

Cours

1 Différentes formes d'énergies

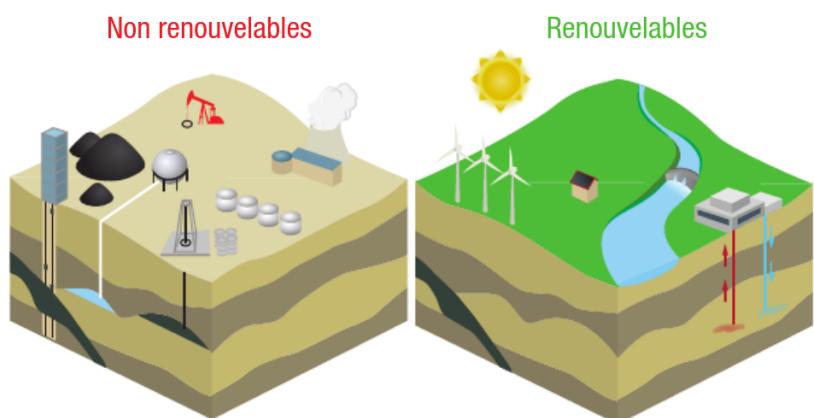
- L'**énergie** est une grandeur caractérisant la capacité d'un système à modifier un autre système.

L'énergie peut revêtir différentes formes : rayonnante, mécanique, chimique, etc.

- Le **principe de conservation de l'énergie** énonce que l'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais ne peut qu'être transférée d'un système à un autre ou convertie d'une forme en une autre. Ainsi dans un système isolé, il y a **conservation de l'énergie**.

- Cependant, dans la vie courante, il est usuel de parler de **sources d'énergies**.

- Une source d'énergie est qualifiée de **renouvelable** si son renouvellement naturel est assez rapide à l'échelle de temps d'une vie humaine. Dans le cas contraire, elle est non renouvelable. Des exemples de sources d'énergies renouvelables sont : la biomasse, le solaire, l'hydraulique, le géothermique ou l'éolien.



▲ Les principales sources d'énergie aujourd'hui utilisées.

2 Chaines énergétiques et conversions d'énergie

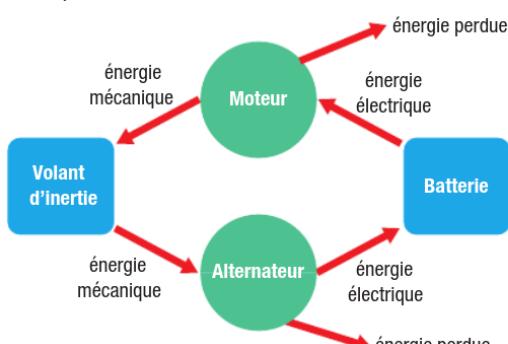
- Les différentes énergies peuvent être stockées dans des **réservoirs d'énergie** et être converties d'une forme à une autre à travers des **convertisseurs d'énergie**.

- Une **chaîne énergétique** représente l'ensemble des éléments de conversion ainsi que les transferts d'énergie qui ont lieu lorsque de l'énergie change de forme.

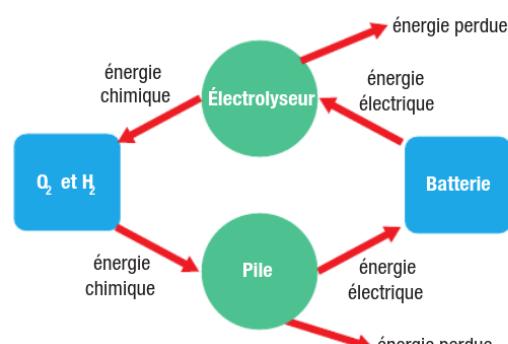
- Dans une chaîne énergétique, les **réservoirs d'énergie** (les sources d'énergie ou les éléments de stockage) sont représentés par un rectangle, les **transferts d'énergie** par une flèche et les **convertisseurs** par un cercle.

	Symbole de représentation	Exemple
Réservoir d'énergie	rectangle bleu	énergie chimique, énergie cinétique...
Convertisseur d'énergie	cercle vert	moteur, ampoule, alternateur...
Transfert d'énergie	flèche rouge	chaleur, énergie utile, lumière...

▲ Les symboles de représentation dans une chaîne énergétique



▲ Conversion électromécanique. Un moteur convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Un alternateur fait l'inverse.



▲ Conversion électrochimique. Une électrolyse convertit l'énergie électrique en énergie chimique. Une pile fait l'inverse.

3 Relation entre puissance moyenne et variation d'énergie

- Lorsqu'un système transfère la quantité d'énergie E , on quantifie la vitesse de ce transfert par la **puissance** P , donnée par la relation :

Unités	
$P = \frac{E}{t}$	E s'exprime en joule (J) P en watt (W) t en seconde (s)

où E est la quantité d'énergie gagnée ou perdue par le système, t la durée de transfert et P la puissance.

- Ainsi, plus la puissance est élevée, plus la variation d'énergie du système est rapide.

Remarque : Si la durée t est exprimée en heures (h) et la puissance en watts (W), alors l'énergie s'exprime en wattheures (Wh).



▲ Les moteurs de ce TGV sont très puissants car ils permettent d'échanger beaucoup d'énergie en peu de temps

4 Rendement énergétique d'une chaîne énergétique

- Par définition, le **rendement d'une chaîne énergétique** est donné par le rapport entre l'énergie utile E_u (celle qui est directement utilisable, par opposition à celle qui est dégradée ou perdue) et l'énergie E_a fournie ou apportée :

$$\eta = \frac{E_u}{E_a} = \frac{P_u}{P_a}$$

- Le rendement ne peut prendre que des valeurs entre 0 et 1.

C'est une **grandeur sans unité**.

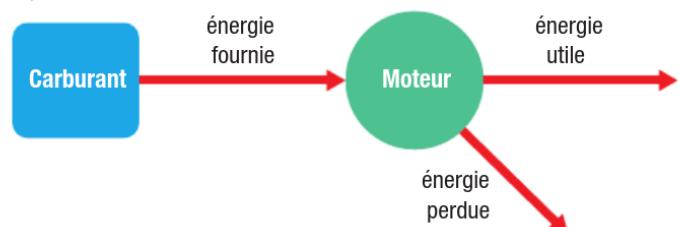
- Un **convertisseur d'énergie** ne peut pas être parfait : une partie de l'énergie qu'il reçoit est perdue essentiellement sous forme de **chaleur**.

- Du fait de la conservation de l'énergie, on peut écrire :

$$E_{\text{pertes}} = E_a - E_u$$

Le rendement d'une chaîne énergétique est donc inférieur à 1,0.

Remarque : Le rendement d'une chaîne énergétique comportant plusieurs convertisseurs est le produit des rendements de chaque convertisseur.



▲ Chaîne énergétique d'un moteur.

Activité 1 : L'Énergie

Doc. 1 Qu'est-ce que l'énergie ?

L'énergie est un concept dont tout le monde use et abuse quotidiennement. Mais définir ce qu'est l'énergie est plus compliqué car elle n'est pas directement accessible à nos sens ; nous ressentons uniquement ses effets, sous deux formes : le travail et la chaleur.

L'énergie est une **grandeur** caractérisant un système physique capable de **fournir du travail**, ou plus généralement, de **modifier d'autres systèmes avec lesquels il interagit**. La chaleur peut faire bouillir de l'eau, l'énergie mécanique peut mettre un véhicule en mouvement, la lumière peut faire pousser des plantes...

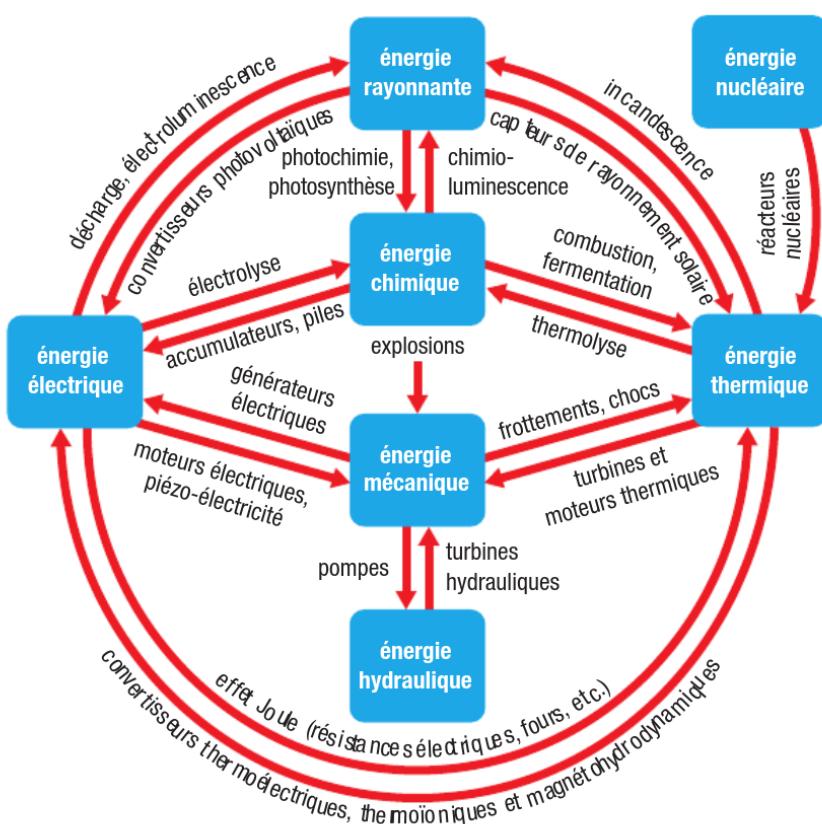
L'énergie, c'est « ce qui fait marcher les choses ». L'énergie mesure donc la capacité d'un système à modifier un autre système.

Doc. 2 Propriétés de l'énergie

La règle énoncée par le chimiste Antoine LAVOISIER, en 1789, au sujet des quantités de matières, vaut aussi pour l'énergie : « **rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme** ».

En 1847, le médecin et physicien allemand Hermann VON HELMHOLTZ écrivait : « Il est impossible de créer l'énergie à partir de rien. » mais aussi « La nature dans son ensemble renferme une réserve d'énergie qui ne peut en aucune façon être augmentée ni réduite ; la quantité d'énergie existant dans la nature est, par conséquent, aussi éternelle et aussi inaltérable que la matière. ».

Doc. 3 Liens entre les énergies



Doc. 4 Les différentes formes d'énergies et leurs transformations

L'énergie rayonnante est l'énergie qui existe dans les rayonnements électromagnétiques, comme la lumière, les rayons ultraviolets, les rayons infrarouges. **L'énergie mécanique** est l'énergie du mouvement des objets (énergie cinétique) et de leur position (énergie potentielle).

L'énergie chimique est l'énergie qui est stockée dans les édifices chimiques.

L'énergie thermique est l'énergie qui existe sous forme de chaleur.

L'énergie électrique est l'énergie transférée par le courant électrique.

L'énergie nucléaire est l'énergie stockée dans les noyaux atomiques et libérée dans les étoiles, les centrales nucléaires.

L'énergie hydraulique est l'énergie du mouvement de l'eau, tels que les mouvements de la mer, des cours d'eau.

Questions

- 1 Doc. 1 Proposer une définition de l'énergie.
- 2 Doc. 2 Quelles sont les principales propriétés de l'énergie ?
- 3 Doc. 3 Identifier les différents types d'énergies renouvelables. Pourquoi peut-on les qualifier ainsi ?
- 4 Doc. 4 À quelle catégorie l'énergie liée au vent appartient-elle ?

Activité 2 : Le kilowattheure

Doc. 1 Relation entre puissance, énergie et temps

Un **watt** représente un flux d'énergie de 1 joule par seconde (1 joule/seconde ou $1 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$). L'unité de la **puissance** est le watt (W). L'unité de l'**énergie** est le joule (J), mais on utilise souvent le wattheure (Wh), c'est-à-dire la quantité d'énergie consommée pendant une heure.

$$1 \text{ wattheure} = 3\,600 \text{ joules} ; 1 \text{ kilowattheure (kWh)} = 1\,000 \text{ wattheures.}$$

Doc. 2 Utiliser 1 kWh pour se déplacer

Le tableau ci-dessous permet de déterminer la distance que l'on peut parcourir en moyenne en utilisant 1 kWh pour une personne et le temps de parcours moyen.

Moyen de transport	Marche	Course	Vélo	Voiture	Bus	Train TGV	Avion
Distance parcourue (en km)	13,7	11,6	40,0	1,6	5,5	12,5	2,0
Temps de parcours	3 h 15	1 h 15	40 min	1 min	3,5 min	4 min	10 s

Doc. 3 Utiliser 1 kWh à la maison

1 kWh représente l'énergie nécessaire pour faire fonctionner son réfrigérateur pendant une journée, chauffer 1 m² de son logement pendant 6 h, ou rafraîchir son logement à l'aide d'un climatiseur pendant 20 minutes environ. C'est aussi l'énergie globale utilisée pour que l'on puisse visualiser une vidéo en streaming pendant 10 s, en tenant compte de l'énergie nécessaire au fonctionnement des infrastructures d'Internet et notamment les Data Centers.

Avec un 1 kWh, on peut aussi envoyer environ 40 emails, environ 10 000 SMS ou encore effectuer 3 500 recherches sur Google.



Doc. 4 Produire ou stocker 1 kWh

Pour produire 1 kWh d'énergie, on peut utiliser l'**énergie potentielle** de l'eau qui chute dans un barrage en entraînant une turbine. L'énergie potentielle de l'eau est donnée par :

$$E_p = m \times g \times h$$

où m est la masse d'eau, h la hauteur de chute et g est l'intensité de la pesanteur avec $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.



On peut également utiliser l'énergie chimique stockée dans 0,10 L de carburant, 200 g de bois sec, 130 g de charbon, etc. On peut aussi stocker l'énergie nécessaire dans des batteries plomb-acide dont la capacité de stockage par unité de masse est de $50 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Questions

- 1 Doc. 1 Proposer une relation liant énergie, puissance et temps.
- 2 Doc. 2 Quel avantage présente la marche par rapport à la course du point de vue énergétique ?
Quel inconvénient présente-t-elle ?
- 3 Doc. 1 et 3 Déterminer les puissances respectives des différents moyens de transport.
- 4 Doc. 1 et 3 On estime que, dans le monde, environ 200 millions d'emails sont échangés toutes les heures. Calculer l'énergie nécessaire au fonctionnement d'Internet, juste pour l'envoi d'emails pendant 24 h.
- 5 Doc. 1 et 3 La puissance moyenne d'un réacteur nucléaire est 860 MW. Combien faut-il de réacteurs nucléaires pour permettre cette correspondance électronique ?
- 6 Doc. 1 et 4 Le barrage de Serre Ponçon est équipé de turbines d'une puissance égale à 84 MW. Au bout de combien de temps cette turbine produit-elle 1 kWh ?
- 7 Doc. 3 et 4 Combien de kilos de batteries sont nécessaires pour faire fonctionner un réfrigérateur pendant une journée ?

Activité exp1 : Chaîne d'énergie

Doc. 1 La bouilloire, aspects énergétiques

- Une bouilloire électrique est un appareil qui permet de chauffer de l'eau et de porter rapidement sa température à la température désirée, généralement à l'ébullition. À l'ébullition, le système de chauffage se coupe automatiquement.
- La bouilloire convertit une quantité d'énergie E (en joule) qui dépend de la puissance P (en watt) et de la durée d'utilisation Δt (en seconde).

Son expression est :

$$E = P \times \Delta t$$

- L'énergie thermique Q reçue par l'eau, de masse m_{eau} et de capacité thermique massique c_{eau} pour faire passer sa température de θ_i à θ_f est alors :

$$Q = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_i)$$



Doc. 2 Notion de rendement

Le rendement η d'une chaîne énergétique est le rapport entre l'énergie cédée et l'énergie reçue. C'est une valeur **sans unité**, toujours inférieure à 1 pour tenir compte des pertes.

Doc. 3 Manipulation

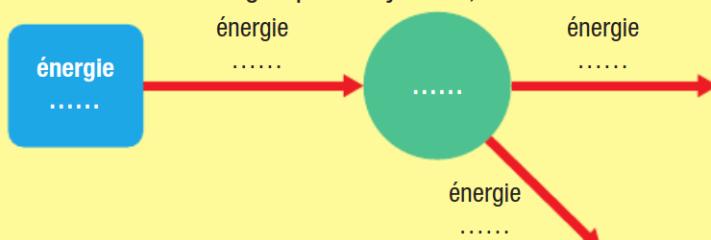
- Verser environ 1 L d'eau dans la bouilloire et déterminer, par pesée, la masse m_{eau} d'eau exacte introduite.
- À l'aide d'un thermomètre, mesurer la température initiale θ_i de l'eau à l'équilibre thermique (lorsque la température est constante) et noter sa valeur.
- Démarrer le chauffage de l'eau en même temps que le chronomètre. Mesurer simultanément le temps de chauffage et la puissance électrique reçue par la bouilloire grâce à un wattmètre ou une pince ampérométrique. Cette puissance pourra être considérée comme constante sur toute la durée de l'expérience.
- Arrêter le chronomètre lorsque la bouilloire se coupe, c'est-à-dire lorsque l'eau est à 100°C.

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Questions

- Doc. 3 Comment déterminer avec précision la masse d'eau introduite dans la bouilloire ?
- Doc. 1 et 3 Calculer la valeur de l'énergie électrique E consommée par la bouilloire.
- Doc. 1 et 3 Calculer l'énergie thermique Q reçue par l'eau, pour faire varier sa température de θ_i à θ_f . Comparer les deux valeurs d'énergie précédentes. Comment expliquer cette différence ?
- Doc. 2 et 3 Représenter la chaîne énergétique du système, sur le modèle suivant.



- Doc. 1 et 3 En déduire la valeur du rendement η du corps de chauffe.

Activité exp 2 : rendement d'un moteur

Doc. 1 Quelques rappels

- L'**énergie mécanique** est la somme de l'**énergie cinétique** (liée à la vitesse) et de l'**énergie potentielle de pesanteur** (liée à la hauteur). Son expression est :

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

où m est la masse de l'objet, v sa vitesse, h l'altitude de son centre de gravité et g est l'intensité de la pesanteur.

- Le **rendement** η d'une chaîne énergétique est le rapport entre l'énergie cédée et l'énergie reçue. C'est une valeur **sans unité**, toujours inférieure à 1 pour tenir compte des pertes.

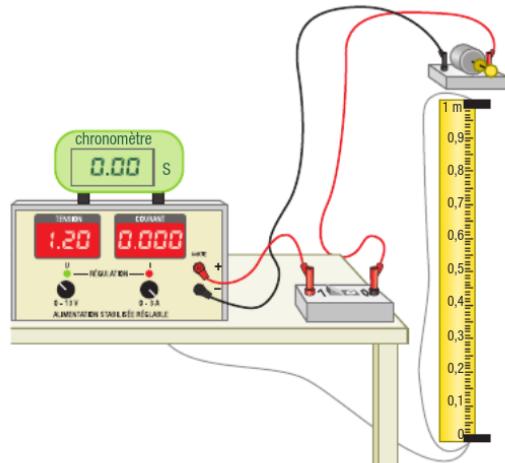


▲ Le rendement du moteur électrique de ce téléphérique dépend-il du poids de ses passagers ?

Doc. 2 Expérience

- Réaliser le montage ci-contre alimentant un petit moteur électrique.
- On souhaite mesurer la tension U aux bornes du moteur, le courant I qui le traverse ainsi que le temps t mis par le moteur pour soulever la charge d'une hauteur h fixée à 1 m par exemple.
- Reproduire l'expérience en changeant la masse de la charge.
- Rassembler les mesures dans un tableau tel que celui ci-dessous.

Masse (g)	U (V)	I (A)	t (s)	h (m)	E_{elec} (J)	E_u (J)	η
10							
20							
...							



▲ Montage expérimental

- Sachant que la puissance délivrée au moteur est $P = U \times I$, quelle est l'énergie apportée au moteur? **Exprimer le résultat** avec t (sec) et P (watt).
- La relation pour calculer le rendement s'écrit : $\eta = \frac{\text{Énergie utile}}{\text{Énergie fournie}}$, Quelle est l'énergie utile? Quelle est l'énergie fournie?
- Calculer le rendement du moteur η pour chaque masse puis recopier et compléter le tableau.
- Tracer la courbe $\eta = f(m)$
- Conclure, le rendement dépend il de la charge?

Exercices chapitre 3

8 Puissances mises en jeu

Recopier et compléter le tableau suivant.

Appareil	P (en W)	t	E (en Wh)	E (en J)
Lampe	60 W	2 h		
Télévision	80 W	4 h		
Four à micro-ondes	1 300 W	2 min		
Lecteur DVD	25 W		38	
Sèche-cheveux		10 min		$4,2 \times 10^5$

Où : – P est la puissance consommée par l'appareil ;

- t la durée d'utilisation ;
- E l'énergie consommée.

10 Économie d'énergie à la maison

Un élève travaille avec son ordinateur avec la lumière et la musique allumées.

- Déterminer la puissance totale consommée.
- Calculer l'énergie consommée par l'ordinateur pendant 2 h et l'énergie consommée par la box qui est allumée 24 h/24 h. Conclure quant à la meilleure façon d'économiser l'énergie.
- Calculer l'énergie, puis le coût de l'électricité consommée par l'élève, si son travail dure 1 h 30 min, sachant que le prix du kilowattheure est d'environ 0,15 euro.

Données

Puissances consommées :

par l'ordinateur : 200 W ; par l'ampoule : 60 W ;
par la musique : 50 W ; pour la box Internet : 20 W.

14 Pertes dans un moteur

Le moteur thermique diesel Renault 2.0 DCI 150 qui équipe, entre autres, les Nissan Qashqai, a une puissance maximale de 110 kW et son rendement énergétique est de 30%. En fonctionnement normal, ce moteur libère 9,98 kWh en consommant 1 litre de carburant.

- Quelle est la puissance chimique nécessaire pour son bon fonctionnement ?
- Calculer la consommation horaire en carburant.
- Calculer la puissance thermique dissipée.

Donnée

1 Wh = 3 600 J

9 Chaines énergétiques

Représenter la chaîne énergétique :



- lorsqu'un moteur thermique alimente une voiture ;
- lorsqu'un kitesurfeur se déplace grâce au vent ;
- lorsqu'une voiture hybride descend une côte à vitesse constante tout en rechargeant sa batterie ;
- lorsqu'une éolienne est utilisée pour produire du courant électrique.

12 Transformation d'énergie d'un panneau solaire

Il existe deux variétés de panneau solaire.

- Quelles sont les formes d'énergie reçues et produites par chaque panneau ?
- Réaliser les schémas de ces transformations.
- Quels types de conversions énergétiques sont réalisées ?



Panneau solaire photovoltaïque



Panneau solaire thermique

15 Ampoule halogène ou LED ?

Victor se demande s'il doit remplacer son ampoule halogène par un modèle équivalent de type LED.

	Ampoule halogène	Ampoule LED
Puissance électrique consommée	50 W	5,3 W
Durée de vie approx.	1 000 h	25 000 h
Prix	7 euros	10 euros

- Déterminer l'énergie consommée par jour pour chaque lampe si on suppose qu'elles fonctionnent 4 h.
- Quel est le coût en euros par jour en sachant que le prix moyen du kWh est d'environ 0,15 euro.
- Combien de jours faut-il pour compenser le surcoût de l'ampoule LED ?
- Déterminer le nombre de jours où l'on pourra utiliser chaque ampoule.
- Conclure quant à l'intérêt de changer de modèle.

Exercice complexe 1 :

La Golf est un modèle emblématique de la marque Volkswagen, lancée en 1974 et toujours réactualisée. La série VII est la dernière en date. La Golf VII GTI Performance est équipée d'une motorisation sportive dont les caractéristiques techniques sont exposées ci-contre.

1. Schématiser la chaîne énergétique de cette voiture.
2. Exprimer la puissance du moteur en W puis en kW.
3. Calculer l'énergie mécanique fournie aux roues en 1 h.
4. Le rendement du moteur peut être estimé à 30%. Déterminer la quantité de chaleur produite par la combustion de l'essence dans le moteur pendant 1 h.

Donnée

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$



Moteur	4 cylindres, 16 soupapes avec injection directe
Cylindrée	1 984 cm ³
Puissance maximale	230 CV (cheval-vapeur)
Vitesse maximale	250 km·h ⁻¹
Consommation mixte	6,4 L/100 km

Aide

1. Il faut rechercher la nature des réservoirs, des convertisseurs et des énergies échangées dans un véhicule à essence.
2. Ne pas oublier d'effectuer les conversions (voir p. 222).
3. Appliquer la relation liant l'énergie à la puissance et au temps.
4. Utiliser la définition du rendement :

$$\eta = \frac{E_u}{E_a} = \frac{P_u}{P_a}$$

Puis utiliser la loi de conservation de l'énergie.

19 Solar Impulse 2 BAC

Le 26 juillet 2016, l'avion solaire *Solar Impulse 2* a décollé du Caire, en Égypte, afin de rejoindre Abu Dhabi, aux Émirats Arabes Unis, ville départ qu'il avait quittée plus d'un an auparavant. Le vol, effectué par un seul pilote expérimenté, a duré 48 h.



Il s'agissait là de l'ultime étape de son tour du monde, lancé le 9 mars 2015, avec le Soleil comme seule source d'énergie. Il s'agissait là de l'ultime étape de son tour du monde, lancé le 9 mars 2015, avec le Soleil comme seule source d'énergie.

Immatriculation	HB-SIB
Avion	Version définitive
Envergure	72,30 m
Longueur	22,40 m
Hauteur	6,37 m
Masse	2 300 kg
Motorisation	4 moteurs électriques de puissance 17,56 CV chacun
Cellules photovoltaïques	Nombres de cellules : 17 248 Rendement : 22,7% Surface totale : 269,5 m ²

▲ Doc. 1 Caractéristiques de l'avion Solar Impulse 2

L'avion *Solar Impulse 2* peut voler, d'une part grâce à des batteries lithium-polymères, et d'autre part grâce à des cellules photovoltaïques recouvrant la totalité de sa surface. Le jour, lorsque le Soleil brille, on considère que seules les cellules permettent à l'avion de se déplacer.

La nuit, ce sont les batteries qui, chargées au départ, puis le jour par les cellules photovoltaïques lorsque l'avion vole, permettent aux moteurs de tourner.

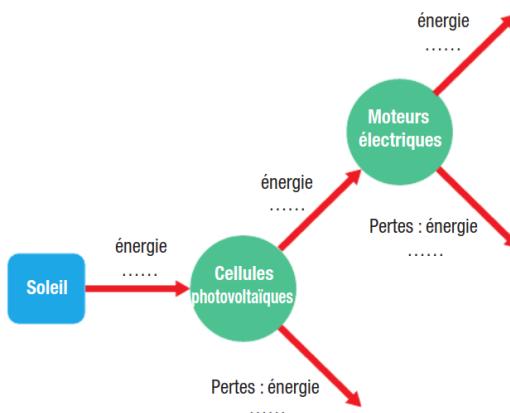
▲ Doc. 3 Les batteries du *Solar Impulse 2*

Entre Le Caire et Abu Dhabi, la puissance moyenne en juillet est de 380 W·m⁻². Le Soleil brille en moyenne 14 h par jour.

▲ Doc. 2 Puissance moyenne en juillet

Bilan énergétique pour les cellules photovoltaïques

1. Après avoir pris connaissance des documents 1, 2 et 3, recopier et compléter la chaîne énergétique ci-dessous.



2. Calculer la puissance solaire moyenne P_R absorbée par l'ensemble des cellules photovoltaïques, pendant que le Soleil brille.
3. Montrer que l'énergie solaire E_R , reçue par l'ensemble des cellules photovoltaïques lors d'une journée de vol, vaut $1,43 \times 10^6$ Wh.
4. Exprimer l'énergie E_{mot} reçue par les moteurs en fonction du rendement η des cellules et de l'énergie reçue E_R . Calculer sa valeur numérique pour une journée.

Bilan énergétique pour la propulsion

5. En utilisant le doc. 1, calculer, en watts, la puissance totale P'_{mot} pour l'ensemble des quatre moteurs de *Solar Impulse 2*.
 6. En déduire l'énergie E'_{mot} nécessaire à leur fonctionnement pendant une journée de 14 h.
 7. L'énergie E_{mot} est-elle suffisante pour alimenter les quatre moteurs de l'avion ?
- Justifier la réponse.