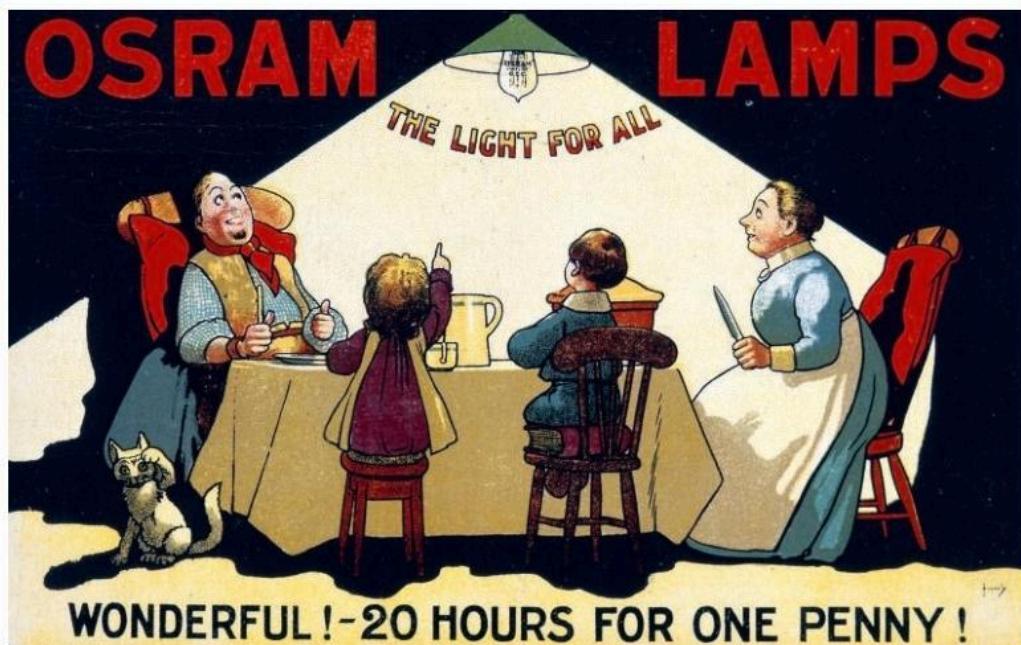


2

THÈME LE FUTUR DES ÉNERGIES



Publicité du début du xx^e siècle pour des ampoules: « Merveilleux ! 20 heures pour un penny ! ». Si l'éclairage électrique s'est développé et a été commercialisé au xix^e siècle, la découverte de l'électricité remonte à bien plus longtemps et a impliqué de nombreux scientifiques.

HISTOIRE DES SCIENCES

- Quel(s) scientifique(s) est (sont) considéré(s) comme l'(les) inventeur(s) de l'électricité ?

ESPRIT CRITIQUE

- Dans l'histoire des sciences et des technologies, est-ce toujours facile d'attribuer une découverte à un seul scientifique ? La science vous apparaît-elle comme un travail plutôt individuel ou collectif ?

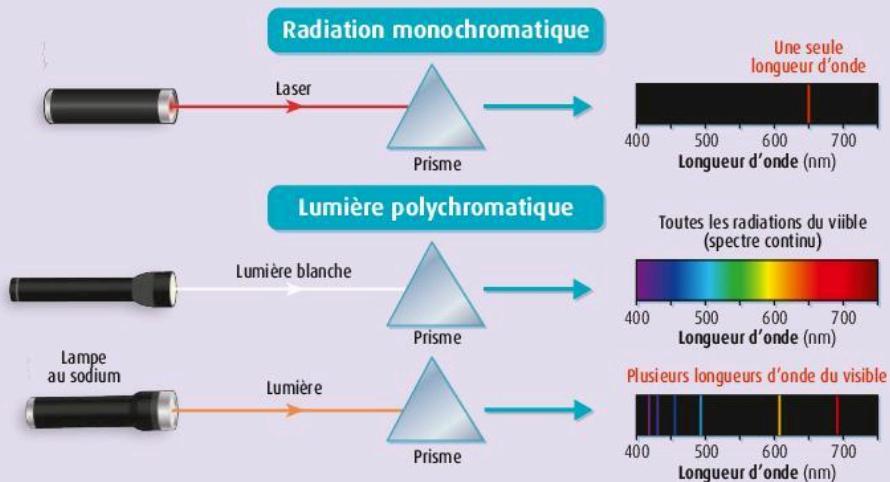


Des liens pour m'aider

POUR BIEN COMMENCER

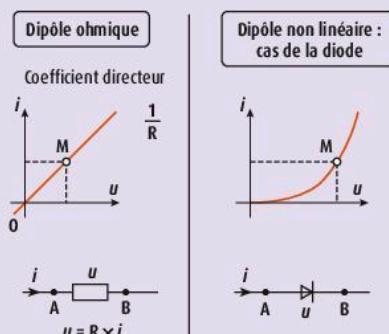
Quelques notions déjà vues

PC 2de Spectres continus et spectres de raies d'émission



PC 2de Caractéristique et point de fonctionnement d'un dipôle électrique

Caractéristique $i(u)$ d'un dipôle passif



Se tester avant de démarrer

Savez-vous répondre aux questions suivantes ?

- Comment obtient-on un spectre d'émission à partir d'un gaz à basse pression ?
- Un spectre d'émission peut-il être identique pour deux espèces chimiques différentes ?
- Comment définissez-vous le point de fonctionnement d'un dipôle électrique ?

Vue du centre financier de Bangkok, Thaïlande, à la tombée de la nuit. En France, selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), l'éclairage public représente près de 50 % des dépenses en électricité des collectivités. De nombreuses villes coupent désormais l'éclairage public la nuit pour des raisons économiques et écologiques.



CHAPITRE

5

DEUX SIÈCLES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Quelles découvertes sont à l'origine de la production d'électricité et comment ont-elles été appliquées à l'échelle industrielle ?

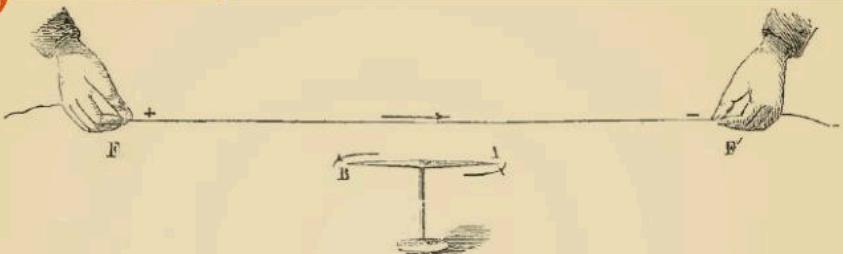
L'électromagnétisme

L'électromagnétisme est né du lien qui a été établi entre magnétisme et électricité, au début du XIX^e siècle. Dès les années 1820, les européens ont élaboré les bases conceptuelles qui ont permis de réaliser les premières machines électriques.

Comment a été découvert le lien entre électricité et magnétisme et quelles en sont les conséquences ?



Vidéo de l'expérience



« On a toujours été tenté de comparer les forces magnétiques avec les forces électriques. La grande ressemblance entre les attractions et les répulsions électriques et magnétiques et la similitude de leurs lois devaient nécessairement produire cette comparaison. »

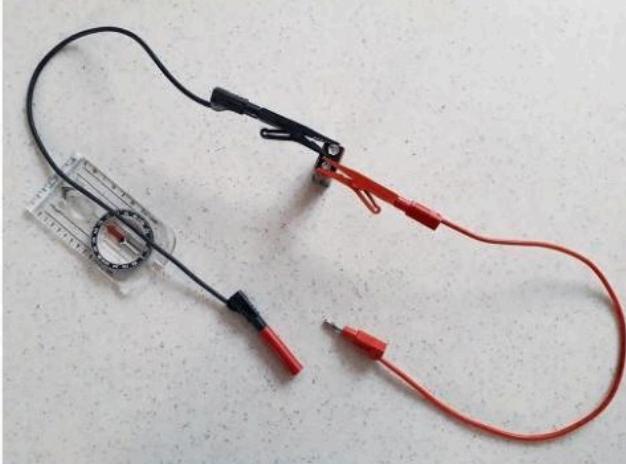
H.-C. Ørsted, 1813

Lecture d'Ampère à l'académie des sciences



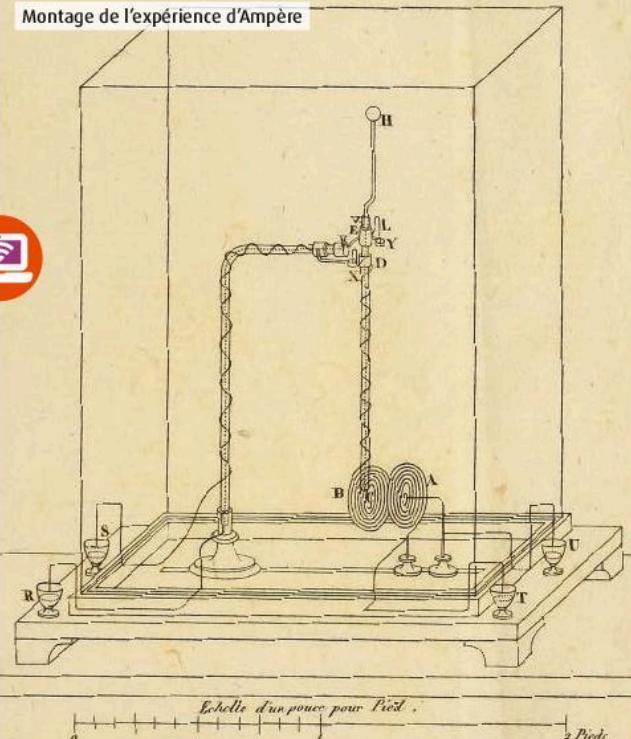
MATÉRIEL

- 2 câbles électriques avec fiches banane
- une boussole
- une pile 9 V
- éventuelles pinces crocodiles



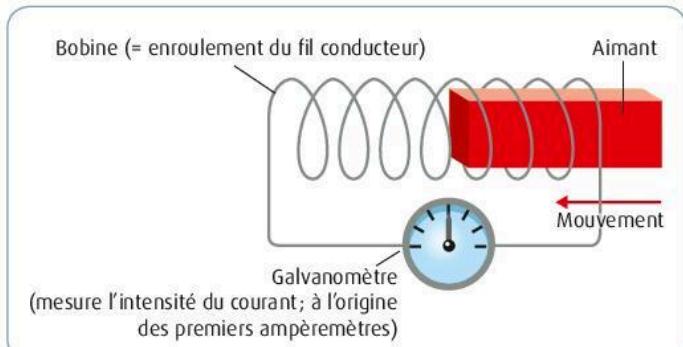
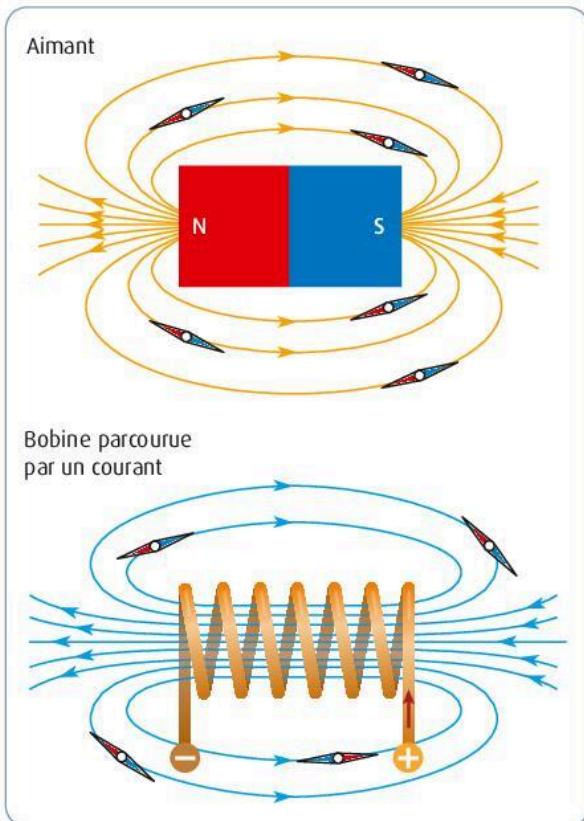
DOC 2 Matériel pour réaliser l'expérience d'Ørsted.

Montage de l'expérience d'Ampère



L'expérience d'Ørsted connaît un grand retentissement chez les scientifiques de l'époque. Le physicien André-Marie Ampère observe en septembre 1820 que des fils conducteurs enroulés en spirale et parcourus par un courant électrique s'attirent et se repoussent comme deux aimants. Ampère réduit ainsi les phénomènes magnétiques à des phénomènes purement électriques: un aimant se comporte comme une bobine parcourue par un courant. On sait maintenant que c'est en effet le mouvement des électrons qui est à l'origine des propriétés d'aimantation.

DOC 3 L'expérience d'Ampère.

**DOC 5 La découverte de l'induction électromagnétique.**

En octobre 1831, le physicien et chimiste Michael Faraday (1791-1867) montre qu'un courant électrique peut être créé à partir d'un aimant et d'une bobine de fil conducteur en mouvement l'un par rapport à l'autre. Ce phénomène est appelé induction électromagnétique.

DOC 4 Comparaison du champ magnétique créé par un barreau aimanté et une bobine. Les lignes de champ décrivent la structure d'un champ magnétique. Si l'on place dans un champ magnétique une aiguille de boussole libre de s'orienter en toutes les directions, elle s'orientera toujours le long d'une ligne de champ. Schématiquement, les lignes de champ convergent là où le champ magnétique est concentrée et sont d'autant plus espacées que l'intensité du champ magnétique est faible. C'est le physicien Michael Faraday (1791-1867) qui, le premier, les a mises en évidence.

1820



H.-C. Ørsted et A.-M. Ampère montrent qu'un fil conducteur parcouru par un courant se comporte comme un aimant

ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE

Mouvement
d'un aimant = ÉNERGIE
(magnétisme) MÉCANIQUE

1831



M. Faraday montre que le mouvement d'un aimant dans une bobine crée un courant électrique

EXPLOITER LES DOCUMENTS

1. En vous aidant du **DOC. 2**, réalisez l'expérience d'Ørsted. Décrivez le résultat observé. Refaites l'expérience en modifiant le branchement pour changer le sens du courant. Comparez ce résultat avec le résultat précédent. Attention, ne laissez la pile branchée que quelques secondes pour éviter qu'elle ne chauffe trop.
2. Imaginez une méthode permettant de tracer les lignes de champ autour d'un barreau aimanté à l'aide d'une boussole. Tracez ces lignes sur une feuille blanche placée sous l'aimant.
3. Concevez un protocole expérimental permettant de mettre en évidence le phénomène d'induction électromagnétique découvert par les deux expériences de Faraday. Après vérification du protocole par l'enseignant, réalisez le protocole. Concluez sur les résultats.

ESPRIT CRITIQUE

La recherche scientifique actuelle repose sur de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée.

→ Quelle est différence entre ces deux catégories de recherche ?

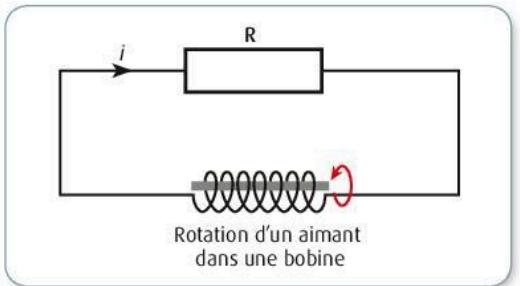
→ Les découvertes du xix^e siècle à l'origine de l'électromagnétisme relèvent-elles plutôt de la recherche fondamentale ou de la recherche appliquée ?

Pistes de travail ► Recherche Internet

Applications de l'induction électromagnétique

La production d'électricité est réalisée grâce à différents types de générateurs. Ceux qui alimentent nos réseaux électriques en courant alternatif sont appelés des alternateurs.

Comment fonctionne un générateur et quelles sont ses caractéristiques ?



DOC 1 Le principe d'un générateur.

Un générateur est une application de l'induction électromagnétique : la mise en mouvement d'un aimant mobile, appelé rotor, au sein de bobines de fil conducteur, qui constituent le stator, produit un courant électrique. Les générateurs convertissent ainsi de l'énergie mécanique en énergie électrique. Notons que les générateurs sont réversibles : en alimentant en électricité les bobines du stator, on peut mettre en mouvement le rotor. Dans ce cas, la machine électrique fonctionne en moteur.



DOC 2 Le TGV V150. En avril 2007, la rame TGV du projet V150 a atteint la vitesse record de 574,8 km/h. Comme tous les trains, les TGV utilisent leurs machines électriques en moteur pour accélérer et maintenir leur vitesse, et ils les utilisent en générateurs dans les phases de freinage.



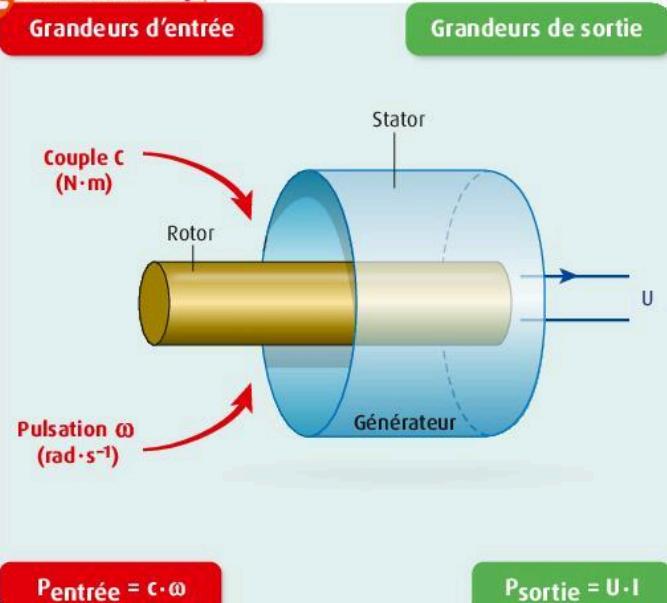
DOC 3 Un exemple de rotor. Ce rotor d'une centrale hydro-électrique est composé de nombreux aimants disposés sur un anneau métallique.



DOC 4 Un exemple de stator. Ce stator issu de l'alternateur d'une moto est composé de dix-huit bobines de fil de cuivre.



Schéma interactif

**DOC 5** Grandeurs d'entrée et de sortie d'un alternateur.

$$P_{\text{entrée}} = \text{Puissance mécanique}$$

$$P_{\text{sortie}} = \text{Puissance électrique}$$

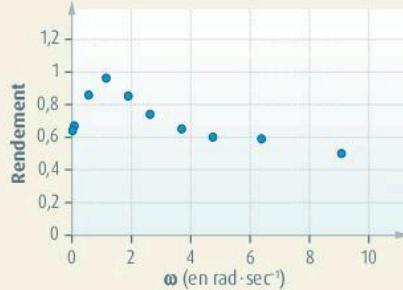
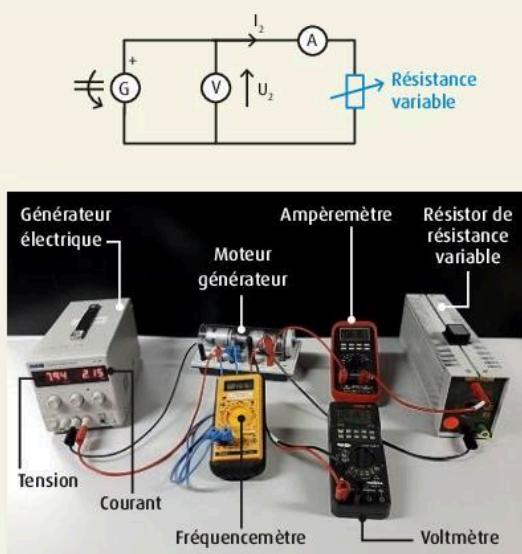
Puissance perdue (thermique)

On appelle rendement d'une machine (fonctionnant en moteur ou en générateur) le rapport entre la puissance utile (restituée) et la puissance absorbée (fournie). Ainsi, pour un alternateur, si l'on fournit une puissance mécanique de rotation $P_{\text{méca}}$, si l'on produit une puissance électrique $P_{\text{élec}}$, le rendement η de l'alternateur sera le rapport:

$$\eta = \frac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{méca}}}$$

Il s'agit d'un nombre compris entre 0 et 1, que l'on peut aussi exprimer en pourcent entre 0 et 100%.

Le rendement dépend de nombreux facteurs, dont la vitesse de rotation du rotor. Lorsque l'alternateur fonctionne de manière optimale, à la vitesse de rotation dite nominale, son rendement est proche de 1.

DOC 6 Le rendement d'un alternateur.**DOC 7** Étude des propriétés d'un générateur modèle.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Expliquez succinctement en quoi les générateurs reposent sur la découverte de l'induction électromagnétique par Faraday (**DOCS 1, 3 et 4**).
- Indiquez comment la réversibilité entre un générateur et un moteur peut être exploitée (**DOC. 2**).
- Réalisez le montage du **DOC. 7**. En variant la tension d'alimentation du moteur entre 0 V et 12 V, relevez U_2 , I_2 ainsi que la vitesse de rotation du moteur et le couple de celui-ci. Vous consignerez vos résultats dans un tableau.
- Calculez P_{sortie} et $P_{\text{méca}}$.
- Tracez la courbe du rendement du générateur en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Conclure.

ESPRIT CRITIQUE

L'utilisation du courant alternatif s'est imposée à la fin du XIX^e siècle aux États-Unis après une bataille farouche entre les partisans du courant continu et ceux du courant alternatif.

→ Quels ont été les scientifiques impliqués dans cette guerre des courants ?

→ Quels étaient les enjeux de cette bataille ?

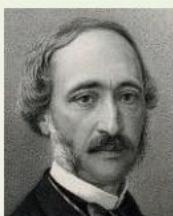
→ Quelles méthodes a employées Edison pour discréditer ses opposants ? Cela vous paraît-il éthique scientifiquement ?

Pistes de travail ► Recherche Internet

Interactions entre atomes et lumière : un processus quantique

Les premiers effets photo-électriques, c'est-à-dire la production d'électricité à partir de matériaux absorbant la lumière, ont été observés dès le XIX^e siècle. Il a fallu attendre l'arrivée de la physique quantique au début du XX^e siècle pour pouvoir les expliquer.

En quoi l'émission de lumière est-elle un processus quantique ?



1839

Antoine Becquerel et son fils observent le comportement électrique d'électrodes immergées dans un liquide, modifié par un éclairage.



1887

Wilhelm Hallwachs, quelques mois après les travaux de Hertz sur les ondes électromagnétiques, montre qu'on peut charger électriquement un métal à l'aide de lumière UV.



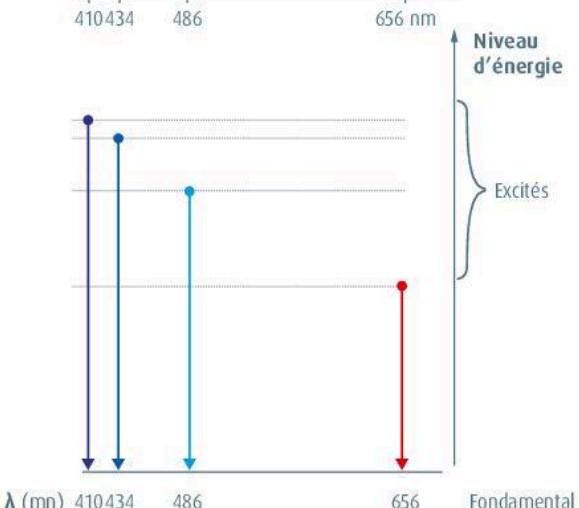
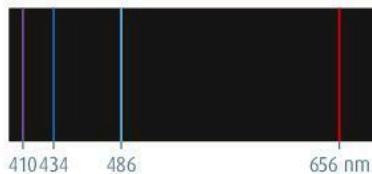
1899

Joseph Thomson montre que des « coruscules » (des électrons) sont émis par une plaque métallique dans un tube à vide soumis à de la lumière UV.



1905

Albert Einstein propose une explication quantique de cet effet photoélectrique, mettant en jeu des particules de lumières, les photons.



Lorsqu'on applique une différence de potentiel suffisante aux bornes métalliques d'une ampoule contenant un gaz, sous certaines conditions, celui-ci émet de la lumière. Pour le dihydrogène, il y a 4 bandes visibles qui sont représentées ci-dessous, dites « série de Balmer » du nom de celui qui a proposé une formule empirique en 1885 permettant de décrire simplement les longueurs d'ondes en jeu. L'interprétation de l'expérience est fournie dans le **DOC. 3**.

DOC 1 Effet photo-électrique : les dates clés.

DOC 2 Spectre de raies d'émission du dihydrogène.

Il existe en fait de très nombreuses raies d'émission pour le dihydrogène. Chacune correspond à l'émission d'une particule de lumière – un photon – lorsqu'un électron de l'atome (excité

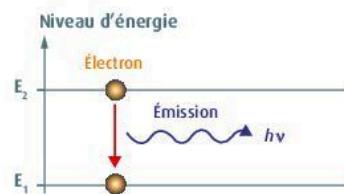
par la décharge électrique dans l'expérience du **DOC. 2**) passe d'un niveau d'énergie excité (E_2) au niveau d'énergie fondamental (E_1). Le photon émis possède alors une fréquence ν telle que :

$$E_2 - E_1 = h \cdot \nu \quad \text{avec } \nu = \frac{c}{\lambda}$$

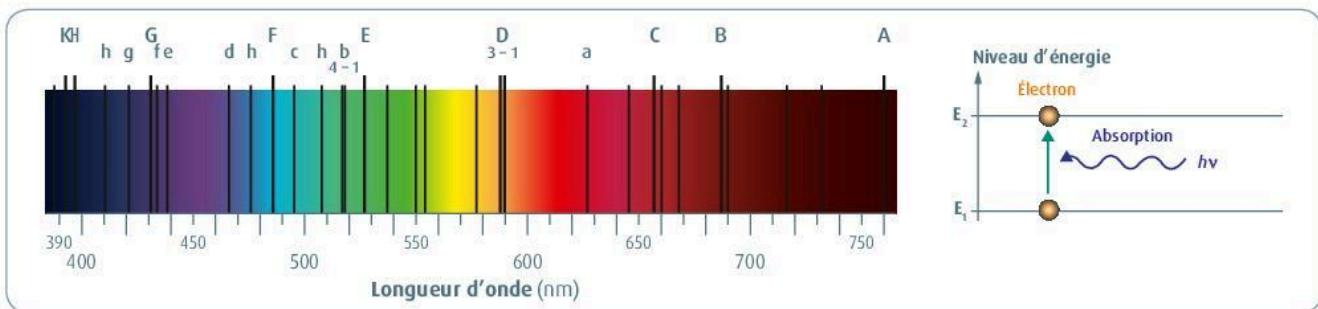
h est la constante de Planck qui vaut exactement $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

c est la vitesse de la lumière dans le vide qui vaut environ $3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

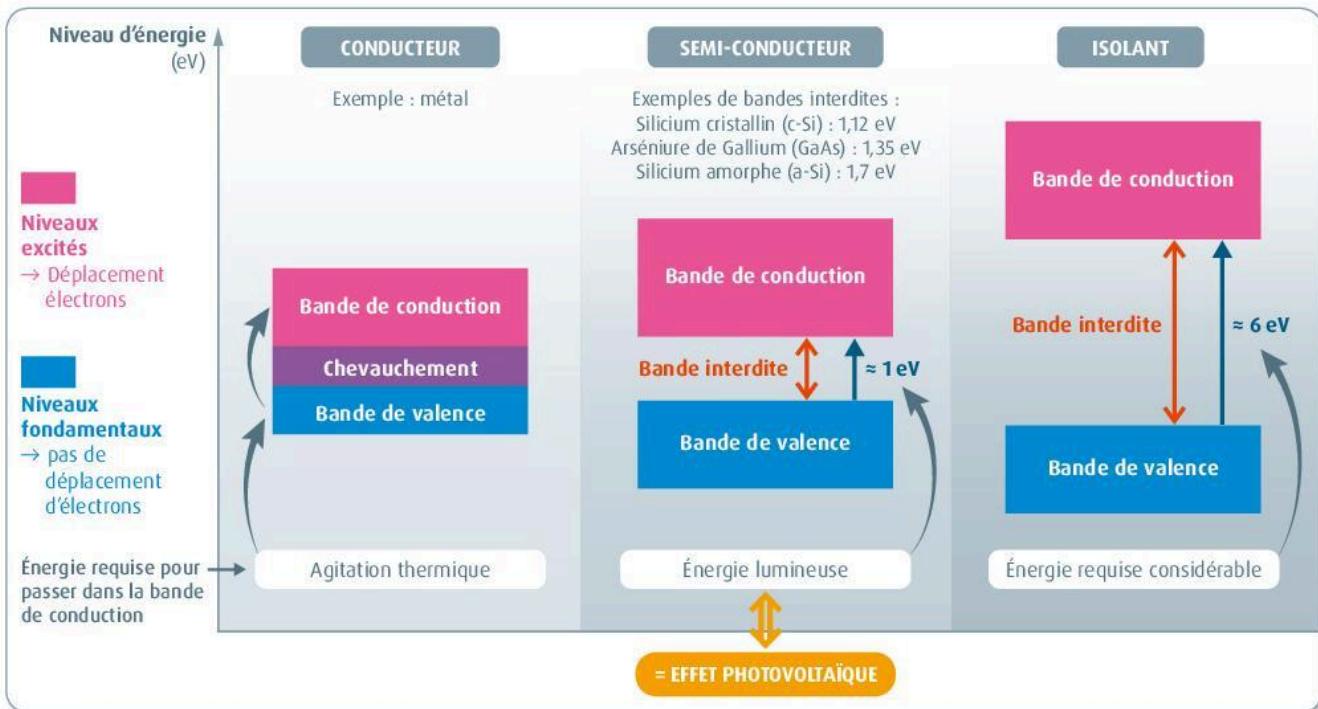
Pour passer d'un niveau d'énergie à l'autre il faut apporter une quantité d'énergie précise, un « quantum ». La mécanique quantique permet d'expliquer et de prévoir ces quanta.



DOC 3 Niveaux d'énergie.



DOC 4 Les raies de Fraunhofer. Le spectre de la lumière du Soleil présente des raies sombres : les raies de Fraunhofer. Il s'agit d'un spectre de raies d'absorption où chaque raie sombre correspond à une longueur d'onde absorbée par les gaz de l'atmosphère solaire. Ces raies correspondent à l'absorption de photons par des électrons passant d'un niveau d'énergie E_1 à E_2 .



DOC 5 Les interactions atomes et lumière dans les matériaux. Dans la matière dense, contrairement à ce que l'on observe dans un gaz atomique, les niveaux d'énergie excité forment un continuum appelé bande de conduction. Les électrons excités de la bande de conduction peuvent se déplacer d'un atome à l'autre, créant un courant électrique. L'état fondamental est lui aussi un continuum, appelé bande de valence, au sein duquel les électrons ne peuvent pas conduire le courant. Dans les isolants

et les semi-conducteurs, la bande de conduction et la bande de valence sont séparées par ce que l'on nomme la «bande interdite» : c'est la différence d'énergie entre la bande de conduction et la bande de valence. Elle correspond à la quantité minimale d'énergie (ici lumineuse) à fournir pour qu'un électron passe de la bande de valence à la bande de conduction. L'effet photovoltaïque est l'utilisation de la lumière pour créer un courant dans un semi-conducteur.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Identifiez les raies de l'hydrogène dans le spectre d'émission observé du soleil (**DOCS 2 à 4**). Interprétez.
- L'essentiel du spectre solaire s'étend dans le visible. Après avoir rappelé les longueurs d'onde qui bornent le spectre visible, indiquez à quelles fréquences (en Hz) et à quelles énergies (en J, en eV) cela correspond. $1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{24} \text{ eV}$.
- On souhaite choisir un matériau semi-conducteur qui utilise toute l'énergie solaire du spectre visible. Déduisez de la question précédente la valeur maximale de sa bande interdite. En déduire le(s)quel(s) des trois semi-conducteurs du **DOC. 5** (c-Si, GaAs et a-Si) peut être utilisé.

ESPRIT CRITIQUE

Plus de 60 ans se sont écoulés entre la première description de l'effet photo-électrique et son explication par Einstein.

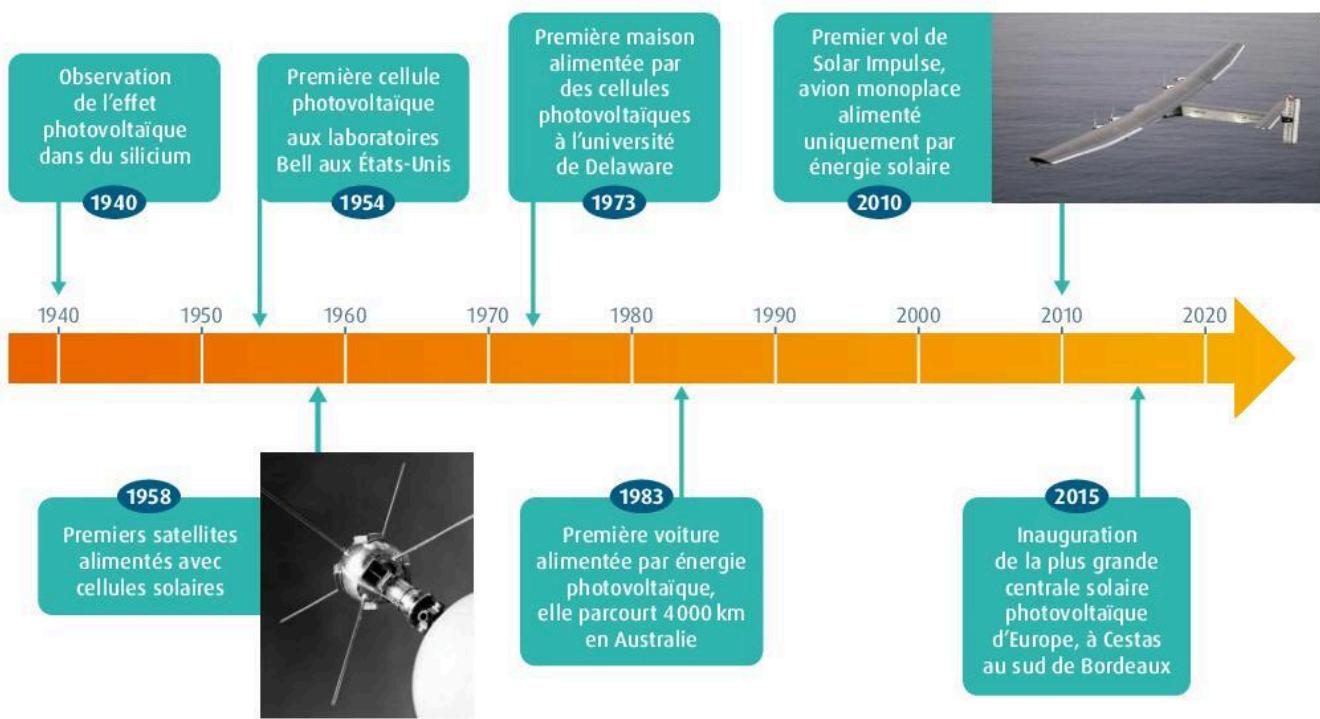
- De quelle révolution de la physique Einstein est-il à l'origine ?
- Vous paraît-il étonnant qu'en science, une telle durée puisse s'écouler entre une observation et son explication ? Comment ensuite vérifier la validité des explications proposées ?

Pistes de travail ► **DOC. 1 et recherche Internet**

Les cellules photovoltaïques

La seconde partie du xx^e voit l'essor des technologies à base de semi-conducteurs : électronique, micro-électronique, processeurs de plus en plus puissants, mais aussi cellules photovoltaïques qui permettent le développement de panneaux solaires de plus en plus performants.

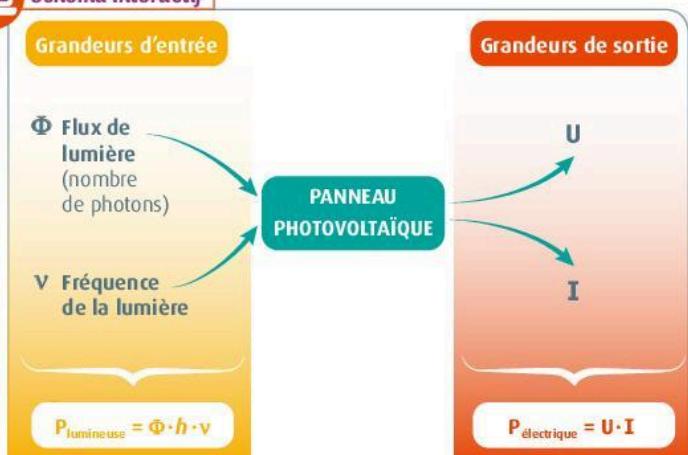
Comment caractériser les propriétés d'une cellule photovoltaïque ?



DOC 1 L'essor des semi-conducteurs.



Schéma interactif



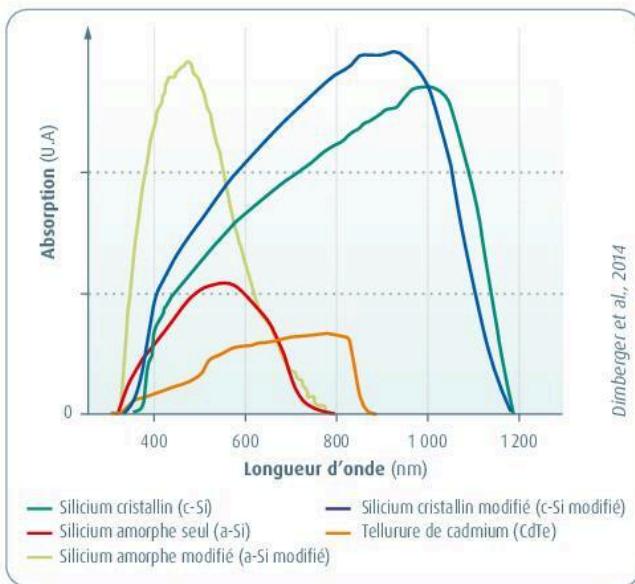
Sans apport d'énergie extérieure, un semi-conducteur se comporte comme un isolant. L'absorption d'une quantité d'énergie suffisante met en mouvement les électrons et permet donc de créer un courant électrique. Une cellule photovoltaïque est composée de semi-conducteurs. Elle convertit ainsi l'énergie solaire en énergie électrique.

DOC 2 Grandeurs d'entrée et de sortie d'un panneau photovoltaïque.

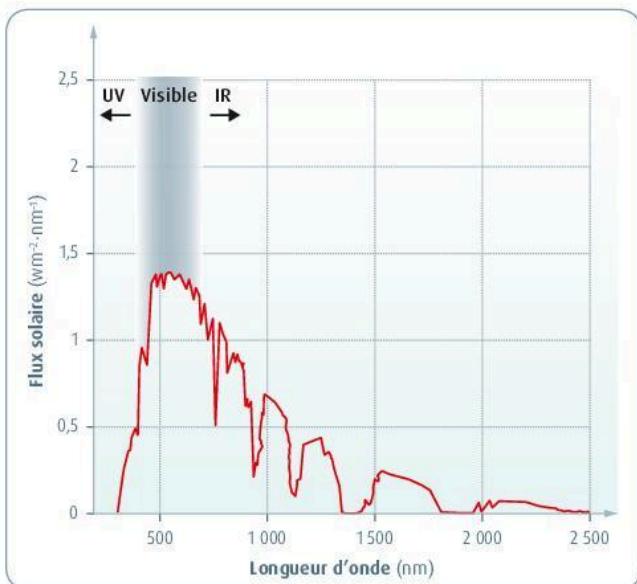
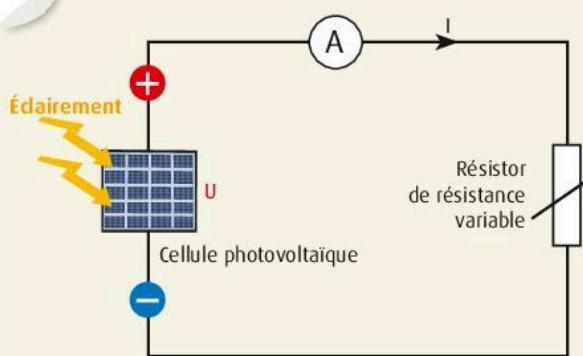


DOC 3 La centrale photovoltaïque de Cestas.

Ses panneaux photovoltaïques couvrent une superficie de 260 ha et délivrent une puissance de 300 MW.

**DOC 4 Spectre d'absorption de semi-conducteurs.**

Les panneaux solaires sont constitués d'associations de semi-conducteurs différents. Certains sont modifiés, par exemple par ajout d'éléments chimiques dans la structure cristalline, afin d'optimiser la réponse du panneau.

**DOC 5 Spectre du rayonnement solaire au niveau de la mer.****PROTOCOLE**

- Réalisez le montage proposé.
- Éclairez le panneau solaire avec une lampe de bureau.
- Mesurez la tension à vide, c'est-à-dire avec un résistor de résistance R infinie.

DOC 5 Puissance d'une cellule photovoltaïque.**Exemple de réponse de la cellule en fonction de l'éclairement**

- Pour différentes valeurs de R , relevez la tension U à ses bornes et l'intensité I la traversant.
- Reportez les mesures dans un tableau.

EXPLOITER LES DOCUMENTS

- Définissez le rendement d'un panneau photovoltaïque (DOC. 2).
- Expliquez l'intérêt de mettre différents semi-conducteurs dans un panneau solaire. Indiquez, parmi les semi-conducteurs présentés, lesquels vous paraissent le plus efficace pour absorber l'énergie solaire (DOCS 4 et 5).
- À partir des données de votre tableau, représentez I en fonction de U [caractéristique $I(U)$] (DOC. 5).
- Calculez la puissance fournie au résistor R . Estimez en quel point de la courbe $I(U)$ celle-ci est maximale (DOC. 5).

ESPRIT CRITIQUE

- Les cellules photovoltaïques sont les composants à la base des panneaux solaires. L'énergie solaire est une énergie renouvelable.
- Quelle est la place des panneaux solaires dans le mix énergétique de la France aujourd'hui ?
- Une énergie renouvelable est-elle synonyme d'une énergie propre ? Quels sont les sources de pollution des panneaux solaires ?

Pistes de travail ► Recherche Internet

BILAN

DEUX SIÈCLES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

1. De l'induction électromagnétique aux alternateurs

► L'électromagnétisme naît au xix^e siècle lorsqu'un lien étroit est établi entre électricité et magnétisme. Un fil conducteur parcouru par un courant crée un champ magnétique capable de dévier l'aiguille d'une boussole. À l'inverse, le mouvement d'un aimant permet de produire du courant dans un enroulement (ou bobine) de fil conducteur : il s'agit du phénomène d'**induction électromagnétique**. > **Unité 1**

► L'induction électromagnétique permet de réaliser des machines électriques tournantes produisant de l'électricité à partir d'un mouvement de rotation : les générateurs ou alternateurs. Les générateurs produisent du courant continu. Les alternateurs sont quant à eux utilisés dans les centrales de production afin de fournir de l'énergie électrique sous forme de courant alternatif, utilisé au niveau industriel ou domestique. > **Unité 2**

► Pour tout dispositif électrique produisant de l'énergie électrique, la **puissance** électrique fournie est le produit de la tension par le courant délivré : $P_{\text{élec}} = U \cdot I$. Dans le cas d'une machine tournante, la puissance mécanique injectée est le produit du **couple mécanique** par la vitesse de rotation : $P_{\text{méca}} = C \cdot \omega$. Ainsi, on définit le rendement d'un alternateur comme le rapport $\eta = \frac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{méca}}}$, compris entre 0 et 1 (ou 0 et 100 %). > **Unité 2**

2. De l'interaction lumière/matière aux panneaux photovoltaïques

► Le xx^e siècle a vu l'essor de la physique quantique qui permet notamment d'expliquer les interactions entre lumière et matière, comme les spectres lumineux d'émission ou d'absorption. Les atomes ne peuvent se trouver qu'à des niveaux d'énergie donnés et quantifiés. Pour passer d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau E_2 plus élevé, l'atome absorbe un photon (ou quantum) d'énergie $E_2 - E_1$. Lorsqu'il se désexcite et passe d'un niveau E_2 à un niveau E_1 plus faible, l'atome émet un photon d'énergie $E_2 - E_1$. La fréquence du photon associé notée v (lettre grecque « nu ») est telle que $E_2 - E_1 = h \cdot v$ où h est la constante de Planck. On rappelle que la longueur d'onde associée est alors $\lambda = \frac{c}{v}$, c étant la constante de la vitesse de la lumière. > **Unité 3**

► Lorsque l'on éclaire un gaz avec un spectre continu, des photons d'énergie spécifique aux atomes composant le gaz sont absorbés. Le spectre qui en résulte est un **spectre d'absorption**, qui comporte des raies noires. L'excitation d'un gaz, par exemple à l'aide d'une décharge électrique, permet d'obtenir une émission de lumière sous la forme d'un **spectre de raies d'émission**. > **Unité 3**

► On utilise actuellement des **semi-conducteurs** dans les panneaux photovoltaïques. Sous l'effet de la lumière, les électrons d'un matériau semi-conducteur se trouvent dans des niveaux d'énergie excités (appelés bande de conduction), leur permettant de se déplacer d'un atome à l'autre. Ce déplacement est à l'origine d'un courant électrique. Les semi-conducteurs utilisés sont choisis afin d'avoir un spectre d'absorption optimal compte tenu du spectre d'émission solaire. En pratique, le point de fonctionnement optimal d'un panneau fournissant une tension U et un courant I est tel que la puissance électrique fournie $P = U \cdot I$ est la plus grande possible. Ce point de fonctionnement dépend de la résistance R du circuit qui suit la loi d'Ohm $U = R \cdot I$. > **Unités 3 et 4**



Les mots-clés du chapitre

- **Induction électromagnétique :**

Phénomène physique conduisant à l'apparition d'une tension électrique à partir du mouvement d'un aimant dans une bobine de fil conducteur.

- **Puissance :** Quantité d'énergie par unité de temps. Son unité est le watt (W).

- **Couple mécanique :** Effort mécanique de rotation appliqué à un axe. Il s'exprime en N·m.

- **Spectre de raie d'émission :**
Ensemble de raies de couleur émises par un gaz sous faible pression excité par une décharge électrique ou soumis à de fortes températures.
Le spectre dépend de l'entité chimique constituant le gaz.

- **Spectre d'absorption :**
Spectre obtenu après passage de la lumière dans un milieu absorbant certaines longueurs d'ondes. Une longueur d'onde absorbée apparaît sous forme d'une raie noire sur le spectre.

- **Semi-conducteur :** matériau qui, selon la fréquence d'excitation, peut se comporter comme un isolant ou comme un conducteur.

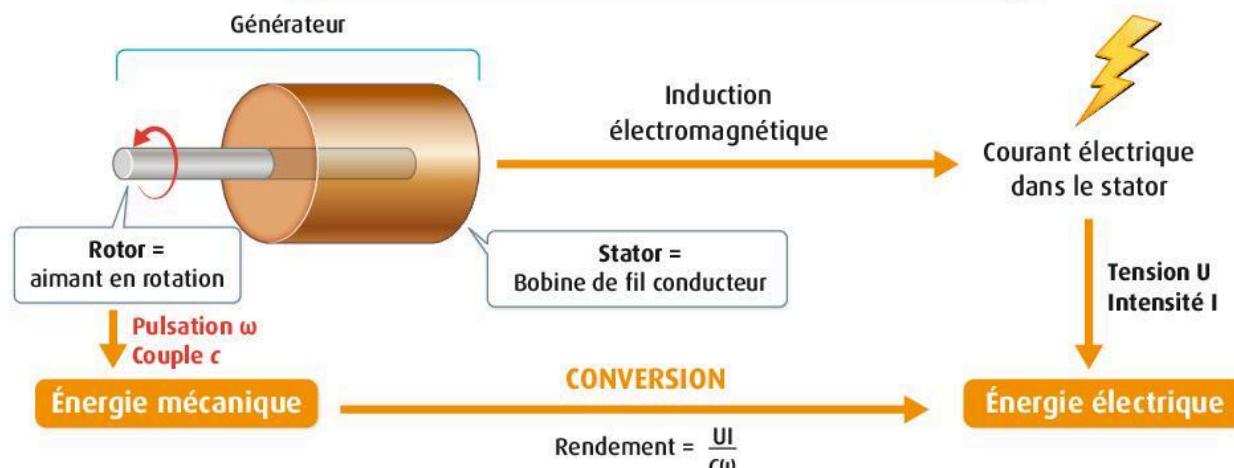
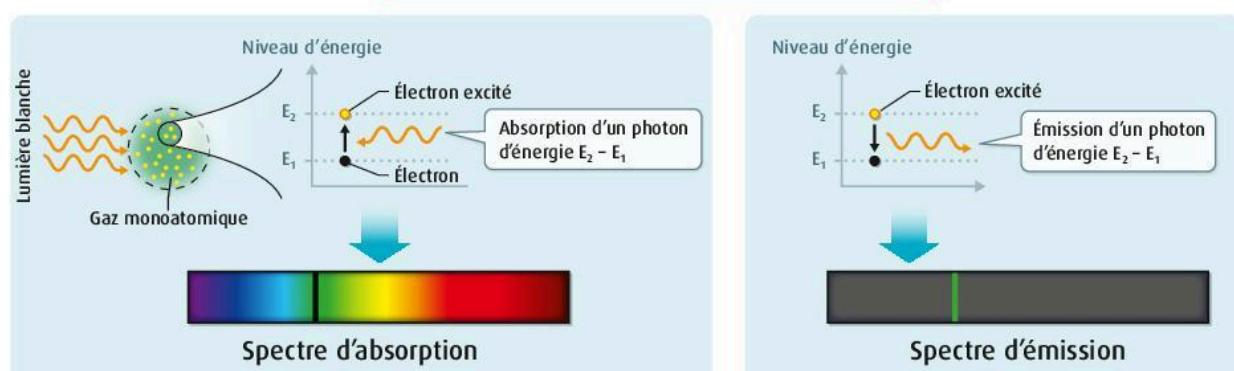
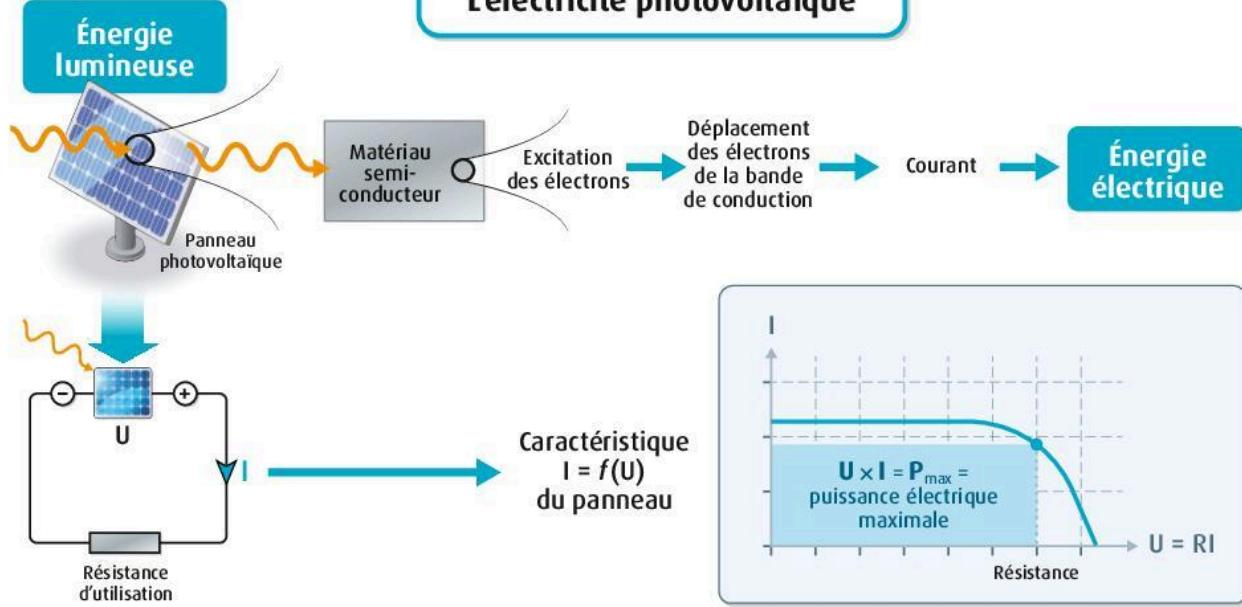
Ne pas confondre

- **Rendement et puissance.**

Le rendement est une grandeur sans unité et est le rapport de la puissance produite sur la puissance injectée.

- **Moteur et générateur.**

Le moteur comme le générateur sont des machines électriques. Le plus souvent ce sont les mêmes machines ! Mais on appelle moteur la machine électrique qui吸orbe de l'énergie électrique pour fournir de l'énergie mécanique ; on appelle générateur la machine électrique qui吸orbe de l'énergie mécanique pour fournir de l'énergie électrique.

l'essentiel par l'image**Schéma interactif** **De l'induction à la réalisation d'un générateur****Les interactions lumière-matière****L'électricité photovoltaïque**

Mémoriser son cours

Pour mémoriser l'essentiel du cours, posez-vous régulièrement ces questions et vérifiez vos réponses.

1. Quels sont les éléments principaux d'un générateur?
2. Comment définir le rendement d'un générateur? Quel paramètre peut l'influencer?
3. Comment schématiser le spectre d'émission de l'hydrogène? Comment l'interpréter?
4. Quelle est approximativement l'allure du spectre solaire et quelles sont les longueurs d'onde en jeu?
5. Quel matériau est utilisé dans un panneau solaire?
6. Comment optimiser le rendement d'une cellule photovoltaïque?

Pour s'échauffer

1 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1. L'induction électromagnétique, c'est :

- a. La création d'un champ magnétique par un courant électrique qui parcourt un fil.
- b. La création d'un courant électrique dans une bobine en rotation sur elle-même.
- c. La création d'un courant électrique dans une bobine par un aimant en mouvement par rapport à cette dernière.

2. D'un point de vue énergétique, l'induction électromagnétique est :

- a. une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.
- b. une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.
- c. une conversion d'énergie mécanique en énergie thermique.

3. La puissance mécanique fournie par un moteur à un générateur se calcule comme :

- a. le produit de la force par la fréquence de rotation.
- b. le produit du couple par la pulsation.
- c. le produit de la longueur par la force.

4. Le rendement d'un alternateur se calcule :

- a. en divisant la vitesse de rotation de l'alternateur par l'intensité du courant produit.
- b. en multipliant la puissance électrique en sortie par la puissance mécanique en entrée.
- c. en faisant le quotient de la puissance électrique en sortie par la puissance mécanique en entrée.

5. Le rendement d'un alternateur industriel est de l'ordre de :

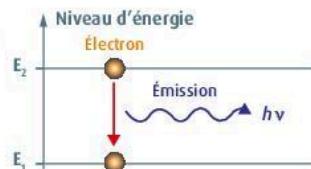
- a. 30 %.
- b. 60 %.
- c. 95 %.

6. Parmi les matériaux ci-après, identifiez celui qui n'est pas un semi-conducteur :

- a. germanium.
- b. silicium.
- c. cuivre.

7. Le phénomène ci-contre se traduira par :

- a. l'émission d'un électron.
- b. l'émission d'un proton.
- c. l'émission d'un photon.

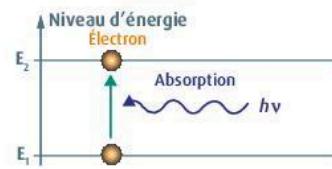


8. La lumière visible s'étend de :

- a. 400 à 800 nm.
- b. 4 à 8 Å.
- c. 0,4 à 0,8 µm.

9. Le schéma ci-contre permet d'illustrer :

- a. un spectre continu.
- b. un spectre d'absorption.
- c. la loi d'Ohm.



10. La bande interdite d'un semi-conducteur ou d'un isolant, c'est :

- a. la quantité minimale d'énergie à fournir pour que les éléments du matériau perdent leurs électrons.
- b. la quantité d'énergie au-delà de laquelle le matériau risque de brûler.
- c. la quantité minimale d'énergie à fournir pour que les électrons du matériau passent d'un état fondamental à un état excité.

11. Les électrons d'un semi-conducteur peuvent franchir la bande interdite :

- a. quand ils sont mis en rotation.
- b. quand ils sont éclairés.
- c. quand ils sont placés à très basse température.

12. La caractéristique électrique d'une charge résistive R s'exprime sous la forme :

- a. $I = U \cdot R$
- b. $I = \frac{U}{R}$
- c. $R = U \cdot I$

► CORRECTION p. 318

2 Qui suis-je ?

1. Je fus le premier à observer que le passage d'un courant dans un fil dévie l'aiguille d'une boussole.
2. Je suis la partie mobile d'une machine électrique.
3. Je suis une particule produite par la désexcitation d'un électron d'un niveau d'énergie E_2 à un niveau d'énergie E_1 .
4. Je suis un matériau dont la bande interdite est infranchissable.
5. Je suis le produit d'un flux de photons par la fréquence de la lumière incidente et par la constante de Planck.

3 Vrai/Faux

Identifiez les réponses justes et corigez les fausses.

1. Un moteur peut aussi servir d'alternateur.
2. Un courant électrique circulant dans un fil crée un champ magnétique.
3. Une cellule photovoltaïque soumis à de la lumière fournit toujours du courant électrique.
4. Les raies d'émission d'un gaz se répartissent régulièrement dans le spectre.
5. Le spectre d'absorption d'un semi-conducteur est un spectre de raies.

4 Associations

Associez chaque grandeur à son unité:

Tension •	• J
Courant •	• m
Puissance •	• N
Force •	• W
Longueur d'onde •	• A
Fréquence •	• rad·s ⁻¹
Énergie •	• Hz
Pulsation •	• V

5 Caractéristiques d'un alternateur

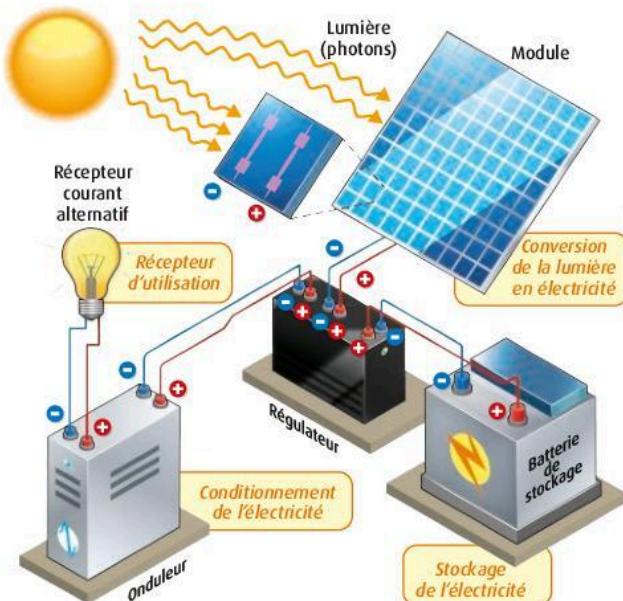
On a relevé les valeurs suivantes pour un alternateur de voiture en fonctionnement.

Grandeur	Valeur
Couple appliqué à l'arbre moteur	5 Nm
Vitesse de rotation	2000 tours/min
Courant fourni	80 A
Tension fournie	12 V

1. À partir de la vitesse de rotation donnée ici en tours par minute, calculez la pulsation du rotor de l'alternateur (en rad·s⁻¹)
2. Calculez alors la puissance mécanique fournie à l'alternateur.
3. Calculez la puissance électrique fournie par l'alternateur.
4. Déduisez-en le rendement de la conversion mécanique/électrique assurée par l'alternateur.

6 Raisonner

Le schéma ci-dessous représente l'installation photovoltaïque d'une habitation. Le module photovoltaïque produit un courant continu de façon intermittente. L'onduleur est branché juste en amont du réseau domestique. La batterie est endommagée en cas de charge trop rapide.



Question: Justifiez la nécessité du régulateur, de la batterie et de l'onduleur.

7 Champ magnétique

Dans l'expérience historique d'Ørsted, la boussole est déviée par le champ magnétique créé par le courant circulant dans le fil. À une distance d du fil, on peut montrer que ce champ a pour valeur $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d}$ où μ_0 , appelée perméabilité magnétique du vide, est une constante universelle qui vaut $4\pi \cdot 10^{-7}$ en unités du système international.

Question: En supposant que le fil se situe à 1 cm de la boussole et en se rappelant que le champ magnétique terrestre vaut $5 \cdot 10^{-5}$ Tesla (unité du système international), à quelle intensité I le champ créé par le fil est-il comparable à celui de la Terre?

8 Usine marémotrice

L'usine marémotrice de la Rance (Ille-et-Vilaine) utilise l'énergie des courants de marée pour produire environ 500 GWh annuellement. Les turbines sont de très grande dimension et sont réversibles. Afin que les poissons puissent circuler, la vitesse de rotation est réduite à moins de 100 tours par minute. Pour conserver une énergie mécanique élevée, on peut compenser cette faible rotation par des pales de grande dimension.

Question: Justifiez cette proposition en énonçant notamment une relation liant énergie mécanique et vitesse de rotation.

9 Calculer et représenter des données avec Python PIX

La série de Balmer

En 1885, le physicien Johann Jakob Balmer propose une formule, qui porte désormais son nom, et qui donne la longueur d'onde d'émission des quatre raies visibles de l'hydrogène. Ainsi, les longueurs d'onde en jeu suivent la formule :

$$\lambda_m = \frac{B \cdot m^2}{(m^2 - n^2)} \text{ où } B = 364,6 \text{ nm}, n=2 \text{ et } m=3 \text{ ou } 4 \text{ ou } 5 \text{ ou } 6.$$

Cette formule générale permet en fait de prédire une infinité de longueurs d'onde pour cette série, mises en évidence dans la partie invisible du spectre. On se propose ici d'étudier et de représenter ces raies du spectre de l'hydrogène à l'aide d'un programme Python simple que l'on écrira.

QUESTIONS

1. Pour m compris entre 3 et 15, calculez la longueur d'onde λ_m de la série de Balmer.
2. Vérifiez que les 4 premières longueurs d'onde correspondent bien à 656, 486, 434, 410 nm.
3. Représentez sur un graphique λ_m en fonction de m .
4. Calculez l'énergie E_m des photons correspondant à chaque longueur d'onde en fonction de m . Représentez E_m en fonction de m .

RÉSOLUTION

1. Programme Python (aide p. 319) :

```
B=364.6e-9 # notation scientifique dans le système international
n=2
for m in [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15] : # boucle for
    l=B*m**2/(m**2-n**2) # ** pour les puissances
    print(m,l) # impression du résultat
```

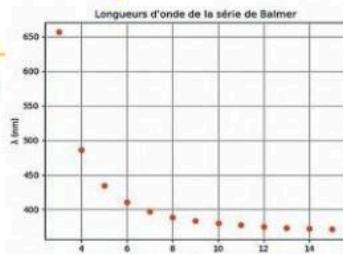
ce qui donne :

m	λ_m
3	6,5628e-07
4	4,8613e-07
5	4,3404e-07
6	4,10175e-07
7	3,9700e-07
8	3,8890e-07
9	3,8354e-07
10	3,7979e-07
11	3,7706e-07
12	3,7501e-07
13	3,7343e-07
14	3,7219e-07
15	3,7119e-07

2. Ici les longueurs d'onde sont en mètre ; les quatre premières, du domaine visible, correspondent bien à celles de la question 2. Je travaille dans le système international.

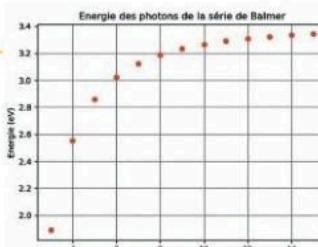
3. Pour le tracé, on appelle la fonction plot du package matplotlib.

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(m,1/lambda,'or') # Les points seront ronds 'o' et rouges 'r'
plt.xlabel('m') # je nomme L'axe des abscisses
plt.ylabel('λ (nm)') # je nomme L'axe des ordonnées
plt.title('Longueurs d'onde de la série de Balmer') # je donne un titre
plt.grid() # quadrillage derrière le graphique
plt.show() # je fais apparaître le graphique
```



4. On se sert de la relation $E = h \times v = h \times \frac{c}{\lambda}$.

```
h=6.62607015e-34
c=299792458
e=1.602176634e-19
E=h*c/l
E_eV=E/e
print(E_eV)
plt.plot(m, E_eV,'or')
plt.xlabel('m')
plt.ylabel('Energie (eV)')
plt.title('Energie des photons de la série de Balmer')
plt.grid()
plt.show()
```



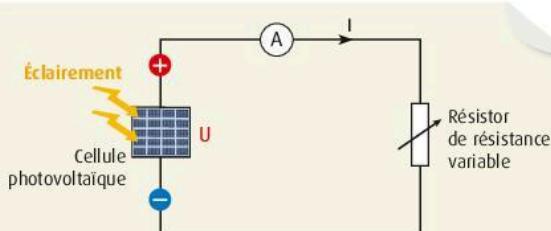
J'adapte les calculs et les commandes précédents

Exercices d'application Méthode

10 Calculer et représenter des données avec Python PIX

Fonctionnement optimal d'une cellule photovoltaïque

Pour un éclairement donné, la caractéristique $I(U)$ d'une cellule photovoltaïque a été mesurée en faisant varier la résistance de charge à ses bornes.



PROTOCOLE

- On réalise le montage schématisé.
- On éclaire la cellule photovoltaïque avec une lampe de bureau
- On mesure la tension à vide
- Pour différentes valeurs de R , on relève la tension U aux bornes du résistor et l'intensité le traversant.
- On reporte les mesures dans un tableau.

DOC 2 Montage et protocole réalisés.

U , I
0 , 3.3
0.12 , 3.25
0.19 , 3.30
0.31 , 3.20
0.37 , 3.20
0.42 , 3.15
0.48 , 3.05
0.51 , 2.90
0.54 , 2.45
0.58 , 1.85
0.60 , 0.50
0.61 , 0

DOC 4 Montage et protocole réalisés. Les grandeurs U et I sont stockées dans un fichier CSV.



DOC 5 Détermination du point de fonctionnement optimal par Python. Afin de déterminer le point de fonctionnement optimal de la cellule, un élève propose le programme Python ci-dessous.

```
import pandas

data=pandas.read_csv('data_cell.csv')

P_max=0
index_max=0

for index, row in data.iterrows():
    P=row['U']*row['I']
    if P_max < P:
        index_max=index

print('Le point optimal est : ')
print(data.iloc[index_max])
```

QUESTIONS

1. Comment peut-on expérimentalement mesurer la tension à vide (**DOC. 2**) ?
2. Tracez la caractéristique $I(U)$ de la cellule photovoltaïque (**DOC. 3**).
3. Calculez la puissance électrique P fournie à la résistance de charge. Tracez $P(U)$. Déduisez-en le point de fonctionnement optimal (**DOC. 3**).
4. Que vaut P lorsque U est nulle? Lorsque I est nulle? Justifiez qu'il existe un point de fonctionnement optimal. Estimez-le graphiquement.
5. Le programme du **DOC. 5** ne fonctionne pas. Proposez la (ou les) correction(s) qui s'imposent (**DOCS 4 et 5**).
6. Ajoutez les lignes de commandes qui permettent de calculer la charge résistive équivalente permettant de se placer à ce point de fonctionnement de la cellule (**DOC. 5**).
7. Quelle est la valeur de cette charge résistive?

AIDE

- S'aider du doc. 5 p. 119.



DOC 1 Des cellules photovoltaïques.

U (en V)	0	0,12	0,19	0,31	0,37	0,42
I (en A)	3,30	3,25	3,30	3,20	3,20	3,15
U (en V)	0,48	0,51	0,54	0,58	0,60	0,61
I (en A)	3,05	2,90	2,45	1,85	0,50	0

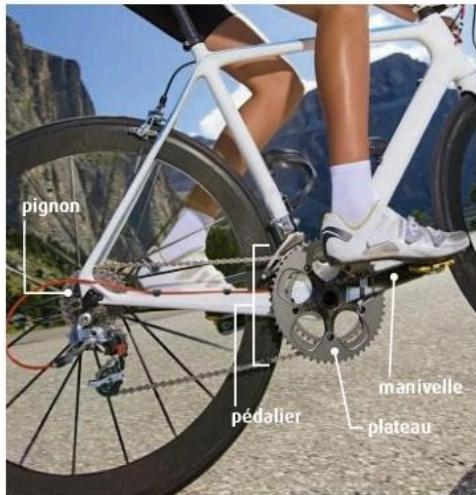
DOC 3 Résultat des mesures de U et I pour des valeurs variables de la résistance de charge. Le tableau résume les résultats obtenus, sachant que l'incertitude est estimée à respectivement 0,01 V et 0,05 A.

Tester ses compétences

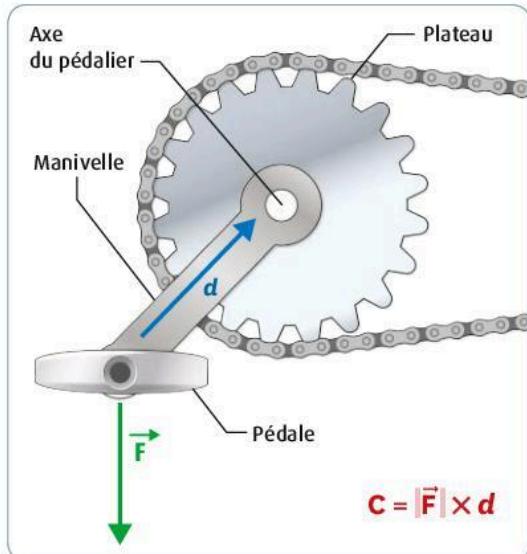
11 Exploiter des données, calculer

La relation entre couple, vitesse et force

Un vélo de course possède un pédalier avec 2 ou 3 plateaux comportant N dents. Il possède également une cassette arrière possédant n dents. Le cycliste peut changer de plateau et/ou de pignon arrière. Pour un tour de pédalier, la roue arrière effectue N/n tours.



DOC 1 Plateau et pignon arrière sur un vélo de course.



$$C = |\vec{F}| \times d$$



DOC 2 Commande de vitesse sur un vélo.

Un vélo dispose de deux commandes: l'une pour le plateau, l'autre pour le pignon. Plus le numéro de vitesse est grand, plus le nombre de dents du pignon sélectionné est élevé et plus le nombre de dents du plateau sélectionné est faible.

QUESTIONS

- Si l'on suppose que la fréquence de pédalage est de 90 tours par minutes et que le diamètre d'une roue est 675 mm, avec $N = 50$ et $n = 14$, quelle est la vitesse de rotation de la roue de vélo? Quelle est la vitesse du vélo? On exprimera cette dernière en m/s et en km/h.
- Le cycliste change de pignon et passe à $N = 50$, $n = 28$, mais conserve sa fréquence de pédalage. Calculez les nouvelles vitesses de rotation de la roue et du vélo.
- Le cycliste change de plateau et passe à $N = 34$, $n = 28$, mais conserve sa fréquence de pédalage. Calculez les nouvelles vitesses de rotation de la roue et du vélo.
- Construisez un tableau où vous montrerez comment évoluent la vitesse de rotation des roues et la vitesse du vélo: quand on sélectionne un chiffre plus grand sur la commande de plateau; quand on sélectionne un chiffre plus grand sur la commande de pignon.
- On suppose maintenant le cycliste fournit une puissance musculaire de 200 W en maintenant sa fréquence de pédalage. Calculez le couple moyen fourni.

- Les manivelles de pédalier font 175 mm. Calculez la force appliquée moyenne sur les pédales.
- Le cycliste fournit la même puissance, mais pédale à raison de 45 tours par minute. Calculez le couple fourni et la force moyenne appliquée sur les pédales.
- Pour aller plus loin. Proposez un programme en Python ou une feuille de calcul de tableur représentant en fonction de n (du nombre de dents du pignon) entre 14 et 28, la vitesse du vélo dans le cas où $N = 34$ et $N = 50$. Déterminez s'il y a des couples plateau/pignon permettant d'aller à la même vitesse.

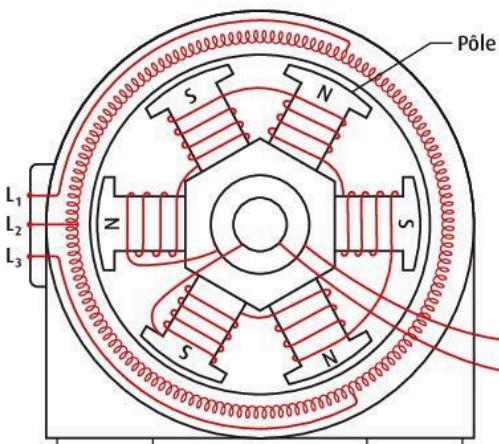
AIDE

- Circonference d'un cercle de diamètre d : $\pi \times d$.
- Une roue, et donc le vélo, avancent d'une circonference quand la roue fait un tour.

12 Raisonner, calculer

Un alternateur synchrone à aimants permanents

Un alternateur synchrone à aimants permanents est composé d'un bobinage fixe (stator) et d'un rotor possédant N paires de pôles. Sur le **DOC. 2**, il en possède 3, soit l'équivalent de 3 pôles Nord et 3 pôles Sud d'aimants permanents. Le courant produit dans un tel dispositif est un courant alternatif et présente N périodes d'oscillations par tour du rotor.



DOC 2 Vue schématique en coupe d'un alternateur synchrone à aimants permanents.

QUESTIONS

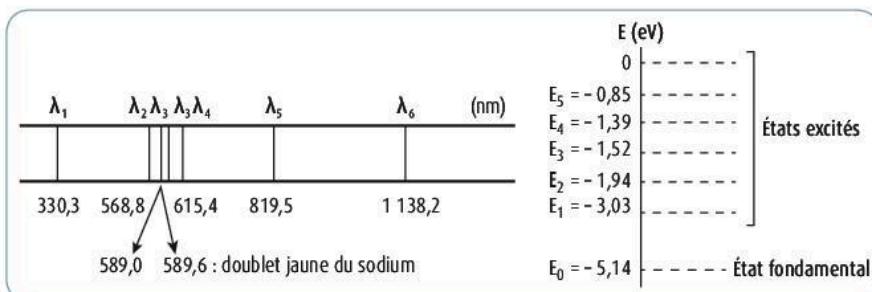
- Le réseau électrique possède une fréquence de 50 Hz et l'on souhaite que cet alternateur soit synchronisé avec le réseau. Si l'alternateur tourne à 1500 tours/min, quel doit être le nombre de pôle N de l'alternateur?
- Cet alternateur est utilisé dans une centrale qui fournit 1 GW de puissance électrique. En supposant que le rendement est de 98 %, quel couple doit apporter la turbine qui met le rotor en rotation?

AIDE

- À partir du nombre de tours par minutes, calculez la fréquence de rotation en Hz.
- Calculez la puissance mécanique requise puis exprimez-la en fonction du couple et de la pulsation de rotation.

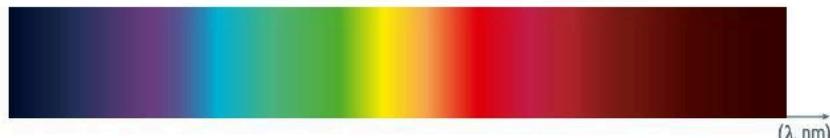
13 Calculer et interpréter

Le sodium



DOC 1 Spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium et diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

DOC 2 Spectre d'absorption du sodium.



QUESTIONS

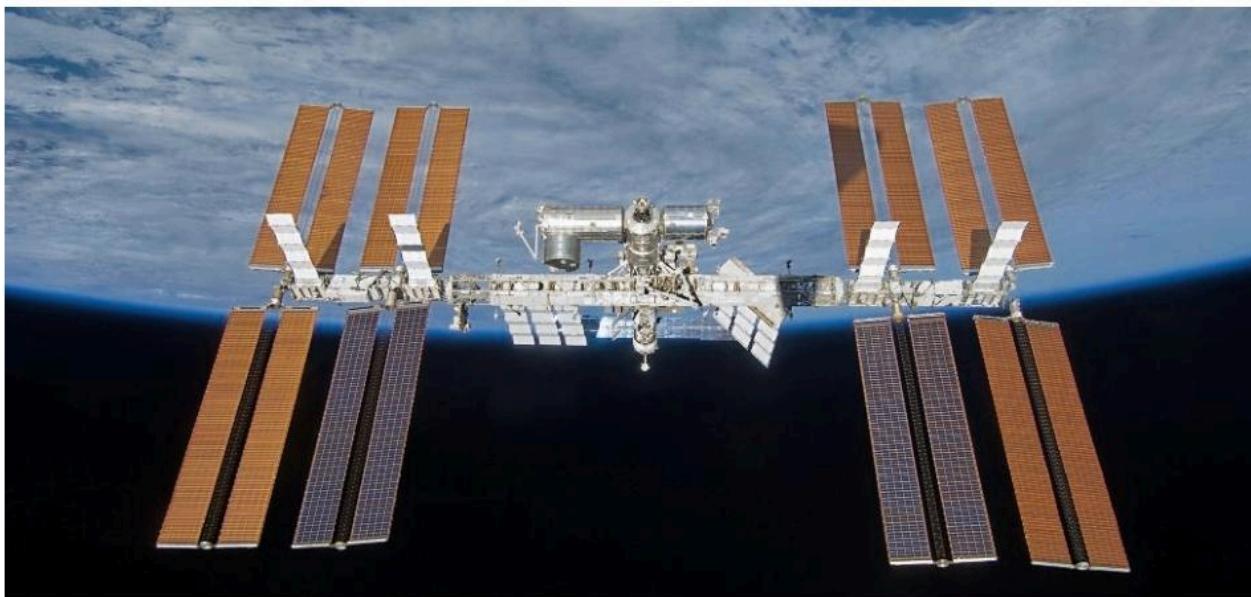
- Dans le spectre d'émission, indiquez quelles sont les raies faisant partie du spectre du visible.
- Calculez, en J puis en eV, quelle énergie possède le photon dont l'émission correspond à la raie 589 nm ($1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{24} \text{ eV}$). Identifiez à quelle transition dans le diagramme d'énergie correspond cette raie.
- Déterminez à quelle raie d'émission correspond la transition entre les niveaux E_2 et E_1 . Est-ce du domaine visible?
- Expliquez comment interpréter le spectre d'absorption du sodium.

Rappel: $\lambda = c/v$

14 Extraire des informations, calculer

Les panneaux solaires de l'ISS

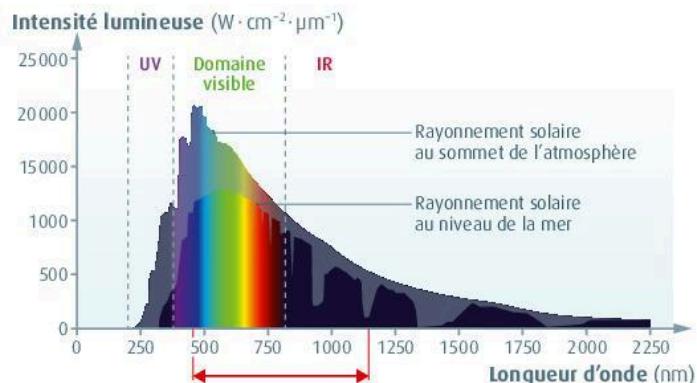
L'essentiel de l'énergie de la station spatiale internationale (ISS) vient de ce qu'on appelle les SAW (Solar Array Wings), au nombre de 8. Ces panneaux alimentent la station en courant continu.

**DOC1** La station spatiale internationale (ISS).

Sur le site de la NASA, on apprend que les SAW ont les caractéristiques suivantes :

« Chacun de ces panneaux mesure 34 mètres de long pour 12 mètres de large et peut fournir une puissance maximale de 32,8 kW d'électricité sous forme de courant continu. Chaque SAW pèse environ 2 400 livres (1 livre = 0,454 kg) et utilise 32 800 cellules photovoltaïques chacune étant un carré de 8 cm de côté et comprenant 4 100 diodes. »

Par ailleurs, les panneaux solaires de la station spatiale sont prévus pour un fonctionnement de très longue durée dans un environnement très irradié. Le choix s'est porté sur des cellules photovoltaïques en silicium.

DOC2 Caractéristiques des SAW de la station spatiale internationale.

DOC3 Spectre du rayonnement solaire. La flèche rouge indique les longueurs d'onde des photons permettant de franchir la bande interdite pour le silicium.

QUESTIONS

- Calculez la surface et la masse totale des panneaux solaires principaux (**DOC. 2**).
- Calculez la puissance maximale disponible et la puissance maximale par unité de surface (**DOC. 2**).
- Sachant que la constante solaire hors atmosphère est de $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, calculez le rendement des SAW (**DOC. 2**).
- Calculez la surface totale utile à la conversion. Quel est en fait le rendement des cellules solaires (**DOC. 2**) ?
- Décrivez qualitativement les différences entre le spectre solaire reçu sur Terre au niveau de la mer et au-dessus de l'atmosphère (**DOC. 3**).
- Le type de panneau solaire choisi pour l'ISS garderait-il un fonctionnement optimal s'il était utilisé sur Terre et non dans l'espace ? Justifier (**DOC. 3**).

15 Calculer, représenter graphiquement des données

Rendement d'une éolienne

Les documents ci-dessous fournissent les caractéristiques de l'éolienne E70/2300 de la marque Enercon. Par ailleurs, la loi de Betz donne la puissance maximale récupérable P_{\max} en fonction de la surface S balayée par les pales et de la vitesse V du vent :

$$P_{\max} = 0,37 \times S \times V^3$$

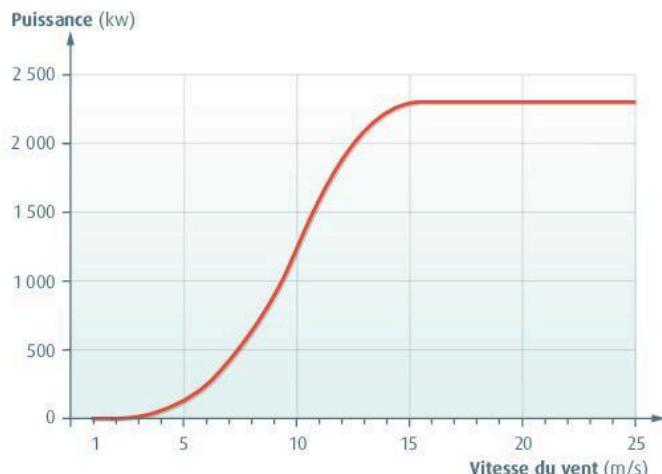


DOC 1 Les dimensions

de l'éolienne. Sa hauteur est de 57 mètres. Ses pales ont un rayon de 35,5 mètres.

Vitesse du vent (en $m \cdot s^{-1}$)	Puissance (en kW)	Puissance maximale (en kW)
5	127
10	1223
15	2300
20	2300
> 34,5	Arrêt de l'éolienne

DOC 2 Puissance de l'éolienne. La puissance correspond à la puissance effectivement fournie. La puissance maximale est calculée par la loi de Betz.



DOC 3 Évolution de la puissance de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent.

QUESTIONS

1. Rappelez dans le système international les unités de S et de V . En déduire l'unité du coefficient 0,37 qui intervient dans la loi de Betz.
2. Calculez S pour l'éolienne considérée (DOC. 1).
3. Formulez une hypothèse pour expliquer l'arrêt de l'éolienne pour des vents supérieurs à $34,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (DOC. 2).
4. À partir des données du graphique (DOC. 3) et de l'énoncé, recopiez et complétez le tableau du DOC. 2. Ajoutez une colonne pour calculer le rendement de l'éolienne pour chacune de ces vitesses de vent.
5. Représentez graphiquement le rendement de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent.
6. À quelle vitesse de vent le rendement est-il le plus élevé ?