

Thème : L'énergie

Chapitre 1 : L'énergie et ses enjeux

Objectifs :

- Citer les différentes formes d'énergie utilisées dans les domaines de la vie courante, de la production et des services.
- Distinguer les formes d'énergie des différentes sources d'énergie associées.
- Énoncer et exploiter la relation entre puissance, énergie et durée.
- Évaluer et citer des ordres de grandeur des puissances mises en jeu dans les secteurs de l'énergie, de l'habitat, des transports, des communications, etc.
- Identifier les principales conversions d'énergie : électromécanique, photoélectrique, électrochimique, thermodynamique, etc.
- Schématiser une chaîne énergétique ou une conversion d'énergie en distinguant formes d'énergie, sources d'énergie et convertisseurs.
- Évaluer ou mesurer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée.
- Énoncer le principe de conservation de l'énergie pour un système isolé.
- Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique et calculer un rendement pour une chaîne énergétique ou un convertisseur.
- Déterminer le rendement d'une chaîne énergétique ou d'un convertisseur.
- Énoncer qu'une ressource d'énergie est qualifiée de « renouvelable » si son renouvellement naturel est assez rapide à l'échelle de temps d'une vie humaine.

Sommaire

1. Introduction	2	du quotidien	6
2. Cours	4		
2.1 Différentes formes d'énergies	4	4. Activité 2 : Qu'est ce que 1 kilowatt-heure ?	8
2.2 Chaîne énergétiques et conversions d'énergie	4	5. Activité 3 : Qu'est ce qu'une chaîne énergétique ?	10
2.3 Relation entre puissance moyenne et variation d'énergie	5	6. Activité 4 : Le rendement d'un moteur dépend-t-il de la charge ?	12
2.4 Rendement énergétique d'une chaîne énergétique	5	7. Exercices	13
3. Activité 1 : La combustion et l'énergie			

1. Introduction

L'énergie est présente partout autour de nous, sous différentes formes. Il arrive que l'énergie passe d'une forme à une autre.



FIGURE 1 – Différentes sources d'énergie.

1. **Observer** les photographies ci-dessus et répondre aux questions suivantes en remplissant le tableau :

Photos de 1 à 4 :

a) Pour chaque photographie ci-dessus, **indiquer** la forme d'énergie dont dispose le système présenté.

b) Quel mode de transfert d'énergie (thermique, par rayonnement, . . .) illustre chaque photographie ?

Photos de 5 à 8 :

c) Pour chaque système, **indiquer** la forme d'énergie reçue et en quelle forme elle est convertie.

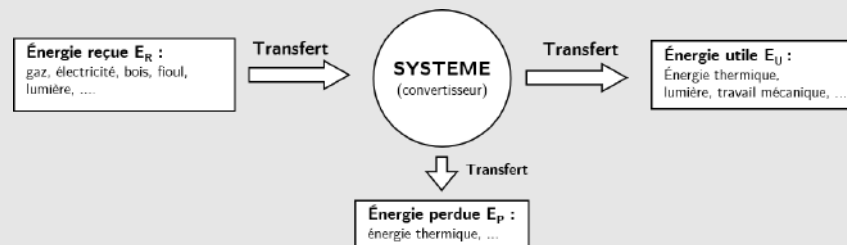
Photographie	1	2	3	4
Système				
Forme de l'énergie				
Mode de transfert				

Photographie	5	6	7	8
Système				
Conversion d'énergie par le système				

Une source d'**énergie renouvelable** est une source d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elle puisse être considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. Son caractère « renouvelable » dépend, d'une part, de la vitesse à laquelle la source est consommée et, d'autre part, de la vitesse à laquelle elle se renouvelle.

→ Les sources d'énergie renouvelables proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres.

Une **chaîne énergétique** représente l'ensemble des formes et transferts d'énergie mis en jeu dans un système utilisant un ou plusieurs convertisseurs d'énergie :



L'énergie solaire pourrait produire 20 fois les besoins énergétiques mondiaux. Et pourtant, elle ne représente que 1% des capacités de production électrique à l'échelle mondiale. L'énergie solaire, produite par le rayonnement du Soleil sur la Terre, représente une source naturelle inépuisable et renouvelable.

Exploitée selon deux techniques différentes, elle utilise soit :

- des capteurs solaires qui transforment les rayonnements en énergie thermique (chaleur). Cette chaleur est ensuite distribuée par un système de circulation d'eau ou d'air. Appelé « solaire thermique », son utilisation peut être complétée, pendant les périodes de l'année peu ensoleillées, par une énergie complémentaire (gaz naturel, électricité, bois...);
- des cellules photovoltaïques, réunies dans un panneau solaire, qui transforment l'énergie en courant électrique. Celui-ci est alors utilisé localement par le bâtiment qui l'a produit ou transmis sur le réseau électrique. On l'appelle, le « solaire photovoltaïque ».

Dans un monde qui manquera de ressources énergétiques dans quelques décennies, la solution solaire semble parfaite. Pourtant, la pratique n'est pas répandue. Le premier inconvénient est l'investissement que cette énergie représente pour un faible rendement. Les rendements ne dépassent pas 15 à 20%, dans un fonctionnement optimal du panneau photovoltaïque. Les besoins en électricité, étant en croissance dans le monde, il semble qu'il faille se tourner vers de nouvelles sources d'énergie. Le solaire devra prendre toute sa place. L'union européenne prévoit qu'elle représentera 20% des énergies renouvelables en 2020 (contre 1% en 2012). L'autre inconvénient pour l'installation de panneaux photovoltaïques dans de nombreuses régions du monde est le climat plutôt tempéré et le faible nombre de jours ensoleillés. L'angle d'inclinaison du panneau photovoltaïque a donc son importance. Mais la recherche progresse, et les panneaux solaires au silicium sont en phase d'amélioration.

FIGURE 2 – Le « solaire », une formidable source d'énergie.

2. Réaliser la chaîne énergétique du « solaire photovoltaïque ».
3. La source d'énergie utilisée par les panneaux solaires est-elle renouvelable ou non ? Justifier la réponse.
4. Citer quelques exemples d'énergies renouvelables et non renouvelables.

2. Cours

2.1 Différentes formes d'énergies

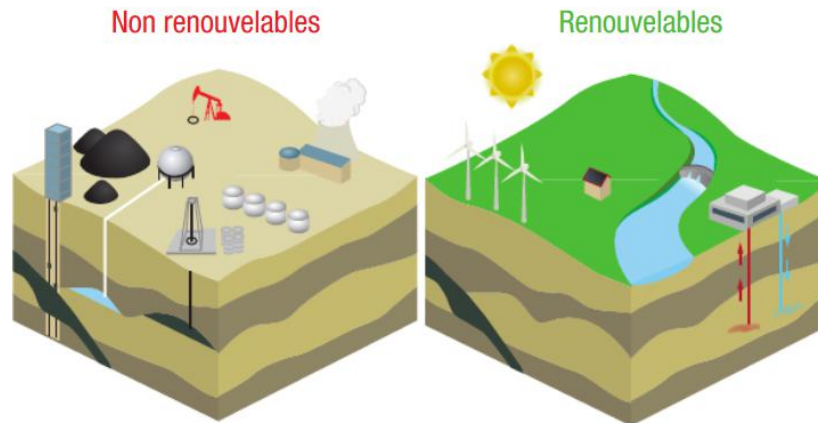


FIGURE 1 – Les principales sources d'énergie aujourd'hui utilisées.

- 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**.
- 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.

2.2 Chaîne énergétique et conversions d'énergie

- Les différentes énergies peuvent être stockées dans des **réservoirs d'énergies** et être converties d'une forme à une autre à travers des **convertisseurs d'énergies**.
- Une **chaîne énergétique** représente l'ensemble des éléments de conversion ainsi que les transferts d'énergies qui ont lieu lorsque de l'énergie change de forme.
- Dans une chaîne énergétique, les **réservoirs d'énergies** (les sources d'énergie ou les éléments de stockage) sont représentés par un rectangle, les **transferts d'énergies** par une flèche et les **convertisseurs** par un cercle.




	Symbole	Exemple
Réservoir d'énergie		énergie chimique, énergie cinétique ...
Convertisseur d'énergie		moteur, ampoule, alternateur ...
Transfert d'énergie		chaleur, énergie utile, lumière ...

FIGURE 2 – Les symboles de représentation dans une chaîne énergétique.

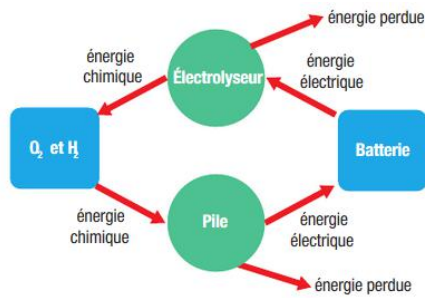


FIGURE 3 – Conversion électromécanique.

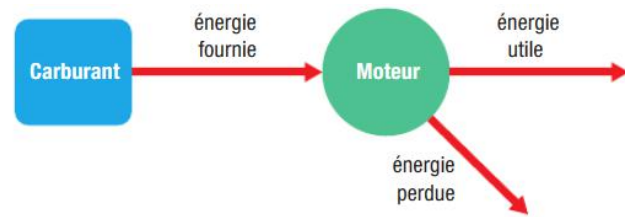


FIGURE 4 – Conversion électrochimique.

2.3 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 :

$$P = \frac{E}{t} \quad (1)$$

avec E est la quantité d'énergie gagnée ou perdue par le système, en joule, P la puissance en watt, t la durée de transfert en seconde.

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

2.4 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 :

$$\eta = \frac{E_u}{E_a} = \frac{P_u}{P_a} \quad (2)$$

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 que l'énergie perdue s'exprime par la relation :

$$E_p = E_a - E_u \quad (3)$$

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

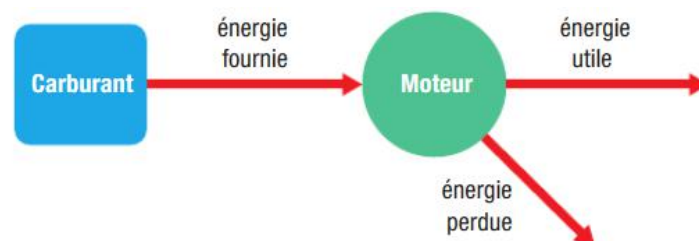


FIGURE 5 – Chaîne énergétique d'un moteur.

3. Activité 1 : La combustion et l'énergie du quotidien

Objectif :

- Citer les différentes formes d'énergie utilisées dans les domaines de la vie courante, de la production et des services.
- Distinguer les formes d'énergie des différentes sources d'énergie associées.
- Identifier les principales conversions d'énergie : électromécanique, photoélectrique, électrochimique, thermodynamique, etc.

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.

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 de 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 ».

FIGURE 1 – Qu'est-ce que l'énergie ?

FIGURE 2 – Propriétés de l'énergie.

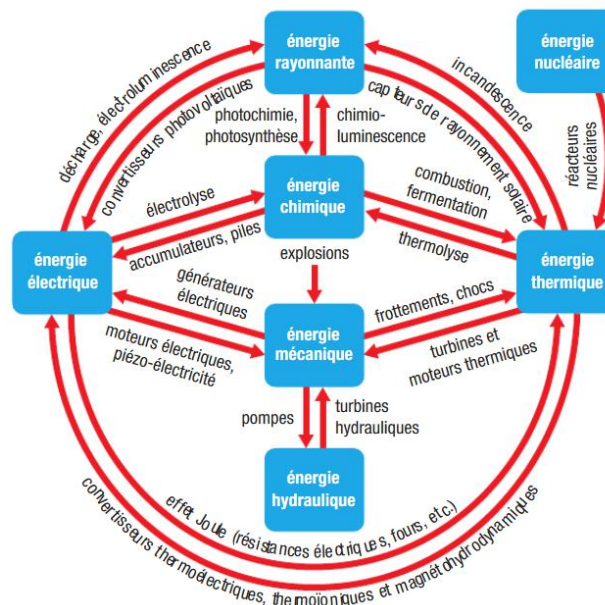


FIGURE 3 – Liens entre les énergies.

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.

FIGURE 4 – *Les différentes formes d'énergies et leur transformations.*

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

4. Activité 2 : Qu'est ce que 1 kilowattheure ?

Objectif :

- Énoncer et exploiter la relation entre puissance, énergie et durée.
- Évaluer et citer des ordres de grandeur des puissances mises en jeu dans les secteurs de l'énergie, de l'habitat, des transports, des communications, etc.

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 wattheure = 3600 joules; 1 kilowattheure (kWh) = 1000 wattheures.

FIGURE 1 – Relation entre puissance, énergie et temps.

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	3h15	1h15	40 min	1 min	3,5 min	4 min	10 s

FIGURE 2 – Utiliser 1kWh pour se déplacer.

1kWh représente l'énergie nécessaire pour faire fonctionner son réfrigérateur pendant une journée, chauffer 1 m^2 de son logement pendant 6h, ou rafraichir 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 10 s, en tenant compte de l'énergie nécessaire au fonctionnement des infrastructures d'Internet et notamment les Datas Centers. Avec un 1 kWh, on peut aussi envoyer environ 40 e-mails, environ 10 000 SMS ou encore effectuer 3 500 recherches sur Google.

FIGURE 3 – Utiliser 1kWh à la maison.

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

$$E_p = m \times g \times h \quad (4)$$

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 $50 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$.

FIGURE 4 – Produire ou stocker 1kWh.

1. **Proposer** une relation liant énergie, puissance et temps.
2. Quel avantage présente la marche par rapport à la course du point de vue énergétique? Quel inconvénient présente-t-elle?
3. **Déterminer** les puissances respectives des différents moyens de transport.
4. 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. La puissance moyenne d'un réacteur nucléaire est 860 MW. Combien faut-il de réacteurs nucléaires pour permettre cette correspondance électronique (Cf question 4.) ?
 6. 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. Combien de kilos de batteries sont nécessaires pour faire fonctionner un réfrigérateur pendant une journée ?

5. Activité 3 : Qu'est ce qu'une chaîne énergétique ?

Objectif :

- Schématiser une chaîne énergétique ou une conversion d'énergie en distinguant formes d'énergie, sources d'énergie et convertisseurs.
- Évaluer ou mesurer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée.
- Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique et calculer un rendement pour une chaîne énergétique ou un convertisseur.
- Déterminer le rendement d'une chaîne énergétique ou d'un convertisseur.

M et Mme Thébon dégustent chaque jour un thé. Pour préparer leur boisson, ils versent 300 mL d'eau bouillante dans leur théière. La température d'ébullition de l'eau est de 100° à la pression atmosphérique.

Mme Thébon utilise une bouilloire électrique. M Thébon préfère chauffer l'eau dans une casserole et utiliser une plaque électrique.

Quel est le mode de chauffage le plus économique, c'est-à-dire celui qui a le meilleur rendement ?

- Une bouilloire ou une plaque électrique sont des appareils qui permettent de chauffer de l'eau et de porter sa température à la température désirée, généralement à l'ébullition.
- Ces appareils convertissent une quantité d'énergie E (en J) qui dépend de la puissance P (en W) et de la durée d'utilisation Δt (en s). Son expression est :

$$E = P \times \Delta t \quad (5)$$

- 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 :

$$Q = m_{eau} \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_i) \quad (6)$$

FIGURE 1 – Aspects énergétiques

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.

FIGURE 2 – Notion de rendement

Donnée : Capacité thermique massique de l'eau $c_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Questions

1. Comment déterminer avec précision la masse d'eau introduite dans la bouilloire ?
2. **Donner** l'expression de l'énergie consommée par les deux appareils. Comment la mesurer ?
3. Comment peut-on déterminer l'énergie utile sachant qu'il faut fournir 4,18 J à 1 g d'eau pour élever sa température de 1°C ?
4. **Relever** dans un tableau les grandeurs mesurées :

- **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. 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°.

FIGURE 3 – Manipulation

Données	Bouilloire	Plaque chauffante
Température initiale θ_i en K		
Température finale θ_f en K		
Puissance en W		
Durée en s		

5. **Calculer** l'énergie thermique Q reçue par l'eau, pour faire varier la température de θ_i à θ_f , pour la bouilloire et la plaque chauffante.
6. **Calculer** l'énergie électrique E consommée par la bouilloire et la plaque chauffante.
7. **Comparer** les valeurs d'énergie précédentes. Comment expliquer cette différence ?
8. **Établir** la chaîne énergétique de la bouilloire et de la plaque électrique.
9. En déduire la valeur du rendement pour la bouilloire et la plaque.
10. **Répondre** à la problématique.

6. Activité 4 : Le rendement d'un moteur dépend-t-il de la charge ?

Objectif :

- Schématiser une chaîne énergétique ou une conversion d'énergie en distinguant formes d'énergie, sources d'énergie et convertisseurs.
- Évaluer ou mesurer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée.
- Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique et calculer un rendement pour une chaîne énergétique ou un convertisseur.
- Déterminer le rendement d'une chaîne énergétique ou d'un convertisseur.

Les moteurs électriques sont utilisés pour mettre en mouvement des pièces en rotation ou en translation. Dans le cas d'un mouvement en translation verticale, on se demande si le rendement du moteur dépend de la charge qu'il doit soulever.

Le rendement d'un moteur dépend-t-il de la charge ?

- 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 :

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \quad (7)$$

où m est la masse de l'objet, v sa vitesse, h 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.

FIGURE 1 – Quelques rappels.

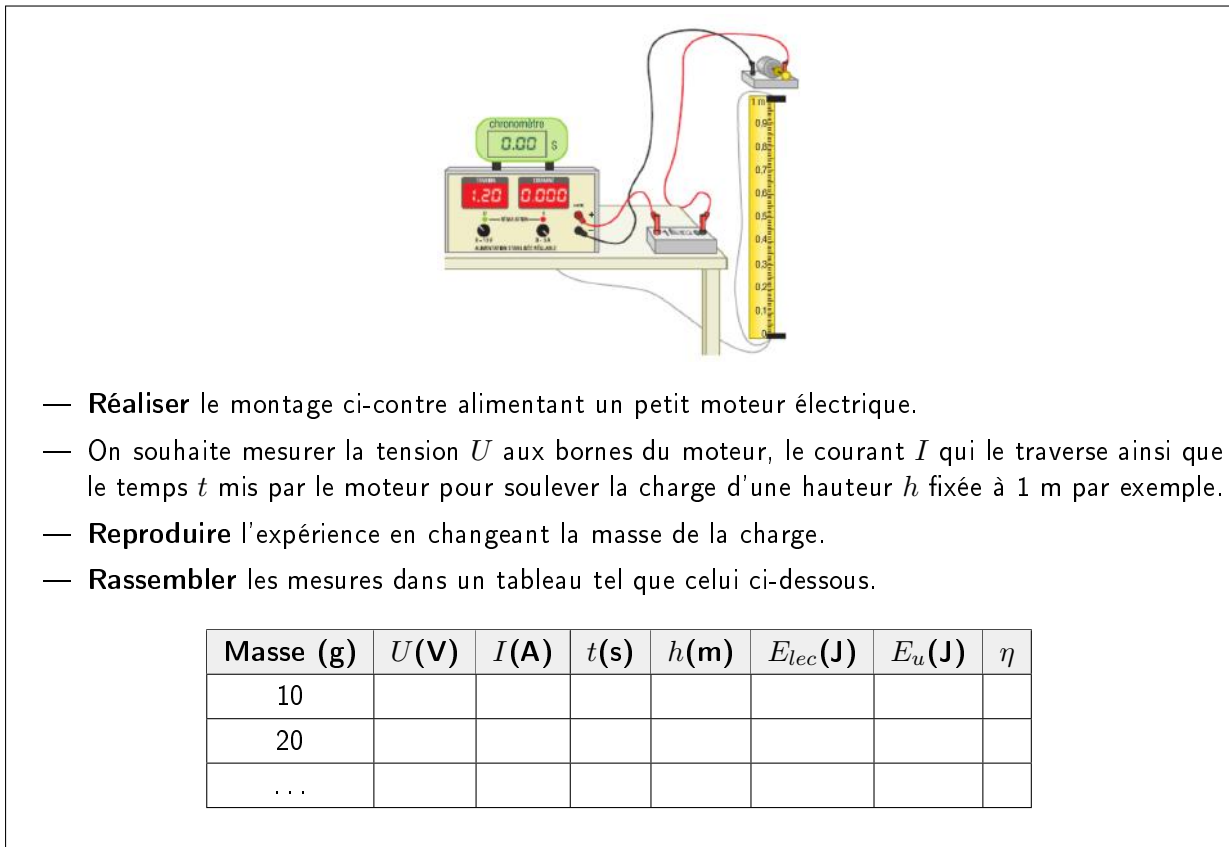


FIGURE 2 – Schéma du montage.

Questions préliminaires

1. **Donner** la chaîne énergétique du moteur électrique.
2. La puissance électrique $P_{lec} = U \times I$. **Donner** l'expression de l'énergie E_{lec} consommée par le moteur en fonction de P_{lec} et de Δt , la durée de fonctionnement du moteur.
3. **Montrer** qu'on peut négliger l'énergie cinétique devant l'énergie potentielle de pesanteur en prenant $m = 100$ g, $v = 1$ m.s⁻¹ et $h=1$ m. On prendra $g = 9,81$ m.s⁻².
4. **Donner** l'expression de l'énergie utile E_u délivrée par le moteur.
5. **Exprimer** le rendement du moteur.

Manipulation

6. **Réaliser** le montage et **relever** la valeur de la tension U délivrée par le générateur.
7. **Entrer** les différentes valeurs mesurées dans le tableau décrit dans la figure 2.
8. **Tracer** la courbe $\eta = f(m)$.
9. **Répondre** à la problématique.

7. Exercices

Exercice 1

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.

Exercice 2

Raymond travaille avec son ordinateur avec la lumière et la musique allumées.

1. **Déterminer** la puissance totale consommée.
2. **Calculer** l'énergie consommée par l'ordinateur pendant 2h et l'énergie consommée par la box qui est allumée 24h/24h. **Conclure** quant à la meilleure façon d'économiser l'énergie.
3. **Calculer** l'énergie, puis le coût de l'électricité consommée par l'élève, si son travail dure 1h30min, sachant que le 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 ; par la box Internet : 20 W.

Exercice 3

Le moteur thermique diesel Renault 2.0 DCI 150 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.

1. Quelle est la puissance chimique nécessaire pour son bon fonctionnement ?
2. **Calculer** la consommation horaire en carburant.
3. **Calculer** la puissance thermique dissipée.

Donnée : $1Wh = 3600J$.

Exercice 4

Voici quelques caractéristiques du vélo électrique B'ebike.

Assistance :

- moteur avec capteur de vitesse intégré ;
- batterie lithium-fer 10Ah et 24V, permettant de stocker 240Wh d'énergie ;
- écran de contrôle à LEDs.

Facilité d'utilisation : le moteur se met en route grâce au pédalage, se coupe au freinage.

Pois du vélo : 25 kg.

Le moteur intégré dans le moyeu arrière permet de rouler jusqu'à 25 km.h^{-1} de façon progressive et sûre. La batterie assure une autonomie maximale de 45 km, pour une autonomie moyenne de 25 km (suivant le dénivelé, le programme choisi et le poids de l'utilisateur, il peut y avoir des variations).

L'autonomie moyenne est déterminée pour une utilisation sur plat à 17 km.h^{-1} .

1. **Déterminer** la durée de fonctionnement de la batterie.
2. **En déduire** la puissance moyenne fournie par la batterie.
3. En supposant que le rendement global de chaîne d'énergie est de 0,6, **déterminer** la puissance moyenne fournie par l'assistance électrique au cycliste.

Exercice 5

Une Golf VII GTI performance consomme 6,4 litres d'essence aux 100 km (donnée constructeur). Un conducteur parcourt à la vitesse constante de 130 km.h^{-1} une distance de 50 km.

1. **Schématiser** la chaîne énergétique de la voiture.
2. **Calculer** l'énergie apportée par la combustion d'un litre de carburant.
3. **En déduire** quelle a été l'énergie totale apportée au moteur pendant ce trajet.
4. Le rendement d'un moteur à essence est de l'ordre de 20%, quelle est alors la quantité d'énergie mécanique fournie par le moteur durant ce trajet ?
5. Quelle est alors la puissance moyenne de ce moteur ?
6. Quelles sont les forces qui s'opposent au déplacement de la voiture ?
7. En réalité la consommation réelle est de 10 L d'essence aux 100 km sur ce trajet. Quel est le rendement réel du moteur.

Exercice 6

L'*Emma Maersk* est un porte-conteneurs construit en 2006. Il s'agit de l'un des plus grands porte-conteneurs existant en termes de longueur et de capacité de transport. En usage commercial normal, il transporte plus de 11000 conteneurs soit l'équivalent de 5500 semi-remorques. À pleine capacité, il pourrait sans doute transporter environ 14000 conteneurs.

Longueur	397 m
Largeur	56 m
Tirant d'eau	16 m
Masse sans cargaison	environ 100000 tonnes
Propulsion principale	moteur de 14 cylindres, 1 hélice de 131 tonnes et de 9,6 m de diamètre
Propulsion d'appoint	2 propulseurs électriques fournissant en tout 8000kW
Puissance totale des moteurs	80000 kW
Vitesse	26,3 nœuds

FIGURE 1 – Caractéristiques techniques de l'*Emma Maersk*.

La propulsion principale est assurée par un moteur diesel de la marque Wärtsilä de 14 cylindres de dimensions conséquentes : 13,5 m de haut et 27,3 m de large (soit les dimensions de deux maisons individuelles) pour une masse d'environ 2300 tonnes.

En régime normal, ce moteur consomme $3,8 \text{ L.s}^{-1}$ de fioul lourd n°2 (un carburant spécifique destiné, entre autres, aux navires) avec un rendement de 51,7%, et sa vitesse de rotation est de 102 tr.min^{-1} . Les propulseurs d'appoint, ou boosters, utilisés pour les accélérations et les manœuvres, sont alimentés par des alternateurs entraînés par des moteurs diesel délivrant une puissance d'environ 20000kW, qui alimentent les alternateurs.

FIGURE 2 – Des moteurs hors-normes.

Les porte-conteneurs utilisent comme carburant un résidu de pétrole, lourd, visqueux et qui brûle difficilement. Ce résidu est obtenu après distillation du pétrole. Sa teneur en soufre maximale est de 3,5% contre 0,001% pour le diesel automobile. Sa combustion générera beaucoup d'oxydes d'azotes (NO_x) et d'oxydes de soufre (SO_x), molécules qui accélèrent la formation de particules fines. Un porte-conteneur produit alors autant d'oxydes de soufre qu'environ 1 million de voitures avec un fioul lourd « propre » contenant 0,1% maximum de soufre ainsi qu'une grande quantité de CO_2 .

FIGURE 3 – Des monstres polluants ?

	Fret routier	Fret ferroviaire	Fret aérien	Fret maritime
Émission de CO_2 (en millions de tonnes)	629	35	97	832
Pourcentage de marchandises transportées	8%	5%	1%	86%
Émission de CO_2 pour faire avancer une tonne d'un km (en tonnes)	51 à 92	19 à 41	673 à 867	10 à 15

FIGURE 4 – Émissions de CO_2 du fret mondial dans les échanges internationaux.

1. **Compléter** la chaîne énergétique du moteur principal considéré sans transmission.
2. **Calculer** la puissance fournie au moteur principal.
3. Sachant qu'un trajet Tokyo - Le Havre dure 37 jours et 37 nuits, **calculer** l'énergie fournie au moteur principal.
4. **En déduire** la quantité de fioul lourd n°2 utilisée dans le moteur.
5. Ce volume de carburant est-il compatible avec la consommation annoncée de ce moteur ?
6. **Avancer** une explication possible pour expliquer cette petite différence.
7. Les réservoirs de fioul lourd du navire peuvent contenir 17089 tonnes de carburant. Cette quantité est-elle suffisante pour faire un aller-retour Le Havre - Tokyo ?
8. **Calculer** le rendement énergétique de l'ensemble alternateur-booster.
9. Quels inconvénients le type de carburant utilisé par les porte-conteneurs présente-t-il ?
10. Quel est le mode de transport qui émet le plus de CO_2 ?
11. Le transport maritime est-il le transport le plus polluant ? **Justifier** la réponse.
12. Quel est le mode de transport le plus polluant ?

Données : Masse volumique du fioul n°2 : $\rho = 1,020 \text{ kg.L}^{-1}$; pouvoir calorifique du fioul n°2 : 40000 kJ.L^{-1} ; pouvoir combustible du fioul n°2 : $10,7 \text{ kWh.L}^{-1}$.