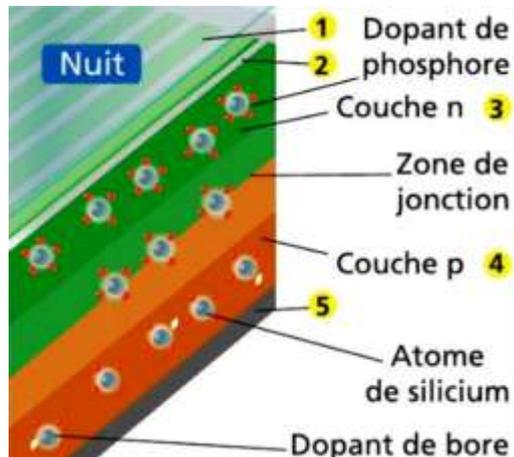




I – Cellule photovoltaïque

Document 1 Un convertisseur d'énergie

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.



Ce composant électronique possède une épaisseur comprise entre 0,2 et 0,3 mm, et de 10 cm de côté environ. Elle est composée de cinq couches différentes : une couche antireflet **1**, deux couches conductrices (cathode en forme de grille **2** et anode compacte **5**) et deux couches de silicium dopé **3** et **4**.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques.

- La couche de silicium supérieure **3**, exposée au Soleil, est dopée avec des atomes de **phosphore** possédant **5 électrons périphériques**, soit 1 de plus que les atomes de silicium.

- La couche de silicium inférieure **4** est dopée avec des atomes de **bore** ayant **3 électrons périphériques**, soit

un de moins que les atomes de silicium.

- La couche **3** est donc excédentaire en électrons et la couche **4** est déficitaire.

- Lorsque les deux couches sont mises en contact, les électrons en excès de la couche **3** diffusent dans la couche **4**. Ainsi, la couche **3** se charge positivement, tandis que la couche **4** se charge négativement.

Un équilibre se crée et un champ électrique interne, lié à cette différence de charge, apparaît.

Ainsi, les photons contenus dans la lumière et animés d'une énergie cinétique E_c vont produire deux effets :

- dans un premier cas, les électrons qu'ils arrachent reviennent à leur état initial et l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. En conclusion, l'énergie cinétique du photon est convertie en énergie thermique ;

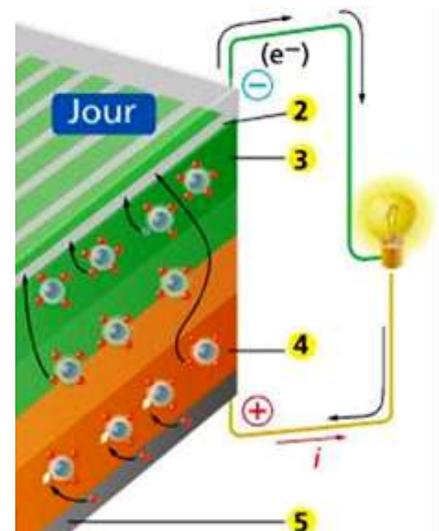
- dans un deuxième cas, l'énergie transmise par le photon est suffisante pour envoyer les électrons arrachés dans la bande de conduction. En conclusion, l'énergie cinétique du photon est convertie en énergie électrique : c'est l'**effet photovoltaïque**.

Document 2 Le rôle du soleil

Les photons du Soleil qui pénètrent dans la cellule photovoltaïque peuvent arracher des électrons aux atomes de silicium présents dans les couches **3** et **4**. Le champ électrique interne à la cellule entraîne les électrons libérés vers la cathode **2** (-), où ils empruntent un circuit extérieur, générant ainsi un courant électrique qui alimente, par exemple, une ampoule électrique.

Les électrons rejoignent ensuite l'anode **5** (+), où ils se recombinent avec des trous.

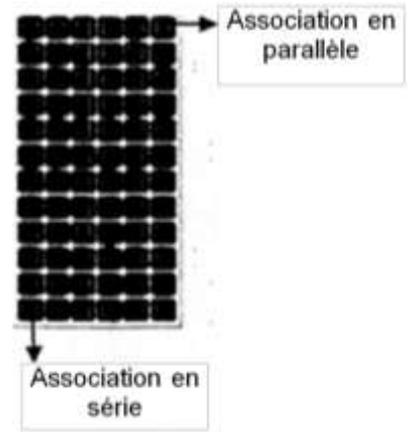
Plus le nombre de photons absorbés est important, plus le nombre d'électrons libérés, et donc le courant généré, est important.



Document 3 Panneau photovoltaïque

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique de l'ordre du watt au maximum avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).

Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Ainsi, sur le module ci-contre, douze cellules sont associées en série et l'ensemble de six structures ainsi réalisées sont associées en parallèle entre elles.



La puissance électrique fournie est proportionnelle à la surface du module.

Aujourd'hui, les rendements énergétiques moyens des panneaux solaires sont de l'ordre de 15%

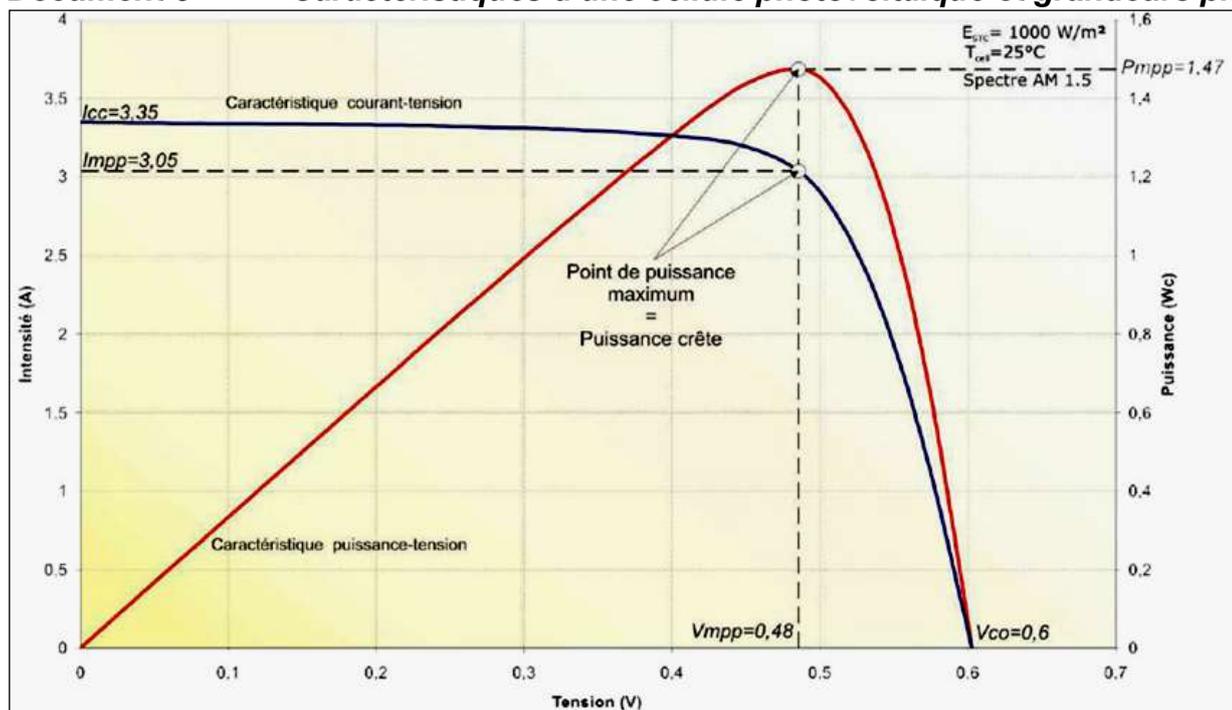
Document 4 L'effet photovoltaïque raconté par Jamy

Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=vSmEbsDeMhY&feature=youtu.be>

Document 5 Les lois dans les circuits électriques

Circuit série	Circuit parallèle
<p>Loi d'additivité des tensions en série :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$U_{AB} + U_{BC} = U_{AC}$</div>	<p>Unicité de la tension en parallèle :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$U_{AB} = U_{CD}$</div>
<p>Unicité de l'intensité du courant en série :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$I_1 = I_2 = I_3$</div>	<p>Loi des nœuds en parallèle :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$I_1 = I_2 + I_3$</div>

Document 6 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque et grandeurs physiques



Remarque : dans ce schéma, la tension est notée V et non U (ex : V_{CO}).

- La puissance électrique (en watt W) fournie par un générateur à un récepteur vaut : $P = U \times I$ avec U en V et I en A . La puissance maximale P_{MPP} est la puissance la plus élevée que peut délivrer la cellule sous un éclairement de 1000 W/m^2 .
- Le rendement est calculé par : $r = \frac{P(MPP)}{E \times S}$ où E est l'éclairement (en W.m^{-2}) et S la surface éclairée (en m^2).
- L'éclairement est mesuré avec un luxmètre. Un éclairement de 100 lux correspond à 1 W.m^{-2} .
- U_{MPP} et I_{MPP} correspondent respectivement à la tension et l'intensité pour laquelle la puissance est maximale.
- La tension U_{CO} est la tension pour laquelle $I = 0 \text{ A}$, l'intensité I_{CC} est l'intensité pour laquelle $U = 0 \text{ V}$.

II – Analyse de documents et synthèse

- a. Pourquoi la cathode 2 est-elle une grille et non une plaque comme l'anode ?
- b. Pourquoi les semi-conducteurs dopés sont-ils utilisés dans les couches 3 et 4 ?
2. $E = h \times \nu$ représente l'énergie transportée par un photon et ϵ_g le « gap » de la bande interdite du silicium. Quelle inégalité doit-il exister entre $h \times \nu$ et ϵ_g pour qu'un photon arrache un électron à un atome de silicium ?
3. Quel rôle remplit le champ électrique interne dans la cellule photovoltaïque ?
4. De quel(s) paramètre(s) peut dépendre l'intensité du courant électrique débité par la cellule photovoltaïque ?
5. La tension en circuit ouvert aux bornes d'une cellule photovoltaïque dépend peu de l'éclairement : elle vaut $0,56 \text{ V}$. L'intensité par unité de surface du courant débité, pour une cellule exposée perpendiculairement à la direction de la lumière, vaut environ 200 A.m^{-2} . Exprimer et calculer la puissance électrique par unité de surface, P_e , exprimée en W.m^{-2} , fournie par la cellule dans ces conditions.
6. La puissance maximale du rayonnement du Soleil par unité de surface vaut $P_S = 1000 \text{ W.m}^{-2}$. Calculer le rendement de la cellule et l'exprimer en pourcentage. Comparer la valeur trouvée à celle donnée dans le texte.
7. Commenter la valeur du rendement énergétique moyen des panneaux solaires.

III – Étude expérimentale d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant basé sur l'effet photoélectrique capable de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.



Document 1 Tension et puissance électriques

La tension U aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R est donnée par la loi d'Ohm comme le produit de la résistance R par l'intensité du courant le traversant :

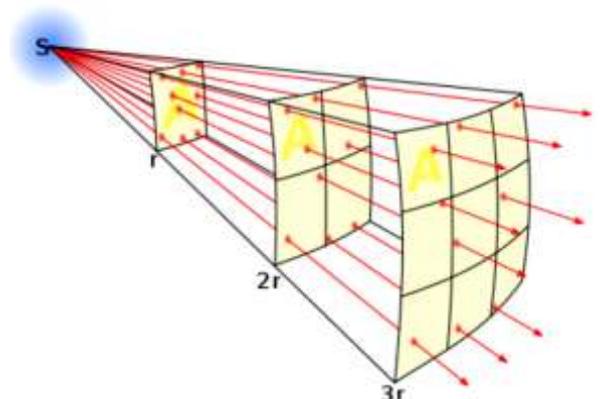
$$U = R \times I \quad \text{avec } U \text{ en volt (V), } R \text{ en ohm } (\Omega) \text{ et } I \text{ en ampère (A).}$$

La puissance électrique consommée par un conducteur ohmique est égale au produit de la tension U à ses bornes par l'intensité du courant I qui le traverse :

$$P = U \times I \quad \text{avec } P \text{ en watt (W).}$$

Document 2 Absorption de la lumière et intensité lumineuse

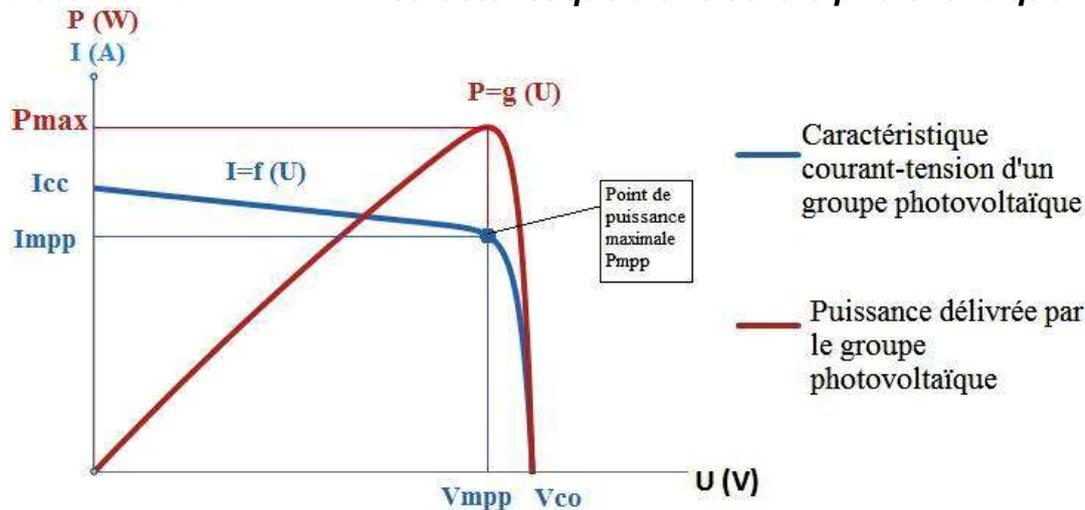
P représente la puissance totale irradiée à partir d'une source (filament d'une lampe). Elle est distribuée sur des surfaces sphériques de plus en plus importantes lorsque la distance s'accroît. Si r est la distance la séparant de la source, la surface sur laquelle se répartit la puissance lumineuse est alors égale à $4\pi r^2$. L'intensité lumineuse résultant est donc donnée par la



$$\text{relation : } I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Document 2

Caractéristique d'une cellule photovoltaïque



Manipulation et exploitation

Matériel

- une cellule photovoltaïque + une lampe
- un multimètre et de fils
- une association de deux conducteurs ohmiques, un x 1 et un x 10

Montage

On réalise le montage associant une cellule photovoltaïque, placée sous une lampe inclinée sur elle est reliée à deux conducteurs ohmiques en série aux bornes desquelles est branché un voltmètre. Pour éviter le déplacement de la cellule photovoltaïque en cours de manipulation, scotcher ses fils sur la table.

Mesures

R(Ω)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
U _R (V)								
R(Ω)	9,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0
U _R (V)								

Exploitation

1. Montrer que la puissance électrique associée à la résistance peut s'exprimer en fonction de U et de R
2. Montrer que la puissance lumineuse reçue par la cellule ne dépend que la distance séparant une source de la cellule.
3. Indiquer le protocole permettant d'obtenir sur Regressi la courbe P = f (U).
4. Déterminer la valeur pour laquelle de U pour laquelle le rendement de la cellule est le meilleur.

Exercice d'application

On a réalisé le montage suivant réalisé en plein soleil lundi midi soit une intensité lumineuse $I_{\text{soleil}} = 50 \text{ W/m}^2$ avec une cellule photovoltaïque de 5,0 cm de côté. Les différentes mesures ont été obtenues en modifiant la valeur de R.

U (V)	0,23	0,35	0,38	0,43	0,51
R(Ω)	2,0	4,5	5,5	7,0	10,0

1. Montrer à l'aide d'une courbe que la puissance électrique débitée par la cellule est constante. Déduire la valeur de cette puissance en exploitant cette courbe
2. Déterminer la puissance lumineuse reçue par la cellule photovoltaïque
3. Montrer que le rendement en puissance de cette cellule est de l'ordre de 20%.

IV – Résolution de problème : utilisation d'une installation couplant voiture à hydrogène et panneaux photovoltaïques

Madame D., dirigeante d'une société de dépannage à domicile, est soucieuse de l'impact que son entreprise peut avoir sur l'environnement. Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et ainsi améliorer le bilan carbone de son entreprise, elle envisage d'installer 70 m² de panneaux solaires sur le toit de ses bâtiments et elle se demande si son installation solaire permettrait de générer l'électricité nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène de sa société qui parcourt en moyenne 20 000 km par an.

Vous rédigerez un **rapport argumenté et critique** répondant à l'interrogation de Madame D. (20 lignes maximum).

L'ensemble des calculs nécessaires sera présenté séparément, à la suite du rapport.

Document 1 - Panneau photovoltaïque

Le rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 20 %.

La puissance solaire moyenne reçue par unité de surface de panneau est 200 W.m⁻².

L'énergie, la puissance et le temps sont reliés par la relation suivante : $E = P \times t$

Document 2 - Une voiture à hydrogène

Une voiture à hydrogène dispose d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible.

Cette pile fonctionne grâce à une réaction d'oxydoréduction. Le dihydrogène contenu dans le réservoir de la voiture réagit avec le dioxygène de l'air qui est insufflé par un compresseur placé dans le compartiment moteur. L'énergie électrique est produite par l'alternateur, et l'eau générée par la transformation est expulsée via le tuyau "d'échappement".

Le dihydrogène nécessaire au fonctionnement de la pile est stocké à l'état gazeux sous une pression de 350 bars dans un réservoir de 110 L placé à l'arrière. Cette capacité de stockage confère au véhicule une autonomie de 200 km.

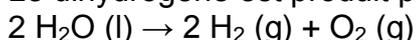
Pour des raisons pratiques et de sécurité, le constructeur a opté pour une solution dans laquelle le dihydrogène est directement produit dans le véhicule par électrolyse de l'eau



À l'intérieur du réservoir, le volume occupé par une mole de dihydrogène gazeux, appelé volume molaire, est égal à 0,070 L.mol⁻¹ lorsque le réservoir est plein.

Document 3 - Production de dihydrogène par électrolyse

Le dihydrogène est produit par une électrolyse de l'eau dont l'équation est la suivante :



L'énergie chimique à fournir pour former une mole de dihydrogène est $286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$.

Seuls 60 % de l'énergie électrique nécessaire à cette électrolyse sont transformés en énergie chimique utilisable pour la réaction chimique.

1. Montrer à l'aide d'une courbe que la puissance électrique débitée par la cellule est constante. Déduire la valeur de cette puissance en exploitant cette courbe
2. Déterminer la puissance lumineuse reçue par la cellule photovoltaïque
3. Montrer que le rendement en puissance de cette cellule est de l'ordre de 20%.

IV – Résolution de problème : utilisation d'une installation couplant voiture à hydrogène et panneaux photovoltaïques

Madame D., dirigeante d'une société de dépannage à domicile, est soucieuse de l'impact que son entreprise peut avoir sur l'environnement. Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et ainsi améliorer le bilan carbone de son entreprise, elle envisage d'installer 70 m² de panneaux solaires sur le toit de ses bâtiments et elle se demande si son installation solaire permettrait de générer l'électricité nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène de sa société qui parcourt en moyenne 20 000 km par an.

Vous rédigerez un **rapport argumenté et critique** répondant à l'interrogation de Madame D. (20 lignes maximum).

L'ensemble des calculs nécessaires sera présenté séparément, à la suite du rapport.

Document 1 - Panneau photovoltaïque

Le rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 20 %.

La puissance solaire moyenne reçue par unité de surface de panneau est 200 W.m⁻².

L'énergie, la puissance et le temps sont reliés par la relation suivante : $E = P \times t$

Document 2 - Une voiture à hydrogène

Une voiture à hydrogène dispose d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible.

Cette pile fonctionne grâce à une réaction d'oxydoréduction. Le dihydrogène contenu dans le réservoir de la voiture réagit avec le dioxygène de l'air qui est insufflé par un compresseur placé dans le compartiment moteur. L'énergie électrique est produite par l'alternateur, et l'eau générée par la transformation est expulsée via le tuyau "d'échappement".

Le dihydrogène nécessaire au fonctionnement de la pile est stocké à l'état gazeux sous une pression de 350 bars dans un réservoir de 110 L placé à l'arrière. Cette capacité de stockage confère au véhicule une autonomie de 200 km.

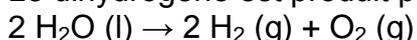
Pour des raisons pratiques et de sécurité, le constructeur a opté pour une solution dans laquelle le dihydrogène est directement produit dans le véhicule par électrolyse de l'eau



À l'intérieur du réservoir, le volume occupé par une mole de dihydrogène gazeux, appelé volume molaire, est égal à 0,070 L.mol⁻¹ lorsque le réservoir est plein.

Document 3 - Production de dihydrogène par électrolyse

Le dihydrogène est produit par une électrolyse de l'eau dont l'équation est la suivante :



L'énergie chimique à fournir pour former une mole de dihydrogène est $286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$.

Seuls 60 % de l'énergie électrique nécessaire à cette électrolyse sont transformés en énergie chimique utilisable pour la réaction chimique.

