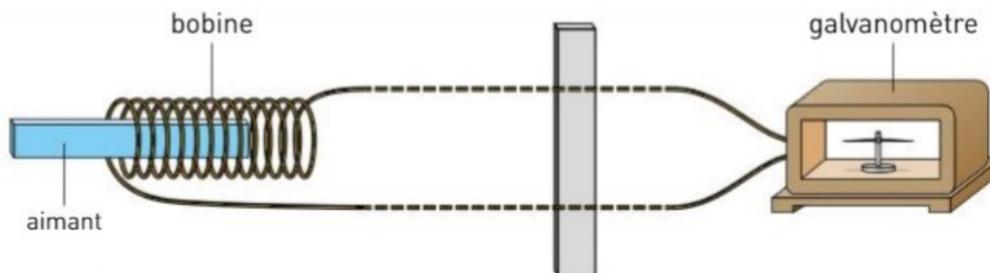


Deux siècles d'énergie électrique – Exercices - Devoirs

Exercice 1 corrigé disponible

En 1825, Jean-Daniel Colladon (1802-1893), scientifique suisse, réalise l'expérience représentée sur la figure ci-contre. Il explique : « Pour éviter toute influence possible de [l']aimant sur le galvanomètre* très sensible dont je me servais, j'avais porté ce galvanomètre dans une chambre éloignée de celle où j'opérais [...], après quoi je revins vers la spire [l'hélice] et je rapprochai des pôles du gros aimant de l'hélice, puis, sans me presser, je retournai vers le galvanomètre et je constatai que son index était exactement au même point qu'auparavant. [...] »

* maintenant appelé ampèremètre.

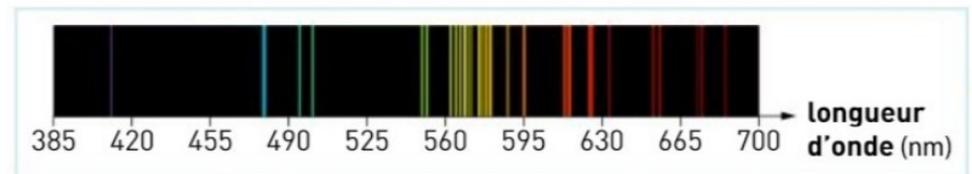


1. Quel lien Jean-Daniel Colladon cherchait-il à montrer dans son expérience ? Justifier.
2. Pourquoi n'a-t-il pas mesuré de courant électrique ?
3. a. Citer le nom du scientifique qui a détecté un courant électrique sur ce principe quelques années plus tard.
b. De quel objet cette découverte est-elle à l'origine ?

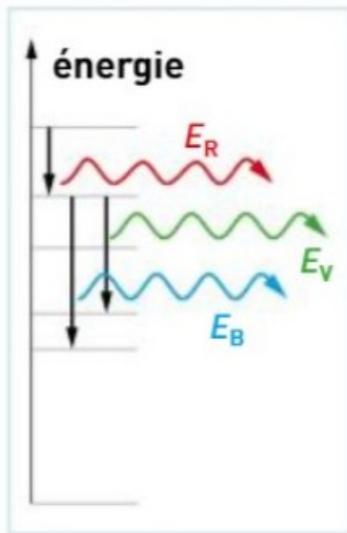
Exercice 2 corrigé disponible

Le silicium est l'élément le plus utilisé dans les cellules photovoltaïques. Le diagramme d'énergie de l'atome de silicium (a) et celui d'un cristal de silicium (b) sont représentés ci-contre. Pour le cristal de silicium, du fait du très grand nombre d'atomes, les niveaux d'énergie sont regroupés en bandes. Parmi ces bandes, on distingue la bande de valence et la bande de conduction. Le passage des électrons de la bande de valence à la bande de conduction engendre un courant électrique.

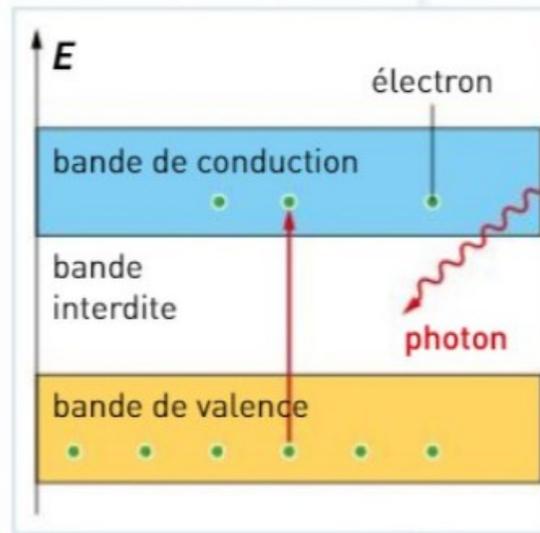
1. Pourquoi peut-on dire que ces diagrammes illustrent la quantification de l'énergie à l'échelle de l'infiniment petit ?
2. a. Quel diagramme permet d'expliquer la figure ci-dessous ? Expliquer.



- b. Quel diagramme illustre l'effet photovoltaïque ? Justifier.



a Diagramme d'énergie de l'atome de silicium.



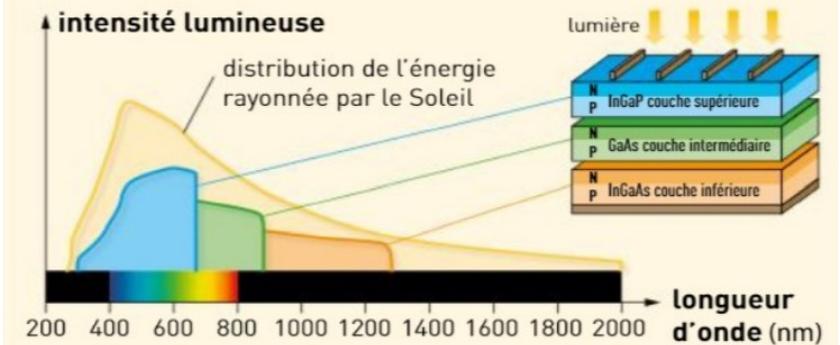
b Diagramme d'énergie du cristal de silicium.

Exercice 3 corrigé disponible

La cellule photovoltaïque triple jonction est constituée de trois semi-conducteurs différents : la couche supérieure en phosphore d'indium-gallium InGaP, une deuxième couche en arséniure de gallium GaAs, puis une couche inférieure en arséniure d'indium-gallium InGaAs. Cette technologie permet d'améliorer grandement le rendement des cellules photovoltaïques qui se situe autour de 15 % pour une technologie au silicium monocristallin.

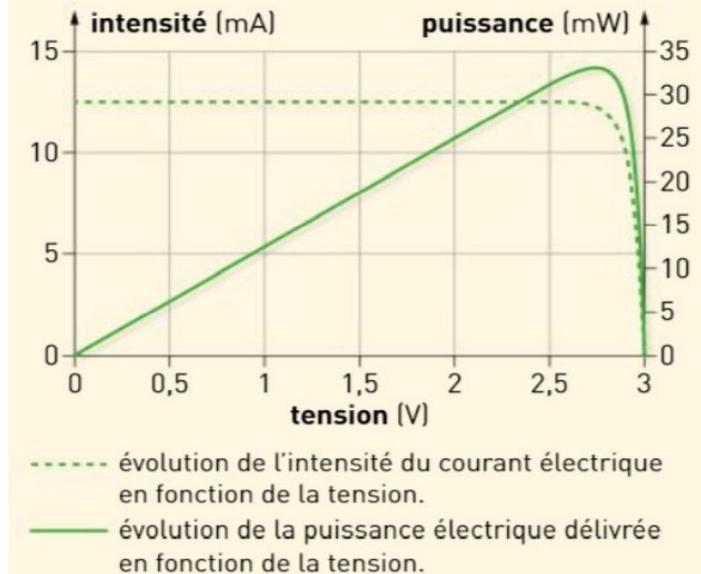
Document 1 : Comparaison de spectres

Sur le graphique ci-dessous sont représentées la distribution en longueur d'onde de l'énergie rayonnée par le Soleil et la sensibilité en longueur d'onde de la cellule triple jonction.



Document 2 : Caractéristique intensité-tension

Caractéristique intensité-tension de la cellule triple-jonction de surface $S = 8,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ avec un éclairement de $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$:



Document 3 : Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement (en %) d'une cellule photovoltaïque est défini par la relation suivante :

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

1. Pourquoi peut-on dire que ces trois jonctions peuvent effectivement exploiter l'énergie radiative du Soleil ?
2. Représenter la conversion d'énergie qui a lieu dans une cellule photovoltaïque.
3. a. Déterminer la puissance maximale délivrée par la cellule.
b. Calculer la résistance maximisant la puissance.
c. La puissance lumineuse reçue par la cellule est $P = 89 \text{ mW}$. Calculer le rendement de la cellule et conclure.

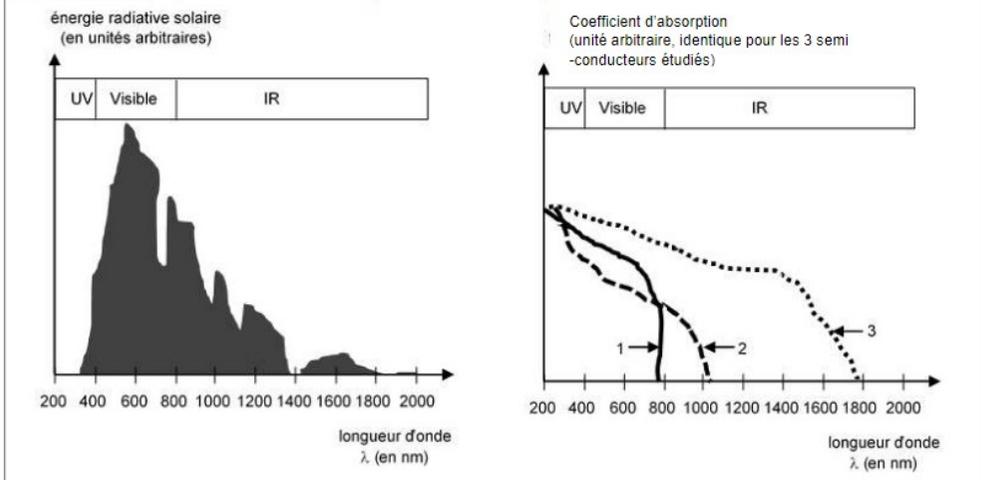
Exercice 4 corrigé disponible

Les capteurs photovoltaïques à base de semi-conducteurs équipent de plus en plus de logements en France, ce qui témoigne d'une prise de conscience par la population des problématiques environnementales.



- 1- Donner le nom d'un semi-conducteur fréquemment utilisé dans les capteurs photovoltaïques.

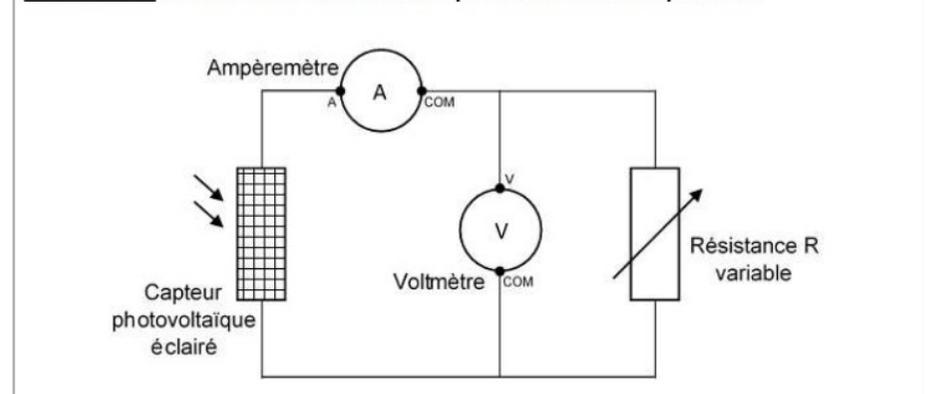
Document 1 : spectre solaire et spectres d'absorption de trois semi-conducteurs



- 2- À l'aide du document 1 et en justifiant la réponse, indiquer le numéro du semi-conducteur (1, 2 ou 3) le plus adapté pour équiper un capteur photovoltaïque.
- 3- Compléter sur le document réponse de l'annexe, le diagramme des transformations énergétiques réalisées par un capteur photovoltaïque.

Le circuit électrique schématisé dans le document 2 est réalisé afin de mesurer la tension aux bornes d'un capteur photovoltaïque et l'intensité du courant qu'il délivre en fonction de la résistance variable présente dans ce circuit, lorsque le capteur est soumis à un éclairage constant.

Document 2 : schéma du circuit électrique utilisé dans l'expérience



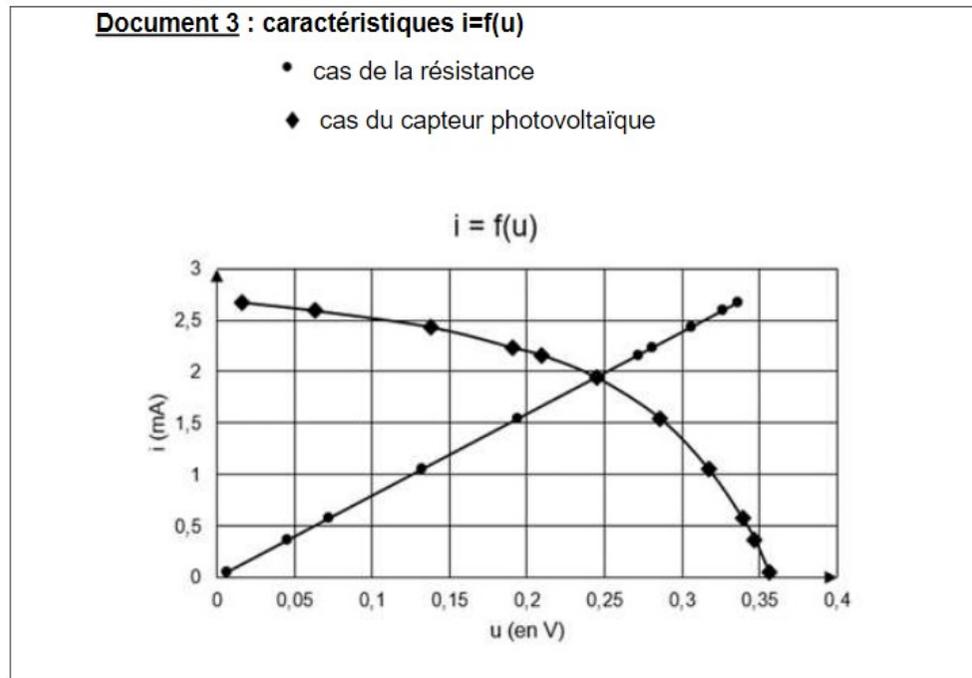
4- Compléter sur le document de l'annexe, le tableau représentant les résultats des mesures en calculant la puissance pour chaque couple de valeurs (u ; i) puis déterminer la valeur de la résistance permettant de maximiser la puissance délivrée par le capteur photovoltaïque.

Données : $P = u \times i$

P : puissance (en W)

u : tension (en V)

i : intensité du courant (en A)



5- À l'aide des caractéristiques $i=f(u)$ de la résistance et du capteur photovoltaïque données dans le document 3, déterminer les coordonnées (u ; i) du point de fonctionnement du circuit puis calculer la valeur de la résistance permettant de maximiser la puissance délivrée par le capteur photovoltaïque. Le résultat est-il cohérent avec celui trouvé à la question 4 ?

Données : Loi d'ohm $u = R \times i$

u : tension (en V)

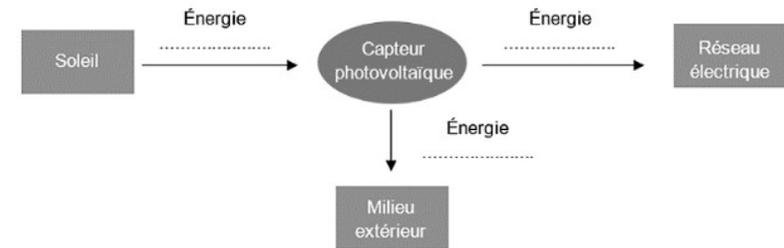
R : résistance (en Ω)

i : intensité du courant (en A)

6- L'empreinte carbone liée à l'utilisation d'un capteur photovoltaïque n'est pas nulle alors que cette utilisation ne produit pas de dioxyde de carbone. Proposer une explication.

Réponse à la question 3-

Diagramme énergétique d'un capteur photovoltaïque



Réponse à la question 4-

R (en Ω)	0	20	50	80	100	120	180	300	600	1000	10000
u (en V)	0,016	0,063	0,128	0,191	0,209	0,245	0,286	0,317	0,339	0,347	0,356
i (en mA)	2,67	2,59	2,43	2,23	2,16	1,94	1,54	1,05	0,57	0,36	0,05
P (en)	0,043	...	0,31	0,43	0,12	0,018

Exercice 5 corrigé disponible

Document 1 : produire de l'électricité avec le vent

Une éolienne utilise la force du vent pour produire de l'électricité. Celui-ci actionne les pales de l'éolienne, ce qui entraîne un alternateur. La production électrique est instantanée, mais intermittente, et dépend de la vitesse du vent. Le problème principal de ce type de production d'électricité est son intégration au réseau. Un surplus de production peut perturber gravement le réseau de transport d'électricité : si trop d'énergie électrique est injectée sur le réseau par rapport à la demande d'énergie, cela peut entraîner une instabilité du réseau, pouvant aller jusqu'à la déconnexion des centrales.

D'après le ministère de la transition écologique, la production d'électricité éolienne a représenté 6,9 % de la production totale en France pour le 1er trimestre 2019.

La production électrique éolienne est entièrement automatisée et nécessite peu de maintenance. Le rendement d'une éolienne est d'environ 35 %.

1- L'alternateur est un convertisseur d'énergie cité dans les documents 1 et 2 : indiquer la nature de l'énergie convertie et la nature de l'énergie produite.

2- Préciser le nom du phénomène physique sur lequel s'appuie le fonctionnement d'un alternateur.

3- Lors de la circulation du courant électrique, l'alternateur perd de l'énergie via l'échauffement des fils conducteurs le constituant : indiquer le nom de l'effet responsable de cette perte.

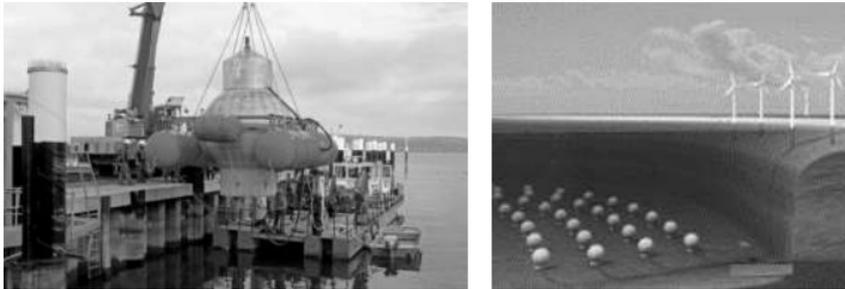
4- Décrire par un court texte ou un schéma la chaîne de transformations énergétiques de l'éolienne.

5- Calculer l'énergie nécessaire au fonctionnement d'une éolienne qui produirait 10 MWh d'énergie électrique.

Exercice 6 corrigé disponible

Le projet de recherche scientifique baptisé StEnSEA (pour « Stored Energy in the Sea ») développé par l'institut allemand Fraunhofer IWES propose un nouveau dispositif de stockage de l'électricité constitué de sphères géantes immergées en mer.

On cherche à comprendre en quoi ce type de dispositif pourrait être intéressant pour stocker l'énergie et en pallier l'intermittence.



Installation d'une sphère géante et schéma de leur position en mer (<https://lenergeek.com>)

PARTIE 1 – fonctionnement des sphères

Document 1 : fonctionnement général et paramètres des sphères

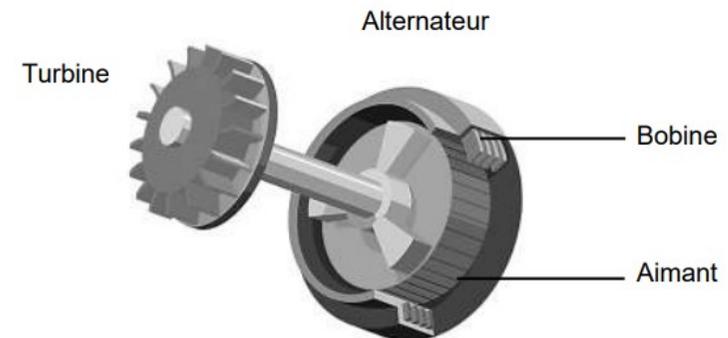
Chacune de ces sphères est connectée à un système de production d'électricité (ferme éolienne, ferme solaire...).

Lors des périodes de forte production d'énergie, l'énergie électrique excédentaire qui ne peut être injectée dans le réseau est utilisée pour faire fonctionner des pompes qui expulsent l'eau présente à l'intérieur des sphères. À l'inverse, en période de faible production, on laisse l'eau s'engouffrer dans les sphères à travers un jeu de turbines qui génèrent de l'énergie électrique.

L'objectif de ce projet est que chacune des sphères soit en mesure de stocker 20 MWh.

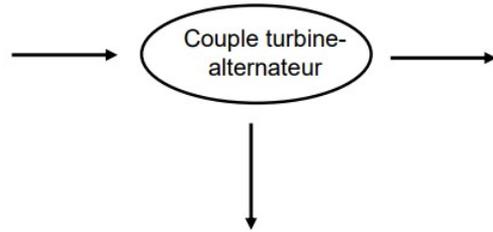
Paramètre	Valeur
Profondeur de d'installation	750 m
Diamètre intérieur de la sphère	28,6 m
Energie stockée	20 MWh
Energie restituée	18,3 MWh

Document 2 : schéma simplifié du couple turbine- alternateur



1- À partir du schéma simplifié du couple turbine-alternateur (document 2), indiquer quel élément (aimant ou bobine) constitue la source de champ magnétique et aux bornes de quel élément (aimant ou bobine) se crée une tension électrique.

2- Recopier et compléter le schéma représentant la chaîne de transformation énergétique du couple turbine-alternateur lors du remplissage d'une sphère.



3- Calculer le rendement de l'opération de stockage d'énergie réalisée par l'une des sphères.

PARTIE 2 - Alimentation des sphères par une ferme photovoltaïque

Les sphères immergées sont reliées à une ferme solaire. On se propose d'étudier le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, élément de base de chaque panneau photovoltaïque de la ferme solaire.

Grâce aux mesures réalisées aux bornes de la cellule, on trace la caractéristique tension - intensité (en trait plein) et la caractéristique tension - puissance (en pointillé).

4- Déterminer graphiquement la valeur de la puissance maximale P_{\max} .

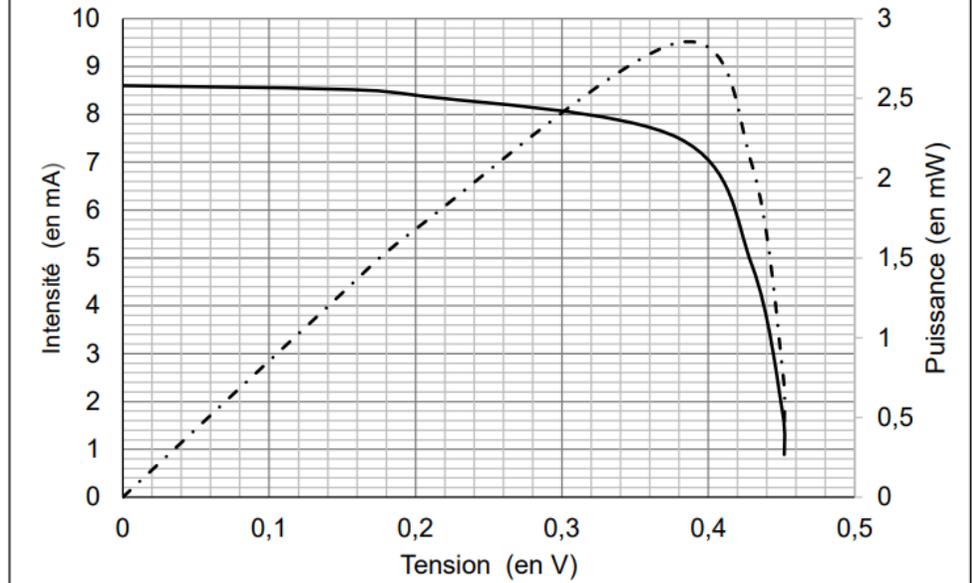
5- En déduire la valeur de l'intensité maximale I_{\max} et celle de la tension maximale U_{\max} .

6- En déduire que la valeur de la résistance du récepteur à utiliser avec le panneau pour fonctionnement optimal est environ égale à 50Ω .

PARTIE 3 - Conclusion

7- Rédiger un paragraphe argumenté d'une dizaine de lignes environ expliquant en quoi cette association sphères immergées -panneaux solaires permet de « pallier l'intermittence des énergies » mais n'est pas sans impact sur l'environnement et la biodiversité.

Document 3 : caractéristiques de la cellule photovoltaïque



Exercice 7 corrigé disponible

L'agrivoltaïsme est un système destiné à protéger l'agriculture des aléas météorologiques et, à titre secondaire, à produire de l'électricité d'origine photovoltaïque. Il est constitué de panneaux, recyclables à 90 %, situés à environ 4,50 m de hauteur afin de pouvoir laisser passer tous les engins agricoles. Les panneaux sont mobiles, pilotés à distance grâce à un algorithme complexe, au gré des besoins : à plat pour protéger la production d'une pluie battante, d'un soleil brûlant, du gel ou de la grêle, ou à la verticale pour laisser passer un maximum de lumière et de pluie.



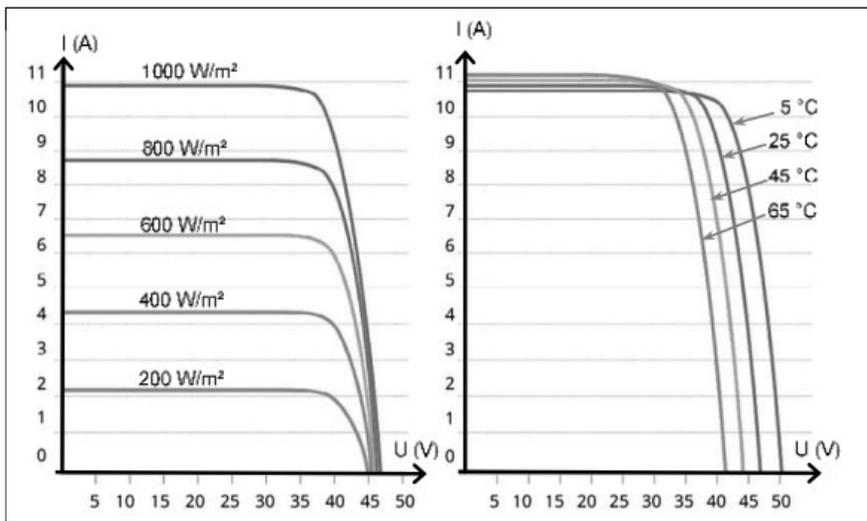
Document 1 : le projet à Tresserre

Le projet à Tresserre (Pyrénées-Orientales) couvre une surface agricole de 4,5 hectares*. Avec ses 7 800 panneaux, le taux de couverture photovoltaïque s'élève à 40 %. Le coût du projet s'élevant à 20 millions d'euros, une rentabilité de cette centrale est espérée d'ici à dix ans grâce à la vente de l'électricité. Les 2,2 mégawatts** produits pour un éclairage énergétique de 800 W/m^2 , à une température ambiante de 20°C et à une vitesse du vent de 1 m/s , produiraient l'énergie suffisante pour la consommation de plus de 650 foyers.

* 1 hectare (ha) = $10\,000 \text{ m}^2$

** 1 mégawatt (MW) = $1\,000\,000 \text{ W}$

Document 2 : courbes représentatives types de l'intensité I en fonction de la tension U aux bornes d'un panneau photovoltaïque, selon l'éclairement reçu pour l'une (à température donnée), selon la température de fonctionnement pour l'autre (à éclairement donné).



Document 3 : production du silicium.

La très grande majorité des panneaux solaires sont constitués de silicium cristallin, élément que l'on extrait du sable ou du quartz. En 1990, la production mondiale de silicium de qualité « métallique » atteignait 800 000 tonnes. Seulement 4 % a obtenu la qualité électronique. Après les dernières étapes de purification et d'importants déchets de fabrication, seulement 0,4 % a fini dans des cellules photovoltaïques et 0,1 % dans des composants électroniques. Il aura fallu utiliser plus de 100 000 tonnes de chlore et 200 000 tonnes d'acides et solvant divers dont le traitement n'était pas assuré à l'époque. La pollution constatée atteste que ces effluents toxiques ont été rejetés dans l'environnement, polluant les nappes phréatiques.

- 1- Décrire la chaîne de transformation énergétique représentant la conversion d'énergie qui a lieu dans une cellule photovoltaïque.
- 2- Définir le rendement d'une cellule photovoltaïque.
- 3- Calculer la surface totale des panneaux photovoltaïques du projet Tresserre évoqué dans le document 1.
- 4- Montrer que la puissance moyenne délivrée, en watt, pour un mètre carré de panneau photovoltaïque est de 122 W dans les conditions du projet de Tresserre.
- 5- Calculer le rendement de l'installation.
- 6- Sachant que la puissance est le produit de la tension U et de l'intensité I , indiquer deux paramètres (autres que U ou I) influençant la puissance délivrée
- 7- Présenter de façon argumentée les avantages et les inconvénients de l'agrivoltaïsme dans le cadre de la transition énergétique.

Exercice 8 corrigé disponible

Les cellules multi-jonctions

Les cellules multi-jonctions ont été développées pour des applications spatiales. Elles ont une grande efficacité de conversion.

Les cellules solaires à multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces de semi-conducteurs différents. La cellule multi-jonction typique pour application spatiale est la triple jonction constituée de l'empilement des semi-conducteurs GaInP/GaAs/Ge dont le rendement avoisine les 30 %. Chaque semi-conducteur est caractérisé par une énergie minimum appelée gap. Les photons ayant une énergie inférieure à ce gap ne peuvent pas être absorbés par le semi-conducteur et ne contribuent donc pas à la génération d'électricité. Ils traversent la couche de semi-conducteur. Les photons d'énergie supérieure au gap provoquent un échauffement du matériau. Il est donc intéressant de superposer judicieusement des semi-conducteurs de gaps différents, permettant de mieux exploiter le spectre solaire et ainsi d'augmenter l'efficacité des panneaux photovoltaïques.

Données

Gap du phosphure de gallium-indium (GaInP) : 2,24 eV

Gap de l'arséniure de gallium (GaAs) : 1,42 eV

Gap du germanium (Ge) : 0,66 eV

1 électron-volt (eV) = $1,60 \cdot 10^{-19}$ J

L'énergie d'un photon est associée à sa longueur d'onde par la relation :

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

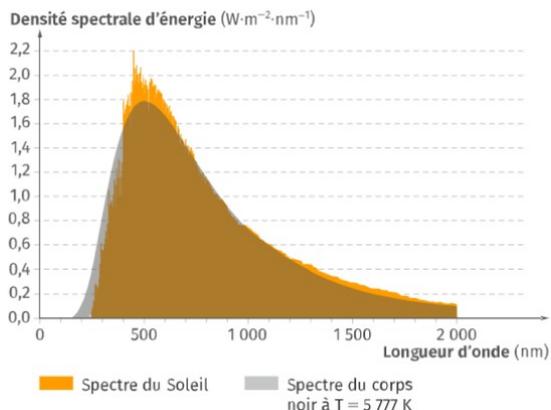
E : énergie (J)

h : constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s)

c : vitesse de la lumière ($3,00 \cdot 10^8$ m·s⁻¹)

λ : longueur d'onde (m)

Spectre du soleil



Ensoleillement dans le centre de la France

Par une belle journée d'été, dans le centre de la France, la puissance surfacique du rayonnement solaire est voisine de $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

L'ensoleillement *quotidien* moyen sur l'année (donc en tenant compte du jour et de la nuit, de l'été et de l'hiver, des nuages occasionnels, etc.) dans le milieu de la France est de $3,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Cela signifie que chaque mètre carré reçoit, en moyenne sur toute l'année, une énergie de rayonnement solaire de $3,8 \text{ kWh}$ chaque jour.

1. Photons et semi-conducteurs

1.1. Soit un photon de lumière bleue, associée à une longueur d'onde de 430 nm, et un photon de lumière rouge, de longueur d'onde 700 nm. Calculer l'énergie de ces photons, en électron-volt.

1.2.a. Indiquer quelle part de l'énergie de chacun de ces photons sera convertie énergie électrique dans chacune des situations suivantes, où l'ordre de couches varie. Le photon arrive par le haut. Présenter vos résultats **en recopiant le tableau sur votre copie** et en le complétant (si vous répondez sur l'énoncé, je ne noterai pas la question).

Ge	GaInP	GaInP
GaAs	Ge	GaAs
GaInP	GaAs	Ge

Situation 1

Situation 2

Situation 3

Tableau à compléter

	Énergie convertie (eV)	
	Photon 430 nm	Photon 700 nm
Situation 1		
Situation 2		
Situation 3		

1.2.b. En déduire quelle est la superposition la plus judicieuse à choisir. Justifier brièvement votre choix.

1.2.c. Expliquer pourquoi il n'est pas judicieux de réaliser un panneau solaire avec une seule couche en utilisant du GaInP. Vous préciserez quelle partie du spectre solaire ne peut pas être absorbée par le GaInP.

1.3.a. Quelle est la longueur d'onde maximale d'un photon pouvant être absorbé par le germanium ?

1.3.b. Le germanium est-il capable d'absorber la plus grande partie des rayonnements (UV, visibles et infrarouges) du Soleil ?

1.3.c. Pourquoi ne serait-il tout de même pas judicieux d'utiliser seulement du germanium pour réaliser un panneau solaire ?

2. Panneaux solaire et production d'énergie

On considère une installation de 10 m^2 de ces panneaux solaires à haut rendement, dans le centre de la France.

2.1. Donner la définition du rendement d'un panneau photovoltaïque.

2.2. Calculer la puissance électrique produite par cette installation lors d'une journée d'été.

2.3. Calculer l'énergie électrique produite par cette installation, sur l'ensemble de l'année.

2.4. Si on compte qu'une famille de 4 personnes habitant dans une maison a une consommation électrique mensuelle moyenne de 500 kWh (hors chauffage, dont on ne tiendra pas compte dans cette question), l'installation suffit-elle à fournir l'énergie électrique nécessaire ? Quelle proportion des besoins recouvre-t-elle ?

Exercice 9 corrigé disponible

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent qui fait tourner les pales.

1. Associer les mots électroaimants, pale et bobine aux numéros du schéma.
2. L'alternateur électrique d'une éolienne a un rendement de $\eta = 0,97$ avec une puissance reçue de $P_{\text{reçue}} = 5,2 \text{ MW} = 5,2 \cdot 10^4 \text{ W}$
Calculer la puissance électrique utile P_{utile} délivrée par cet alternateur.

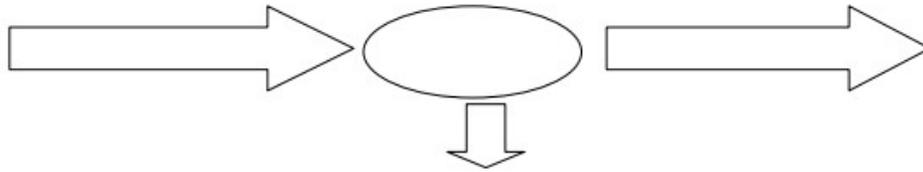


1. Faire apparaître sur un schéma, les notions de puissance utile délivrée par l'alternateur, puissance dissipée par effet Joule et puissance reçue
2. La résistance interne de l'alternateur est égale à $0,10 \Omega$.
Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans l'alternateur.
3. Calculer la puissance électrique utile délivrée par l'alternateur.
4. Déterminer le rendement de l'alternateur.

Exercice 10 corrigé disponible

Une voiture roulant à vitesse constante transmet à son alternateur une puissance de 532 W.
Il dissipe lors de son utilisation une puissance de 282 W.

1. Compléter la chaîne de puissance de l'alternateur.



2. Calculer la puissance utile produite par l'alternateur.
3. Calculer le rendement de l'alternateur.

Exercice 11 corrigé disponible

Une voiture est équipée d'un alternateur électrique afin de produire un courant électrique permettant d'alimenter différents composants électriques. La tension aux bornes de ce dispositif vaut $U = 14 \text{ V}$ et un courant électrique d'intensité $I = 90 \text{ A}$ est fourni.

Perte par effet Joule	Puissance électrique
La puissance, en Watt (W) dissipée dans un conducteur ohmique est donnée par la relation $P_{\text{dissipée}} = R \times I^2$ Avec R la résistance du conducteur ohmique, en ohm (Ω), et I l'intensité du courant électrique qui le traverse, en Ampère (A).	La puissance électrique utile, en Watt (W), délivrée par un alternateur avec redresseur intégré est donnée par la relation : $P = U \times I$ Avec U la tension, en volt (V) et I l'intensité du courant électrique, en ampère (A), délivré par l'alternateur.