

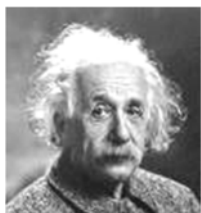
## Panneau photovoltaïque

### Activité 1 : D'où vient l'énergie solaire ?

#### Document 1 : Rappels historiques

L'effet photoélectrique, consiste en l'ionisation d'un atome (éjection d'un électron d'un atome) lors du passage d'un photon gamma. Concrètement, le photon disparaît et son énergie est intégralement convertie en énergie cinétique pour l'électron qui va alors quitter l'atome.

C'est Einstein, en 1905, qui explique cet effet et démontre de manière éclatante que la lumière n'est pas seulement une onde mais eut également être représenté par une particule qu'il nomme photon.



Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, les physiciens ont observé un phénomène mystérieux et encore inexpliqué appelé « l'effet photoélectrique ». Pour expliquer ce phénomène, Albert EINSTEIN (1979 - 1955) postule que la lumière est constituée de « grains » qui transportent une énergie mais qui n'ont pas de masse. Il les appelle *les photons*. Cette hypothèse est à l'origine de la physique quantique, une des théories à la base de la physique contemporaine.

#### Document 2 : Vidéo sur l'effet photoélectrique

[https://www.youtube.com/watch?v=bwRf\\_4-leE](https://www.youtube.com/watch?v=bwRf_4-leE)



#### Document 3 : Carte éclaircissement

A voir à l'adresse suivante :

[http://files.meteofrance.com/files/education/animations/rayonnement\\_electro/highres/popup.html](http://files.meteofrance.com/files/education/animations/rayonnement_electro/highres/popup.html)



#### Document 4 : Energie d'une onde électromagnétique

Les grandeurs caractérisant une onde sont sa période  $T$ , sa longueur d'onde  $\lambda$  et sa vitesse de propagation, la célérité  $c$ . Elles sont liées par la relation :

$$\lambda = c \cdot T$$

A une onde électromagnétique de **fréquence**  $f$  sont associés des photons qui transportent chacun une énergie  $E$  donnée par la relation :

$$E = h \cdot f$$

$h$  : constante de Planck.  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Le joule étant une unité importante pour exprimer l'énergie d'un photon, on utilise très souvent l'électronvolt :

$$1,0 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**1 - Compléter avec les mots :** fréquence ; corpusculaire ; hertz ; Hz ; joule ; longueur d'onde ; mètre ; m ; grande ;  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ; photon ; quantas ; J ; m/s ; mètre par seconde ;

Le modèle ondulatoire de la lumière est indispensable pour étudier la propagation de la lumière mais il est insuffisant pour décrire les échanges d'énergie entre matière et lumière. Pour interpréter ces propriétés, les physiciens ont été amenés à postuler que les échanges d'énergie entre matière et lumière ne peuvent pas prendre des valeurs quelconques. La quantité d'énergie peut être considérée comme transportée par une particule : ..... . Cela correspond au modèle ..... De la lumière.

En 1900, Max Planck (prix Nobel 1918) émet l'hypothèse que les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie par paquets, grains d'énergie appelés ..... d'énergie.

En 1905, Albert Einstein assimile ces quantas à des particules de masse nulle, non chargées, appelées ..... qui se propagent à la vitesse de la lumière.

$E$  : énergie en ..... (.....) ;  $c$  : célérité en ..... (..... ou .....)

$\nu$  : ..... en ..... (.....) ;  $\lambda$  : ..... en ..... (.....) et

$T$  : ..... (.....)

L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de l'onde le transportant. Donc l'énergie d'un photon est d'autant plus ..... que sa fréquence est ..... et que sa ..... est faible.

**2 - Exprimer la fréquence en fonction de la période ; puis la période en fonction de la fréquence.**

**3 - Exprimer la longueur d'onde en fonction de la fréquence  $\nu$ .**

**4 - Exprimer la fréquence d'une onde  $\nu$  en fonction de sa longueur d'onde.**

**5 - Exprimer l'énergie  $E$  d'une onde en fonction de sa longueur d'onde  $\lambda$**

**6 - Exprimer la longueur d'onde en fonction de l'énergie**

7 - Calculer l'énergie des rayonnements rouge et bleu, se déplaçant dans le vide, de longueur d'onde respectives :  $\lambda_{\text{rouge}} = 720 \text{ nm}$  et  $\lambda_{\text{bleu}} = 450 \text{ nm}$ . La célérité de la lumière dans le vide est  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

Plus la longueur d'onde est grande plus l'énergie du photon est .....

## Panneau photovoltaïque

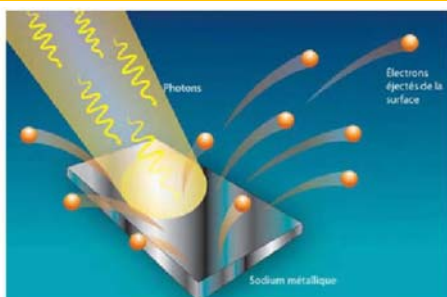
## Activité 2 : Comment fonctionne une cellule photovoltaïque ?

## Document 1 : Rappels historiques



L'effet photovoltaïque a été mis en évidence en 1839 par un français **Antoine Becquerel**. Il a observé que certains métaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à la lumière.

## Document 2 : Les cellules photovoltaïques



Éjection d'électrons d'une plaque métallique de sodium par effet photoélectrique sous la présence d'une source lumineuse.

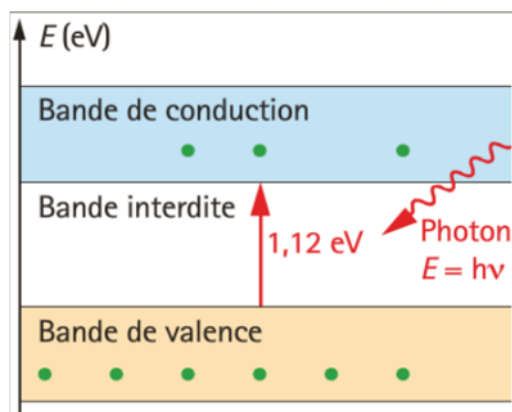
Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs (mauvais conducteurs). Ces semi-conducteurs deviennent de bons conducteurs en présence de lumière.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de silicium Si.

**Vidéo :** Energie solaire photovoltaïque.

De l'effet photovoltaïque à la cellule, il n'y a qu'un pas, ou plutôt, deux couches : Pour exploiter l'énergie solaire, on prend une première couche de silicium, on la dope au phosphore. **Elle se retrouve subitement bourrée d'électrons (couche N).**

On prend une seconde couche de silicium, qu'on dope cette fois avec du bore. **Elle se retrouve subitement en déficit d'électrons, pleine de trous (couche P).**



▲ *Diagramme énergétique.*

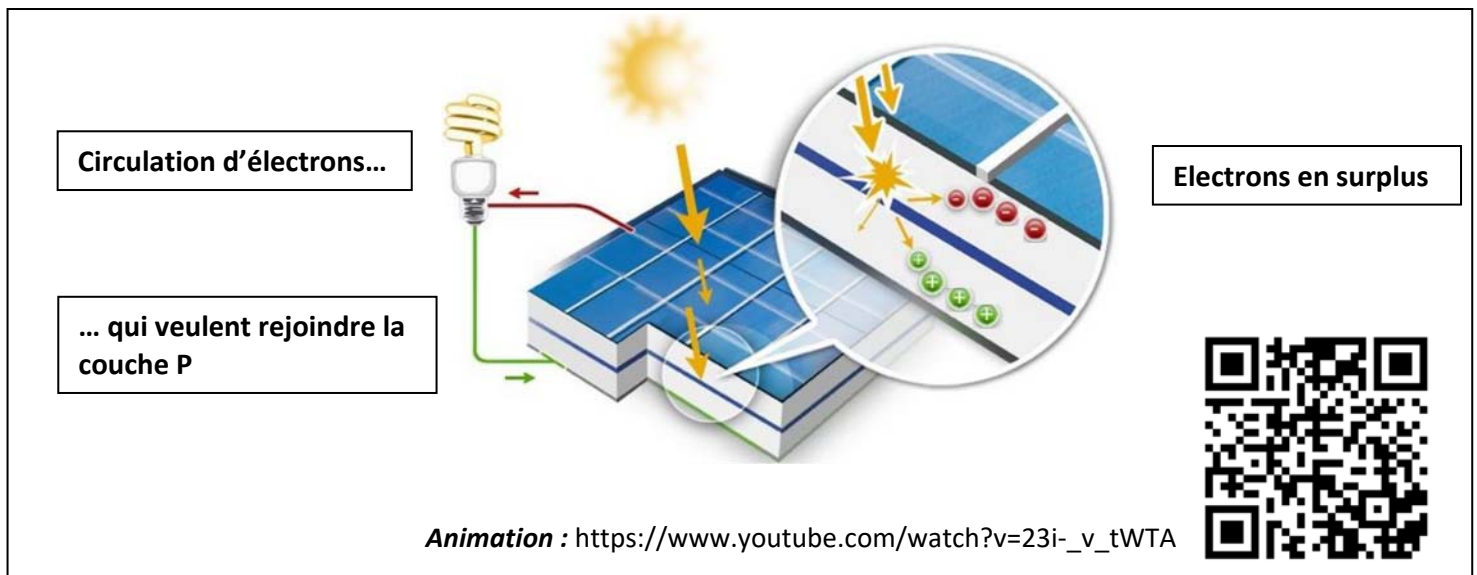
Pour exciter les électrons des atomes de silicium, il faut leur apporter au minimum  $E_g = 1,12 \text{ eV}$ . **Rappel :  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$**

Si  $E > 1,12 \text{ eV}$  alors un électron de covalence peut se détacher de l'attraction du noyau pour devenir un électron libre.

Les électrons libres du silicium vont pouvoir vaincre la force de répulsion exercée par les électrons de la **couche N** et qui les empêchait jusqu'alors de les rejoindre, les électrons vont donc se déplacer vers la **couche N**.

Les électrons de la **couche N** se trouvant en surplus veulent revenir à la **couche P** pour rééquilibrer l'ensemble.

Il suffit de relier la **couche N** à la **couche P** par l'extérieur avec un conducteur (récepteur). Ce déplacement d'électrons entraîne l'apparition d'un courant électrique.



**1. Répondre aux questions suivantes en utilisant le document 1 :**

- A votre avis, d'où provient l'énergie pour extraire les électrons de la matière ?
- Quelle est la théorie sur les ondes  $E.M$  utilisée pour expliquer l'effet photoélectrique ?
- Redonner la formule permettant de calculer l'énergie transportée par un photon et les unités.

**2. Compléter avec les mots :** absorbé ; bande de valence ; bande de conduction ; conduction ; courant électrique ; interdite ; supérieure ; thermique ; transparent ;

Pour les électrons d'un semi-conducteur comme un cristal de silicium, il existe deux bandes d'énergie appelées ..... et ..... Ces deux bandes sont séparées par une bande ....., inaccessible aux électrons.

$E_g$ , la « largeur énergétique » de la bande interdite est aussi appelée « gap ».

Si l'énergie d'un photon est inférieure à  $E_g$ , alors le photon n'est pas ..... et le semi-conducteur est dit ..... pour cette longueur d'onde.

Si l'énergie d'un photon est ..... à  $E_g$ , alors, un électron passe de la bande de valence à la bande de ....., cela génère un .....

L'excédent d'énergie est perdu sous forme .....

**3. Exprimer puis calculer la longueur d'onde du photon ayant tout juste l'énergie suffisante pour qu'un électron puisse franchir le « gap » du semi-conducteur d' $E_g = 1 \text{ eV}$ .**

**4. Les rayonnements visibles ont-ils une énergie suffisante pour qu'un électron puisse franchir le « gap » de ce même semi-conducteur ?**

On rappelle que les rayonnements visibles ont une longueur d'onde comprise entre 400 *et* 800 *nm*.

## Panneau photovoltaïque

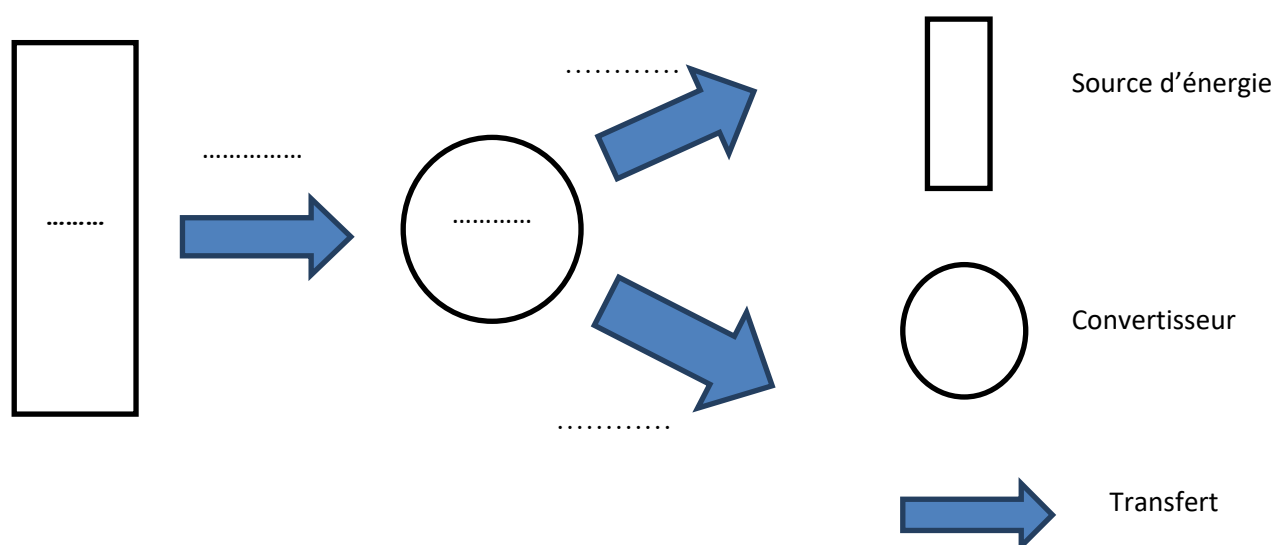
### Travaux pratiques 1 : Maison utilisant l'énergie solaire

Une famille soucieuse d'aménager sa maison dans le respect du développement durable se pose beaucoup de questions sur l'énergie solaire. En cherchant sur internet, elle trouve de nombreux dispositifs fonctionnant à l'énergie solaire, parmi lesquels : *Mur à accumulation d'énergie ; chauffe-eau solaire ; panneau solaire photovoltaïque ; douche solaire ; puits de lumière ; centrale solaire thermique ; four solaire ; centrale solaire photovoltaïque.*

#### Votre mission :

- ✂ Tirer au sort l'un des dispositifs.
- ✂ En vous aidant de recherches sur internet, des ouvrages de terminale STI2D Nathan et Hachette, du document d'aide à la schématisation, réaliser 3 diapositives sur Powerpoint :
  - Nom du dispositif (+photo) ; utilisation dans l'habitat.
  - Description rapide du fonctionnement du dispositif.
  - Schéma des transferts et les conversions d'énergie mis en jeu dans ce dispositif (avec un ordre de grandeur des échanges énergétiques).
- ✂ Présenter en 5min le résultat de vos recherches
- ✂ Remplir le tableau bilan de l'activité 2

#### Document d'aide à la schématisation de transferts et conversions énergétiques :



Symboles et noms des transferts énergétiques :

$W_R$  : énergie due au rayonnement ;  $W_E$  : énergie électrique ;  $Q$  : quantité de chaleur ou énergie thermique

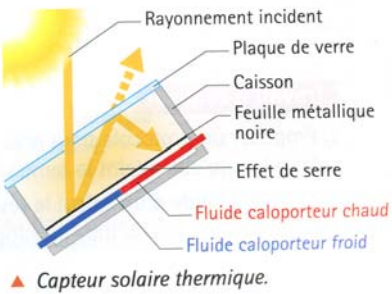

## COMMENT UTILISER L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS L'HABITAT ?

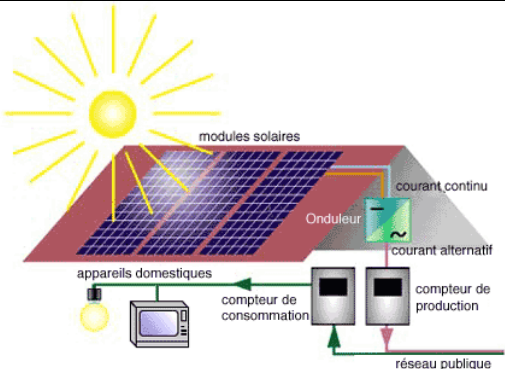
### Bilan de l'activité de recherche internet

Lors de l'activité de recherche internet, nous avons pu mettre en évidence plusieurs types d'utilisation de l'énergie solaire :

Compléter la troisième ligne avec une des expressions : Conversion photovoltaïque de l'énergie solaire ; Conversion thermique de l'énergie solaire ; Utilisation passive de l'énergie solaire.

Compléter les deux dernières lignes avec les dispositifs étudiés lors de l'activité de recherche internet.

<b>Dispositif</b>		
<b>Fonctionnement du dispositif</b>	Des capteurs solaires thermiques permettent de convertir le rayonnement solaire en chaleur. Un fluide caloporteur transmet cette chaleur à l'eau chaude sanitaire (ECS) à l'aide d'un échangeur.	Le rayonnement lumineux est exploité directement à travers des ouvertures vitrées (fenêtre, puits de lumière, véranda) pour les besoins éclairage de jour et de chauffage.
<b>Type d'utilisation de l'énergie solaire</b>		
<b>Chaîne énergétique</b>		
<b>Exemples et ordre de grandeurs des échanges énergétiques</b>		

<b>Dispositif</b>	
<b>Fonctionnement du dispositif</b>	<p>L'énergie lumineuse du soleil est convertie en énergie électrique grâce à des cellules photovoltaïques. Un onduleur est utilisé pour convertir la tension continue fournie par le panneau solaire en une tension alternative 230 V - 50 Hz afin de le coupler au réseau.</p>
<b>Type d'utilisation de l'énergie solaire</b>	
<b>Chaîne énergétique</b>	
<b>Exemples et ordre de grandeurs des échanges énergétiques</b>	

### Exercice :

On observe derrière la vitre noircie d'un panneau des tubes noircis. La notice indique qu'un fluide caloporteur chauffé par les rayons du soleil y circule.

1. S'agit-il d'un panneau photovoltaïque, d'un panneau solaire thermique ?
2. Le fluide caloporteur échange ensuite son énergie avec l'eau domestique dans un ballon. Représenter la chaîne énergétique de conversion d'énergie de l'installation.
3. Quand le panneau est éclairé par un rayonnement qui lui fournit  $4,0 \text{ kWh}$ , l'eau de l'installation domestique reçoit  $1,2 \text{ kWh}$ . Calculer le rendement de l'installation.



## Panneau photovoltaïque

### Travaux pratiques 2 : Etude d'une cellule photovoltaïque

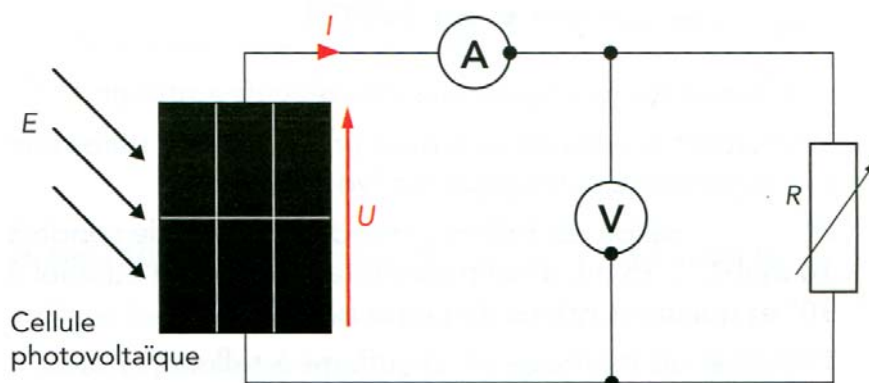
#### Réfléchissons un peu avant de commencer...

Un panneau solaire photovoltaïque est en fait une association de cellules photovoltaïques. Chaque cellule est constituée de semi-conducteurs. Lorsqu'elle est éclairée par de la lumière, la cellule génère un courant électrique continu. Une tension continue apparaît également entre ses bornes.

Quelle conversion énergétique est effectuée par la cellule photovoltaïque ?

#### OBJECTIF : Etablir le bilan énergétique d'une cellule photovoltaïque

##### Document 1 : Schéma permettant de tracer la caractéristique $I = f(U)$ d'une cellule photovoltaïque



##### Document 2 : Fonctionnement d'un rhéostat ou d'un potentiomètre

Un rhéostat ou un potentiomètre peut être utilisé comme résistance de charge variable. Ainsi en changeant la valeur de la résistance on peut faire varier le courant et la tension produits par le générateur.

##### Document 3 : Détermination du rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est défini par :

$$\eta = \frac{\text{Puissance Electrique fabriquée}}{\text{Puissance lumineuse reçue}} = \frac{P_{el}}{P_{lum}}$$

Avec :

$\eta$  : rendement de la cellule compris entre 0 et 1 (0 % et 100 %)

$P_{el}$  : puissance électrique délivrée par la cellule en watts (W)

$P_{lum}$  : puissance lumineuse reçue par la cellule en watts (W)

Sachant que  $P_{lum} = E \times S$  où  $E$  est l'éclairement de la cellule en  $W \cdot m^{-2}$  et  $S$  est la surface de la cellule en  $m^2$

Attention : L'éclairement  $E$  mesuré par Logger Pro est entre 0 et  $1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$

Quelques exemples :

Cellule PV	Si monocristallin	Si polycristallin	Si amorphe
Rendement typique	17,00 %	15,00 %	8,00 %

#### Document 4 : Liste du matériel disponible

- Ordinateur muni d'un boîtier Logger Pro
- Sonde Logger Pro mesurant l'éclairement
- Cellule photovoltaïque
- 2 Multimètres
- Fils
- 1 rhéostat ou potentiomètre

#### 1. En utilisant les documents ci-dessus et le matériel à votre disposition :

- ✂ Réaliser un montage permettant d'établir le bilan de puissance d'une cellule photovoltaïque.
- ✂ Faire vérifier votre montage par le professeur
- ✂ Calculer le rendement

#### 2. Le rendement de la cellule photovoltaïque dépend- t-il de l'éclairement ?

- ✂ Proposer un protocole permettant de répondre à cette question, puis le mettre en œuvre. Le tableau de mesure est à effectuer sur un tableur.

$E$				
$P_{Lum}$				
$U$				
$I$				
$P_{El}$				
$\eta$				

Conclusion :

## Exercices

## Exercice 1 : QCM

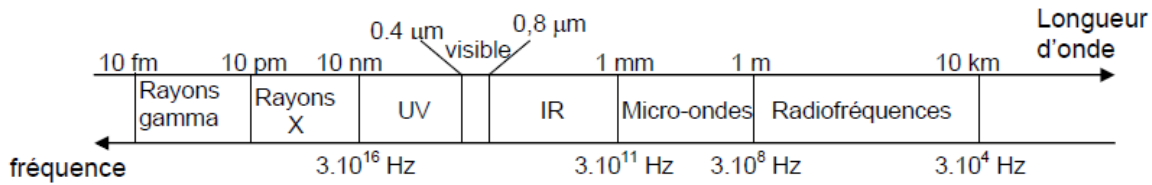
	A	B	C
1 électronvolt (1 eV) correspond à :	$3,6 \times 10^6 J$	$1,6 \times 10^{-19} J$	$1,6 \times 10^6 J$
La formule qui relie l'énergie $E$ d'un photon à sa fréquence $\nu$ est :	$E = h \cdot \nu$	$E = c \cdot T$	$E = m \cdot g$
La formule reliant la longueur d'onde $\lambda$ à la période $T$ est :	$\lambda = \frac{c}{f}$	$\lambda = \frac{c}{T}$	$\lambda = c \cdot T$
L'énergie absorbée par un panneau photovoltaïque est :	L'énergie thermique	L'énergie lumineuse	L'énergie électrique
L'énergie utile d'un panneau photovoltaïque est :	L'énergie thermique	L'énergie lumineuse	L'énergie électrique
L'énergie utile d'un panneau solaire est :	L'énergie thermique	L'énergie lumineuse	L'énergie électrique
La formule du rendement peut être donnée par :	$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}}$	$\eta = \frac{P_s}{P_e}$	$\eta = \frac{P_{absorbée}}{P_{utile}}$
Dans le cas du panneau photovoltaïque, la formule du rendement est :	$\eta = \frac{P_{lumineuse}}{P_{électrique}}$	$\eta = \frac{P_{lumineuse}}{P_{thermique}}$	$\eta = \frac{P_{électrique}}{P_{lumineuse}}$

## Exercice 2 : Laser à CO<sub>2</sub>

Un laser à CO<sub>2</sub> produit un rayonnement de longueur d'onde  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ .

1. En vous servant du spectre électromagnétique, indiquer dans quel domaine de longueur d'onde ce laser émet-il ?
2. Déterminer l'énergie d'un photon émis par ce rayonnement laser en Joule puis en eV.
3. Ont-ils suffisamment d'énergie pour qu'un électron puisse franchir le « gap » du semi-conducteur d' $E_g = 1 \text{ eV}$  ?
4. Et si on augmente l'intensité du rayonnement ?

*Spectre électromagnétique. Les différents domaines regroupent des ondes aux propriétés similaires.*



### Exercice 3 : Piscine chauffée

Une piscine rectangulaire mesure 20 m de long, 10 m de large et a une profondeur de 3m.

1. Pendant le jour, l'eau se réchauffe grâce au rayonnement solaire. L'eau reçoit une puissance moyenne de  $P = 300 \text{ W/m}^2$  pendant une journée de 12 h. Elle n'absorbe en fait que 50 % de cette puissance.
  - a. Calculer l'énergie  $Q_1$  absorbée par l'eau pendant ces 12 h.
  - b. Calculer pour cette eau l'augmentation de température  $\Delta T$  qui en résulte.
2. Pendant la nuit, l'eau de la piscine rayonne de l'énergie vers l'atmosphère. On considère que l'eau se comporte comme un corps noir et on admet que sa température est de  $T_1 = 25^\circ\text{C}$ .
  - a. Calculer la puissance  $P_2$  perdue par le rayonnement par cette eau par  $\text{m}^2$  de surface.
  - b. Calculer l'énergie thermique  $Q_2$  perdue au cours de 12 h de nuit.
  - c. Calculer pour cette eau la baisse de température  $T_2$  qui en résulte.
  - d. Par quel dispositif simple, peut-on, la nuit, diminuer la perte par rayonnement ?

Données :

$$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Rayonnement corps noir, loi de Stephan  $P = \sigma \times S \times T^4$  avec  $\sigma = 5,68.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

$$\sigma = 5,68.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$$

#### Exercice 4 : Panneau photovoltaïque

Un panneau solaire est composé de cellules photovoltaïques permettant de transformer l'énergie fournie par le soleil. Chaque cellule a une puissance  $P$  égale à  $1,2\text{ W}$  et une tension nominale  $U$  égale à  $0,48\text{ V}$ .

1. Calculer l'intensité maximale fournie par cette cellule.
2. Les panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques montées en série pour obtenir une tension nominale de  $12\text{ V}$ . Calculer le nombre de cellules de tension nominale  $0,48\text{ V}$  nécessaires pour obtenir un panneau solaire de tension nominale  $12\text{ V}$ .

Le panneau solaire est de forme rectangulaire. Il a les dimensions suivantes :  $427\text{ mm} \times 633\text{ mm}$  correspondant à une aire de surface  $0,27\text{ m}^2$ . En France métropolitaine, le soleil fournit en moyenne  $1\,000\text{ W/m}^2$ .

3. Calculer la puissance absorbée par le panneau solaire.
4. Calculer le rendement du panneau solaire s'il fournit une puissance égale à  $30\text{ W}$ .

### Exercice I :

L'Équipement solaire des bâtiments.

1. Étude énergétique :

1.1 Compléter la question A.1.1 suivante.

#### Question A.1.1

Cocher, pour chaque phrase la bonne proposition :

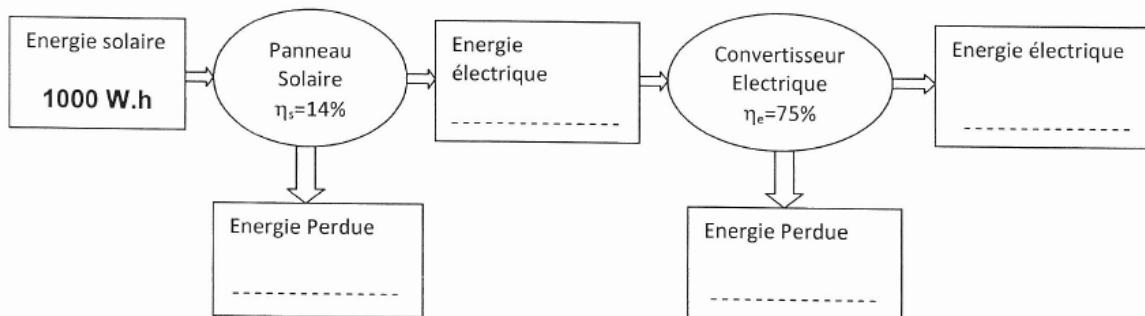
<p>1. Le transfert d'énergie du Soleil vers la Terre se fait :</p> <p><input type="checkbox"/> par convection</p> <p><input type="checkbox"/> par conduction</p> <p><input type="checkbox"/> par rayonnement.</p>	<p>2. La particule correspondant au modèle corpusculaire de la lumière est :</p> <p><input type="checkbox"/> le positon</p> <p><input type="checkbox"/> le photon</p> <p><input type="checkbox"/> l'électron</p>
---	--

1.2 Les panneaux solaires fournissent-ils un courant alternatif ou continu ?

1.3 En déduire la nature de la conversion que doit réaliser le convertisseur électrique présenté sur le document réponse suivant pour alimenter une installation domestique.

1.4 Compléter le schéma de la chaîne énergétique présenté sur le document réponse en indiquant les valeurs des énergies électriques et des énergies perdues en W.h.

#### Questions A.1.3/A.1.4



Sur les toits en terrasse des bâtiments, on installe 135 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques.

Le calculateur de l'I.N.E.S (Institut National de l'Énergie Solaire), dont les résultats sont donnés sur le document A1, permet d'estimer la production d'électricité restituée sur le réseau d'une installation photovoltaïque d'1 kWc.



**INES Education - Logiciel CALSOL -  
Photovoltaïque réseau  
Estimation de la production PV injectée dans le  
réseau**



Choix de la ville :

Inclinaison du plan :

Orientation du plan :

Puissance crête de l'installation technologie : Si-monocristallin 1kWc pour 7,1 m<sup>2</sup> de panneaux installés

	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Prod (kWh)	37	51	80	113	135	144	153	124	102	71	42	33	1084

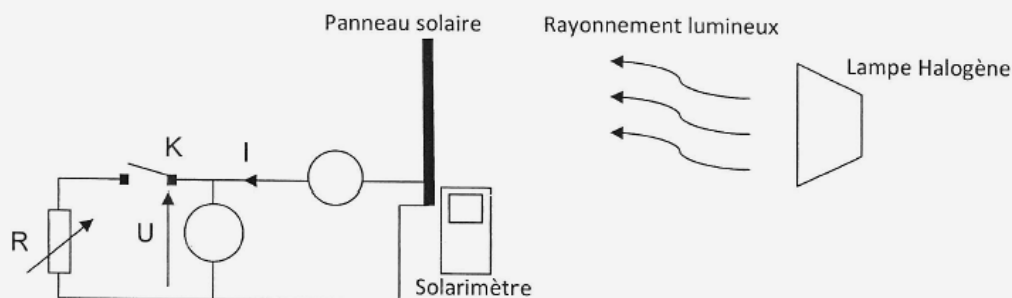
Productivité électrique annuelle par kiloWatt de puissance crête : **1084,3** kWh/kWc.an

1.5 Estimer la quantité d'énergie produite, sur une année, par les 135 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques installés. On supposera que la nature des panneaux et leur orientation correspondent aux paramètres introduits dans le calculateur.

## 2. Etude expérimentale :

Au laboratoire, on désire vérifier le rendement d'un panneau solaire équipé d'un capteur photovoltaïque en silicium monocristallin, similaire à ceux qui équiperont les bâtiments. On réalise pour cela l'expérience présentée sur le document A.2.1

### Schéma expérimental de l'étude d'un capteur solaire



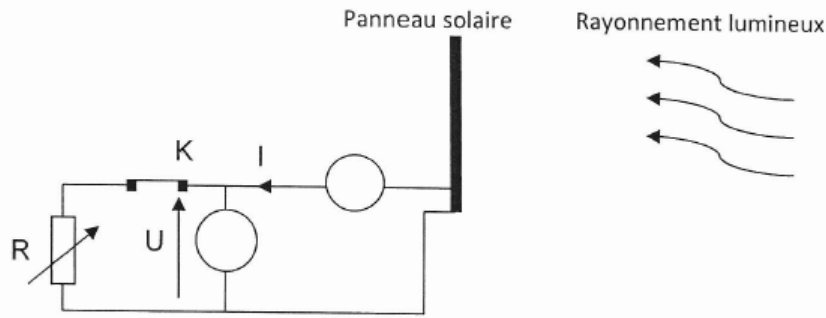
#### Mode Opérateur :

- 1- A l'aide d'un solarimètre SPM 72, on règle la position de la lampe halogène afin que le panneau solaire soit exposé à un rayonnement standard de 1000 W/m<sup>2</sup>.
- 2- L'interrupteur K étant fermé, on relève simultanément, pour différentes valeurs de la résistance R, l'intensité I produite par le panneau solaire et la tension U aux bornes de la résistance.

2.1 Nommer les appareils nécessaires à la mesure de U et de I, compléter le schéma du document A.2.suivant.



### Question A.2.1



2.2 Les valeurs de la puissance délivrée par le panneau sont calculées dans une feuille de calcul (cf. le document A.2.2 suivant). Parmi les trois expressions suivantes, quelle est celle qu'il faut saisir dans la cellule C3 du document A.2.2 ?

- a)  $= C1 \times C2$       b)  $= C1 \times C2 \times 1000$       c)  $= C1 \times C2 / 1000$

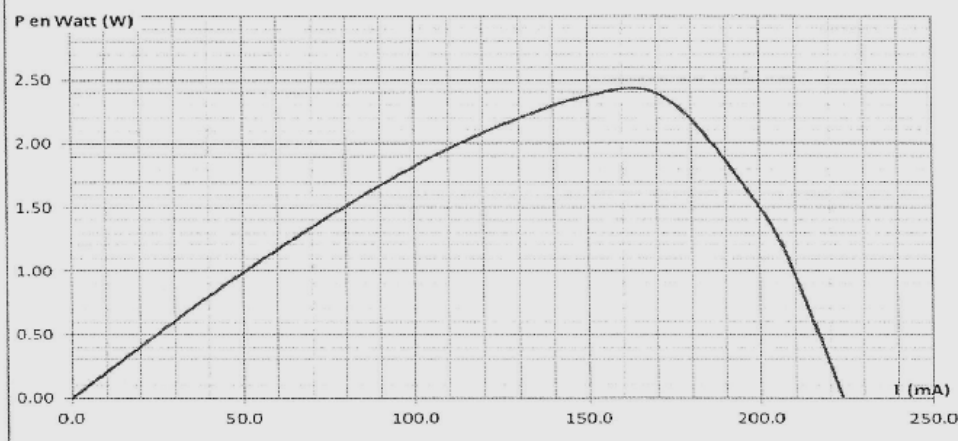
#### Résultats expérimentaux de l'étude d'un capteur solaire

Document A.2.2

On obtient le tableau de mesures ci-dessous, dans lequel on a rajouté une ligne de calcul de la puissance électrique P fournie par le panneau solaire :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	U(V)	20.82	19.93	18.75	17.56	15.84	13.51	7.532	4.446	0.060
2	I(mA)	0.000	45.530	84.10	116.10	150.20	173.60	199.80	210.50	223.70
3	P (W)	0.000	0.907	1.577	2.039	2.379	2.345	1.505	0.936	0.013

Courbe de la puissance fournie P (W) en fonction de l'intensité I (mA)



2.3 La tension à vide est mesurée lorsque l'interrupteur K est ouvert. Déterminer la valeur de la tension à vide  $V_{ocexp}$  expérimentalement obtenue ?

2.4 Le courant de court-circuit est mesuré lorsque K est fermé, et pour une valeur de R tendant vers  $0 \Omega$ . Déterminer la valeur de l'intensité du courant de court-circuit  $I_{CCexp}$  expérimentalement obtenue ?

2.5 Déterminer graphiquement la puissance maximum  $P_{MAXexp}$  délivrée par le panneau solaire.

On extrait de la documentation du fabricant les caractéristiques suivantes pour une irradiance standard de  $1000 \text{ Wm}^2$ .  
Puissance maximale ( $P_{max}$ ): 5 Watts.

Tension à circuit ouvert (Voc) : 21,96 Volts.  
Courant en court circuit (Icc) : 410 mA.

2.6 Calculer l'écart relatif :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{P_{\max} - P_{\max_{\text{exp}}}}{P_{\max}}$$

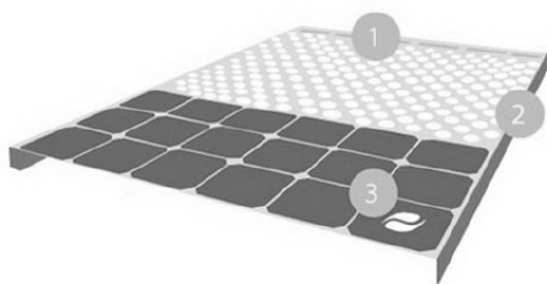
L'expérience valide-t-elle la puissance maximum Pmax affichée par le constructeur ?

## Exercice II

### DUALSUN, LE PANNEAU SOLAIRE HYBRIDE 2 EN 1 : PHOTOVOLTAÏQUE ET THERMIQUE

UN PRODUIT INNOVANT CONÇU POUR LE MARCHÉ

Grâce à un design verticalement intégré des composantes photovoltaïques et thermiques en un seul et unique panneau (protégé par 2 brevets), DualSun est spécifiquement conçu pour une fabrication industrielle optimisée, le rendant **plus efficace, plus esthétique et moins cher que ses concurrents.**



1. **Échangeur thermique** : complètement intégré dans le panneau, l'échangeur thermique permet un excellent transfert de chaleur entre la face avant photovoltaïque et la circulation d'eau.
2. **Faible épaisseur** : le panneau DualSun possède les dimensions standards d'un panneau photovoltaïque classique (60 cellules de 6 pouces).
3. **Cellules solaires photovoltaïques** : monocristallines, haut rendement, les cellules solaires photovoltaïques sont refroidies par la circulation d'eau.

#### 1. Panneaux solaires photovoltaïques

Les caractéristiques du panneau hybride DUALSUN sont présentées dans l'annexe A1.

1.1. On estime qu'une maison a besoin d'une installation pouvant fournir 3 kWc (kilowattcrête).

En s'appuyant sur les annexes A1 et A2, déterminer le nombre de panneaux solaires à installer et leur surface totale.

1.2. Par ciel bleu et clair, le rayonnement solaire peut atteindre  $1000 \text{ W.m}^{-2}$ . En s'appuyant sur l'annexe A1, déterminer la puissance reçue par un panneau photovoltaïque, puis par l'ensemble des panneaux photovoltaïques.

1.3. À l'aide de la question précédente et de l'annexe A1, définir et déterminer le rendement du panneau solaire.

1.4. Comparer la valeur trouvée à la question 1.3. avec la valeur du rendement du module photovoltaïque (module PV) donnée dans l'annexe A1. Ce résultat est-il en accord avec la valeur et la tolérance en % données par le constructeur ?

## 2 Étude d'une cellule photovoltaïque au laboratoire

On réalise au laboratoire l'étude d'une cellule photovoltaïque. On dispose d'une résistance variable, d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'une lampe à incandescence de puissance nominale 40 W.

La cellule photovoltaïque est placée en série avec la résistance variable. Pour différentes valeurs de R, on relève ensuite la tension aux bornes de la cellule et l'intensité du courant dans le circuit.

**2.1.** Faire le schéma électrique associé à ce montage.

**2.2.** On relève expérimentalement les grandeurs suivantes pour une cellule de surface

26,1 cm<sup>2</sup> et une puissance reçue de 0,75 W émise par une lampe à incandescence placée à 10 cm de la cellule.

R(Ω)	260	170	110	80	60	50	30	20	0
U(V)	1,97	1,93	1,87	1,78	1,56	1,33	0,82	0,57	0,00
I(mA)	7,58	11,4	17,0	22,3	26,0	26,6	27,3	27,5	28,0
P(W)	0,15	0,22	0,32	0,34	0,41	0,35	0,22	0,16	0,01

En circuit ouvert la tension est de 2,06 V.

Tracer la courbe représentant l'intensité I du courant en fonction de la tension U :  $I = f(U)$  sur le document réponse DR1.

**2.3.** Déterminer et justifier à partir du graphique et de l'annexe A3 la tension à vide et l'intensité de court-circuit.

### Partie B: le solaire thermique

Le principe de fonctionnement du panneau thermique est décrit dans l'annexe B.

La surface du panneau hybride (photovoltaïque / thermique) DUALSUN est de 1,66 m<sup>2</sup>. La puissance reçue par ce panneau est de 1660 W.

On considère que le fluide caloporteur est de l'eau de masse volumique  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$  et de capacité thermique massique  $C_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

Son débit par unité de surface dans le panneau thermique est de  $70 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

**B.1.** Compléter le schéma du bilan énergétique sur le document réponse DR2.

**B.2.** Calculer l'énergie reçue en wattheure pendant une heure de fonctionnement pour le même rayonnement solaire de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$ . Donner sa valeur en joule.

**B.3.** Calculer le volume en litres de fluide circulant dans le panneau durant une heure.

**B.4.** Vérifier que la masse de ce volume de fluide est de 116,2 kg.

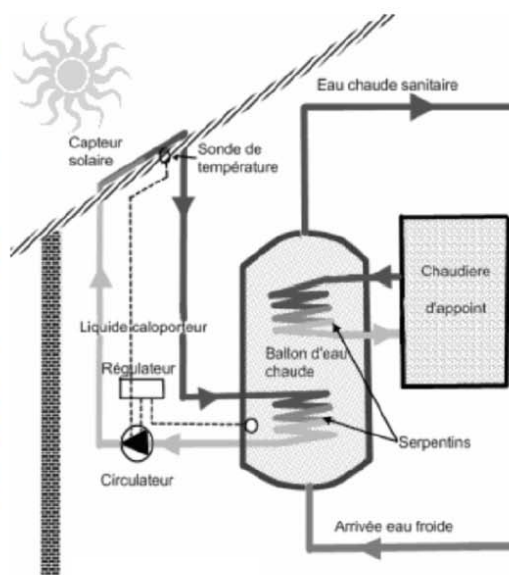
**B.5.** En négligeant l'énergie utilisée par la partie photovoltaïque, déterminer l'élévation de température du fluide provoquée par l'exposition au soleil de ce panneau durant une heure.

## ANNEXE DE LA PARTIE B – Le solaire thermique

Le principe de base est simple, le liquide chauffé par les capteurs solaires transite via les tuyaux du circuit primaire, étanche et calorifugé, jusqu'au serpentin à l'intérieur du ballon d'eau chaude, puis l'eau au contact de cet échangeur thermique se réchauffe. Le liquide caloporteur circule en circuit fermé, soit naturellement, soit à l'aide d'un circulateur électrique.

Le liquide caloporteur s'élève naturellement tant qu'il est plus chaud que l'eau du ballon grâce à sa différence de densité, c'est le principe du système à thermosiphon. Dans ce cas le ballon doit se situer au-dessus du capteur.

Sinon, en France dans la majorité des cas, le liquide caloporteur est propulsé dans le circuit à l'aide d'une pompe électrique : le circulateur. Un régulateur analyse à l'aide de sondes les températures, si la sonde du ballon est plus chaude que celle du capteur, la régulation coupe le circulateur, sinon, le circulateur est remis en route et le liquide primaire réchauffe l'eau sanitaire du ballon.



Pour pallier l'insuffisance solaire (temps couvert), il est nécessaire d'avoir recours à un système d'appoint. Soit une résistance électrique, soit un échangeur thermique raccordé à une chaudière, l'un ou l'autre étant placé dans le ballon

## ANNEXE DE LA PARTIE A – Le solaire photovoltaïque

Caractéristiques physiques	
Longueur	1677 mm
Largeur	990 mm
Épaisseur	40 mm
Poids à vide / rempli	30 kg / 31,7 kg
Couleur cadre	Noir
Caractéristiques thermiques	
Surface du capteur	1,66 m <sup>2</sup>
Volume liquide	1,70 L
Fluide caloporteur	Eau glycolée
Température de stagnation	74,7 °C
Pression de service maximum	1,2 bar
Pertes de charge par panneau	6000 Pa à 200 L/h
Entrée / Sortie hydraulique	Filtée ½ pouce

Caractéristiques photovoltaïques	
Nombre de cellules	60
Type de cellules	Monocristallin
Puissance nominale	250 Wc
Rendement du module PV	15,40 %
Tolérance	-1 % / +3%
Tension à puissance maximale	30,7 V
Intensité à puissance maximale	8,15 A
Tension en circuit ouvert	38,5 V
Intensité de court-circuit	8,55 A
Tension maximum système	1000 V DC
Courant maximal inverse	15 A
NOCT	49 °C
Classe d'application	Classe A

## **Annexe A1 – Caractéristiques du panneau solaire DUALSUN**

Le kilowatt crête correspond à la puissance de pointe (terme anglais « kilowatt peak » formé à partir du mot « peak » signifiant point culminant/pic). Cette valeur indique la puissance atteinte par un panneau solaire exposé à un rayonnement solaire maximal (dans des conditions de test standard prédéfinies). Une de ces conditions standard est un rayonnement solaire optimal de 1 000 watts par mètre carré, ce qui, en France, correspond aux heures autour de midi d'une belle journée d'été.

La « puissance crête » est désignée par la plupart des fabricants par le terme de « valeur nominale » ou « puissance nominale ». Puisqu'elle est basée sur des mesures effectuées dans des conditions optimales, la puissance crête ne correspond pas à la puissance enregistrée dans des conditions réelles de rayonnement. Cette dernière est inférieure d'environ 15 à 20 % en raison du fort échauffement des cellules solaires enregistré dans la pratique.

### **Annexe A2 – Que signifie le terme « kilowatt crête » (kWc) ?**

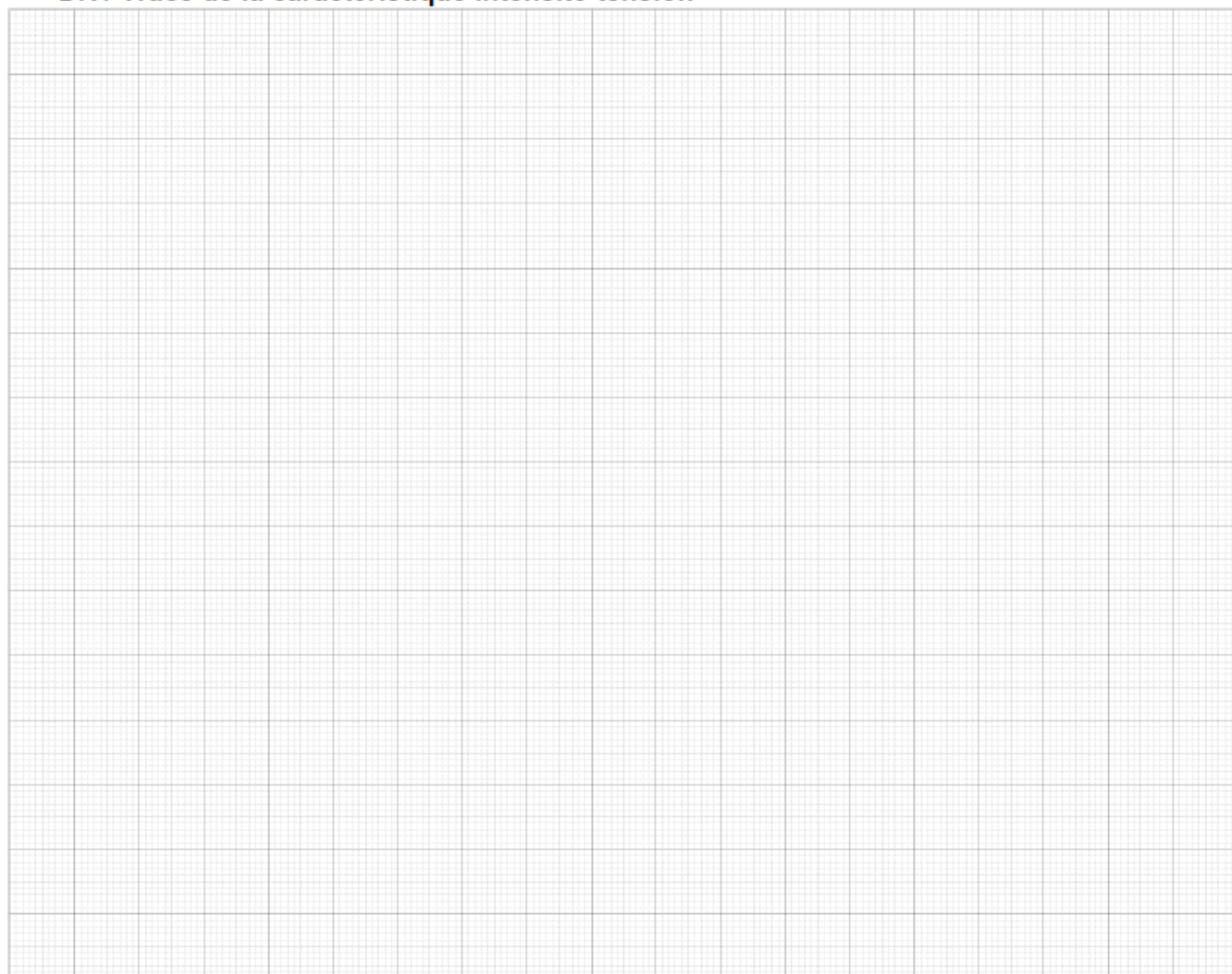
Définitions :

$I_{cc}$  est l'intensité du courant produite par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle.

La tension en circuit ouvert également appelée tension à vide, est noté  $U_o$ .

### **Annexe A3 – Tension en circuit ouvert et intensité de court-circuit**

### DR1 Tracé de la caractéristique intensité-tension



### DR2 Schéma énergétique du panneau photovoltaïque

