sols et de l'eau	kg SO <sub>2</sub> eq.	9,90E-01	9,37E-01	5,02E-02	3,86E-04	0,00E+00	2,19E-03
Eutrophisation	kg(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -eq.	1,72E-01	1,66E-01	5,19E-03	1,04E-04	0,00E+00	4,85E-04
Formation d'ozone photochimique	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	1,37E-01	1,32E-01	4,24E-03	5,95E-05	0,00E+00	2,59E-04
Épuisement des ressources abiotiques – éléments	kg Sb eq.	4,87E-03	4,86E-03	1,02E-05	3,92E-07	0,00E+00	1,20E-06
Énergie primaire totale	MJ	1,10E+05	3,51E+03	7,73E+01	1,27E+00	0,00E+00	1,14E+01
Utilisation nette d'eau douce	m <sup>3</sup>	6,97E+00	6,94E+00	1,44E-02	1,51E-03	0,00E+00	1,00E-02

**INDICATEURS FACULTATIFS**

Indicateur	Unité	Total / UF	Étape de fabrication	Étape de distribution	Étape d'installation	Étape d'utilisation	Étape de fin de vie
Épuisement des ressources abiotiques – combustibles fossiles	MJ (PCI)	2,31E+03	2,23E+03	7,41E+01	9,61E-01	0,00E+00	6,78E+00
Pollution de l'eau	m³	1,12E+02	1,10E+02	1,74E+00	5,74E-02	0,00E+00	3,15E-01
Pollution de l'air	m³	2,81E+04	2,74E+04	6,33E+02	1,49E+01	0,00E+00	5,62E+01
Énergie primaire renouvelable, (énergie matière exclue)	MJ	1,07E+05	7,23E+02	1,14E+00	6,07E-02	0,00E+00	4,45E-01
Énergie primaire renouvelable utilisée en tant que matière première	MJ	1,40E+01	1,40E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Énergie primaire renouvelable totale	MJ	1,07E+05	7,37E+02	1,14E+00	6,07E-02	0,00E+00	4,45E-01
Énergie primaire non renouvelable, (énergie matière exclue)	MJ	2,80E+03	2,71E+03	7,61E+01	1,21E+00	0,00E+00	1,09E+01
Énergie primaire non renouvelable utilisée en tant que matière première	MJ	6,95E+01	6,95E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Énergie primaire non renouvelable totale	MJ	2,86E+03	2,78E+03	7,61E+01	1,21E+00	0,00E+00	1,09E+01
Utilisation de matière secondaire	kg	1,12E+00	1,12E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Déchets dangereux éliminés	kg	1,38E+01	1,36E+01	5,33E-02	2,29E-02	0,00E+00	1,17E-01
Déchets non-dangereux éliminés	kg	8,38E+01	8,04E+01	2,80E+00	2,97E-01	0,00E+00	3,10E-01
Déchets radioactifs éliminés	kg	3,19E-02	1,05E-02	5,08E-04	9,16E-04	0,00E+00	2,00E-02
Composants destinés à la réutilisation	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Matériaux destinés au recyclage	kg	1,86E+01	4,74E-01	0,00E+00	8,80E-01	0,00E+00	1,72E+01
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg	2,17E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,26E-01	0,00E+00	1,94E+00
Énergie fournie à l'extérieur	MJ	6,13E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,13E+04	0,00E+00

Source : INIES | Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment (base-inies.fr)

## - Potentiel de valorisation

Les panneaux solaires sont recyclables en fin de vie. Le processus de recyclage des panneaux photovoltaïques à base de silicium commence par le démontage du produit réel pour séparer les pièces en aluminium et en verre. La quasi-totalité (95%) du verre peut être réutilisée, tandis que toutes les pièces métalliques externes sont utilisées pour le remoulage des cadres de cellules. Les matériaux restants sont traités à 500°C.

Cependant, une partie du problème est que les panneaux solaires sont compliqués à recycler. Ils sont faits de nombreux matériaux, certains dangereux, et assemblés avec des adhésifs et des scellants qui rendent leur rupture difficile.

Les panneaux sont déchirés mécaniquement et décomposés avec des acides pour séparer le silicium cristallin, le matériau semi-conducteur utilisé par la plupart des fabricants photovoltaïques. Des systèmes thermiques sont utilisés pour brûler les adhésifs qui les lient à leurs armatures, et des systèmes hydro-métallurgiques acides sont utilisés pour séparer les métaux précieux.

75% des matériaux d'un panneau solaire peuvent être recyclés en de nouveaux produits, cependant ils ont une très faible valeur de revente.

Ainsi, moins un recycleur peut extraire de la valeur, moins il est incité à recycler.

## **- Données complémentaires significatives**

### Centrale solaire :

Gemasolar a une puissance électrique de 19,9 MW (500–1 650 MWe pour une centrale nucléaire) et la production électrique annuelle attendue est de 110 GWh/an. En comparaison une maison unifamiliale aurait une production de 6 250 kWh/an pour une puissance installée de 5,25kWc. (ex : sunpower).

Cette centrale est composée de 2 650 héliostats (miroir permettant de suivre la course du soleil durant la journée et orienté vers un point fixe qui capte la chaleur) disposés sur 185 hectares de terres.

La centrale permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de plus de 30 000 tonnes par an et d'alimenter en énergie propre 25 000 foyers. Le projet Gemasolar, représente un investissement de 171 millions d'euros.

### Impacts :

Les impacts environnementaux potentiels associés à l'énergie solaire sont :

- utilisation des terres et perte d'habitat (larges surfaces nécessaire)
- utilisation de l'eau (processus de production ou recyclage)
- utilisation de matières dangereuses dans la fabrication (les terres rares et les produits chimiques)

La diversité des réglementations et des pratiques de fabrication rend difficile l'obtention de données standardisées sur l'empreinte environnementale des panneaux photovoltaïques. Une étude publiée en mai par l'Université Northwestern et le Laboratoire national d'Argonne a révélé que l'empreinte carbone d'un panneau chinois est le double de celle d'un panneau européen, car la Chine a moins de normes environnementales et plus de centrales électriques au charbon.



- Liens de vidéos ou images illustration :

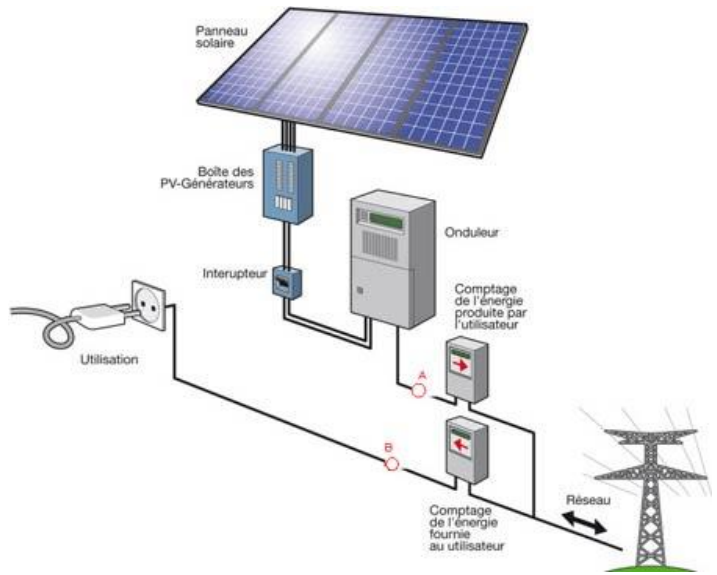
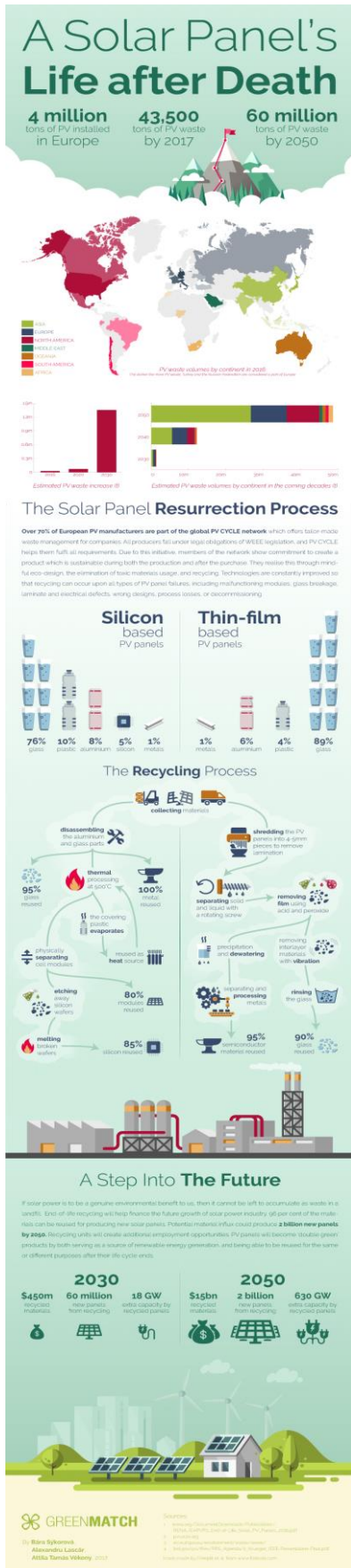


Schéma de l'installation et du raccordement d'un panneau photovoltaïque



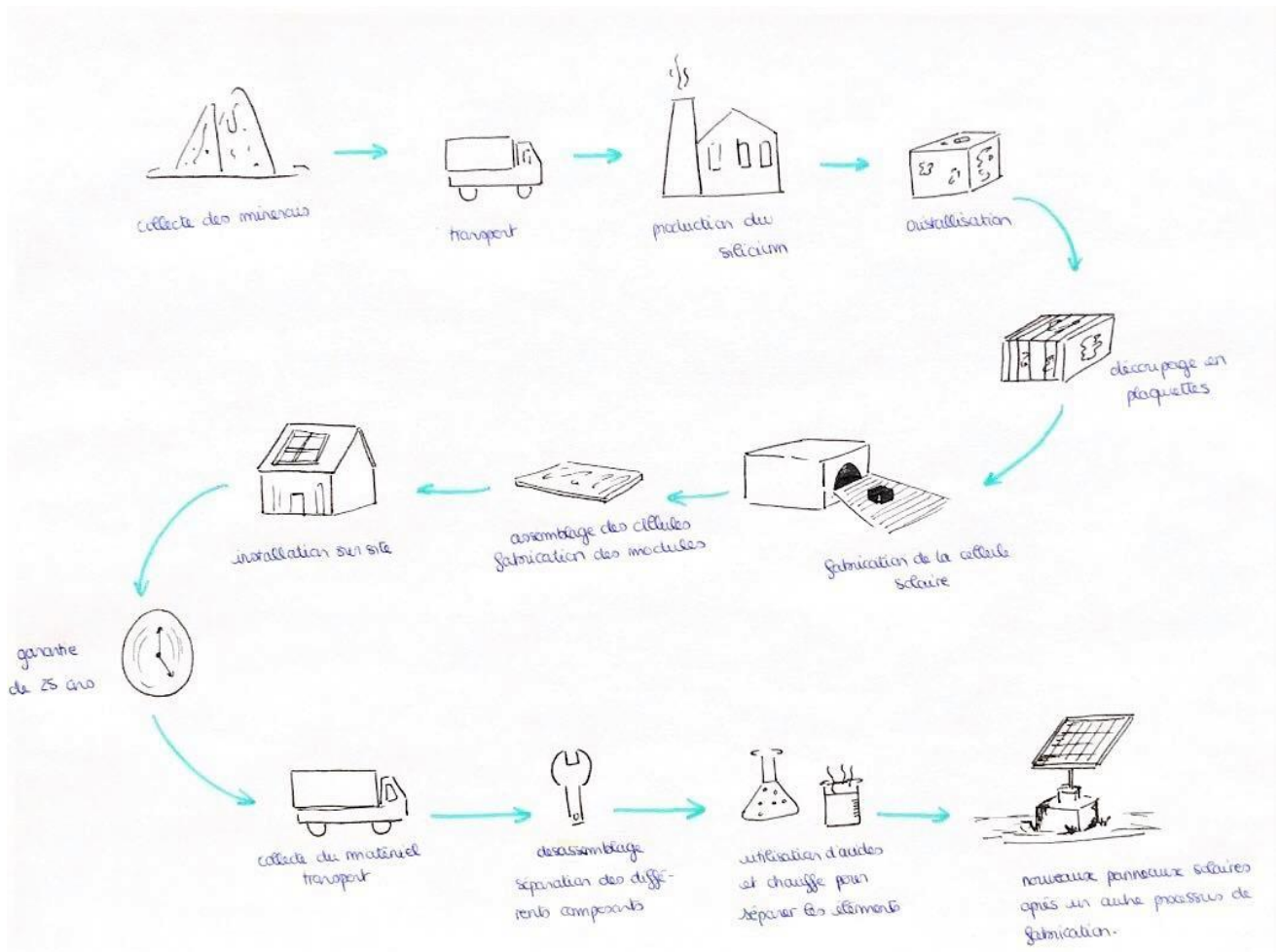
Photographie intérieure de l'usine SunPower, Toulouse, France

Lien recyclage et perte :

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>



## - Schéma illustré du cycle de vie du matériau



# ALTERNATIVE #01 :

## LES TUILES PHOTOVOLTAÏQUES

### - Nom de l'équipement

Cette étude porte sur les modules de tuiles photovoltaïques de l'entreprise IMERYS Toiture : la Tuile ALPHA SOLAIRE.

### - Applications et caractéristiques techniques

- Le système Tuile ALPHA SOLAIRE assure l'étanchéité et la production d'électricité photovoltaïque sur la surface de toiture. Les tuiles permettent une production d'électricité de courant continu. Pour qu'elle soit utilisable en usage domestique, elle doit subir une transformation. Cette opération est assurée par un appareil nommé onduleur, il transforme le courant continu en courant alternatif.
- Rendement statique de l'onduleur : 99,6%
- Masse : 10,8 kg pour une tuile et 108,1 kg pour 2 m<sup>2</sup> de tuile (19kg pour un panneau)\*
- Surface : 0,20 m<sup>2</sup> soit 30 Wc pour une tuile

### - Puissance de l'équipement (Watt)

Une tuile assure l'étanchéité de 2 m<sup>2</sup> de toiture en produisant de l'électricité pendant une durée de vie de référence de 30 ans avec une puissance crête installée de 300 Wc et une dégradation du productible de 20% en 25 ans (soit 0,8% par an comparé au 0,25 des panneaux photovoltaïques).

### - Émission de CO2 en kg CO2 eq. pour une tuile d'une puissance de 300 Wc

- Produits durant la fabrication : 5,69E+02 (1,93E+02)\*
- Produits durant la distribution : 4,24E+00 (5,05E+00)\*
- Produits durant l'installation : 2,78E-01 (7,84E-01)\*
- Produits en fonctionnement : 4,64E+01 (aucune émission)\*
- Produits en fin de vie : 7,80E+00 (5,08E+00)\*

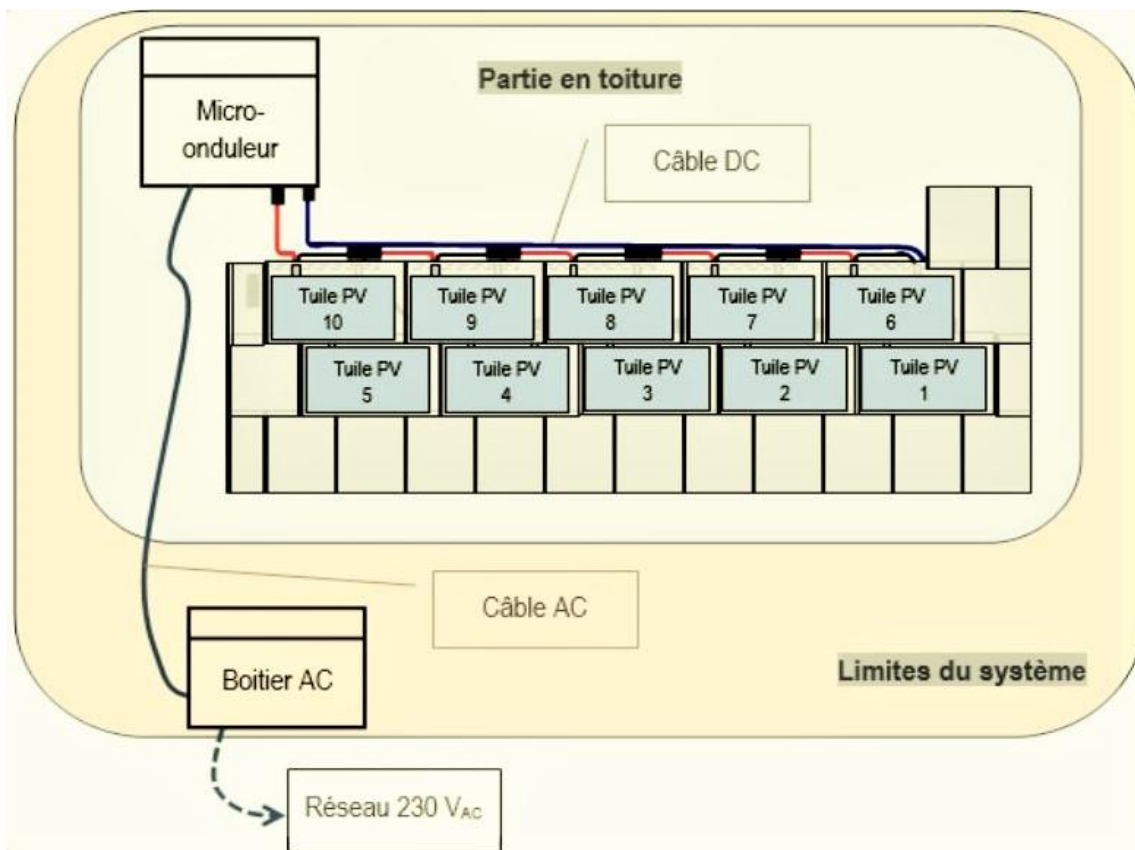
On constate que pour une puissance produite inférieure, la tuile photovoltaïque émet plus de CO2 en kg CO2 eq. comparée aux panneaux photovoltaïques.

\* Données relatives aux panneaux photovoltaïques présentés en amont de l'étude.

## - Composition de l'équipement ou de la machine

- 10 x Tuile photovoltaïque ALPHA SOLAIRE, compatible de la tuile IMERYS ALPHA 10. Chaque tuile contient un module photovoltaïque 30Wc (soit 6 cellules silicium cristallin)
- 2 x Micro-onduleurs (dont 1 pour remplacement)
- 1 x Boitier de raccordement AC
- 6 m de câble DC 4 mm<sup>2</sup> – 1000 V et 10 m de câble AC 3G2,5

La structure du système est résumée ci-contre :



Source : INIES | Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment (base-inies.fr)

## - Durée de vie estimée : 30 ans

La seule partie du système concernée par une opération programmée de remplacement pendant la durée de vie de référence (30 ans) est l'onduleur. L'onduleur du système est conçu pour une durée de vie de 25 ans par le fabricant, un remplacement de l'onduleur est prévu :

- l'onduleur de remplacement
- son emballage



- le transport de l'onduleur de remplacement sur une distance, par défaut, de 1000 km
- le transport de l'onduleur remplacé et de l'emballage de l'onduleur de remplacement jusqu'à un centre de collecte des déchets
- la fin de vie de l'onduleur remplacé et de l'emballage de l'onduleur de remplacement

La désinstallation de l'onduleur et l'installation du nouvel onduleur ne requiert pas d'outil ou de matière particulière. L'onduleur désinstallé et son emballage carton sont traités en « recyclage matières » pour respectivement 1,67 kg et 0,2 kg.

## - Origine

Fabrication et assemblage : Le produit est fabriqué et assemblé en France métropolitaine, cependant le principal composant, le module photovoltaïque, est fabriqué en Allemagne. Le produit final est utilisé en France métropolitaine, quart sud-est. Le transport des matières premières est pris en compte depuis le lieu de production jusqu'au lieu de fabrication. La fabrication ayant lieu dans l'usine de production des supports terre cuite, ceux-ci ne sont pas transportés. Les modules sont transportés sur 600 km. La colle est, par défaut de données, considérée transportée sur 1 000 km. Les capots de protection aluminium sont transportés sur 100 km.

## - Mode de production

### Liste approximative des matériaux entrant dans la fabrication :

L'ensemble des matières premières sont prises en compte (valeurs pour une UF = 2 m<sup>2</sup> en toiture = 300 Wc) :

- Les supports terre cuite (x 20 pièces = 84 kg)
- Les modules photovoltaïques (x 10 pièces = 19,2 kg)
- La colle (1 kg)
- Les capots de protection aluminium (x 20 pièces = 0,2 kg)

Pour indication, la nature de ces diverses matières premières est répartie comme suit :

Matières plastiques		Métaux		Autres	
polyéthylène	3,3%	Cuivre	1,8%	Terre cuite (argile cuite)	77,7%
EVA (Acétate de Vinyle-éthylène)	1,1%	Divers métaux	1,2%	Verre	12,4%
Résine acrylique	0,9%	Silicium	0,7%		
PET (Polyéthylène téréphtalate)	0,7%	Aluminium	0,2%		
<b>Total :</b>	<b>6,0%</b>	<b>Total :</b>	<b>3,9%</b>	<b>Total :</b>	<b>90,1%</b>

Les emballages de ces matières premières sont pris en compte (palette bois, carton, fut métallique).

## **Résumé du processus industriel de fabrication de l'équipement :**

La fabrication du système a lieu dans l'usine de production des supports terre cuite. En plus des matières premières indiquées ci-dessus, la fabrication du système utilise un consommable, de l'éthanol, pour le nettoyage du module photovoltaïque avant collage. L'étape de fabrication du système utilise également de l'énergie, sous forme d'électricité du réseau 230 VAC.

Le modèle énergétique de l'électricité est celui de la France métropolitaine. La production et le traitement des déchets de production, ainsi que des emballages et les émissions liées à l'étape de fabrication ont été pris en compte. Le transport des déchets jusqu'au centre de gestion des déchets est considéré. Le système intègre des composants qui sont approvisionnés et joints au système sans transformation.

Il s'agit :

- de l'onduleur pour une puissance de 300 W correspondant à la puissance photovoltaïque du système
- du câble DC qui connecte la dernière tuile PV de la série avec l'onduleur (« câble retour »)
- du câble AC qui relie l'onduleur et le boîtier AC
- du boîtier AC de connexion au réseau électrique. Le transport jusqu'au centre de fabrication est pris en compte. Les emballages des composants onduleur et boîtier AC sont pris en compte et sont réutilisés dans l'emballage de ces mêmes composants dans le système fini.

L'emballage des câbles DC et AC (tours bois) sont traités et pris en compte dans les déchets de cette étape de fabrication. L'emballage du système complet est constitué d'une palette bois avec des cartons de séparation (2,5 kg) entre les tuiles, les emballages de l'onduleur et du boîtier AC et un film polyéthylène.

### **- Installation**

Le produit Tuile ALPHA SOLAIRE est un système constitué de tous les éléments nécessaires à :

- l'étanchéité de 2 m<sup>2</sup> de toiture
- la production d'électricité photovoltaïque avec une puissance installée de 300 Wc / 2m<sup>2</sup>
- la conversion DC / AC de l'électricité produite
- et le raccordement au secteur AC 230V.

L'installation consiste en :

- la pose et l'interconnexion (mise en série) en toiture de 10 tuiles photovoltaïques
- la pose du micro-onduleur en sous-toiture

- le raccordement par un câble DC de la série de 10 tuiles au micro-onduleur
- la pose du boîtier AC de connexion du câble AC au réseau électrique 230 VAC
- le raccordement par un câble AC du micro-onduleur au boîtier AC de connexion au réseau.

Aucun outil spécifique au système Tuile ALPHA SOLAIRE n'est nécessaire pour cette installation. Un monte-tuile est néanmoins souvent utilisé : sa consommation d'énergie est comptabilisée.

#### **- Potentiel de valorisation**

##### Déconstruction du système :

La déconstruction du produit Système Tuile ALPHA SOLAIRE consiste à déposer le système en toiture, le boîtier et les câbles. Un monte-tuile peut être utilisé : sa consommation d'énergie est comptabilisée. Aucun autre impact environnemental n'intervient dans cette phase.

##### Transport du système déconstruit :

La masse totale du système désinstallé est de 108,1 kg. Tous les transports de fin de vie ont été pris en compte :

- La tuile photovoltaïque est collectée et ramenée au site de fabrication pour déconstruction. La distance de collecte des tuiles photovoltaïques est la même que la distance de distribution, soit 200 km (quart sud-est de la France).
- Après déconstruction, le support terre cuite est recyclé sur place et n'est plus transporté. Le module photovoltaïque est transporté vers la filière de recyclage des modules PV opérée par PVCYCLE près de Marseille. La distance de transport est de 300 km.
- L'onduleur, le boîtier AC et les câbles DC et AC sont transportés vers le centre local de collecte des déchets.

##### Traitement des déchets :

La tuile photovoltaïque constituée de deux supports terre cuite et d'un module PV assemblés par collage est déconstruite mécaniquement. Cette déconstruction est réalisée sur le même site que la fabrication du système. Le support terre cuite est broyé pour être réutilisé localement, sans transport. Le module photovoltaïque est transporté jusqu'au centre de traitement des modules PV de PVCYCLE. Le module est tout d'abord broyé puis les différents composants sont séparés par criblage pour leur recyclage.



### Élimination des déchets :

**La terre cuite** est recyclée : après broyage, elle est utilisée par IMERYS Toiture sur le site de déconstruction en matériau d'aménagement de voirie dans ses propres carrières d'argile. La terre cuite intervient pour 84 kg, soit 76,58 % de la masse du système en fin de vie.

**Le module PV et la colle** qui lui reste attachée est traité par broyage et criblage pour la séparation des différentes matières représente 19,2 kg soit 16,6 % de la masse du système en fin de vie. 85% des matières du module sont recyclés en matière, 10% valorisées en énergie et 5% sont des déchets non valorisables qui sont enfouis.

Les capots de protection aluminium sont totalement recyclés.

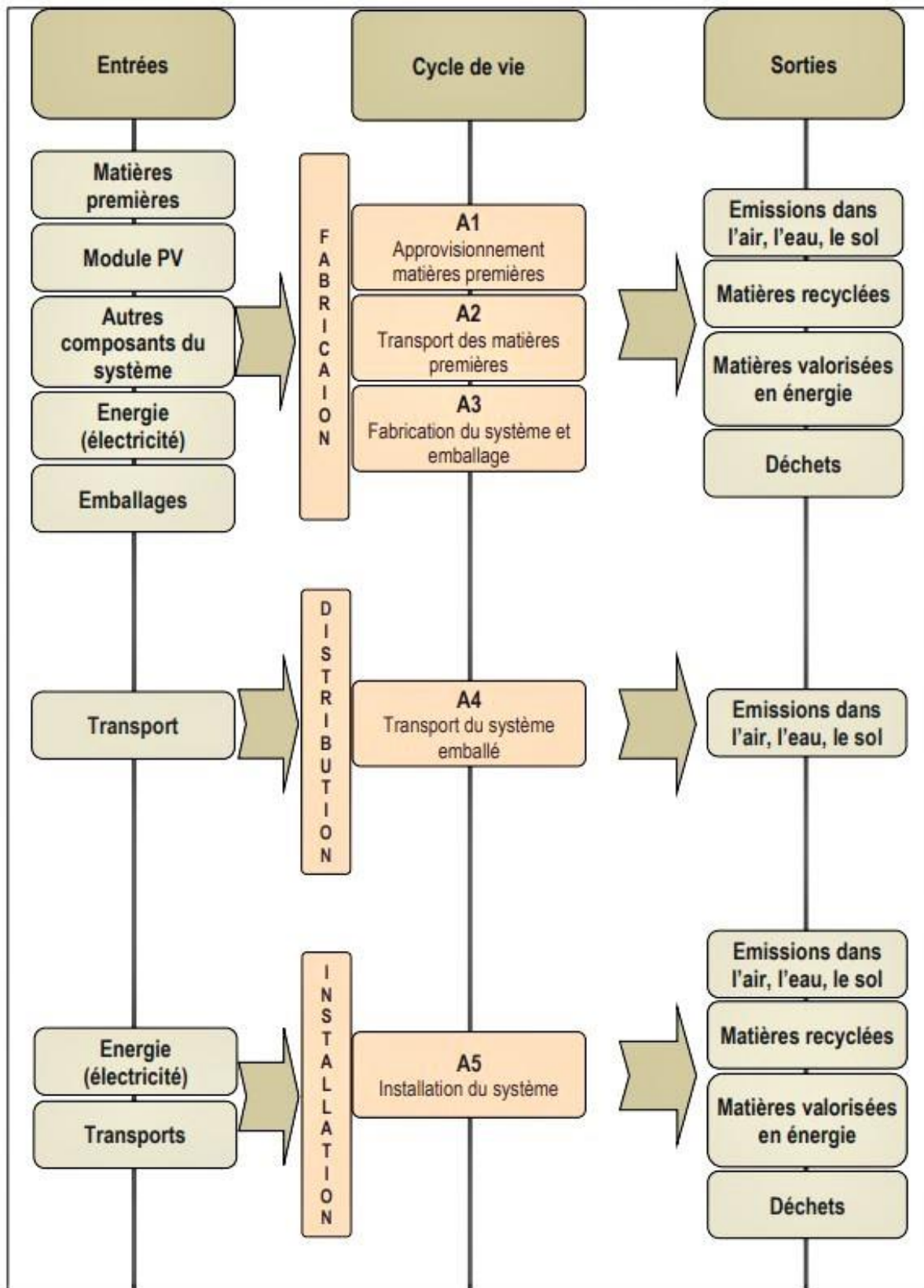
**L'onduleur** est recyclé dans la filière des déchets électriques et électroniques.

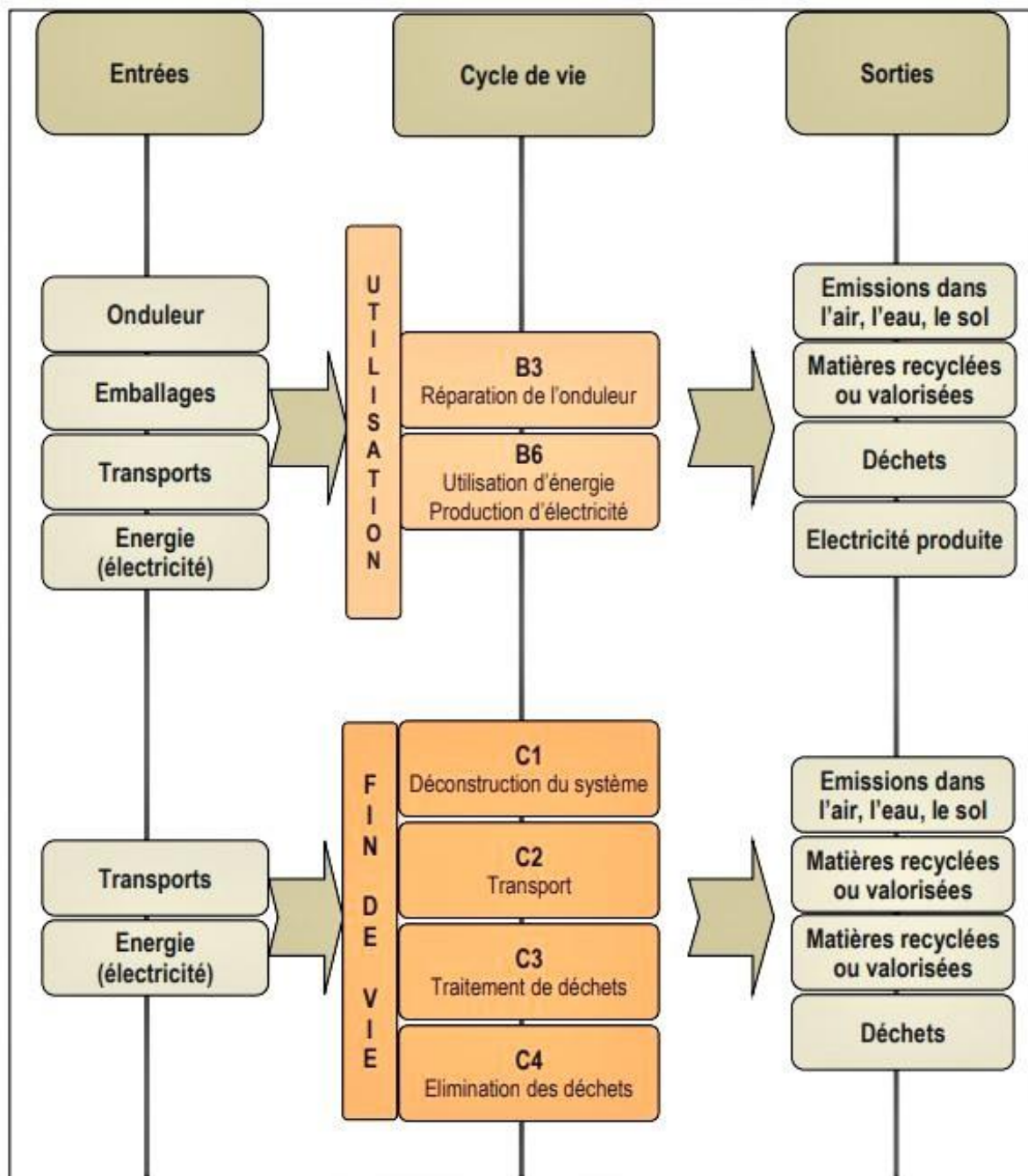
**Les câbles DC et AC** ainsi que le **boitier AC** contiennent du cuivre et du polyéthylène. Ils sont recyclés par broyage et criblage. Le cuivre est totalement recyclé en matière. Le polyéthylène est recyclé en valorisation matière pour 50%, en valorisation énergie pour 50%.

Sur la masse du produit nu	<b>Total</b>	<b>108,1 kg / UF</b>	<b>% dans le système complet</b>
<b>Part du produit recyclée</b>	Terre cuite	84,00 kg / UF	77,7 %
	Module PV	15,45 kg / UF	14,3 %
	Capots aluminium	0,20 kg / UF	0,2 %
	Onduleur	1,67 kg / UF	1,5 %
	boitier et câbles	2,13 kg / UF	2,0 %
	<b>Total</b>	<b>kg / UF</b>	<b>95,7 %</b>
<b>Part du produit valorisée énergétiquement</b>	Module PV	1,82 kg / UF	1,7 %
	boitier et câbles	0,91 kg / UF	0,8 %
	<b>Total</b>	<b>kg / UF</b>	<b>2,5 %</b>
<b>Part du produit incinérée ou enfouie</b>	Module PV	0,91 kg / UF	0,8 %
	colle	1,00 kg / UF	0,9 %
	<b>Total</b>	<b>kg / UF</b>	<b>1,7 %</b>

Source : INIES | Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment (base-inies.fr)

- Schéma illustré du cycle de vie du matériau





Source : INIES | Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment (base-inies.fr)

À savoir : l'Analyse du Cycle de Vie sur laquelle repose le Profil Environnemental Produit (PEP) se fait en respect des critères du PCR- ed3-FR-2015 04 02 du Programme PEP ecopassport®. L'unité fonctionnelle et les scénarios de fabrication, distribution, installation, utilisation et de fin de vie sont conformes aux hypothèses fixées dans le « document de l'Agence Internationale de l'Energie concernant les ACV de systèmes photovoltaïques ».



## - Données complémentaires significatives

### Mise en œuvre :

La mise en œuvre du procédé doit être assurée par un installateur ayant été formé soit par la société Captelia, soit par la société Imerys. Pour la mise en place d'un champ photovoltaïque, l'installateur doit disposer des compétences suivantes :

- pour la partie **couverture** :

- compétences en charpente et en couverture pour la pose de tuiles

- habilitation au travail en hauteur

- habilitation électrique BP, au sens de la publication UTE C 18-510 ou équivalente, pour le raccordement des modules entre eux et/ou au micro onduleur.

Ou la qualification Quali-PV module Bat

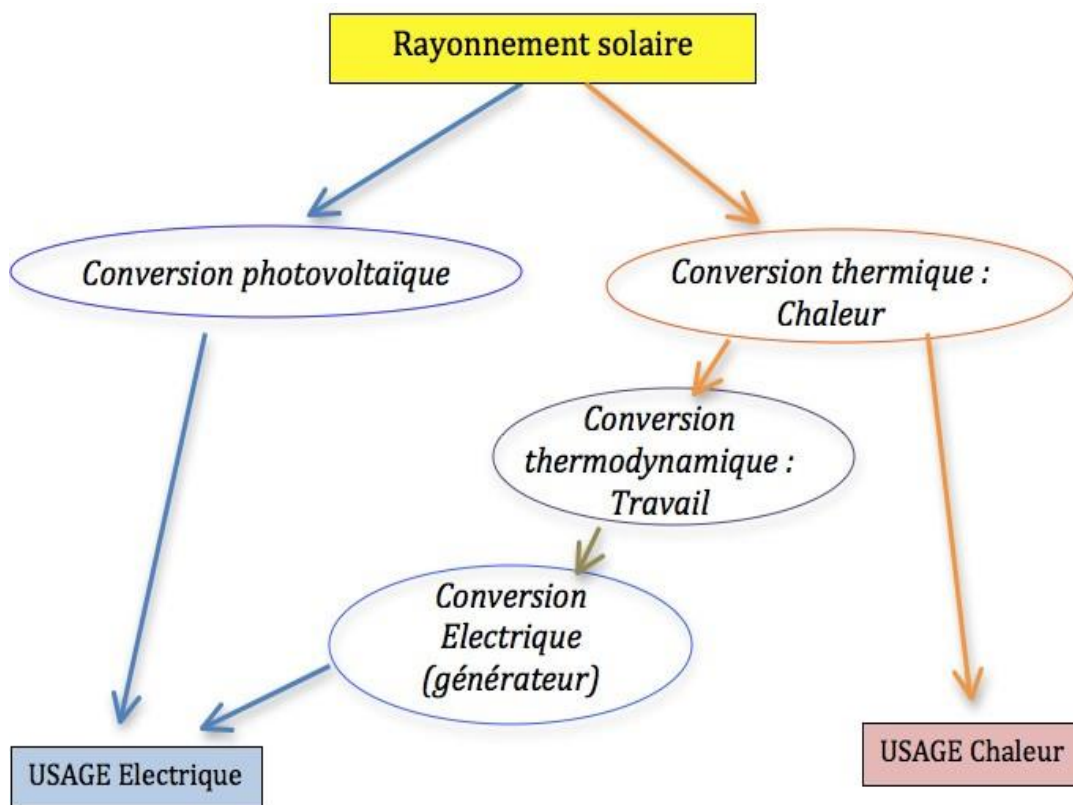
- pour les **raccordements électriques** :

- compétences électriques pour la connexion et la mise en marche du champ photovoltaïque avec les organes de sécurité définis dans les guides UTE C 15 712 en vigueur,

- habilitation BR / BRP au sens de la publication UTE C 18-510 ou équivalente.

Ou la qualification Quali-PV module Elec

### Un autre usage du rayonnement solaire :



**- Qualité d'usage**



Utilisation des tuiles photovoltaïques d'IMERYS Toiture – 36 tuiles produisant 1080 Xc.



Ici, l'entreprise Invisible SOLAR a réfléchi à l'impact visuel proche mais également lointain à l'échelle du paysage en intégrant totalement (volumes, matériaux, couleurs) les installations photovoltaïques dans leur contexte.



## ALTERNATIVE #02 :

# LES PANNEAUX THERMIQUES

### - Nom de l'équipement

Capteur solaire thermique, UNICLIMA

Capteur solaire thermique de 2,16 m<sup>2</sup> Ariston Thermo Group : Chappée, De Dietrich, Oertli, Bosch, Daikin, Eklor, Vaillant, Saunier Duval, Viessmann, Uniclisma

### - Applications dans le bâtiment

Les panneaux solaires thermiques ou "chauffe-eaux solaires individuels" servent à produire de l'eau chaude sanitaire et de l'eau chaude pour le système de chauffage. Ces panneaux permettent réduire les dépenses en énergie. Les panneaux solaires thermiques ont aujourd'hui un rendement supérieur à 80 %, contre 60% pour des panneaux photovoltaïques. Cela signifie que la perte d'énergie est faible. Comme son nom l'indique, la technologie solaire thermique est utilisée pour collecter la lumière du soleil et la transformer en chaleur qui est stockée puis transformée en électricité. Les panneaux solaires, quant à eux, utilisent la technologie photovoltaïque pour capter les rayons du soleil et convertir directement la lumière du soleil en électricité.

La principale utilisation de cette technologie est dans les bâtiments résidentiels où la demande d'eau chaude a un impact important sur les factures d'énergie. Cela signifie généralement une situation avec une famille nombreuse, ou une situation dans laquelle la demande en eau chaude est excessive en raison du lavage fréquent du linge. Les applications commerciales comprennent les laveries automatiques, les lave-autos, les buanderies militaires et les établissements de restauration. La technologie peut également être utilisée pour le chauffage des locaux si le bâtiment est situé hors réseau ou si le réseau électrique public est soumis à de fréquentes pannes. Les systèmes de chauffage solaire de l'eau sont plus susceptibles d'être rentables pour les installations avec des systèmes de chauffage de l'eau qui sont coûteux à exploiter, ou avec des opérations telles que les blanchisseries ou les cuisines qui nécessitent de grandes quantités d'eau chaude.



Capteurs solaires à plaques plates

## - Composition de l'équipement ou de la machine

Matières constitutives	Métaux		Plastiques		Autres	
	Aluminium	29,7%	Silicone	1,1%	Bois	26,3%
	Acier	11,4%	SMC	1,8%	Verre	20,9%
	Cuivre	3,2%	PELD	0,4%	Laine de roche	3,3%
			Polyester	0,3%	Carton	1,0%
			PVC	0,1%	Papier	0,1%
			EPDM	0,4%		
			EPS	0,2%		
			PA66	0,1%		
	<b>Total</b>	<b>44,27%</b>	<b>Total</b>	<b>4,14%</b>	<b>Total</b>	<b>51,58%</b>

Surface : 2,16m<sup>2</sup>

La masse totale du produit : 84,95 kg

(dont 60,93 kg de capteur solaire thermique et 24,03 kg d'emballage).

## - Puissance de l'équipement (en Watt)

Une installation solaire produit en moyenne entre 500 et 700 kWh/m<sup>2</sup>/an, soit l'équivalent de 50 à 70 L de pétrole « jaune » par an et par m<sup>2</sup> de panneaux solaires installés

## - Fonctionnement et composants

Les capteurs à plaques plates sont la technologie solaire thermique la plus répandue en Europe. Ils se composent d'une enceinte contenant une plaque absorbante de couleur foncée avec des passages de circulation de fluide, et un couvercle transparent pour permettre la transmission de l'énergie solaire dans l'enceinte. Les côtés et l'arrière de l'enceinte sont généralement isolés pour réduire les pertes de chaleur dans l'environnement. Un fluide de transfert de chaleur circule à travers les passages de fluide de l'absorbeur pour évacuer la chaleur du capteur solaire.

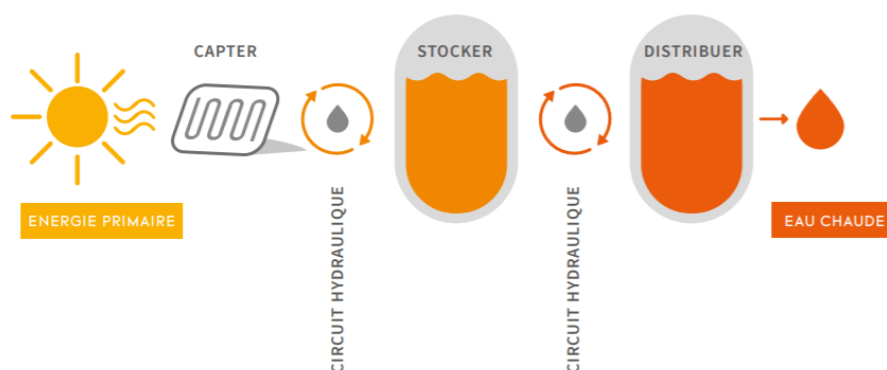


Illustration fonctionnement, illustration de l'ADEME

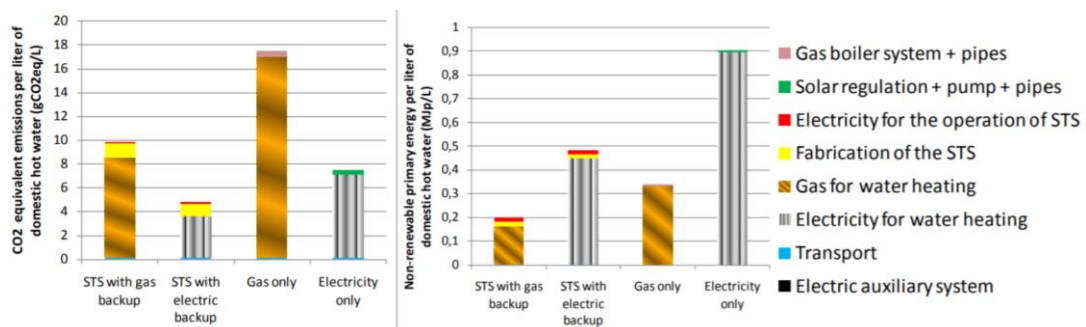
## - Émission de CO2

### Panneaux solaires thermiques :

- . Produits durant la fabrication : 2.09 E + 2
- . Produits durant la distribution : 9.71 E +0
- . Produits durant l'installation : 7.91 E -1
- . Produits en fonctionnement : aucune émission
- . Produits en fin de vie : 3 .39 E -1

### Panneaux photovoltaïques :

- . Produits durant la fabrication : 1.93 E + 02
- . Produits durant la distribution : 5.05 E +00
- . Produits durant l'installation : 7.84 E -01
- . Produits en fonctionnement : aucune émission
- . Produits en fin de vie : 5.08 E +00



Les transports (de matériaux vers l'usine de fabrication, ainsi que des produits au lieu d'installation) jouent un rôle mineur dans les émissions de carbone. Pour les panneaux solaires thermiques, c'est l'aluminium (principalement pour le cadre) qui provoque la plupart des impacts environnementaux.

## - Origine

Les capteurs sont fabriqués en Europe, la distribution, l'installation, l'utilisation et la fin de vie se réalisent en France.

## - Mode de production

Un transport en amont de la fabrication par camion sur 3500km doit être considéré. Le capteur solaire thermique type est fabriqué en Europe.

Le capteur solaire thermique type est distribué en France par camion.



### - Durée de vie estimée (en années)

Garantie de 50 ans soit le double d'un panneau photovoltaïque.

Les panneaux solaires thermiques nécessitent très peu d'entretien et de maintenance. Une fois l'investissement initial réalisé, le chauffage solaire constitue donc la technologie la moins chère en termes de coûts de fonctionnement. Ils dépendent néanmoins de la météo, l'eau qui passe dans les tuyaux est en effet chauffée par l'énergie du soleil. Comme pour le panneau photovoltaïque, un mauvais temps avec des nuages, des chutes de neige peuvent être autant de raisons qui vont diminuer l'efficacité du panneau solaire thermique.

### - Déchets

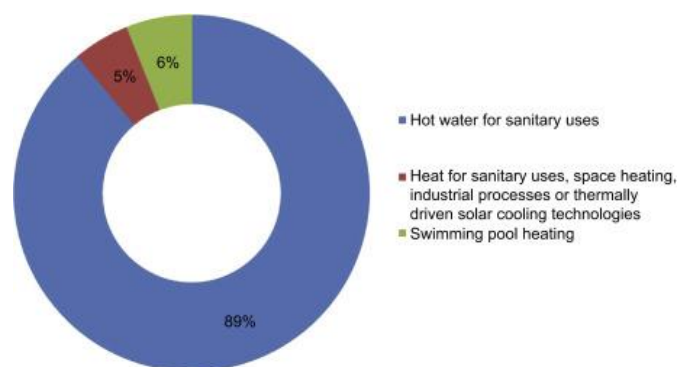
L'installation du produit génère des emballages dont le traitement a été modélisé avec une collecte des déchets sur 100 km et un scénario de fin de vie pour le carton et le bois : 89% recyclé, 8% incinéré avec valorisation énergétique, 1,5% incinéré sans valorisation, 1,5% enfoui et pour le plastique et autres : 21% recyclé, 32% incinéré avec valorisation énergétique, 23,5% incinéré sans valorisation, 23,5% enfoui.

### - Potentiel de valorisation

Les panneaux solaires thermiques sont recyclables. En effet, les métaux peuvent être recyclés à hauteur de 95%, le verre est lui aussi recyclé dans les mêmes proportions, les plastiques et autres composants sont quant à eux incinérés ou enfouies, 100%. Les différents constituants des capteurs solaires peuvent être séparés et remplacés ou retirer des composants pour un recyclage facile des métaux de base, garantissant ainsi cela offre une plus longue durée de vie au produit et un recyclage plus facile.

Les panneaux solaires sont eux recyclable en fin de vie. Ils sont compliqués à recycler. Il faut utiliser des acides et chauffer à haute température les matériaux. Certains sont dangereux, et assemblés avec des adhésifs et des scellants qui rendent leur rupture difficile.

### - Données complémentaires significatives

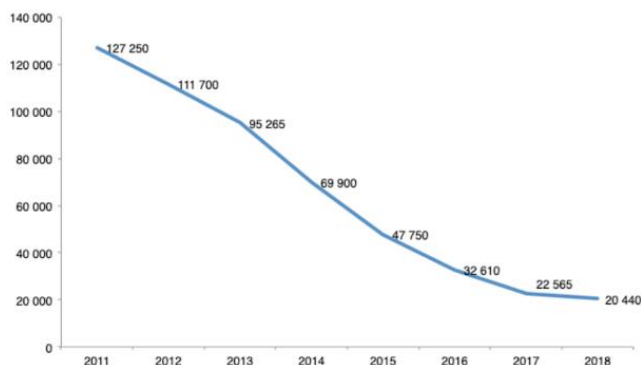


Les usages

Fortement développées en France depuis les années 1980, les installations de production d'eau chaude sanitaire à partir de capteurs solaires (dites « installations solaires thermiques») représentent en 2016 plus de 2 millions de m<sup>2</sup> installés en France.

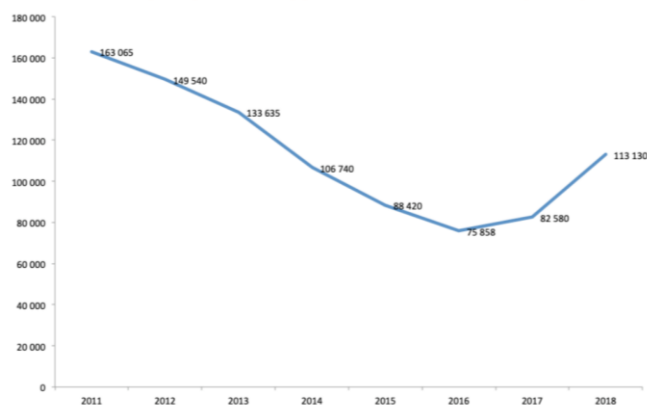
## Les chiffres du marché métropolitain

Activité des applications pour particuliers depuis 2011 (CESI + SSC) en m<sup>2</sup>

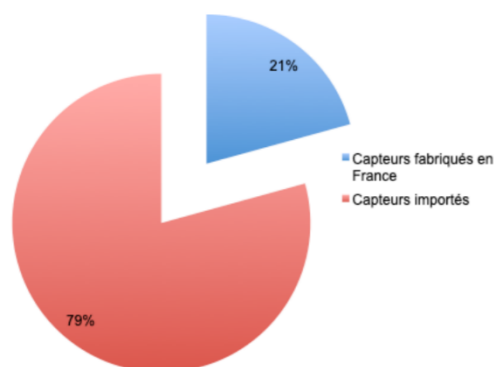


- En 7 ans, les ventes du segment solaire thermique pour particuliers en métropole se sont contractées de 84 %.

## Evolution du marché français (métropole et Drom) des surfaces de capteurs solaires thermiques pour des applications individuelles (en m<sup>2</sup>)



Dans son ensemble, le marché solaire thermique individuel français est reparti à la hausse depuis 2017. Ce mouvement porté par l'activité des Drom qui a progressé en moyenne de 46 % au cours des deux dernières années.



Près de 80 % des capteurs installés en 2018 en métropole ont été importés. Le principal site de production de capteurs solaire thermique en France est celui de Viessmann à Faulquemont, en Moselle.

- Liens de vidéos ou images illustration :

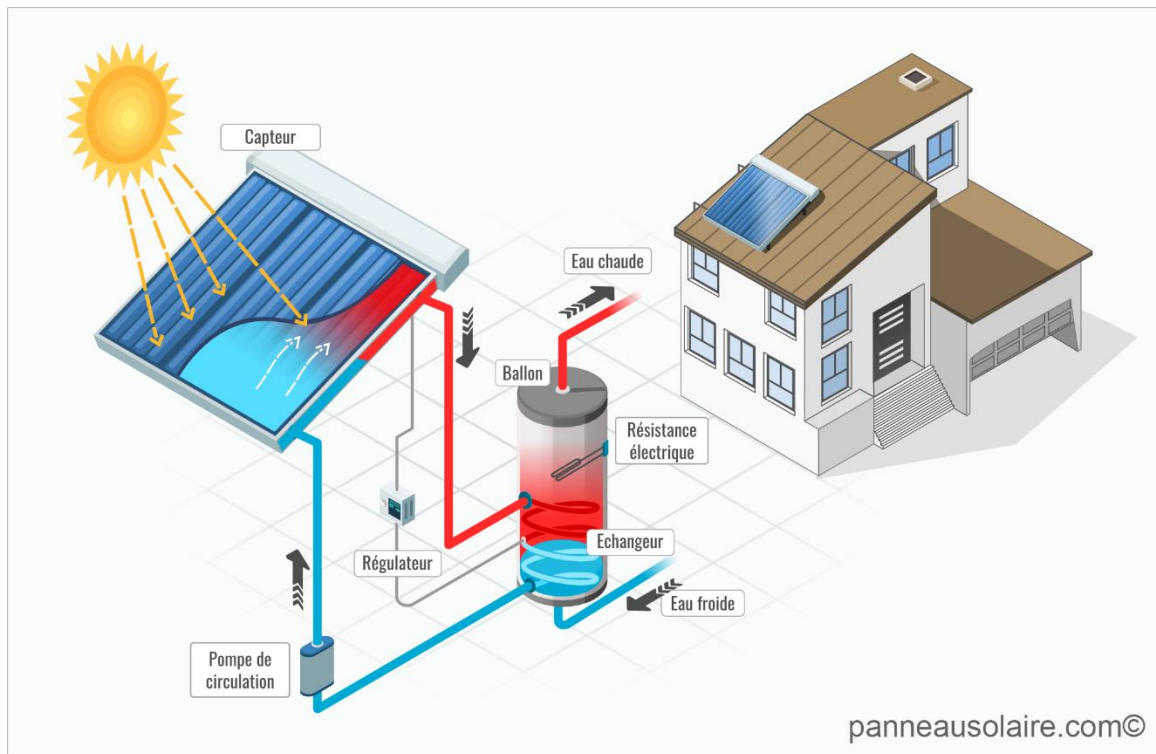


Illustration fonctionnement

- <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/etudes/Observ-ER-Etude-2019-marche-solaire-thermique-2018-20190712-1.pdf>

- <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/journal-enr-solaire-thermique-octobre-2019.pdf>