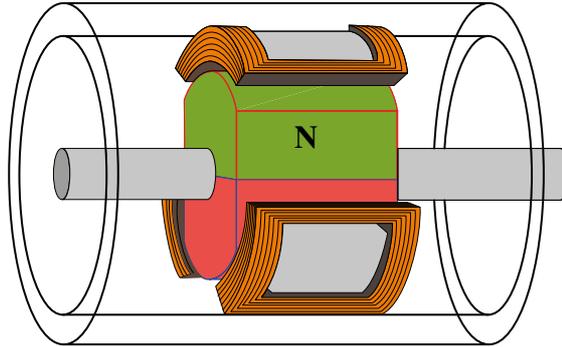


Deux siècles d'énergie électrique

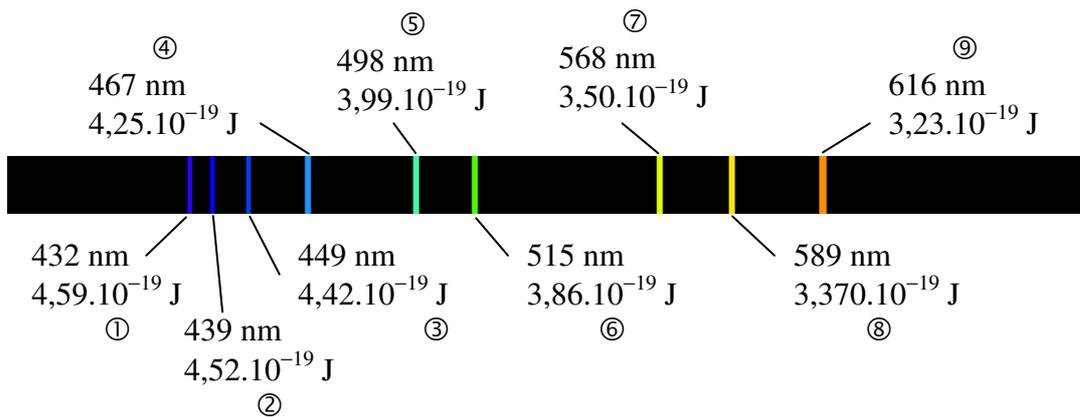
- 1 Reconnaître les éléments principaux d'un alternateur (source de champ magnétique et fils conducteurs) dans le schéma ci-dessous.



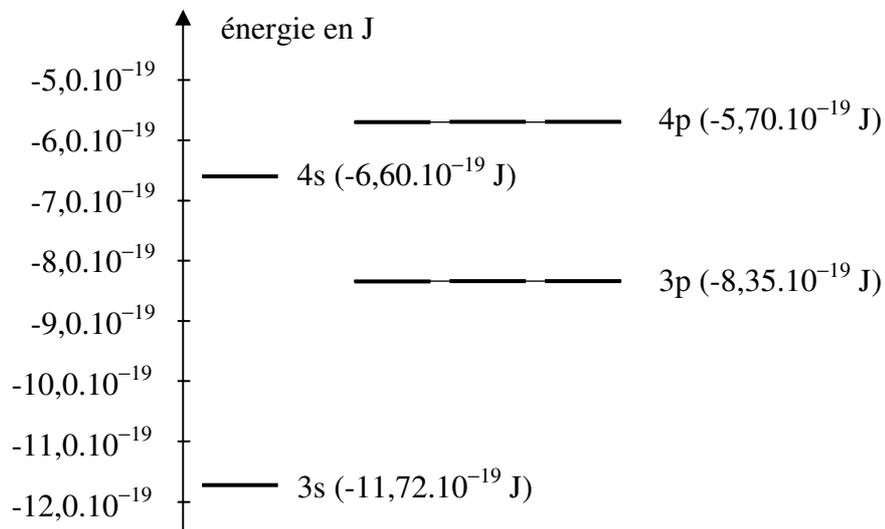
- 2 Interpréter et exploiter un spectre d'émission atomique.

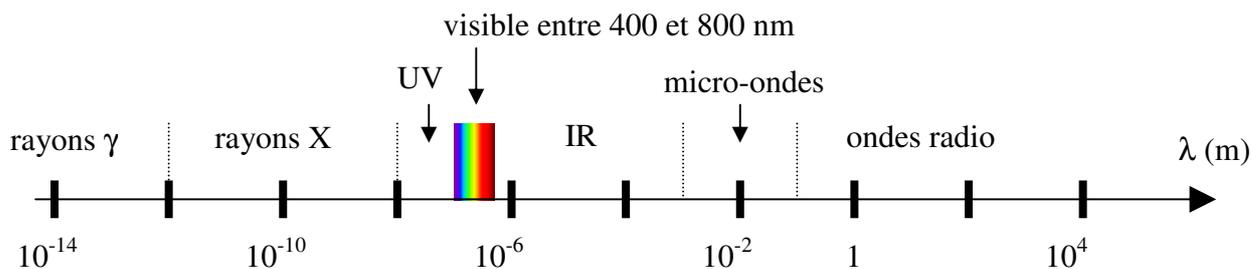
Données constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$
 célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
 $h * c = 1,99 \cdot 10^{-25} \text{ m}^3.\text{kg.s}^{-2}$

Document n°1 spectre d'émission du sodium dans le visible (chaque raie est associée à sa longueur d'onde λ et à son énergie calculée par la formule $E = h * c / \lambda$)



Document n°2 représentation de quelques sous-couches d'énergie de l'atome de sodium (les couches 1 et 2 ne sont pas représentées car elles sont beaucoup plus basses en énergie)





rayons γ : rayonnement gamma
 IR : rayonnement infrarouge

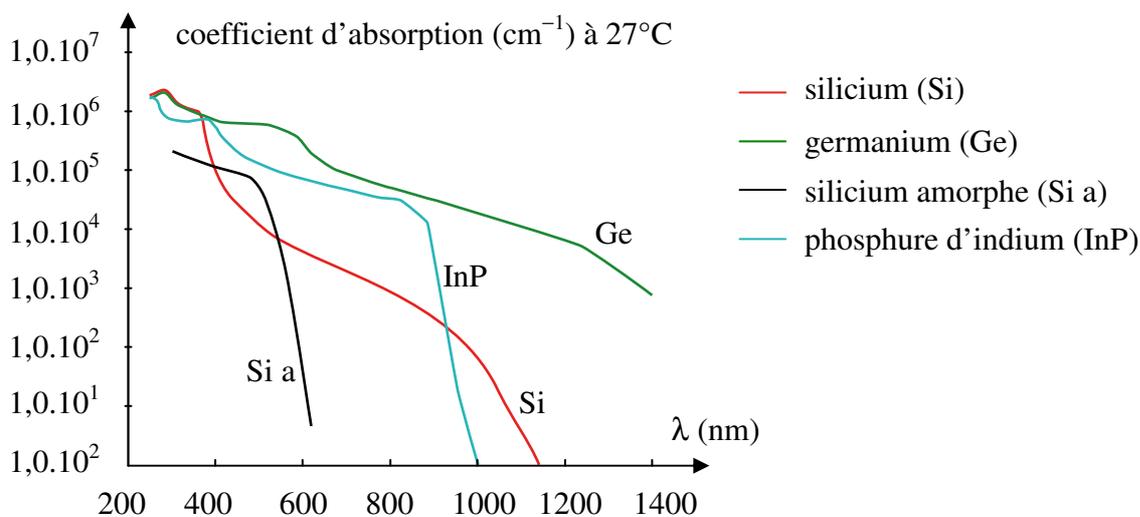
UV : rayonnement ultraviolet

- 2.1 A quel phénomène, dans l'atome, correspond une raie dans le document n°1 ?
- 2.2 La raie n°8 du document n°1 est associée au passage d'un électron d'une sous-couche d'énergie à une autre dans le document n°2. Lesquelles (sous-couche d'énergie) ?
- 2.3 A quel domaine des ondes électromagnétiques appartient le rayonnement issu du passage d'un électron de la sous-couche d'énergie 4s à la sous-couche 3p ?
- 3 Comparer le spectre d'absorption d'un matériau semi-conducteur et le spectre solaire pour décider si ce matériau est susceptible d'être utilisé pour fabriquer un capteur photovoltaïque.

Document n°1

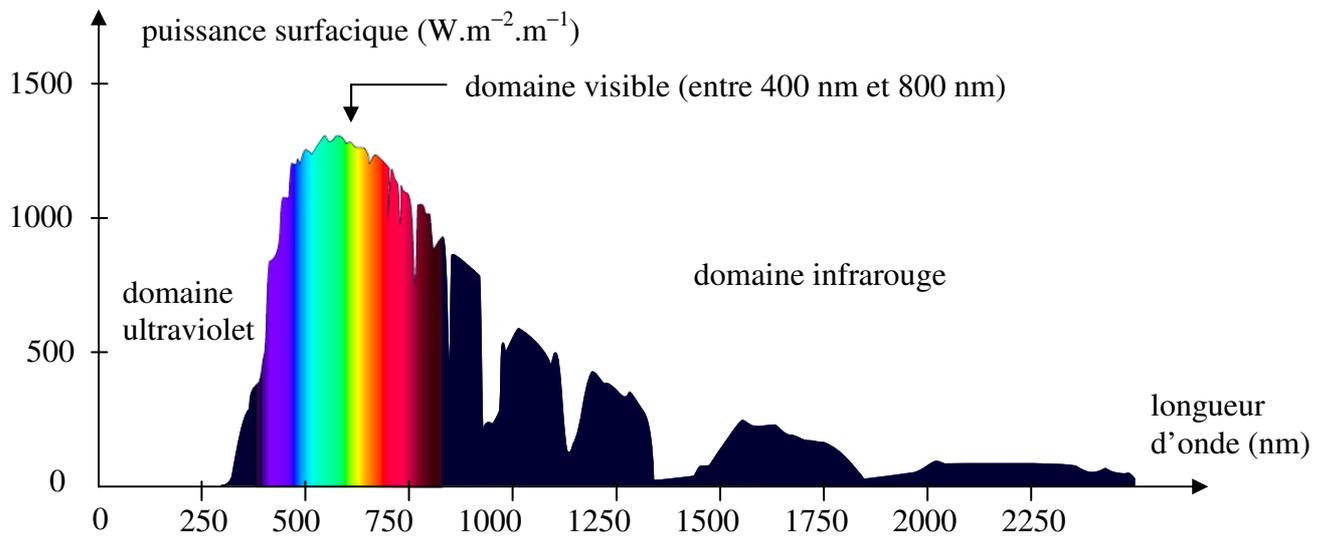
coefficient d'absorption d'un matériau semi-conducteur

Le coefficient d'absorption détermine jusqu'à quelle profondeur la lumière, d'une longueur d'onde particulière, peut pénétrer dans un matériau semi-conducteur avant d'être absorbée. Dans un matériau à faible coefficient d'absorption, la lumière n'est que faiblement absorbée, et si le matériau est suffisamment fin, il apparaîtra transparent à cette longueur d'onde. Connaître les coefficients d'absorption des matériaux aide les ingénieurs à déterminer quel matériau utiliser dans leurs conceptions de cellules solaires.

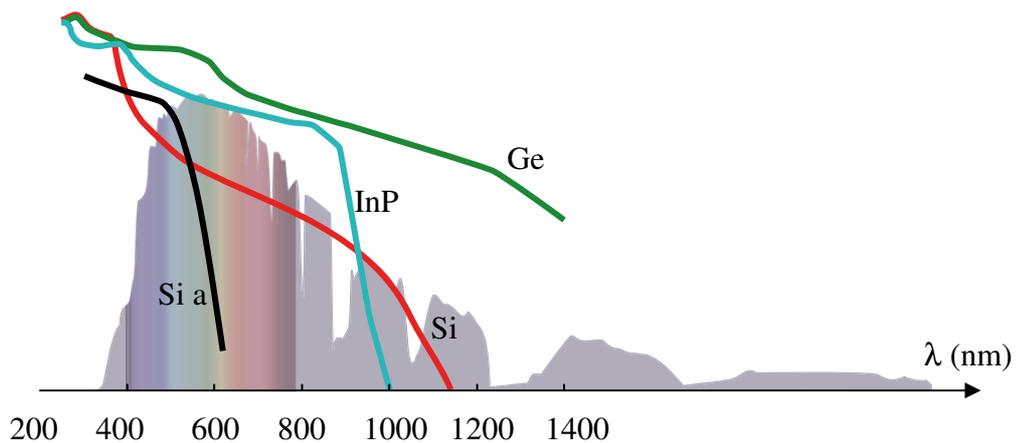


Document n°2

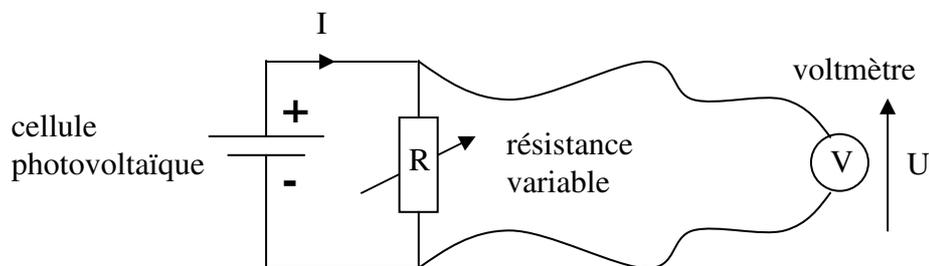
spectre de la lumière du Soleil au niveau de la mer



- 3.1 Tracer, sur le graphique du document n°1, deux droites verticales délimitant le domaine visible du rayonnement solaire.
- 3.2 Sur le graphique ci-dessous, on a superposé les courbes des documents n°1 et 2. Quel matériau semble le moins adapté pour fabriquer un capteur photovoltaïque ? Quel matériau semble le plus adapté pour fabriquer un capteur photovoltaïque ?



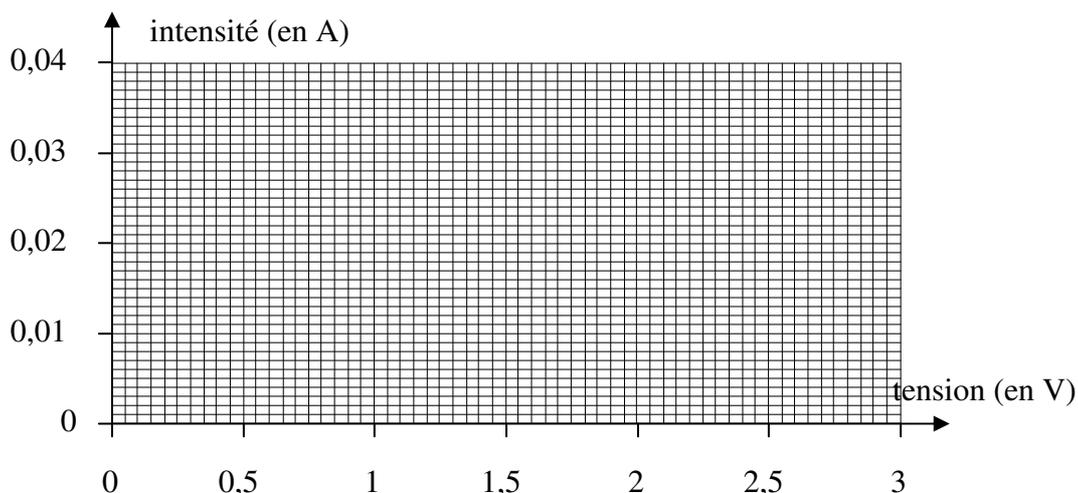
- 4 Tracer la caractéristique $i = f(u)$ d'une cellule photovoltaïque et exploiter cette représentation pour déterminer la résistance d'utilisation maximisant la puissance électrique délivrée.



A l'aide du montage ci-dessus, on mesure la tension U (en V) et l'intensité I du courant électrique (en A) pour différentes valeurs de résistance (en Ω) :

R (Ω)	∞	600	400	200	100	60	40	20	10	5
U (V)	2,75	2,65	2,58	2,38	1,89	1,43	1,08	0,63	0,34	0,17
I (A)	0,0	0,0044	0,0065	0,012	0,019	0,024	0,027	0,031	0,034	0,035

4.1 Tracer la caractéristique courant-tension de la cellule photovoltaïque.



4.2 Calculer la puissance électrique délivrée par la cellule photovoltaïque pour chaque couple (U, I) et compléter le tableau ci-dessous :

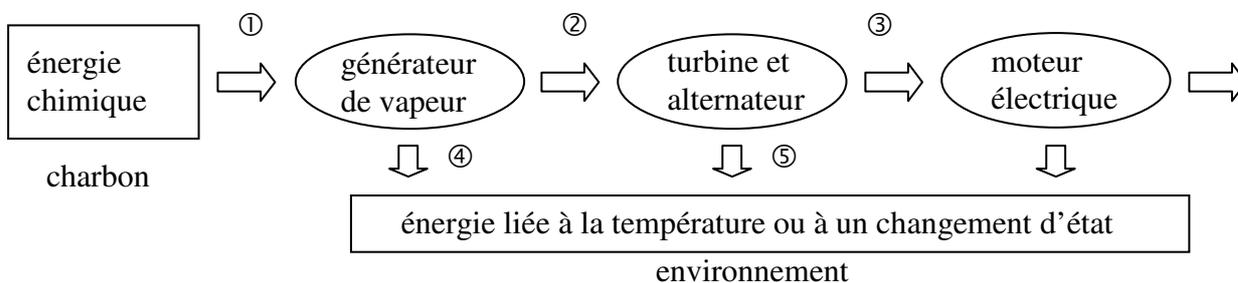
U (V)	2,75	2,65	2,58	2,38	1,89	1,43	1,08	0,63	0,34	0,17
I (A)	0,0	0,0044	0,0065	0,012	0,019	0,024	0,027	0,031	0,034	0,035
P (W)										

4.3 En déduire la résistance d'utilisation maximisant la puissance électrique délivrée par la cellule photovoltaïque.

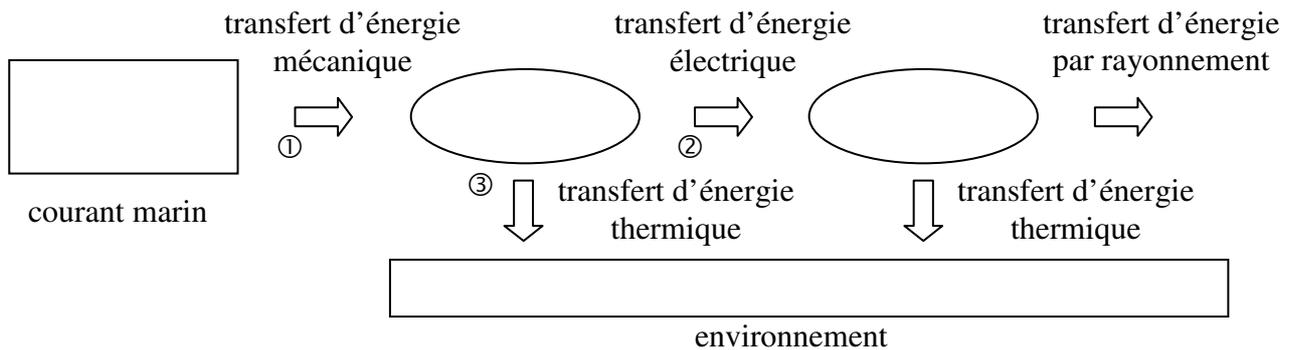
Les atouts de l'électricité

1 Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.

1.1 Compléter la chaîne énergétique d'une centrale thermique à flamme alimentant un moteur électrique distant :



- 1.2 Compléter la chaîne énergétique d'une centrale hydrolienne alimentant une ampoule électrique distante :



- 1.3 Calculer le rendement de la centrale hydrolienne ci-dessus sachant que :

$$P_1 = 2,2 \text{ MW} \quad P_2 = 1,0 \text{ MW} \quad P_3 = 1,2 \text{ MW} \quad (M = \text{mega} = 10^6)$$

- 1.4 Calculer le rendement de la centrale thermique à flamme ci-dessus sachant que :

$$P_1 = 3\,080 \text{ MW} \quad P_2 = 1\,320 \text{ MW} \quad P_3 = 1\,200 \text{ MW} \quad P_4 = 1\,760 \text{ MW}$$

$$P_5 = 120 \text{ MW}$$

- 2 Comparer des dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, durée de stockage, impact écologique).

En 2019, 85% de l'énergie primaire consommée dans le monde est constituée de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) qui peuvent se stocker facilement (cuve de pétrole, tas de charbon, ...).

La combustion des énergies fossiles perturbe le climat et les stocks sont limités. Il est donc très important de produire de l'énergie sans combustion. Malheureusement, les énergies primaires sans combustion sont souvent intermittentes. Il est alors nécessaire de stocker cette énergie intermittente pour l'utiliser au moment où on en a besoin.

Deux exemples de dispositifs de stockage d'énergie :

- le volant d'inertie

Un objet en mouvement possède une énergie liée à sa vitesse (appelée énergie cinétique). Un volant d'inertie est une masse cylindrique mise en rotation autour d'un axe. En phase de stockage, un moteur convertit l'électricité en énergie cinétique, entraînant ainsi le volant. En phase de restitution, le moteur joue le rôle d'alternateur électrique et convertit l'énergie cinétique en électricité, freinant ainsi le volant. Un rendement de 80% peut-être envisagé avec une mise en route très rapide, une très longue durée de vie (plus de 20 ans et plus d'un million de cycles charge-décharge) et des coûts de maintenance très faibles. Le temps de stockage est limité à quelques dizaines de minutes (quelques heures au maximum) et la puissance est modeste (environ 100 kW par volant d'inertie). Le volant d'inertie est fait d'un matériau à haute résistance mais non toxique ou stratégique. La densité d'énergie du volant d'inertie peut atteindre 600 Wh/kg et le coût d'investissement est estimé entre 1 000 et 4 500 \$/kWh.

- le Powerpack (conçu par Tesla pour les entreprises)

C'est un accumulateur lithium-ion qui fonctionne sur le principe de l'échange réversible d'ions lithium entre une électrode positive (nickel, manganèse et cobalt qui sont des matériaux toxiques et stratégiques) et une électrode négative en graphite. Le coût d'investissement est d'environ 500 \$ par kWh. L'accumulateur peut supporter jusqu'à 5 000 cycles charge-décharge et il est garanti 10 ans. L'accumulateur a une masse de 2,2 tonnes, une puissance de 130 kW et une densité d'énergie d'environ 100 Wh/kg. Avec un rendement de 95% ou plus, la quasi-totalité de l'énergie

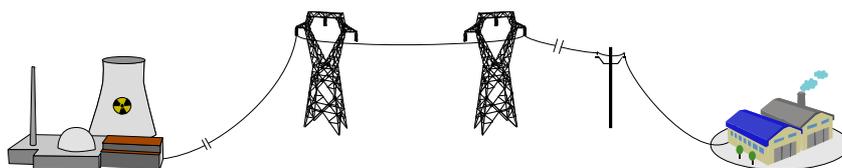
stockée dans la batterie est exploitable. Le temps de stockage est limité par une perte d'environ 3 % de la charge par mois.

Remarque (pour éviter le hors-sujet)

- comparer, c'est faire apparaître les similitudes ou les différences
- quand on compare, on utilise par exemple, les expressions « plus grand que », « égal à », « plus petit que », ...

Optimisation du transport de l'électricité

- 1 Faire un schéma d'un circuit électrique modélisant une ligne à haute tension.



- 1.1 Le schéma électrique ci-dessous (incomplet), modélise le transport de l'électricité par une ligne à haute tension entre une centrale électrique nucléaire et un utilisateur final (une usine) :



compléter le schéma sur lequel manque :

- un élément équivalent à la ligne haute tension
- un élément équivalent à l'utilisateur final
- un élément équivalent à la centrale électrique

- 1.2 Calculer l'intensité du courant électrique circulant dans la ligne haute tension (on fait l'hypothèse que le rendement des transformateurs est de 100%).

Données

tension électrique de transport dans la ligne haute tension : $U = 420\,000\text{ V}$

puissance délivrée au circuit par la centrale nucléaire : $P = 900\text{ MW}$

résistance électrique de la ligne haute tension : $R_c = 1,5\ \Omega$

- 1.3 Calculer la puissance perdue par effet joule dans la ligne haute tension.
- 1.4 Calculer la puissance qui serait perdue par effet joule si le transport de l'électricité se faisait par une ligne moyenne tension ($U' = 20\,000\text{ V}$; même résistance électrique que la ligne haute tension).

Choix énergétiques et impacts sur les sociétés

- 1 Analyser d'un point de vue global les impacts de choix énergétiques majeurs : exemple du nucléaire.

« Si l'apparition incessante de nouveaux gadgets dans la vie quotidienne donne l'impression d'un changement rapide des systèmes techniques contemporains, ce sont les infrastructures industrielles aux durées de vie très longues (centrales et réseaux électriques, pipelines, raffineries, routes, voies ferrées, canaux, ports, sidérurgie, chimie, hôpitaux, stations d'épuration, ...) qui sont les véritables marqueurs technique dans lequel une société évolue. »

Le premier réacteur de la centrale nucléaire française de Fessenheim, dans le Haut-Rhin, a été arrêté dans la nuit de vendredi 21 à samedi 22 février 2020. Etait-ce, selon vous, nécessaire ? Une bonne mesure pour l'écologie ?

2 *Jean-Marc Jancovici (ingénieur consultant en énergie-climat):*

Si une bonne mesure pour l'écologie est une mesure qui permet de faire baisser la pression humaine sur son environnement, alors cette décision n'est pas écologique. Car le nucléaire est un mode de production de l'électricité qui est plus respectueuse de l'environnement que toutes les autres modes de production d'énergie.

- *critère du climat*

Le nucléaire est un mode de production qui rejette peu de CO₂ par kWh. La réaction nucléaire de fission (= casser des noyaux d'uranium) ne rejette pas de CO₂. La fission libère énormément d'énergie par unité de masse (un million de fois plus que le charbon) et on peut obtenir beaucoup d'énergie nucléaire avec de très petites quantités de matière. Certes il faut extraire le minerai d'uranium, fabriquer du béton pour la centrale, consommer de l'énergie pour enrichir l'uranium ou traiter les déchets, mais comme tout cela s'applique à de très petites quantités, le CO₂ engendré (sur toute la chaîne de production) par kWh électrique est très bas : le CO₂ engendré par le nucléaire est de 6 g / kWh électrique. Cette valeur est de 10 g / kWh pour l'éolien (construction et installation de l'éolienne) et de 50 g / kWh pour le photovoltaïque (fabrication du panneau et son environnement électrique) (source Ademe : agence de la transition écologique)

- *critère de l'espace occupé au sol*

Le nucléaire, grâce à sa très grande concentration énergétique, bat tous les autres modes de production de l'énergie. En utilisant du solaire, il faut environ 500 fois l'espace du nucléaire pour produire la même quantité d'électricité à la fin de l'année. Et ce multiple ne tient pas compte du fait qu'avec le solaire, il faudrait en stocker une partie (avec des pertes au moment du stockage). Du coup il faut encore augmenter la surface (de 20 et 40%) pour produire l'électricité qui sera perdue au moment du stockage. Le critère de l'espace au sol conditionne le respect de la biodiversité, puisque la préservation de celle-ci est essentiellement une préservation des habitats. La nuisance apportée aux espèces est donc, pour partie, proportionnelle à l'espace dont nous avons besoin au sol.

- *critère de la quantité de matériaux*

Le nucléaire, grâce à sa très grande concentration énergétique, nécessite (ciment, cuivre, acier, etc.) quelques fois moins à une centaine de fois moins de quantités par kWh produit que le solaire et l'éolien.

- *critère des déchets*

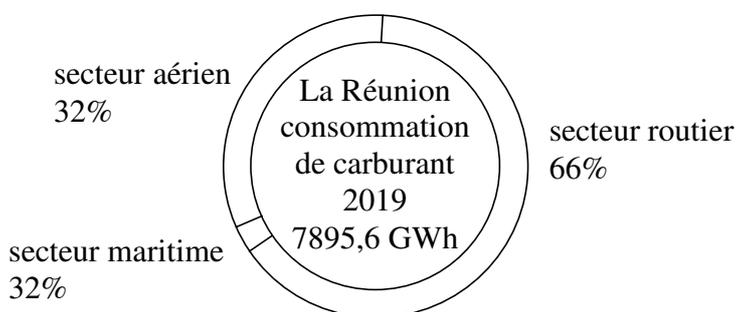
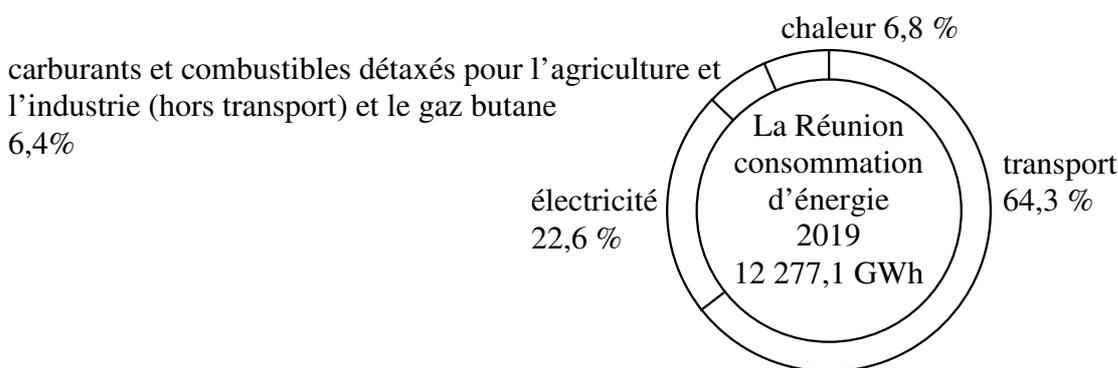
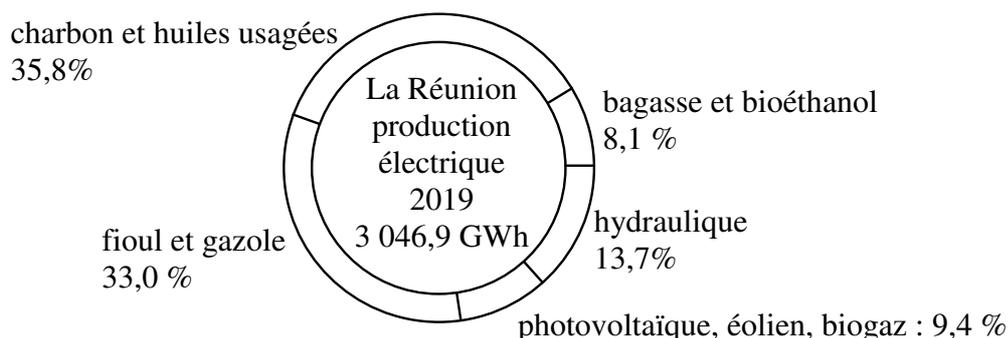
Le nucléaire produit des déchets très dangereux mais en petites quantités : la totalité des déchets dangereux que le parc nucléaire français a produit depuis le début de son fonctionnement tient dans une piscine olympique. Ces déchets sont très dangereux mais les milliards de tonnes de CO₂ rejetés dans l'atmosphère le sont aussi.

Remarque (pour éviter le hors-sujet)

- analyser, c'est dégager l'essentiel d'un texte (en faire le résumé)

2 Dans une étude de cas, analyser des choix énergétiques locaux selon les critères et les paramètres mentionnés.

Données La Réunion : production électrique, consommation totale d'énergie et consommation de carburant en 2019



Matthieu Combe (Fondateur de « Natura Sciences », journaliste et conférencier)

L'île de la Réunion devait atteindre l'autonomie énergétique en 2030, selon la loi de transition énergétique. Côté électricité, la part renouvelable devrait atteindre 50 % en 2023 et 100 % en 2030. Là où le bât blesse est que la loi prévoit une autonomie énergétique totale, c'est-à-dire autant du point de vue de l'électricité que du transport, de la climatisation et de l'eau chaude sanitaire.

Sur le terrain, l'île prend uniquement le chemin d'une autonomie électrique. Pour respecter l'engagement pris par la France de fermer toutes les centrales charbon d'ici fin 2022, l'exploitant Albioma (46% de l'énergie disponible sur le réseau électrique réunionnais) envisage de convertir ses deux centrales électriques (sites de Bois-Rouge et du Gol) d'un mix « charbon/bagasse » à un mix « biomasse/bagasse ». Pour remplacer les 650 000 tonnes de charbon brûlées chaque année à la Réunion, il faudrait environ 2 millions de tonnes de biomasse. L'ONF (l'Office National des Forêts) a recensé toutes les possibilités : seuls 30% sont disponibles localement. Pour faire fonctionner les deux centrales à l'avenir, il faudra donc importer 70% de la biomasse nécessaire.

Soleil, vent, géothermie, biomasse, océan... l'île dispose des gisements nécessaires pour développer fortement les énergies renouvelables. Un scénario d'autonomie énergétique envisagé

par l'Ademe (Agence de la transition écologique) mobilise l'intégralité du potentiel identifié de la bagasse (6,6%), de la biomasse locale (8,2%), du photovoltaïque (65,8%), de l'éolien (8,0%), de la géothermie (0,8%), de l'hydroélectricité (10,5%), sans importation de biomasse. Elle prévoit aussi de l'éolien offshore. Les ressources locales permettraient de recharger un parc de véhicules terrestres légers 100% électrique, hors bateaux, avions et poids lourds.

L'Ademe estime que l'autonomie énergétique de La Réunion demandera plus d'investissements et appelle à un « important travail de maîtrise de l'énergie notamment sur le secteur des transports » pour assurer cette autonomie énergétique.

Remarque (pour éviter le hors-sujet)

- analyser, c'est dégager l'essentiel d'un texte (en faire le résumé)