

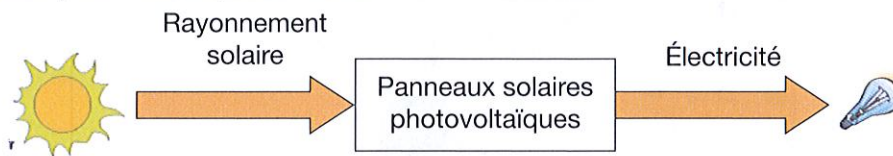
Comment utiliser l'énergie solaire photovoltaïque ?

12
Leçon

Situation : Comment exploiter l'énergie solaire ? Comment fonctionne une installation solaire photovoltaïque ?
À l'issue de la leçon, vous serez capable d'identifier, en présence des documents techniques d'une installation solaire photovoltaïque, ses différents constituants.

Référentiel :
Savoirs abordés : S1-10
Production de l'énergie
Compétences développées : C1-3

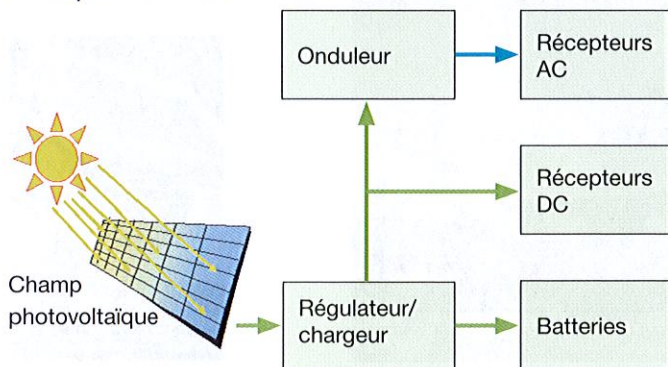
Principe de l'énergie solaire photovoltaïque : Transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.



1 LES DIFFÉRENTES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

1.1 Les installations sur site isolé

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant pas être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être **directement consommée et/ou stockée** dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.



En vert : énergie électrique continue
En bleu : énergie électrique alternative

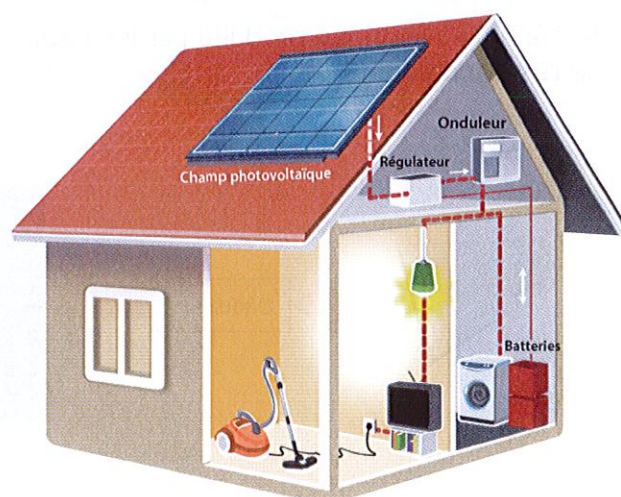
Les **panneaux photovoltaïques** produisent un courant électrique continu.

Le **régulateur** optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

L'**onduleur** transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les **récepteurs AC**.

Les **batteries** sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

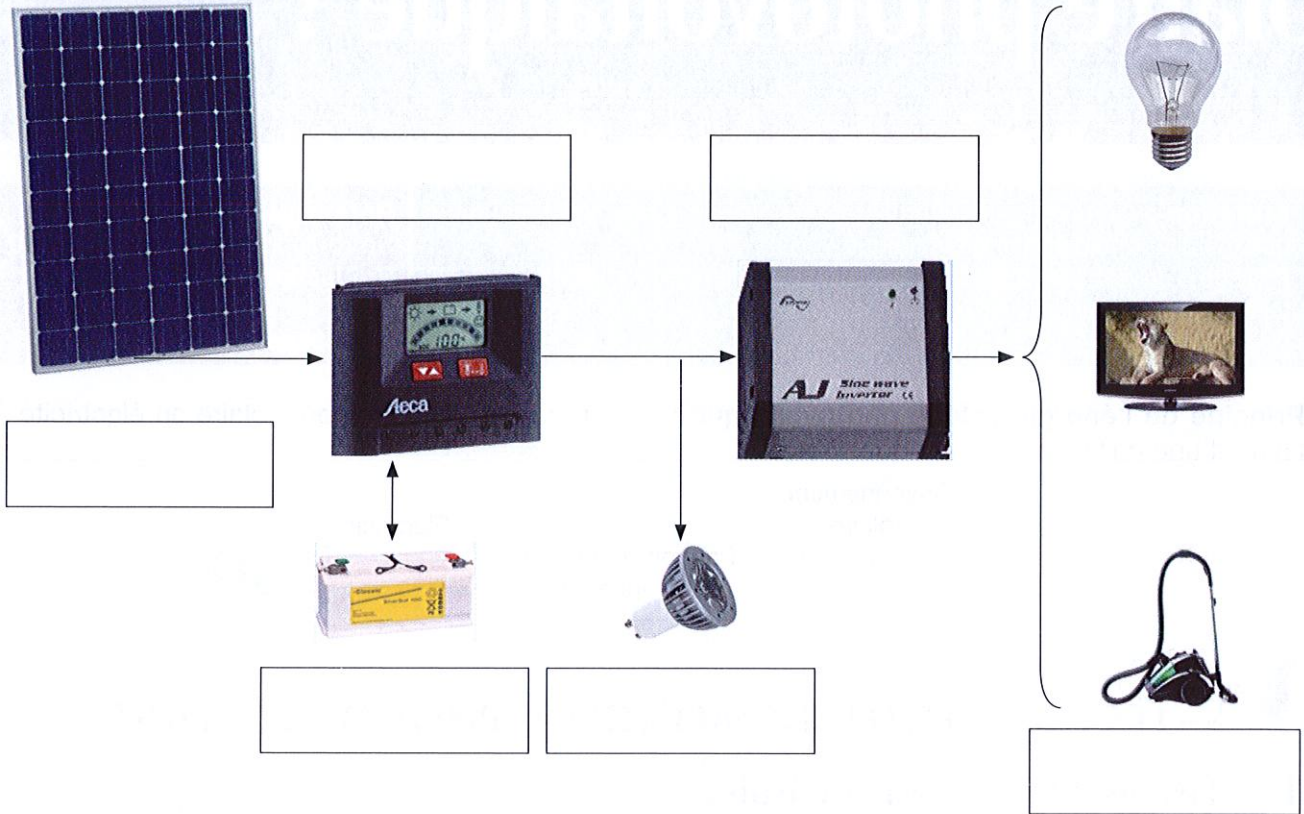
Des **récepteurs DC** spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.



Application

Surligner en **vert** le trajet du courant continu.
Surligner en **bleu** le trajet du courant alternatif.

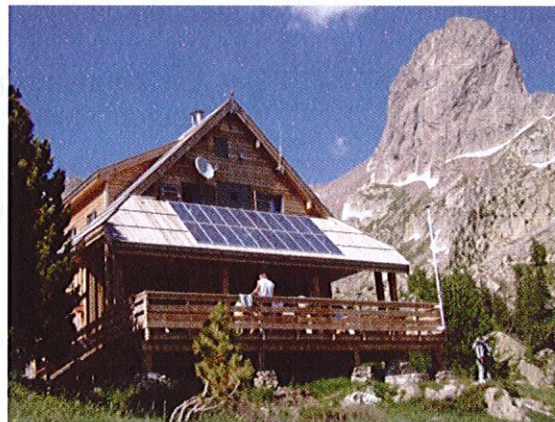
Application : Retrouver les différents éléments constituant l'installation photovoltaïque et donner leurs noms. Surligner en **vert** le trajet du courant continu, en **bleu** le trajet du courant alternatif.



Exemples d'utilisation :



Éclairage public



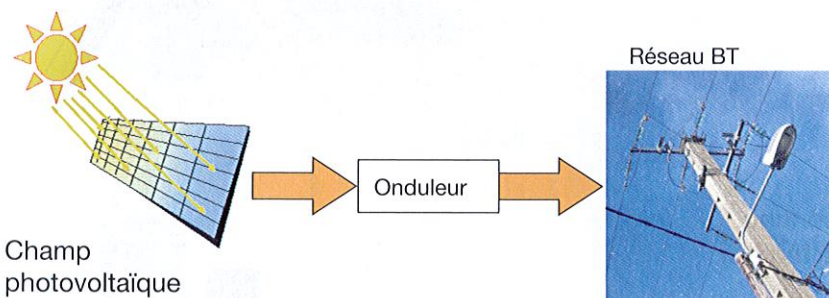
Chalet isolé



Horodateur

1.2 Les installations couplées directement au réseau

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.



L'installation dispose d'un point de branchement au réseau. L'énergie injectée au réseau est comptabilisée par un compteur de production.

Tarifs de revente de l'électricité photovoltaïque au 1^{er} janvier 2009 :

En métropole :

Tarif de base : 0,32823 €/kWh ;

Tarif capteurs en intégration : 0,60176 €/kWh

En Corse et dans les DOM-TOM :

Tarif de base : 0,43764 €/kWh,

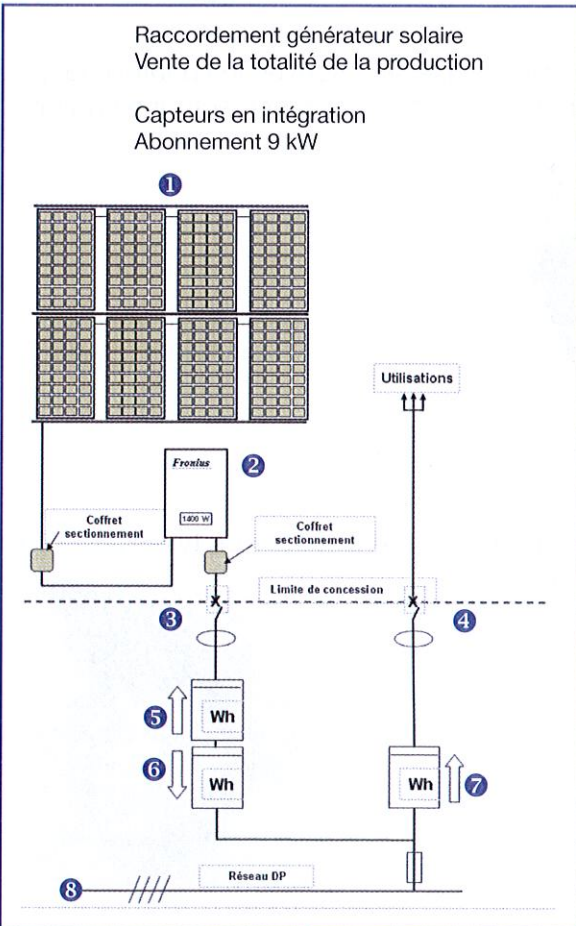
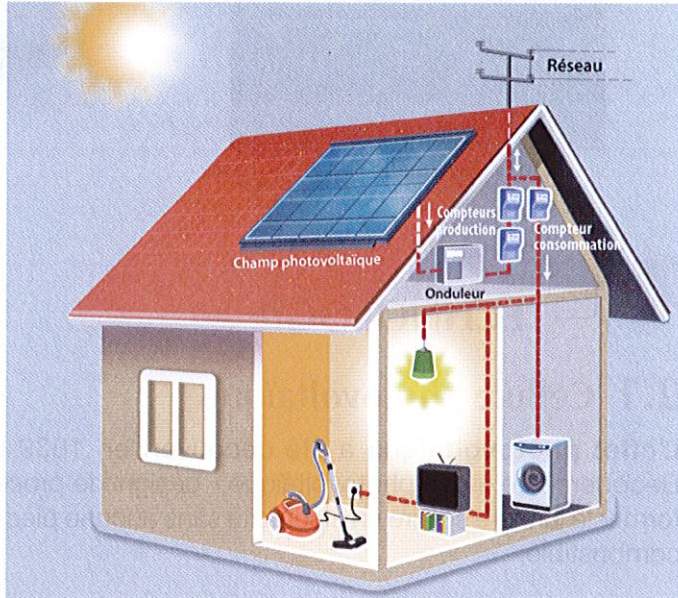
Tarif capteurs en intégration : 0,60176 €/kWh.

Remarque : ces tarifs de revente sont nettement supérieurs au prix du kWh (0,10 €).

Le poste de livraison solaire comporte deux compteurs d'énergie : un compteur pour mesurer la production photovoltaïque, un autre pour s'assurer de la non consommation d'énergie photovoltaïque par l'abonné.

Application 1 :

1. Surligner en **vert** le trajet de l'énergie produite.
2. Surligner en **bleu** le trajet de l'énergie consommée.



Application 2 : Identifier sur le schéma ci-contre :

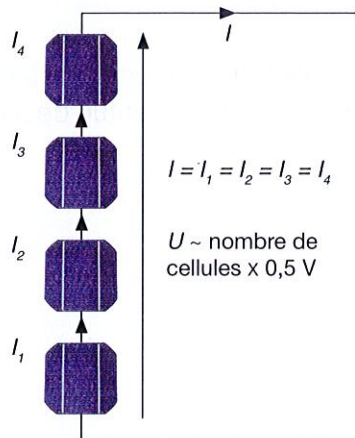
- Le champ photovoltaïque :
- L'onduleur :
- Le compteur de production :
- Le compteur de non consommation :
- Le compteur de consommation :
- Le disjoncteur d'abonné :
- Le disjoncteur de protection PV* :
- Le réseau :
- Surligner le trajet de l'énergie produite : courant continu : en **vert** ; courant alternatif : en **bleu**.
- Surligner le trajet de l'énergie consommée en **rouge**.
- Quel est le prix de revente de l'énergie produite ?
.....
- Quel est le prix d'achat de l'énergie consommée ?
.....
- Conclusion : Est-il plus intéressant de consommer l'énergie solaire produite ou de la revendre ?.....
.....

* PV = Photovoltaïque

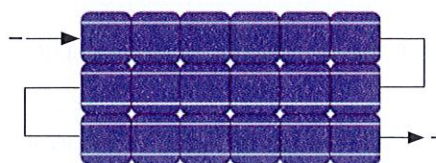
2.2 Module solaire ou panneau photovoltaïque

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour constituer un générateur plus puissant : le **module solaire** ou **panneau photovoltaïque**.

La mise en série de plusieurs cellules solaires dans un **panneau photovoltaïque** permet d'augmenter la tension fournie.

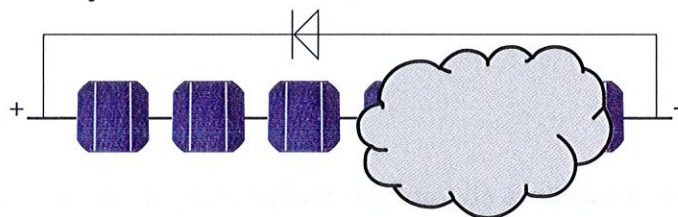


Exemple : 6 cellules placées sur 3 rangées constituent un module solaire de 18 cellules en série. La tension fournie par ce module est de $18 \times 0,5 \text{ V} \approx 9 \text{ V}$



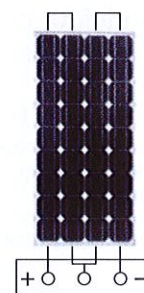
Définition du watt crête : La puissance crête d'une installation photovoltaïque est la puissance maximale délivrée par un module dans des conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement,...). Elle s'exprime en Watt crête (Wc). En première approximation, on estime qu'un module de 1 m^2 produit 100 Wc.

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et se détruire. Pour supprimer ce problème, on place des **diodes « by-pass » en anti-parallèle** sur 18 ou 24 cellules de façon à court-circuiter les cellules ombrées.



Application :

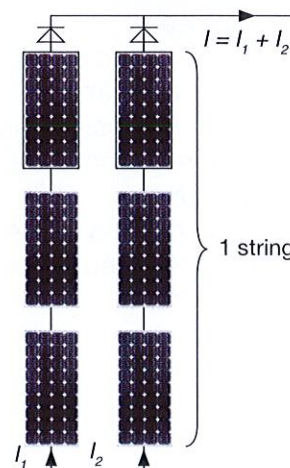
1. Combien de cellules composent ce panneau ?
3. Comment sont-elles reliées ?
4. Quelle tension y aura-t-il aux bornes du panneau ?
5. Combien de diodes by-pass faut-il placer ?
6. Placer les diodes by-pass dans le boîtier de raccordement.



2.3 Constitution d'un champ photovoltaïque

Les panneaux sont associés en série pour obtenir la tension souhaitée. Ils forment alors une **chaîne de modules** ou **string**. Les chaînes sont ensuite associées en parallèle et forment un **champ photovoltaïque** (champ PV).

Il faut également installer des diodes ou des fusibles en série sur chaque chaîne de modules. Ces protections sont utiles pour éviter qu'en cas d'ombre sur une chaîne, elle se comporte comme un récepteur et que le courant y circule en sens inverse et l'endommage.



Application : champ PV d'un particulier



1. Combien de modules NU 165 comporte cette installation ?
.....

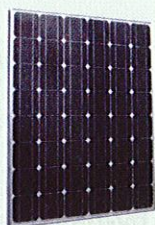
2. Quel est le nombre de cellules par module ?
.....

3. Y-a-t-il des diodes by-pass ? Combien par module ?
.....

4. Quelle est la tension au point de puissance maximal du champ PV s'il est constitué de 3 strings de 6 panneaux ?
.....

5. Quelle est l'intensité nominale du champ PV ?
.....

6. Quelle est la puissance nominale d'un module ? du champ ?
.....



**SHARP
NU 165**

- Modules photovoltaïques haute performance composés de cellules solaires en silicium monocristallin.
- Deux diodes by-pass afin de minimiser les chutes de puissance provoquées par l'ombre.
- Puissance nominale : 165 Wc
- Rendement du module : 13,7 %
- Nombre de cellules et type de connexion : 48 cellules en série
- Tension au point de puissance maximale $V_{mpp} = 23,7$ V
- Courant au point de puissance maximale $I_{mpp} = 6,9$ A

2.4 Onduleur

L'onduleur permet de **convertir le courant continu** produit par les panneaux photovoltaïques **en courant alternatif** identique à celui du réseau électrique.

Il calcule en permanence le point de fonctionnement (tension – courant) qui produit la puissance maximale à injecter au réseau : c'est la fonction MPPT (Maximum Power Point Tracker). Ce fonctionnement dépend de l'ensoleillement et la température.

Un onduleur possède un rendement supérieur à 94 %. Son remplacement est à prévoir tous les 10 ans environ.

Critères de choix :

En entrée :

- puissance maximale,
- tension maximale,
- plage de tension d'entrée,
- nombre maximal de strings raccordables.

En sortie :

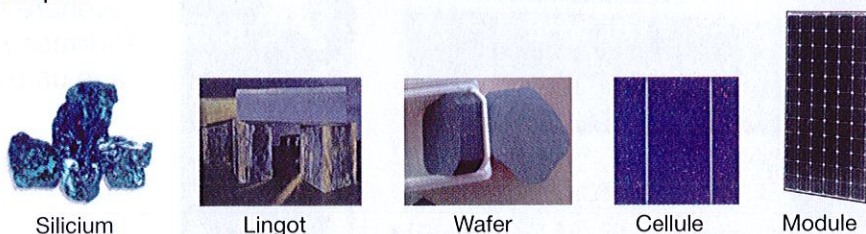
- puissance maximale et puissance nominale,
- tension et fréquence nominales,
- rendement.



2.5 Technologie des capteurs

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié pour obtenir un silicium de qualité photovoltaïque.

Il se présente alors sous forme de barres de section ronde ou carrée appelées lingots. Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur. Ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N. Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et raccordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques.



Les cellules les plus utilisées pour la production d'électricité sont les cellules à silicium polycristallin grâce à leur bon rapport qualité – prix.

Les constructeurs garantissent une durée de vie de 20 à 25 ans à 80 % de la puissance nominale.

Remarque : On estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner environ 2 à 3 ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.

Comparaison des trois principales technologies de capteurs

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<p>Très bon rendement 15 à 22 % Coût de fabrication élevé</p> <p>100 à 150 Wc/m² 7 m²/KWc 95 KWh/m²</p> <p>Élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal. Couleur bleue uniforme.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p>	<p>Bon rendement 16 % Coût de fabrication faible</p> <p>100 Wc/m² 8 m²/KWc 85 KWh/m²</p> <p>Élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p>	<p>Rendement faible 5 % Coût de fabrication très faible</p> <p>50 Wc/m² 16 m²/KWc 60 kWh/m²</p> <p>Couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Fonctionnement correct avec un éclairage faible.</p> <p>Performances diminuant avec le temps.</p>
Part de marché	43 %	47 %	10 %

3 EXERCICE : CHOIX ET AMORTISSEMENT D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE



M. et Mme Lestrade décident d'installer un système de production photovoltaïque sur leur toit pour revendre leur énergie à un fournisseur d'énergie et faire un geste écologique.

Ils habitent Biarritz (64 – Pyrénées atlantiques).

3.1 Réglementation (voir document 1)

Quelle puissance maximale est-il possible d'installer pour bénéficier d'un crédit d'impôt et d'un taux réduit de TVA ?

Comment doivent être posés les panneaux photovoltaïques pour bénéficier d'un prix de revente le plus élevé possible ?

3.2 Étude des panneaux (voir document 2)

L'installateur leur propose d'utiliser des panneaux TRF-175D. Quelle est la puissance crête maximale délivrée par ces panneaux ?

Combien de panneaux faudra-t-il installer sur le toit pour qu'ils produisent la puissance maximale permettant de bénéficier des aides ?

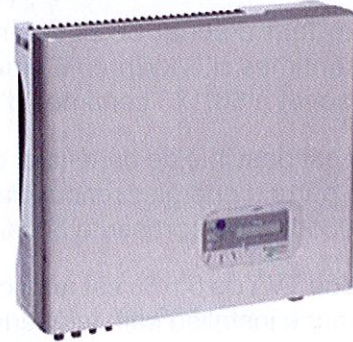
Quelle est la tension nominale aux bornes d'un panneau ?
.....

Si on les associe en série, quelle sera la tension nominale produite ?
.....

3.3 Étude de l'onduleur (voir document 3)

L'installateur souhaite utiliser un onduleur de la gamme Sunezy – Schneider Electric. Quelle référence d'onduleur faut-il choisir ? Justifier.

Quelle est la tension d'entrée maximale de l'onduleur choisi ?
.....
.....



Est-il possible d'associer cet onduleur avec les capteurs photovoltaïques branchés en série ?
.....

Comment faire ?
.....
.....

Vérifier que l'intensité produite soit acceptable par l'onduleur.
.....

3.4 Amortissement de l'installation (voir document 4)

L'installation complète revient à 19 500 € TTC (matériel 17 000 €, installation 2 500 €). Une subvention régionale de 2 000 € leur a été accordée. À combien leur revient réellement leur installation en prenant en compte le crédit d'impôt ?
.....
.....

Quelle quantité d'énergie cette installation produira-t-elle annuellement ?
.....

Combien cela rapportera-t-il à M. et Mme Lestrade ?
.....
.....

Calculer la durée d'amortissement de cet investissement.
.....

CONCLUSION : Sachant que les capteurs ont une durée de vie supérieure à 20 ans et que l'onduleur d'une valeur de 1 500 € doit être remplacé après 15 ans, l'installation de panneaux photovoltaïques est-elle rentable ? Quels avantages procure-t-elle ?
.....
.....
.....
.....

Document 1

Aides financières habitat pour la production d'électricité raccordée au réseau (janvier 2010)

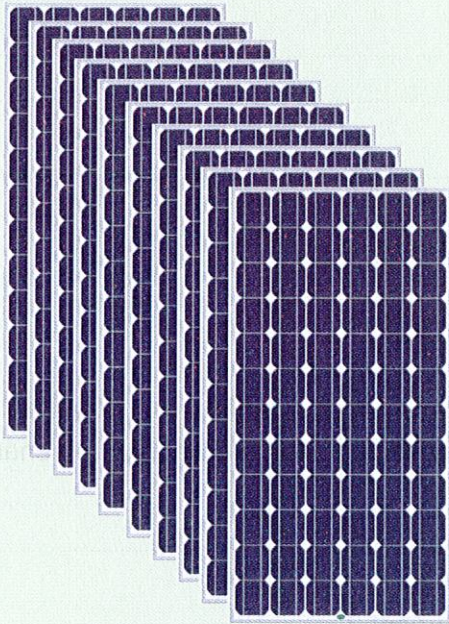
Le tarif d'achat de base est 32,823 centimes d'€/kWh en France métropolitaine et de 43,764 centimes d'€/kWh en Corse et dans les DOM. Une prime supplémentaire portant le tarif total de rachat à 60,176 centimes d'€/kWh est accordée pour les installations intégrées au bâti.

Il est possible de bénéficier d'un crédit d'impôt pour l'achat d'équipement de production électrique à partir d'énergies renouvelables. Pour le photovoltaïque, il s'applique à toute installation inférieure à 3 kWc et représente 50 % des dépenses TTC (hors main d'œuvre, subventions déduites).

Une TVA de 5,5 % est applicable pour l'achat du matériel et son installation à condition que la puissance installée soit inférieure à 3 kWc.

Document 2

Panneau solaire photovoltaïque TRF-175D



- Type de module : monocristallin
- Nombre de cellules : 72 (125 x 125 mm)
- Puissance crête : 175 Wc
- Intensité de court circuit (I_{cc}) : 5,51 A
- Intensité nominale : 4,8 A
- Tension en circuit ouvert (V_{oc}) : 44,2 V
- Tension nominale : 36,3 V
- Dimensions : 158 cm x 80,9 cm x 4,8 cm
- Poids : 16,5 kg
- Encadrement : cadre en aluminium anodisé
- Feuille de EVA (Éthylène Vinyle Acétate), verre trempé 4 mm d'épaisseur (glace de grande qualité) parfaitement transparent
- Film TPT (Tedlar/Polyester/Tedlar)
- Température de travail : - 40 °C a 85 °C
- Panneaux solaires avec certificats TUV, IEC 61215 & IEC 61730
- Durée de vie : 25 ans minimum, matériel garanti 5 ans

Document 3

Onduleurs SunEzy

Onduleurs	SunEzy 2000	SunEzy 2800	SunEzy 4000
Références	PVSNV12000	PVSNV12800	PVSNV14000
Caractéristiques d'entrée (CC)			
Puissance maximale du générateur photovoltaïque ¹⁾	2300 Wc	3200 Wc	4600 Wc
Plage de tension MPP ²⁾	150 V à 450 V	150 V à 450 V	150 V à 450 V
Tension maximale à vide	450 V	500 V	450 V
Courant maximal	10 A	13 A	20 A
Raccordement sur connecteurs MC3 Multi-contact ³⁾	1 paire	1 paire	2 paires
Caractéristiques de sortie (CA)			
Puissance nominale	2000 W	2800 W	4000 W
Puissance maximale	2200 W	3000 W	4400 W
Tension nominale	230 V	230 V	230 V
Tension mini (paramétrage par défaut)	198 V	198 V	198 V
Autres paramétrages possibles de la tension mini	180 V à 251 V	180 V à 251 V	180 V à 251 V
Tension maxi (paramétrage par défaut)	251 V	251 V	251 V
Autres paramétrages possibles de la tension maxi	198 V à 300 V	198 V à 300 V	198 V à 300 V
Fréquence nominale	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Fréquence mini (paramétrage par défaut)	49,81 Hz	49,81 Hz	49,81 Hz
Autres paramétrages possibles de la fréquence mini	48 Hz à 52 Hz	48 Hz à 52 Hz	48 Hz à 52 Hz
Fréquence maxi (paramétrage par défaut)	50,19 Hz	50,19 Hz	50,19 Hz
Autres paramétrages possibles de la fréquence maxi	48 Hz à 52 Hz	48 Hz à 52 Hz	48 Hz à 52 Hz
Courant nominal	8,7 A	12,2 A	17,4 A
Courant maximal	10 A	14,2 A	20 A
Facteur de puissance	~1	~1	~1
Facteur de distorsion	<3 %	<3 %	<3 %

Document 4

Gisement solaire en France

