

Compétences visées :

- Je connais les unités d'énergie et de puissance.
- Je sais identifier les sources et formes d'énergie.
- Je sais représenter une chaîne énergétique.
- Je sais utiliser les formules de l'énergie en fonction de la puissance et du temps  $E = P \times \Delta t$  et celle du rendement  $\eta = E_{\text{utile}}/E_{\text{absorbée}}$ .
- Je sais analyser un système énergétique concret.

**1 - Notion d'énergie**

Toute action humaine requiert de l'énergie : le fait de se déplacer, de se chauffer, de fabriquer des objets et même de vivre. Le mot « **énergie** » vient du Grec Ancien « **énergéia** », qui signifie « La force en action ».

Aujourd'hui, l'**énergie** peut être définie comme une **grandeur physique qui représente et quantifie la capacité d'un système à effectuer des transformations** ».

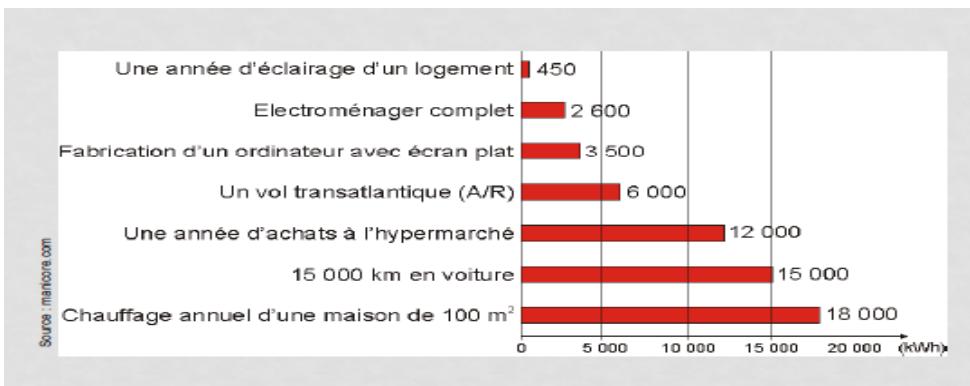
L'**énergie**, notée généralement **E**, a pour **unité** de mesure le **joule**, de symbole **J** dans le système d'unités du système international (U.S.I.).

Remarque : On utilise fréquemment des multiples du joule.

le kilojoule : **1 kJ =  $10^3$  J**; le mégajoule : **1 MJ =  $10^6$  J**; le gigajoule : **1 GJ =  $10^9$  J**; le térajoule : **1 TJ =  $10^{12}$  J**

Autre unités :

le wattheure (Wh)	la calorie (cal)	la tonne équivalent pétrole (tep)	le baril équivalent pétrole (bep)	l'électron-volt (eV)
<b>1 wh = 3600 J</b>	<b>1 cal = 4,18 J</b>	<b>1 tep = 41,8 GJ</b> ou <b>1 tep = 11630 kWh</b>	<b>1 bep = 6,12 GJ</b> ou <b>1 bep = 1700 kWh</b>	<b>1 eV = <math>1,6 \cdot 10^{-19}</math> J</b>

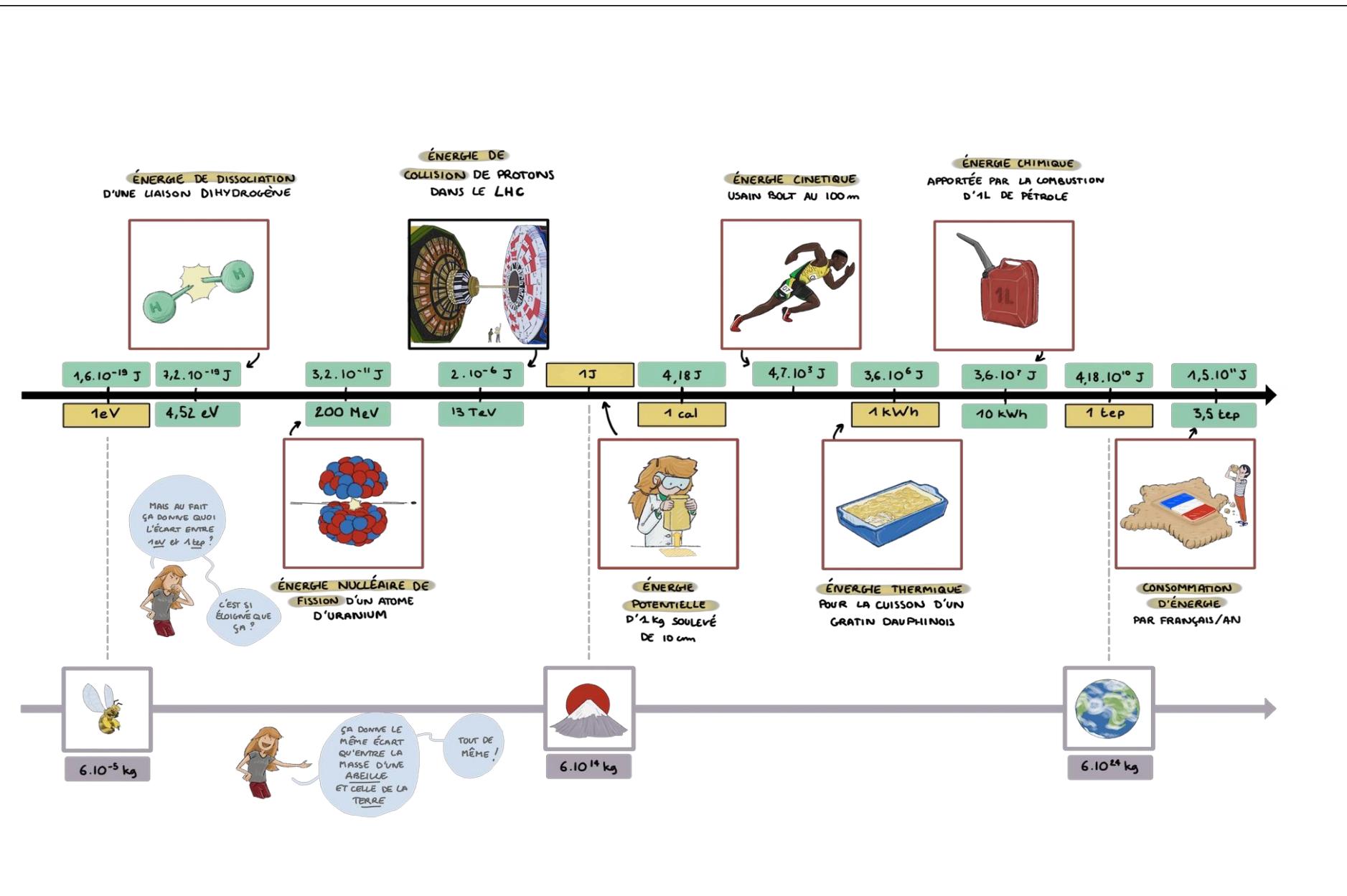
Exemples de dépenses énergétiques d'un foyer français

- Convertir 18 000 kWh : → en MWh, puis en GWh et → en kJ puis en GJ

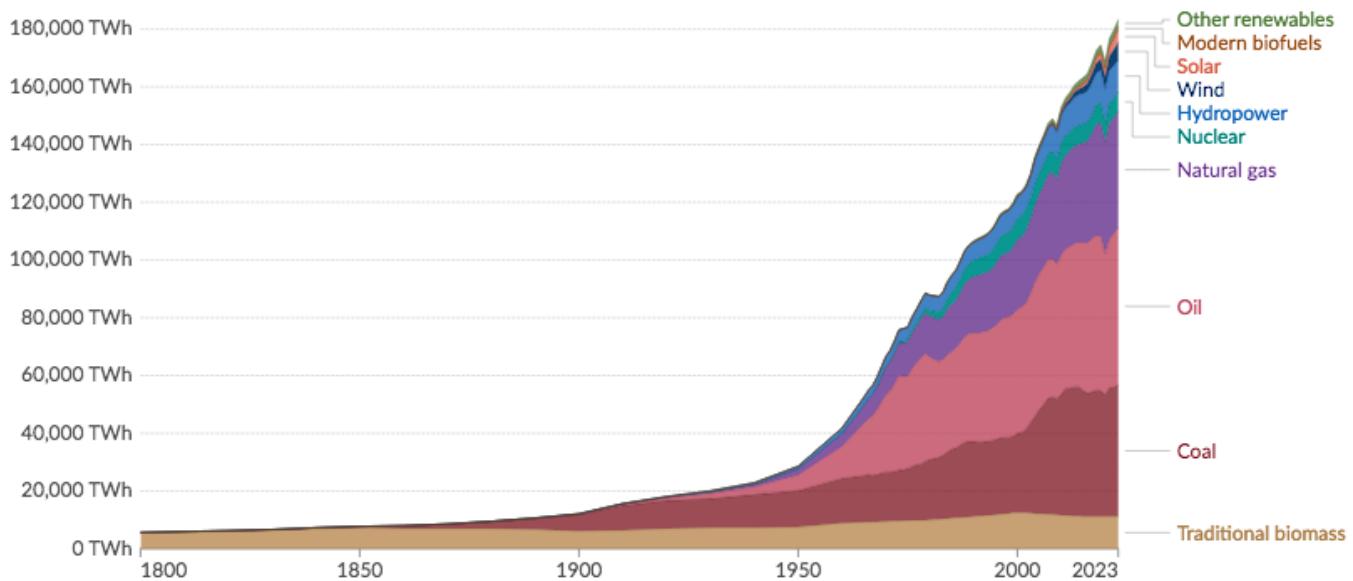
- Quelles sont les principaux postes de dépenses énergétiques d'un français ? Et les vôtres ?

# L'énergie et ses unités

<https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/>



## Évolution de la consommation mondiale annuelle d'énergie depuis 1800 jusqu'à 2023 (en TWh)



→ Quelle était la valeur de la consommation mondiale d'énergie en 1950 ? en 2000 ? aujourd'hui ?

→ Comment évolue la consommation mondiale :

- d'énergie depuis 1950 ? depuis les années 2000 ?

- d'énergies renouvelables depuis 1950 ? depuis les années 2000 ?

- de charbon depuis 1950 ? depuis les années 2000 ?

→ A votre avis, quelles sont prévisions sur l'évolution de la consommation mondiale d'énergie dans les 50 prochaines années ? Justifier votre réponse.

## 2 – Les sources d'énergie

### → Les sources non renouvelables

Sources	.....			.....
Nom	Gaz	Petrole	Charbon	Uranium, Plutonium
Illustration				

### → Les sources renouvelables

Une source d'énergie est dite renouvelable lorsqu'elle se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps d'une vie humaine.

Illustration	Nom	Description
	.....	Il est à l'origine de presque toutes les formes d'énergie sur Terre. Chaque jour, il nous envoie 6 000 fois plus d'énergie que notre planète en consomme. Les cellules photovoltaïques et les chauffe-eau solaires en utilisent une infime partie.
	.....	Elle sert à produire de l'électricité dans les barrages hydroélectriques ou dans la centrale marémotrice de la Rance. C'est la source renouvelable la plus utilisée en France.
	.....	Les éoliennes servent à produire de l'électricité. L'énergie éolienne s'est considérablement développée ces dernières années.
	.....	Cette énergie provient des matières organiques non fossiles (bois, paille, huiles) et des déchets des secteurs agricoles ou industriels. Les principales sources utilisées issues de la biomasse sont les biocarburants, l'éthanol et le méthane.
	.....	Elle utilise les sources de chaleur contenues dans le sol et la vapeur pour le chauffage ou la production d'électricité.

Exemples : Relier chaque centrale électrique à la source d'énergie qui est utilisée pour produire de l'électricité. Préciser si c'est une source renouvelable, fossile ou fissile.

- |                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| Centrale à flamme    | ● | ● uranium               |
| éolienne             | ● | ● pétrole, gaz, charbon |
| Centrale hydraulique | ● | ● vent                  |
| Centrale nucléaire   | ● | ● eau des lacs          |
| Centrale marémotrice | ● | ● Eau de mer            |

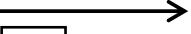
### 3 – Les formes d'énergie

Formes d'énergie	Description	Illustration	Formule
L'énergie mécanique	<b>Energie cinétique</b> Elle est liée au <b>mouvement</b> . Tout solide de masse $m$ animée d'une <b>vitesse <math>v</math></b> possède une énergie cinétique.		$E_c = \frac{1}{2}mv^2$
	<b>Energie potentielle de pesanteur</b> Elle est liée à la <b>position</b> . Tout solide de masse $m$ situé à une <b>altitude <math>z</math></b> d'un niveau pris pour référence, possède une énergie potentielle de pesanteur.		$E_p = mgh$  $m$ : masse (kg) $z$ : altitude (m) $g=10\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$
L'énergie lumineuse	<b>Energie lumineuse (ou rayonnante)</b> Elle est associée aux ondes électromagnétiques comme la lumière visible, les ultraviolets (UV) et les infrarouges (IR).		$E_{lum} = h \times \frac{c}{\lambda}$  $h$ : constante de Planck $c$ : célérité de la lumière, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ $\lambda$ : longueur d'onde, en m
L'énergie thermique	C'est une énergie interne due : → aux <b>mouvements</b> microscopiques de la matière (translation, rotation, vibrations) : $E_{c,\text{micro}}$ → aux liaisons entre les molécules d'une substance : énergie latente $L$		$E_{th} = \sum E_{c,\text{micro}} + L$
L'énergie électrique	C'est une énergie interne due à la <b>position</b> des charges électriques entre elles.		$E_{elec} = C \times U$  $C$ : capacité de la batterie $U$ : tension (Volt)
L'énergie chimique	C'est une énergie interne due à la cohésion entre le noyau chargé (+) et les électrons chargés. Dans une réaction chimique, certaines liaisons sont rompues alors que d'autres sont formées. De ce fait l'énergie interne change.		$E_{ch} = m \times P.C$  $m$ : masse, en kg $P.C$ : pouvoir calorifique, en $\text{J}/\text{kg}$
L'énergie nucléaire	C'est une énergie interne due à la cohésion du <b>noyau</b> d'un atome. Les réactions nucléaires libèrent beaucoup plus d'énergie que les réactions chimiques.		Hors programme

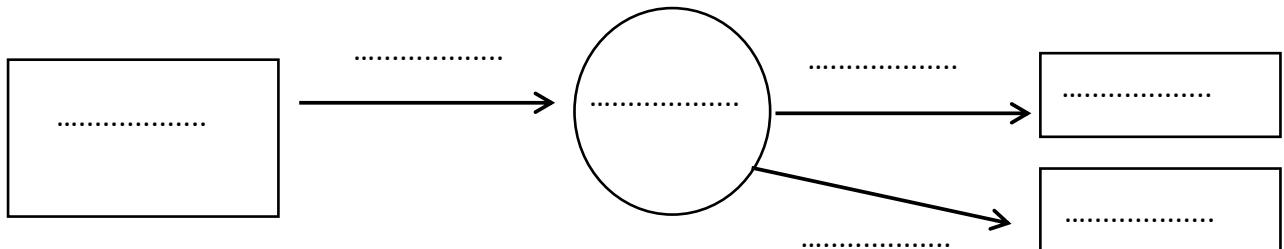
## 4 – Chaîne énergétique

Une **chaîne énergétique** permet de représenter les transferts et conversions d'énergie de dispositifs (convertisseurs) qui transforment un type d'énergie en un autre type

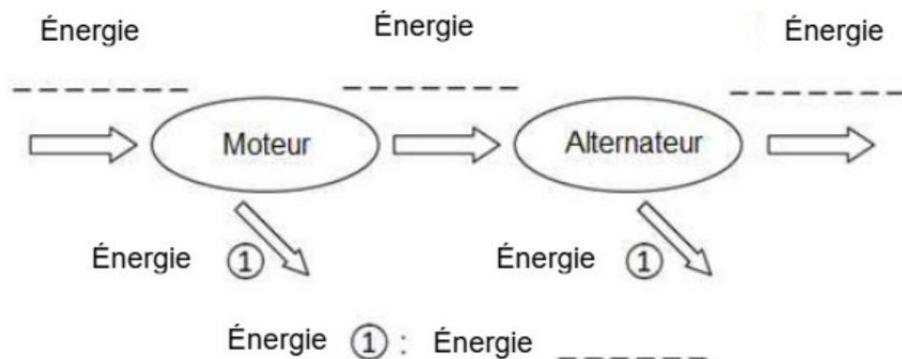
En générale, on représente une **chaîne énergétique** de manière schématique en y faisant figurer :

- des cercles pour les **convertisseurs** d'énergie 
- des flèches pour les **transferts** d'énergie 
- des rectangles pour les **réservoirs** d'énergie 

Exemples : 1) Compléter la chaîne énergétique d'une éolienne.



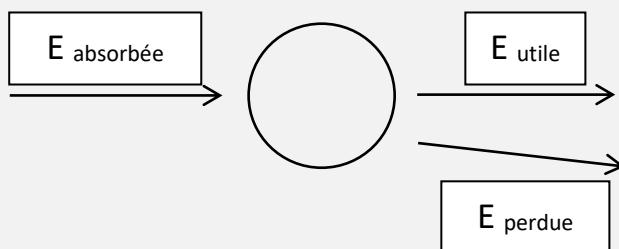
2) Compléter la chaîne énergétique d'un groupe électrogène.



## 5 – Principe de conservation de l'énergie

L'énergie d'un système isolé (qui n'échange ni matière ni énergie avec l'extérieur) peut changer de forme mais sa quantité totale reste **constante**.

On a :  $E_{\text{absorbée}} = E_{\text{utile}} + E_{\text{perdue}}$



## 6 - Puissance

La puissance correspond à la ..... avec laquelle une énergie est libérée ou consommée.

La puissance et l'énergie sont reliées par la relation suivante :

avec : P : .....

E : .....

$\Delta t$  : .....

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Rémarque : Si la durée est exprimée en heure alors l'énergie est en wattheure (Wh)

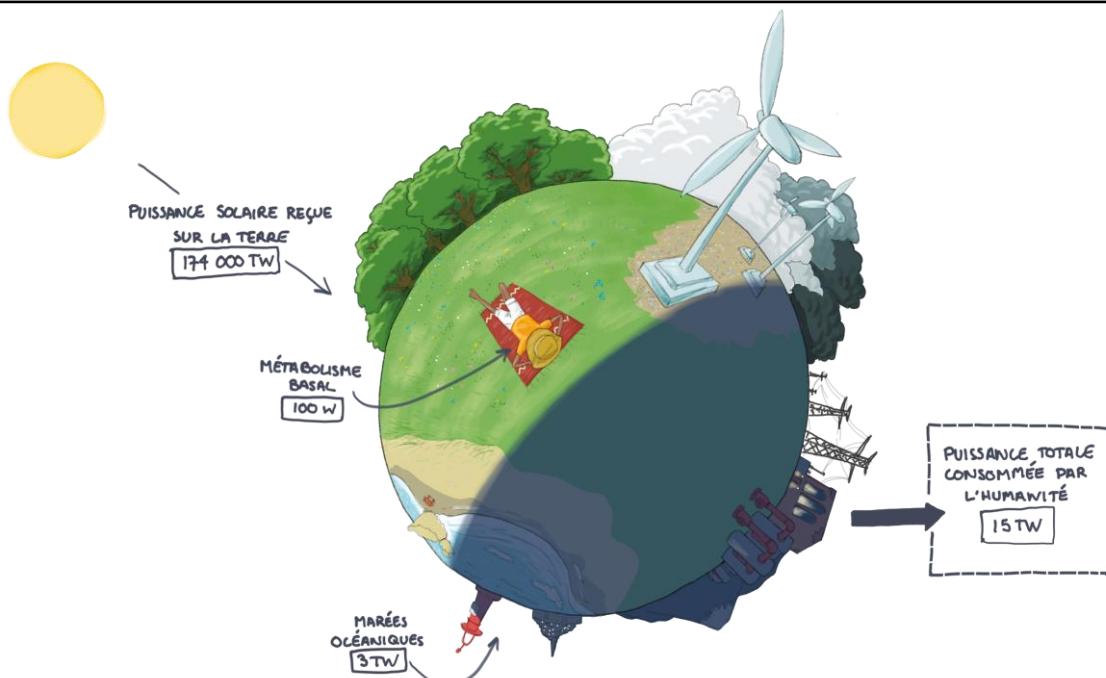
## Exemples :

1) Calculer la puissance d'un radiateur électrique qui consomme  $8,6 \times 10^7$  J en deux heures.

2) Calculer l'énergie consommée par une batterie qui délivre une puissance de 24 W pendant une durée de 3h 30 min, en J et en kWh.

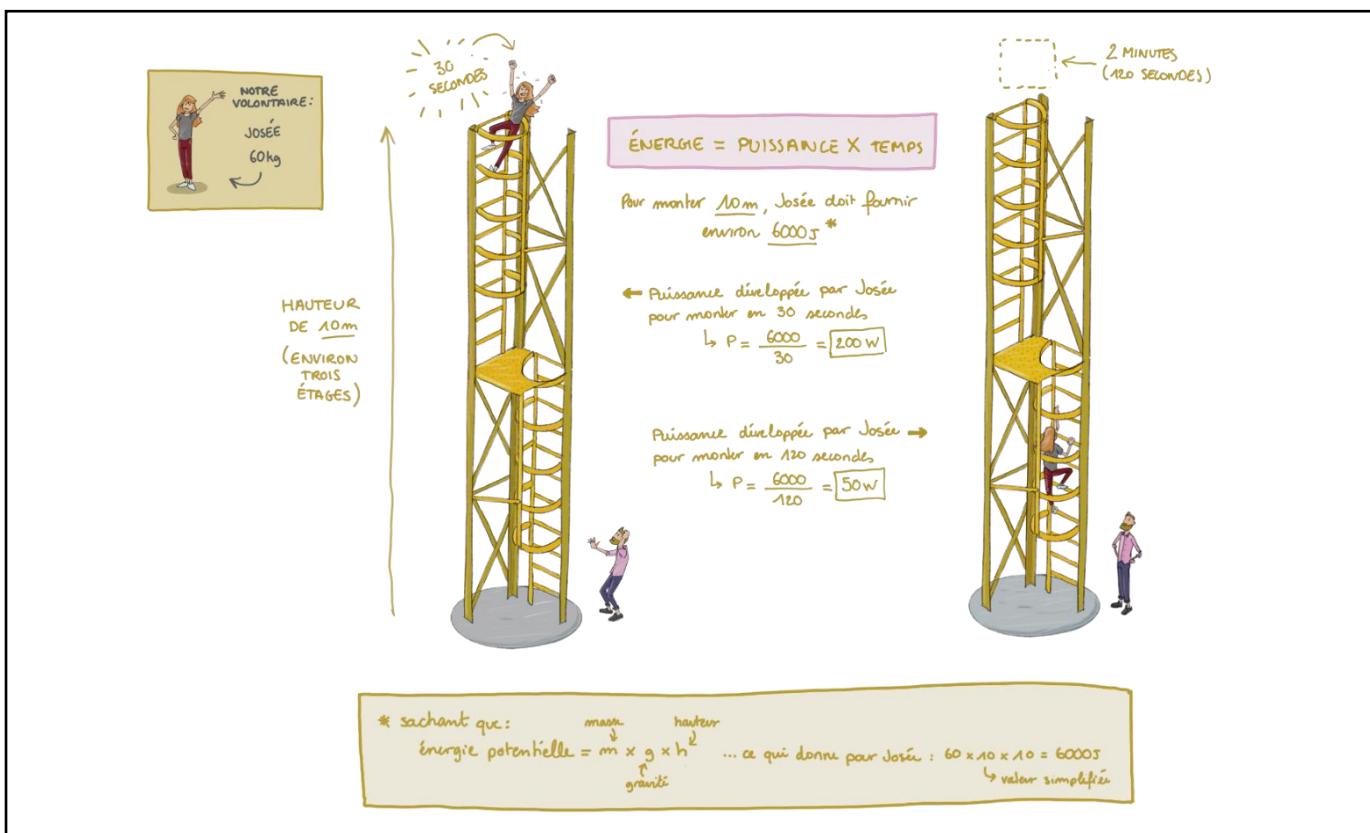
Les puissances des appareils domestiques varient de quelques milliwatts à quelques dizaines de kW.

Thermomètre auriculaire (2 mW)	DEL de veilleuse (40 mW)	Laser de gravure (100 mW)	Téléphone portable (2 à 5 W)	TV en mode veille (3 à 6 W)	Lampe basse consommation (9 W)
1 mW à 100 mW			1 W à 10 W		
Rasoir électrique (8 à 12 W)	Ordinateur avec écran plat en service (70 à 80 W)	Lampes spot d'extérieur (100 W)	Réfrigérateur (150 W)	Micro-onde (700 W)	Perceuse électrique (750 W)
10 W à 100 W			100 W à 1 kW		
Sèche-cheveux (2 kW)	Climatiseur (4 kW)	Cuisinière à gaz (8 kW)	Groupe électrogène (11 kW)	Poêle à bois (14 kW)	Chaudière à gaz (25 kW)
1 kW à 10 kW			Plus de 10 kW		



3) Retrouver les valeurs de la puissance mécanique de Josée, de masse  $m = 60 \text{ kg}$ , lorsqu'elle monte d'une hauteur de  $10 \text{ m}$  en  $30 \text{ s}$  ou en  $2 \text{ min}$ .

Indication : Déterminer l'énergie potentielle pour en déduire la puissance ( $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )



## 7 - Rendement

Le rendement d'un convertisseur, noté  $\eta$  (« Eta »), correspond à ..... avec laquelle est transformée une énergie.

Il peut se calculer en effectuant le rapport de l'énergie utile (ou puissance utile) par l'énergie absorbée (ou puissance absorbée).

On peut donc écrire :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}}$$

ou

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}}$$

Remarques :

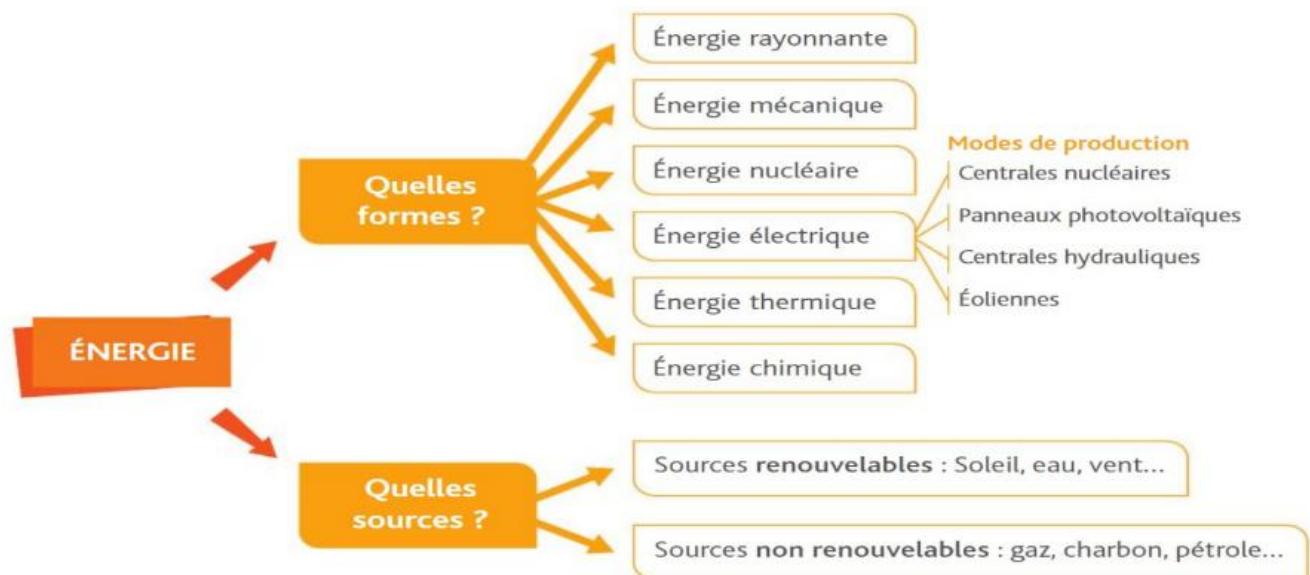
- Le rendement d'un convertisseur est toujours inférieur à 1 car il y a toujours des pertes sous forme de chaleur :  $\eta < 1 (= 100\%)$
- Le rendement peut être exprimé en pourcentage :  $\eta(\%) = \eta \times 100$

Exemples :

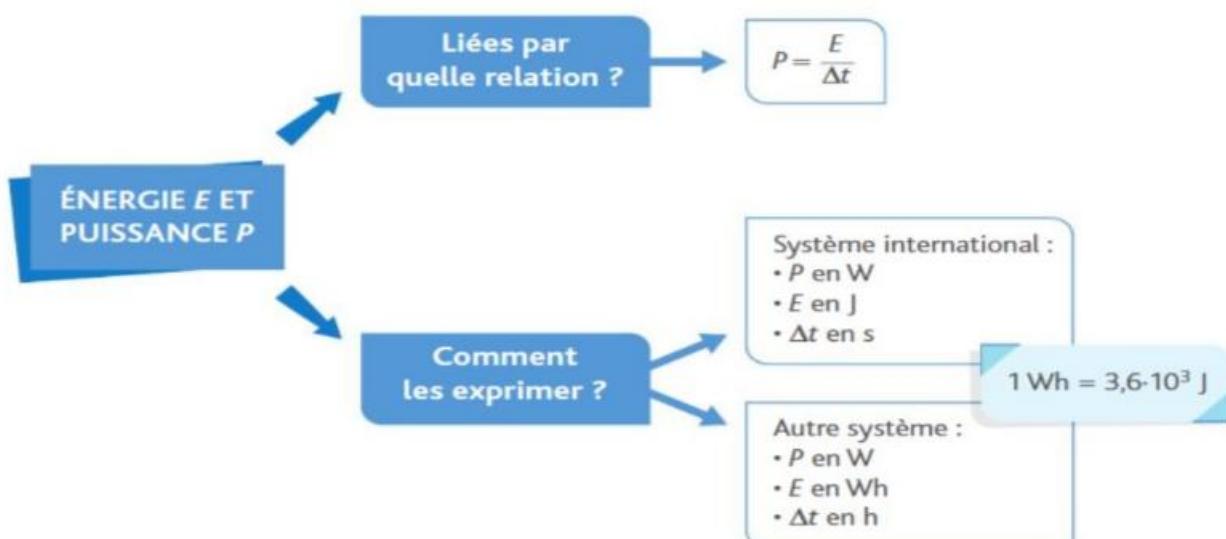
- 1) Calculer le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque qui reçoit une énergie rayonnante de 86 400 J et fournit une énergie électrique de 13 000 J. Exprimer ce rendement en %.
- 2) Calculer le rendement d'un monte-chARGE qui reçoit une puissance électrique de 12 kW et fournit une puissance mécanique de 9 kW.

## EN RESUME...

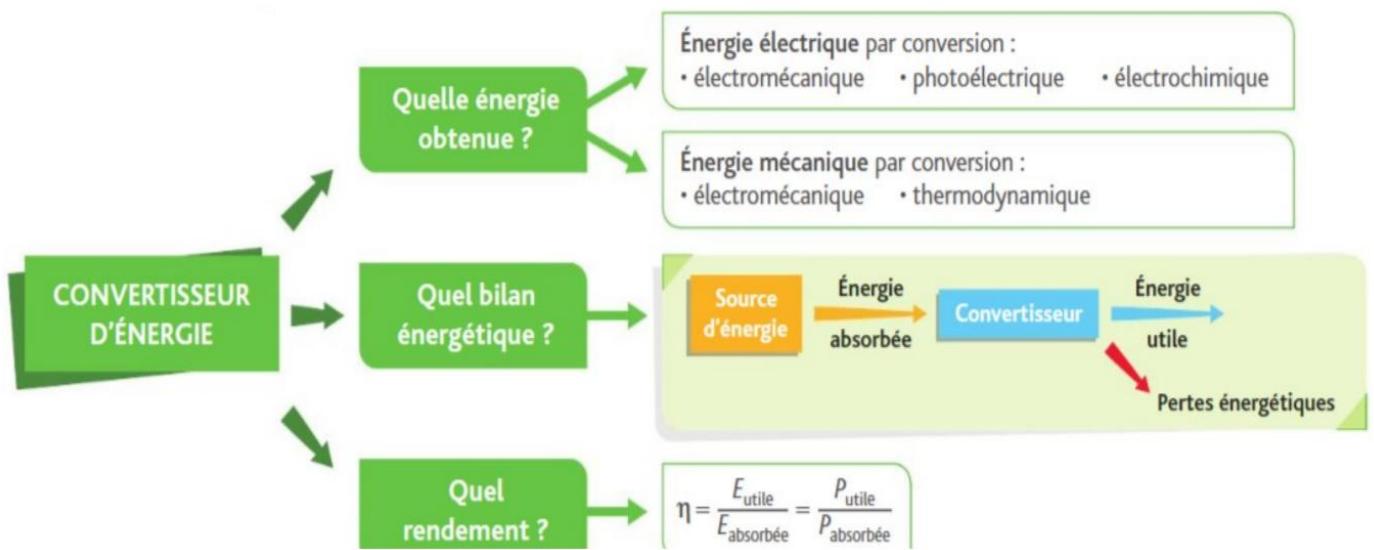
### Sources et formes d'énergie



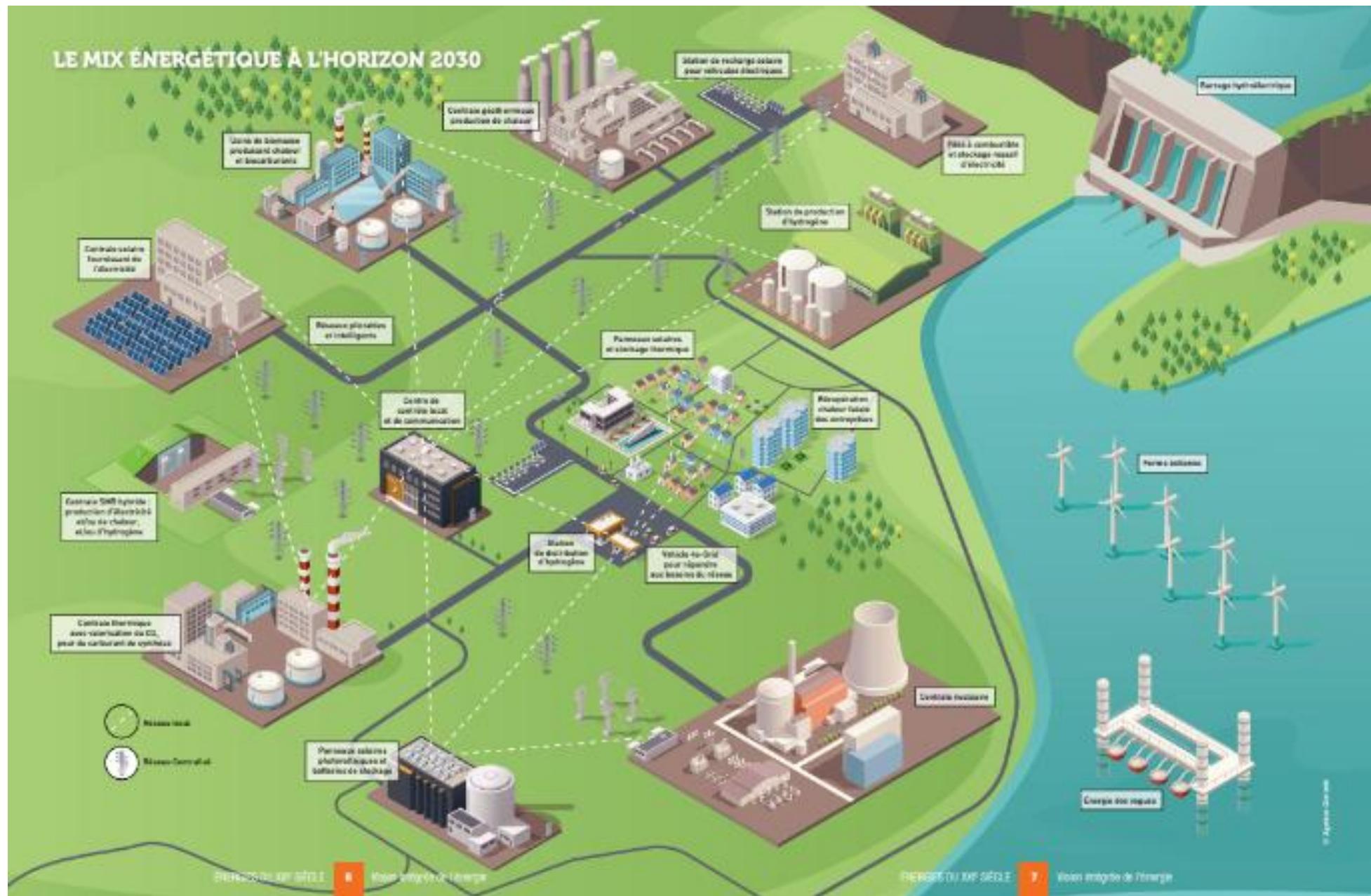
### Energie et puissance



### Conversions d'énergie



## LE MIX ÉNERGÉTIQUE À L'HORIZON 2030



d'après le CEA

## POINT INFO : Scénarios de la transition énergétique

Le Conseil Mondial de l'Énergie a construit trois scénarios possibles de transition énergétique en prenant en compte un certain nombre de conditions ainsi définies :

Scénarioii	Conditions
Modern jazz	Coopération et innovation dans un monde de marché
Symphonie inachevée	Coopération et innovation dans un monde de politique publique
Hard rock	Fragmentation et innovation dans un monde à la fois politique publique et de marché

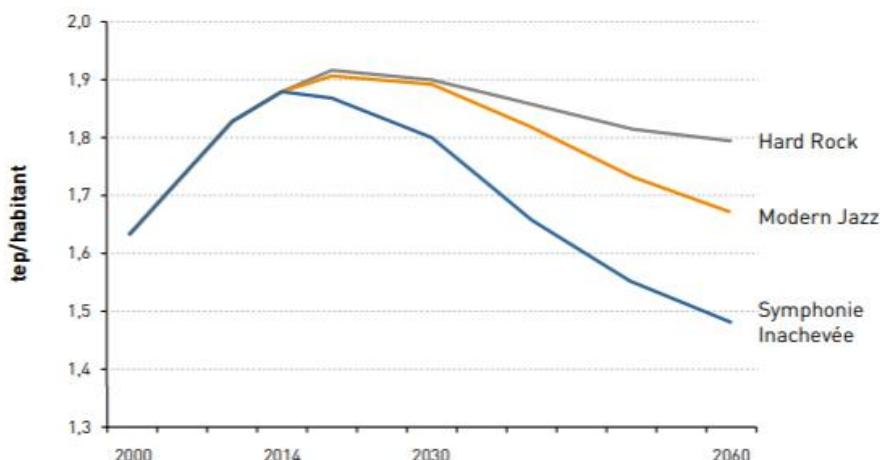


Fig. 1 : Consommation d'énergie primaire par habitant

Quel que soit le scénario de modélisation utilisé, la consommation d'énergie primaire par habitant doit diminuer (Figure 1) mais c'est le scénario « symphonie inachevée » qui est le plus favorable à long terme.

La production d'électricité est un enjeu important de la transition énergétique : la Figure 2 montre qu'elle doublera d'ici 2060 dans les trois scénarios, ce qui fait de l'**électricité un enjeu important des transitions énergétiques**.

Les prévisions des demandes au niveau mondial des énergies fossiles prévoient que celles du charbon et du pétrole diminuent mais pas celle du gaz qui devrait même connaître un certain déploiement, sauf en Europe.

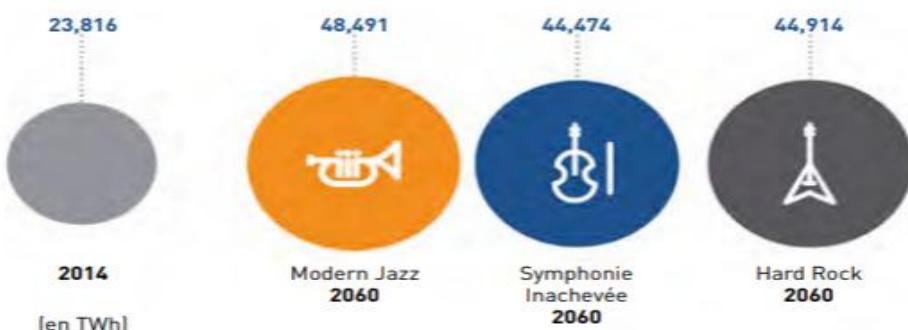


Fig. 2 : Prévisions de la production électrique en 2060

## POINT INFO : Le sens caché des fausses couleurs de l'hydrogène

Ressource	Procédé	Apport d'énergie	Couleur	Empreinte carbone	Type d'hydrogène
Charbon Lignine	Gazéification	Chaleur	Noir	Élevée	Carboné
			Brun		
Méthane	Vaporeformage	Chaleur	Gris	Moyenne	Carboné
	+ capture de CO <sub>2</sub>		Bleu		
	Pyrolyse hte temp.		Turquoise	Faible	Bas carbone
Eau	Électrolyse	Électricité			
		– provenant d'énergies renouvelables	Vert	Minimale	Renouvelable
		– d'origine nucléaire	Rose	Faible	Bas carbone
		– d'origine mixte (mix électrique)	Jaune		
		Électricité + chaleur (origines nucléaires)	Violet		
		Thermolyse	Chaleur (origine nucléaire)		
Hydrogène naturel		Aucun	Rouge		
	Réaction FeO + H <sub>2</sub> O	Mécanique (injection d'eau dans le sous-sol)	Blanc	Minimale	Renouvelable
			Orange	Faible	Bas carbone

**À partir du méthane : l'hydrogène gris, bleu, turquoise** La méthode de production d'hydrogène la plus employée à l'échelle industrielle est le reformage du méthane par la vapeur d'eau. Ce **vaporeformage** se fait à haute température (entre 700 et 1 000 °C), sous une pression modérée (20 à 30 bars), en deux étapes :



La quantité de CO<sub>2</sub> produite conjointement est importante : plus de 10 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> par kg d'hydrogène (environ 12 kg selon l'ADEME). C'est alors de l'hydrogène **gris**.

L'hydrogène produit est qualifié de **bleu** lorsque le CO<sub>2</sub> en sortie est capté pour être utilisé (comme matière première pour certaines industries) ou être stocké en couche géologique (dans d'anciennes poches de gaz ou de pétrole vides).

Dans le cas de la pyrolyse du méthane, on parle d'**hydrogène turquoise**. Cette méthode présente le double avantage d'une faible empreinte carbone et d'une demande énergétique trois à cinq fois inférieure à celle de l'électrolyse de l'eau.

### L'électrolyse de l'eau : l'hydrogène vert, rose, jaune

L'électrolyse de l'eau a pour but de décomposer les molécules d'eau grâce à un apport d'électricité : l'oxygène se dégage à l'anode et l'hydrogène à la cathode. C'est certainement la façon la plus « propre » de produire de l'hydrogène, d'où le nom d'hydrogène « décarboné » ou hydrogène **vert**, à condition évidemment que l'électricité employée provienne d'énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydroélectrique, marémotrice, géothermique).

L'hydrogène **rose** et l'hydrogène **jaune** sont eux aussi produits par électrolyse de l'eau mais la source d'électricité est différente : origine nucléaire pour le rose et origine mixte pour le jaune.

### Thermolyse de l'eau : l'hydrogène rouge, violet (lorsqu'il est combiné à l'électrolyse)

La thermolyse de l'eau, c'est-à-dire la dissociation par la chaleur, n'est possible qu'au-dessus de 2 500 °C. Ce procédé n'a pas encore atteint le stade industriel car sa mise en œuvre est assez complexe du point de vue chimique. Des réacteurs très performants sont prévus à l'horizon 2030.

**À partir du charbon et de la lignine : l'hydrogène noir, brun** L'hydrogène **noir** est produit à partir de charbon bitumineux et l'hydrogène **brun** à partir de lignine. Charbon ou lignine sont gazéifiés, c'est-à-dire convertis en gaz de synthèse (appelé « syngas ») par un traitement thermique sous pression à haute température (> 700 °C). Ce gaz contient un mélange d'hydrogène, de monoxyde de carbone (CO), de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau. Ce procédé est le plus polluant de tous.

### En provenance du sous-sol : l'hydrogène blanc, orange

L'hydrogène présent sous sa forme moléculaire H<sub>2</sub> dans le milieu géologique est dénommé hydrogène **blanc**. Une possible origine de l'hydrogène est l'oxydation de l'oxyde ferreux (FeO) par l'eau à des températures comprises entre 200 et 400 °C (réaction dénommée « serpentisation »). L'hydrogène dégagé par réaction de cette eau avec FeO et capté en surface est dénommé hydrogène **orange**.

## Pour s'entraîner....

### Exercice 1 : Centrale hydroélectrique de Tignes-Malgovert



#### Données :

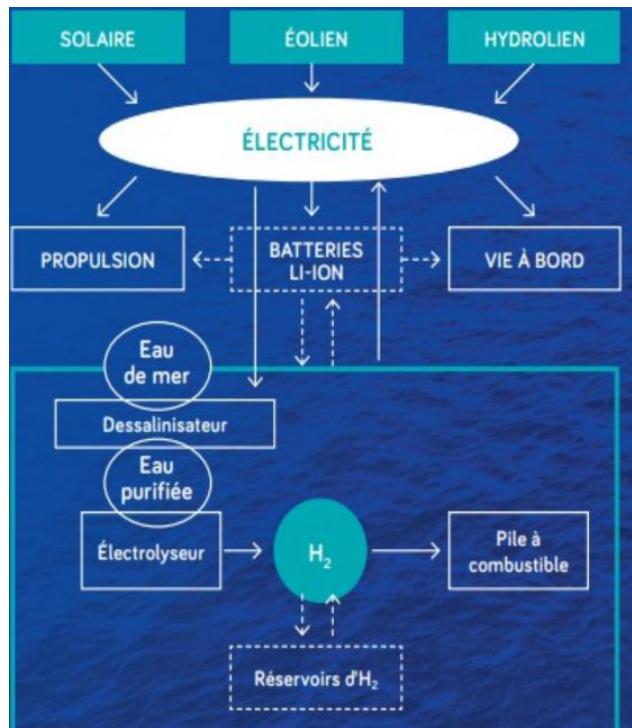
- Puissance fournie par la turbine :  $P_t = 320 \text{ MW}$
- Rendement de l'alternateur :  $\eta = 98\%$
- Hauteur de chute :  $750 \text{ m}$
- Débit de l'eau :  $48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Energie potentielle :  $E_p = m.g.h$

- 1- Déterminer l'énergie électrique fournie par la centrale en 5 h.
- 2- Déterminer le volume d'eau permettant de fournir cette énergie

### Exercice 2 : Energy Observer

« Energy Observer » est un bateau qui navigue en toute autonomie grâce au couplage des énergies renouvelables et leur stockage, via le vecteur hydrogène et les batteries lithium-ion. Il n'émet aucun gaz à effet de serre ni particules fines.

- 1- Expliquer comment est produit le dihydrogène H<sub>2</sub>.
- 2- Etablir la chaîne énergétique de la pile à combustible (P.A.C)
- 3- La puissance utile de la P.A.C est de 20 kW et son rendement est de 48 %.
  - a) Calculer la puissance absorbée par la P.A.C
  - b) La P.A.C fonctionne environ 6,5 h par jour. Calculer l'énergie électrique fournie, en kWh ?



### Exercice 3 : Dépense énergétique

La dépense énergétique d'un homme de 25 ans pesant 70 kg et vivant sous climat tempéré est évaluée à 12 500 kJ/jour pour une activité modérée. Calculer la puissance correspondante.

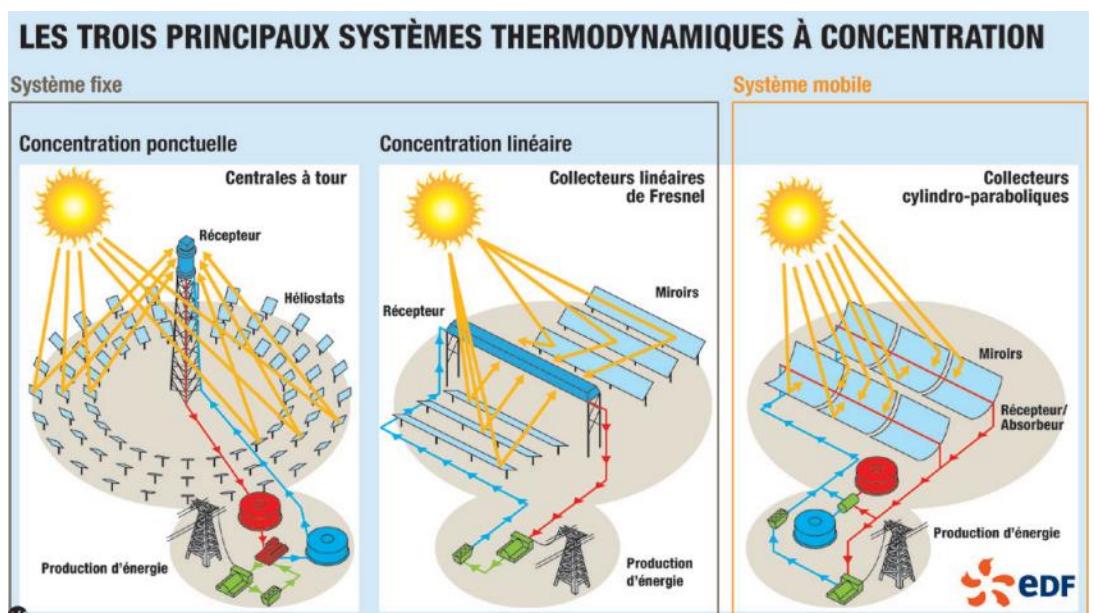
### Exercice 4 : Randonnée cycliste

Avant de partir en randonnée, un cycliste consomme 300 g de riz. Le paquet de riz comporte l'indication suivante : valeur énergétique : 1500 kJ pour 100 g. Seulement 25% de la valeur énergétique des aliments sont utilisés par l'organisme pour produire l'effort nécessaire.



- 1- Calculer l'énergie chimique dont dispose le cycliste.
- 2- Le cycliste développe en moyenne une puissance de 300 W pour rouler sur un terrain plat à la vitesse de 30 km/h. Calculer le temps pendant lequel il peut en théorie rouler sans puiser dans ses réserves.
- 3- Calculer la distance parcourue.

## Exercice 5 : Centrales solaires à concentration



- 1- Quelle est la source d'énergie des trois centrales présentées ci-dessus ?
- 2- Quelles sont les formes d'énergie converties par les centrales à condensation ?

Les miroirs d'une centrale solaire captent une puissance rayonnante de  $1 \text{ kW/m}^2$ .

- 3- Calculer l'énergie captée en 1 heure par  $\text{m}^2$  de miroir. Exprimer le résultat en  $\text{kJ}$  et en  $\text{kWh}$ .
- 4- Calculer la surface du miroir qu'il faudrait installer pour que la puissance captée soit équivalente à la puissance d'une éolienne de  $1 \text{ MW}$ .

## Exercice 6 : Centrale thermique / centrale nucléaire

La fission de 1 g d'uranium libère une énergie de  $2,9 \text{ GJ}$ .

Une centrale nucléaire produit  $0,95 \text{ GJ}$  d'électricité à partir de 1 g d'uranium.

Le pouvoir calorifique du pétrole est égale à  $42 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

On estime qu'une centrale thermique transforme 1 tonne de pétrole en  $45\,000 \text{ kWh}$  d'électricité.

- 1- Etablir la chaîne énergétique de la centrale nucléaire.
- 2- Calculer le rendement d'une centrale nucléaire.
- 3- Calculer le rendement d'une centrale thermique.

