

*Physique chimie première S*  
Énergies renouvelable

Objectif d'apprentissage	Contenus	Observations
<p>L'apprenant doit être capable de (d') :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expliquer le principe de fonctionnement d'une centrale éolienne</li> <li>• Justifier, dans le cas d'une centrale éolienne, la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique</li> <li>• Identifier les avantages et les limites de l'utilisation d'éolienne</li> </ul>	<p><b>Energie éolienne</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principe de fonctionnement d'une centrale éolienne</li> <li>• Energie cinétique du vent, puissance théorique et puissance récupérable</li> <li>• Les avantages et les limites de l'utilisation d'éolienne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmer une recherche documentaire, une sortie pédagogique si possible ou faire analyser des documents fournis par le professeur ;</li> <li>• Faire remarquer que dans le cas d'une centrale éolienne, l'énergie cinétique du vent est transformée en énergie électrique ;</li> <li>• Montrer que l'énergie cinétique du vent est proportionnelle à la surface <math>S</math> balayée par les pales et au cube de la vitesse <math>v</math> du vent ;</li> <li>• Montrer que la puissance théorique de l'éolienne est proportionnelle à <math>S</math> et <math>v^3</math> : <math display="block">P_{théorique} = \frac{1}{2} \rho S v^3</math> <p><math>\rho</math> : masse volumique de l'air</p> </li> <li>• Souligner que la puissance récupérable est <math>\frac{16}{27}</math> fois de la puissance théorique selon la loi de Betz <math display="block">P_{récupérable} = \frac{16}{27} P_{théorique}</math> </li> <li>• Faire remarquer que l'éolienne ne produit pas de gaz à effet de serre ;</li> </ul>
<p>L'apprenant doit être capable de (d') :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expliquer le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque</li> </ul>	<p><b>Energie solaire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmer une recherche documentaire concernant le fonctionnement des panneaux solaires ;</li> <li>• Préciser que dans un panneau solaire</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Justifier la transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique</li> <li>• Montrer les intérêts et limites de l'utilisation des panneaux solaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effet photoélectrique</li> <li>• Intérêts et limites de l'utilisation des panneaux solaires</li> </ul>	<p>photovoltaïque, il y a transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique ; tandis que dans un panneau solaire thermique il y a transformation de l'énergie solaire en énergie thermique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir l'effet photoélectrique ;</li> <li>• Interpréter l'effet photoélectrique en utilisant l'hypothèse des photons d'Einstein : la lumière est de nature corpusculaire ;</li> <li>• Préciser la condition d'obtention de l'effet photoélectrique ;</li> <li>• Faire mener des enquêtes sur les caractéristiques des panneaux solaires : durée de vie, dimension et puissance, rentabilité, etc. ;</li> <li>• Parler des avantages économiques et environnementaux ;</li> <li>• Parler des limites du panneau solaire.</li> </ul>
--	---	--

## Table des matières

I.	Énergies renouvelables et non renouvelable :	4
1.	Energie renouvelable :	4
2.	Energie non renouvelable :	4
II.	Energie éolienne	5
1.	L'énergie éolienne	5
2.	Origine de l'énergie éolienne	5
3.	Aérogénérateur	5
III.	Éolienne	6
1.	Composante et caractéristiques d'une éolienne :	6
a.	Qu'est- ce qu'une éolienne	6
b.	Les composantes d'une éolienne classique	6
c.	Caractéristiques de l'éolienne classique	6
2.	Principe de fonctionnement d'une éolienne :	7
3.	Puissance théorique et puissance récupérable d'une éolienne :	8
a.	Puissance théorique d'une éolienne	8
a.	Puissance récupérable d'une éolienne	8
IV.	Avantages et limites de l'utilisation de l'éolienne	10
1.	Les intérêts de l'utilisation de l'éolienne par rapport aux énergies fossiles	10
2.	Les limites de l'utilisation de l'éolienne :	10
V.	Énergie solaire :	11
1.	Energie solaire photovoltaïque	11
2.	Energie solaire thermique	11
VI.	Panneaux solaires photovoltaïques	12
1.	Effet photoélectrique	12
a.	Photon	12
b.	Effet photoélectrique	12
c.	Bilan énergétique	12
2.	Principe de fonctionnement d'un panneau solaire	14
3.	Caractéristiques de panneau solaire photovoltaïque	15
a.	Les différents types de panneau solaire photovoltaïque :	15
b.	Tension aux bornes d'un panneau solaire photovoltaïque	15
c.	Puissance délivrée par un panneau solaire photovoltaïque	15
d.	Rendement $\eta$ d'un panneau solaire photovoltaïque	15
VII.	Les constituants d'une installation photovoltaïque	17
VIII.	Intérêts et limites de l'utilisation des panneaux solaires	18
1.	Les intérêts de l'utilisation des panneaux solaires par rapport à l'usage des énergies fossiles	18
2.	Les limites de l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïque :	18

# I. Énergies renouvelables et non renouvelable :

## 1. Energie renouvelable :

Comme son nom l'indique, il s'agit de source d'énergie qui se renouvellent et ne s'épuiseront donc jamais à l'échelle de temps humain. Elles sont issues directement de phénomènes naturels, réguliers ou constants, liés au soleil, à la terre et à la gravitation.

Source d'énergie renouvelable	Forme d'énergie renouvelable	Technologie utilisée pour avoir de l'électricité
Soleil	Energie solaire	Panneaux solaire photovoltaïque
Vent	Energie éolienne	Aérogénérateurs (éolienne)
Eau	Energie hydraulique	Central hydroélectrique

## 2. Energie non renouvelable :

Les énergies non renouvelables sont des sources d'énergie qui disparaissent quand on les utilise. Elles sont constituées de substances qui mettent des millions d'années à se reconstituer. Il existe deux familles de source d'énergie non renouvelable :

- **Les combustibles fossiles** (pétrole, charbon, gaz naturel)
- **Les combustibles fissiles** (Uranium, thorium, potassium, etc)

## II. Energie éolienne

### 1. L'énergie éolienne

L'énergie éolienne ou énergie du vent est l'énergie contenue dans les déplacements de masse d'air (le vent) dans l'atmosphère. Autrement dit, l'énergie éolienne c'est l'énergie cinétique portée par le vent.

L'énergie cinétique du vent est donnée par la relation suivante :

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2$$

$E_c$  : énergie cinétique (en joules)

$m$  : masse du volume d'air (en kg)

$V$  : vitesse instantanée du vent (m /s)

### 2. Origine de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne est dû aux rayonnements solaires qui arrivent sur terre. Ces rayonnements causent l'échauffement de l'air et la différence de pression dans certain endroit sur terre ou sur mer. Par conséquent, des masses d'air se déplacent ce qui donne le vent.

### 3. Aérogénérateur

L'énergie éolienne peut être transformée en énergie électrique par un aérogénérateur (éolien qui produit de l'électricité).

# III. Éolienne

## 1. Composante et caractéristiques d'une éolienne :

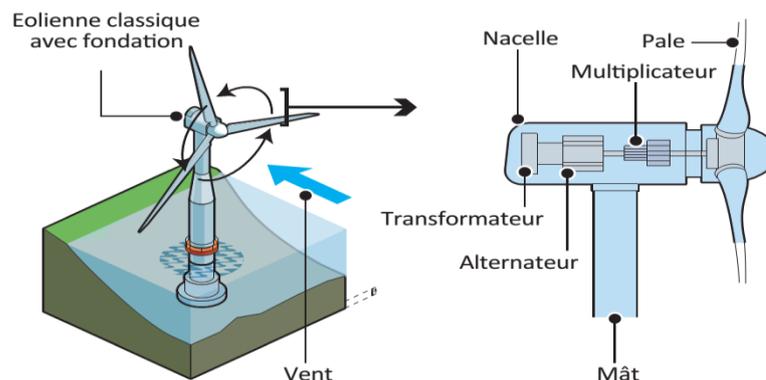
### a. Qu'est-ce qu'une éolienne

L'éolienne est un dispositif capable de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

### b. Les composantes d'une éolienne classique

Une éolienne est constituée de :

- **Rotor** : c'est la partie rotative de l'éolienne placée en hauteur afin de capter des vents forts et réguliers. Il est composé de pales (en générale 3) qui sont mises en mouvement par l'énergie cinétique du vent ;
- **Mât** : c'est la structure qui supporte la nacelle ;
- **Nacelle** : c'est la structure soutenue par le mât abritant les différents éléments mécaniques. (Multiplicateur, alternateur, transformateur )

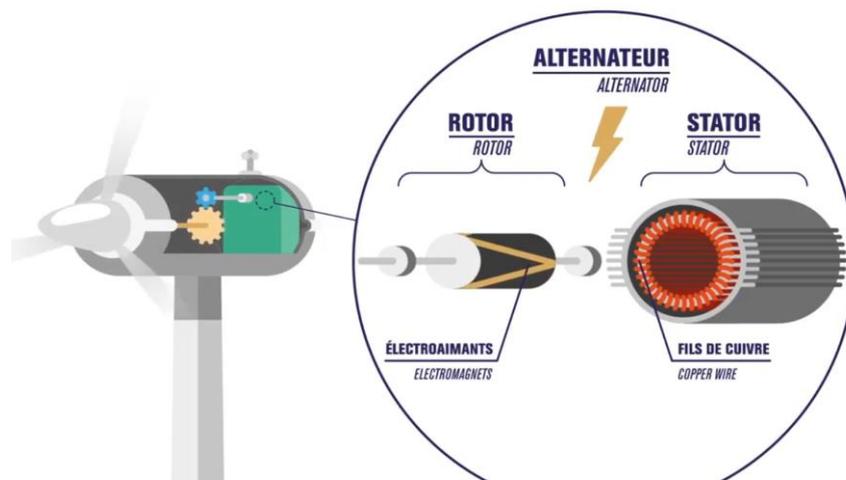


### c. Caractéristiques de l'éolienne classique

- Hauteur du mât : 85 à 150 mètres
- Dimensions des pales : entre 40 et 120 mètres
- Vitesse de rotation du rotor : 10 à 25 tours par minute
- Durée de vie : environ 20 à 30 ans
- Une éolienne peut fournir au maximum 43800 MWh par an alors qu'une centrale nucléaire produit entre 900 et 1450 MW.

## 2. Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Les éoliennes sont des appareils permettant de transformer l'énergie créée par le vent, en électricité. Des pales sont disposées autour d'un rotor (appelé aussi « moyeu »), et lorsque le vent est suffisamment fort (environ 20 km/h), elles se mettent à tourner en entraînant le rotor avec elles. Le rotor est fixé sur un axe qui se met lui aussi à tourner. Un multiplicateur permet de multiplier l'énergie mécanique créée par l'éolienne. L'énergie est alors « envoyée » vers un alternateur, qui la transforme en électricité.



### 3. Puissance théorique et puissance récupérable d'une éolienne :

#### a. Puissance théorique d'une éolienne

L'éolienne récupère l'énergie cinétique en ralentissant le vent dans l'espace déterminé par la surface de leur rotor. Il faut donc déterminer le débit d'air qui passe dans l'éolienne.

$$D_m = \rho \cdot v \cdot S$$

$D_m$ : débit massique d'air (kg/s)

$v$ : vitesse du vent (m/s)

$S$ : la surface balayée par le rotor ( $m^2$ )

$\rho$ : la masse volumique de l'air ( $kg/m^3$ ).

La masse volumique de l'air est de  $1,225 \text{ kg/m}^3$  à une pression atmosphérique normal à  $15^\circ\text{C}$

L'énergie cinétique du vent est  $E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

La puissance cinétique du vent (puissance théorique de l'éolienne) est donc

$$P_c = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \frac{m}{t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} D_m v^2 \quad \text{avec} \quad \frac{m}{t} = D_m = \rho \cdot v \cdot S$$

$$P_c = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3$$

$P_c$ : puissance théorique de l'éolienne

$v$ : vitesse du vent (m/s)

$S$ : la surface balayée par le rotor ( $m^2$ )

$\rho$ : la masse volumique de l'air ( $kg/m^3$ ).

#### a. Puissance récupérable d'une éolienne

Cette loi a été trouvée par l'allemand Albert Betz en 1919 et formulée dans son livre « Wind energy » publié en 1926. Elle démontre que les éoliennes possédant un rotor circulaire, ne peuvent convertir que  $16/27$  (ou 59%) de l'énergie mécanique produit en énergie électrique.

On ne peut pas récupérer 100 % de l'énergie mais qu'au maximum on va pouvoir récupérer 0,59 fois la puissance du vent.

Cette loi est énoncée grâce à la formule suivante :

$$P_{\text{récupérable}} = \frac{16}{27} P_{\text{théorique}}$$

$16/27 = 0,59$  noté  $C_p$  est le coefficient de puissance maximum d'une éolienne. Le  $C_p$  d'une éolienne réelle est compris entre 0 et 0,59. Ce coefficient dépend de la nature de l'éolienne.

### **Application 1 :**

Une éolienne a les caractéristiques suivantes :

- Diamètre de rotor : 100 m avec 3 pales,
- Coefficient d'efficacité  $C_p = 0,44$ .

1) Calculer la puissance captée par l'éolienne pour une vitesse de vent de 7 m/s puis pour une vitesse de vent de 10 m/s.

La masse volumique de l'air  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ .

2) Conclure. Quels paramètres faut-il prendre en compte lors du choix et de l'installation d'une éolienne ?

### **Application 2 :**

Nous souhaitons dimensionner les pales d'une éolienne à vitesse fixe pour obtenir une puissance mécanique de 750 kW pour une vitesse de vent de 13,8 m/s. On considère un coefficient de puissance  $C_p$  égal à 0,2. Quel sera la longueur de notre pale ou le rayon de la surface balayée par la turbine ?

## **IV. Avantages et limites de l'utilisation de l'éolienne**

### **1. Les intérêts de l'utilisation de l'éolienne par rapport aux énergies fossiles**

- Elle est rapide à construire ;
- L'énergie éolienne est gratuite et ne nécessite aucun carburant ;
- Elle exploite des énergies renouvelables c'est-à-dire inépuisables à l'échelle du temps humain ;
- La production d'énergie éolienne ne dégage pas des gaz de GES, ni de déchets toxiques ou radioactifs ;
- La surface en dessous des éoliennes reste exploitable ;

### **2. Les limites de l'utilisation de l'éolienne :**

L'éolienne est une source d'énergie intermittente ;

- Son coût d'investissement initial est élevé ;
- Son efficacité dépend de la topographie, de la météo et de l'environnement ;
- Le rendement en énergie est variable ;
- Elle entraîne des problèmes de bruit et d'interférence électromagnétique

## V. Énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie du soleil par son rayonnement. Elle se propage dans le système solaire et dans l'univers sous forme d'un rayon électromagnétique.

L'énergie solaire peut être transformée de deux façons : en énergie solaire photovoltaïque et énergie solaire thermique.

### 1. Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie portée par le rayonnement du soleil qui est transformée directement en électricité par les cellules photovoltaïques. Elle est exploitée par les panneaux solaires photovoltaïques.

### 2. Énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est l'énergie portée par le rayonnement du soleil qui donne de la chaleur. Elle est exploitée par les panneaux solaires thermiques. Les derniers permettent de transformer l'énergie solaire en énergie thermique.

# VI. Panneaux solaires photovoltaïques

## 1. Effet photoélectrique

### a. Photon

Le photon est la particule constitutive de tout rayonnement électromagnétique. Cette particule possède une masse nulle et se déplace à une vitesse  $c$  égale à celle de la lumière dans le vide (environ égale à  $3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Chaque photon qui appartient à un rayonnement de longueur d'onde  $\lambda$  (ou de fréquence  $\nu$ ) porte un quanta d'énergie  $E$  qui dépend de la longueur d'onde (ou de la fréquence) du rayonnement.

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$E$  : le quanta d'énergie du photon, en joule (J)

$\lambda$  : la longueur d'onde du rayonnement, en mètre (m)

$\nu$  la fréquence du rayonnement, en hertz (Hz)

$h$  la constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$c$  la vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

### b. Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau sous l'action de la lumière.

Pour un métal donné, l'effet photoélectrique se produit si l'énergie des photons de la radiation lumineuse (ou ultraviolette) est suffisante pour arracher un électron du cortège électronique du métal.

Cela signifie que la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse (ou ultraviolette) doit être inférieure à une longueur d'onde seuil  $\lambda_s$  ou que la fréquence  $\nu$  est supérieure à une fréquence seuil  $\nu_s$ .

L'énergie d'extraction correspond à l'énergie minimale nécessaire portée par le photon pour arriver à extraire un électron libre qui est proche de la surface du métal. On la note  $W_{\text{extraction}}$ .

### c. Bilan énergétique

Si l'énergie du photon est strictement supérieure à l'énergie d'extraction, la différence d'énergie est emportée sous forme d'énergie cinétique par l'électron extrait.

$$E_{c, \text{électron}} = E_{\text{photon}} - W_{\text{extraction}}$$

avec :

$E_{c, \text{électron}}$  : l'énergie cinétique de l'électron extrait, en joule (J)

$E_{\text{photon}}$  : l'énergie portée par le photon, en joule (J)

$W_{\text{extraction}}$  : l'énergie d'extraction d'un électron de la surface du métal, en joule (J)

**Application :**

Une surface métallique est éclairée par la lumière UV de longueur d'onde  $\lambda = 0.150 \mu\text{m}$ .

Elle émet des électrons dont l'énergie cinétique maximale à 4,8 eV.

a) Calculer le travail d'extraction  $W_0$

b) Quelle est la nature du métal ?

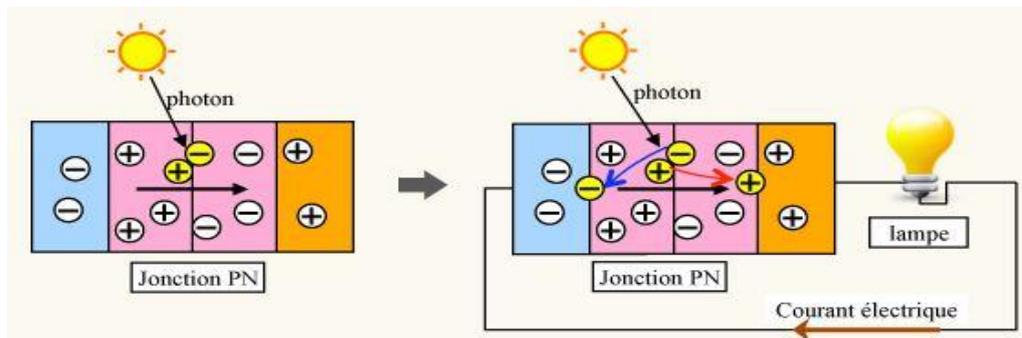
Métal	Seuil photoélectrique $\lambda_0(\mu\text{m})$
<i>Zn</i>	0.35
<i>Al</i>	0.365
<i>Na</i>	0.50
<i>K</i>	0.55
<i>Sr</i>	0.60
<i>Cs</i>	0.66

## 2. Principe de fonctionnement d'un panneau solaire

Un panneau photovoltaïque (PV) transforme directement et instantanément l'énergie solaire en électricité.

La technologie photovoltaïque (PV) exploite l'effet photovoltaïque, par lequel des semi-conducteurs correctement « dopés » génèrent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire.

Un capteur solaire photovoltaïque est constitué par des cellules photovoltaïques généralement en silicium dopé n et p.



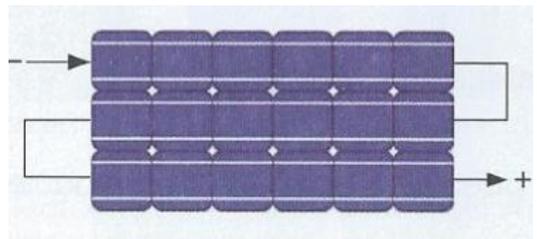
### 3. Caractéristiques de panneau solaire photovoltaïque

#### a. Les différents types de panneau solaire photovoltaïque :

- Panneau solaire photovoltaïque en silicium monocristallin
- Panneau solaire photovoltaïque en silicium poly cristallin
- Panneau solaire photovoltaïque en silicium amorphe

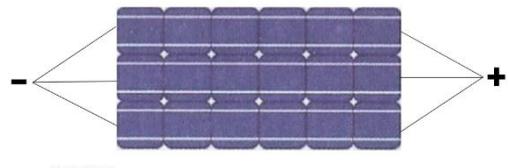
#### b. Tension aux bornes d'un panneau solaire photovoltaïque

Tension aux bornes d'un panneau solaire constituée «  $x$  » cellules branchées en série :



$U_{\text{panneau}} = x \cdot U_{\text{cellule}}$  soit nombre total de cellules multipliée par la valeur de la tension

Tension aux bornes d'un panneau solaire constitué de «  $m$  » branches montées en dérivation. Une branche est constituée de «  $y$  » cellules



$U_{\text{panneau}} = U_{\text{branche}} = y \cdot U_{\text{cellule}}$  soit nombre de cellules sur une branche multiplié par la tension

Ici il y a 3 branches ( $m=3$ ) et chaque branche est constitué de 6 ( $y=6$ ) cellules

#### c. Puissance délivrée par un panneau solaire photovoltaïque

$$P = U \cdot I$$

La **puissance crête** est la puissance maximale délivrée par un panneau dans les conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement,). Elle s'exprime en Watt crête (Wc).

#### d. Rendement $\eta$ d'un panneau solaire photovoltaïque

$$\eta = \frac{\text{puissance maximale délivrée par cellule}}{\text{puissance lumineuse reçue par cellule}} \cdot 100$$

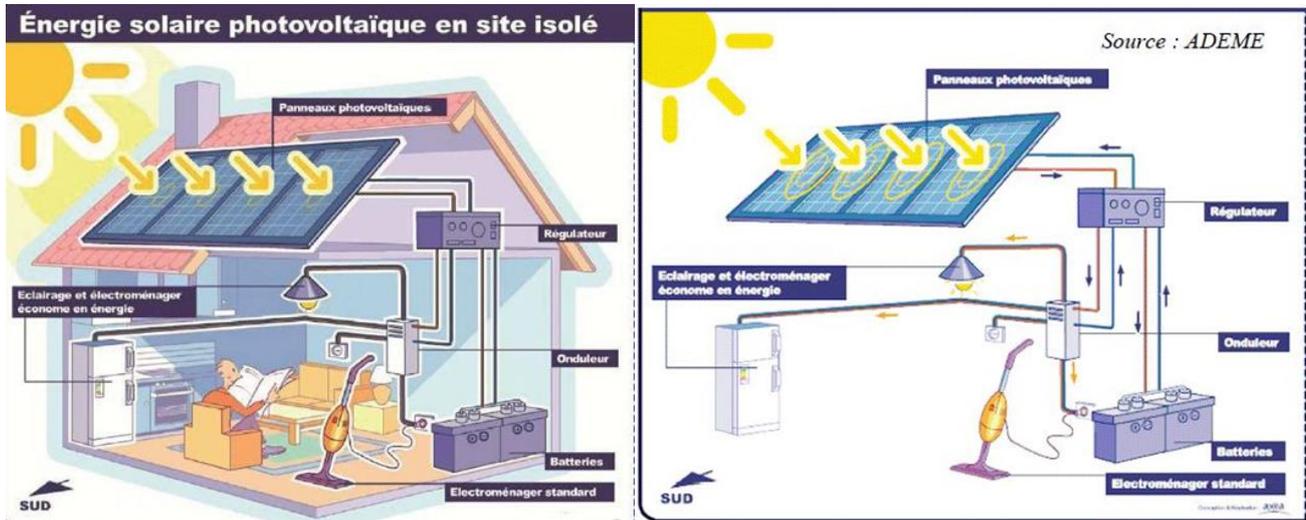
**Application :**

Un panneau solaire a une puissance crête de 100 W lorsqu'il reçoit un éclairement énergétique  $E = 1000 \text{ W.m}^{-2}$ . Il est constitué de cellules photovoltaïques branchées à la fois en série et en dérivation. Dans chaque branche les cellules sont associées en série, et les différentes branches sont montées en dérivation.

La tension aux bornes du panneau vaut 40 V et chaque cellule délivre une tension de 0.5 V et un courant de 500 mA.

1. Quel est le nombre de cellules dans une branche ?
2. Quelle est l'intensité du courant débitée par le panneau ? En déduire le nombre de branches du panneau.
3. Déterminer le nombre total de cellules du panneau.
4. Chaque cellule est un carré de 5.0 cm de côté.
  - 4.1 Quelle est la surface totale du panneau solaire ?
  - 4.2 Calculer son rendement énergétique

## VII. Les constituants d'une installation photovoltaïque



Dispositifs	Rôle
Onduleur	Transforme le courant continu produit par les modules en courant alternatif identique à celui du JIRAMA.
Panneaux solaire	Produisent le courant électrique continu. Sa puissance dépend des matériaux semi-conducteurs utilisés et de sa surface.
Régulateur	Optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
Batterie	Accumule les charges et alimente la maison quand les panneaux ne marchent plus la nuit ou au mauvais temps. Elles sont chargées de jour par les panneaux pour être utilisé la nuit et au mauvais temps.
Câbles de raccordement	Pour raccorder les différents dispositifs dans l'installation

# VIII. Intérêts et limites de l'utilisation des panneaux solaires

## 1. Les intérêts de l'utilisation des panneaux solaires par rapport à l'usage des énergies fossiles

- L'énergie solaire est gratuite ;
- Il exploite des énergies renouvelables c'est-à-dire inépuisables à l'échelle du temps humain ;
- La production d'énergie ne dégage pas des gaz de GES, de pollution et n'a aucun impact sur l'environnement ;
- Il est facile à installer et nécessite très peu de maintenance ;
- L'énergie solaire est exploitable partout quel que soit l'intensité du rayonnement ou l'importance des couvertures nuageuses.

## 2. Les limites de l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïque :

- La source d'énergie est intermittente ;
- L'investissement initial est élevé ;
- Le panneau solaire est exploitable uniquement la journée ;
- Le Rendement en énergie est variable : en été plus élevé qu'en hiver ;
- Son installation nécessite une grande superficie ;
- Son efficacité dépend de l'exposition au soleil.