

Le disciple courant sur le tapis de course à rouleaux **consomme** de l'énergie (nourriture transformée en énergie mécanique) qui est convertie successivement par la chaîne de puissance constituée de différents systèmes (machine électrique, moteur, roue à aubes, etc).

1. Définition de l'énergie

En physique, l'énergie est une mesure de la capacité d'un système :

- à modifier un état ;
- à produire un travail entraînant un mouvement ;
- à produire un rayonnement électromagnétique ;
- à produire de la chaleur.



L'énergie correspond à une **quantité** exprimée en Joules (J)

On comprend bien que lorsque le disciple n'aura plus d'énergie il s'arrêtera. Il en est de même pour les systèmes pluritechnologiques.

2. Unités de l'énergie (par ordre croissant)

↑ Energie

La Tonne équivalent pétrole (Tep) → $1\text{Tep} = 42\text{GJ}$

La Tonne équivalent charbon (Tec) → $1\text{Tec} = 0,7\text{ Tep}$

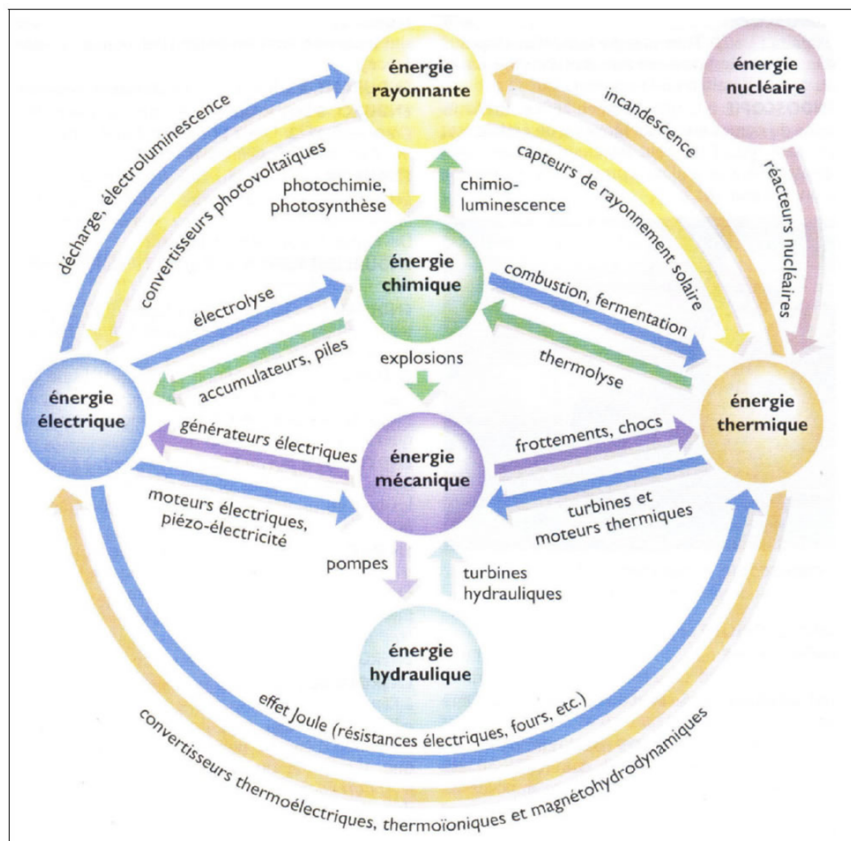
Le Wattheure (Wh) → $1\text{Wh} = 3600\text{J}$

Le Joule (J)

La calorie (cal) → $1\text{ cal} = 4,18\text{J}$

L'électron-volt (eV) → $1\text{eV} = 1,9 \cdot 10^{-19}\text{J}$

3. Les formes d'énergie



4. Interactions fondamentales

Pour "produire" de l'énergie il faut de la matière (de l'air, de l'eau, du charbon, du pétrole, de l'uranium etc...).

Question : De quelle quantité de matière avons nous besoin pour "produire" par exemple 1kWh ?

Illustration :

- ▶ 1kWh c'est l'énergie qu'il faut à un homme pour escalader le Mont Blanc depuis Chamonix



- ▶ 1kWh c'est l'énergie cinétique d'un camion de 10 tonnes qui roule à 100km.h⁻¹



Réponse : il y en a plusieurs... tout dépend de l'interaction que l'on va utiliser !

L'interaction gravitationnelle

1kWh \propto qlq 10 Tonnes de matière

Illustration :

- ▶ 1kWh c'est l'énergie cinétique de 10 tonnes d'eau lâchée à 40 m d'altitude



- ▶ 1kWh c'est l'énergie cinétique de 20 000 m³ d'air (27 tonnes) à 60 km.h⁻¹



L'interaction électromagnétique

1kWh \propto qlq 1kg de matière

Illustration :

▶ Combustion chimique : 1kWh c'est l'énergie délivrée par 0,1kg de carburant



▶ Biologique ou calorique : 1kWh c'est l'énergie d'un bon repas soit près d'1kg d'aliment.



▶ Calorifique : 1kWh c'est l'énergie nécessaire pour faire fondre 1kg de glace ou faire bouillir 1,5kg d'eau

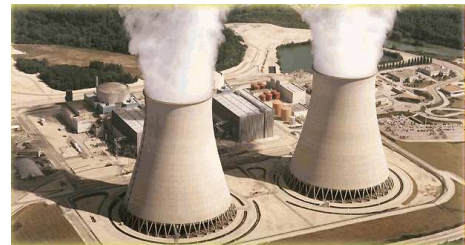


L'interaction nucléaire faible

Fission :

Principe maîtrisé et utilisé dans les centrales nucléaires

1kWh \propto qlq 10mg d'uranium



Fusion :

Principe non maîtrisé

1kWh \propto qlq 10 μ g d'uranium



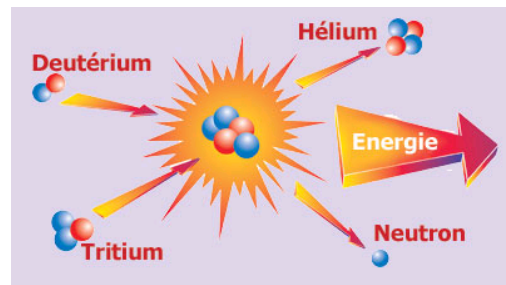
L'interaction nucléaire forte

Fusion :

Principe non maîtrisé

1kWh \propto qlq 1 μ g de combustible

exemple : 1,1g de Lithium et 320mg de Dutérium (présent dans 10 litres d'eau de mer) permettraient de produire 80GJ (consommation annuelle d'un Européen !!)



5. Energies d'état (ou stockables) et de transferts

Trois lettres utilisées pour désigner l'énergie!!

" E " pour les Energies **stockables** ou de **forme d'état** (lié à son état : altitude, vitesse,...)

La phrase suivante a du sens : « Le système possède une énergie de 5kJ »

$$\Delta E = E_{finale} - E_{initiale}$$

" W " pour le **travail** et " Q " pour les **échanges** de chaleur sont des Énergies de **transfert**.

La phrase suivante n'a aucun sens : « Le système possède 5kJ de travail ! »

La phrase suivante a du sens : « Le système 1 a échangé 5kJ avec le système 2 »

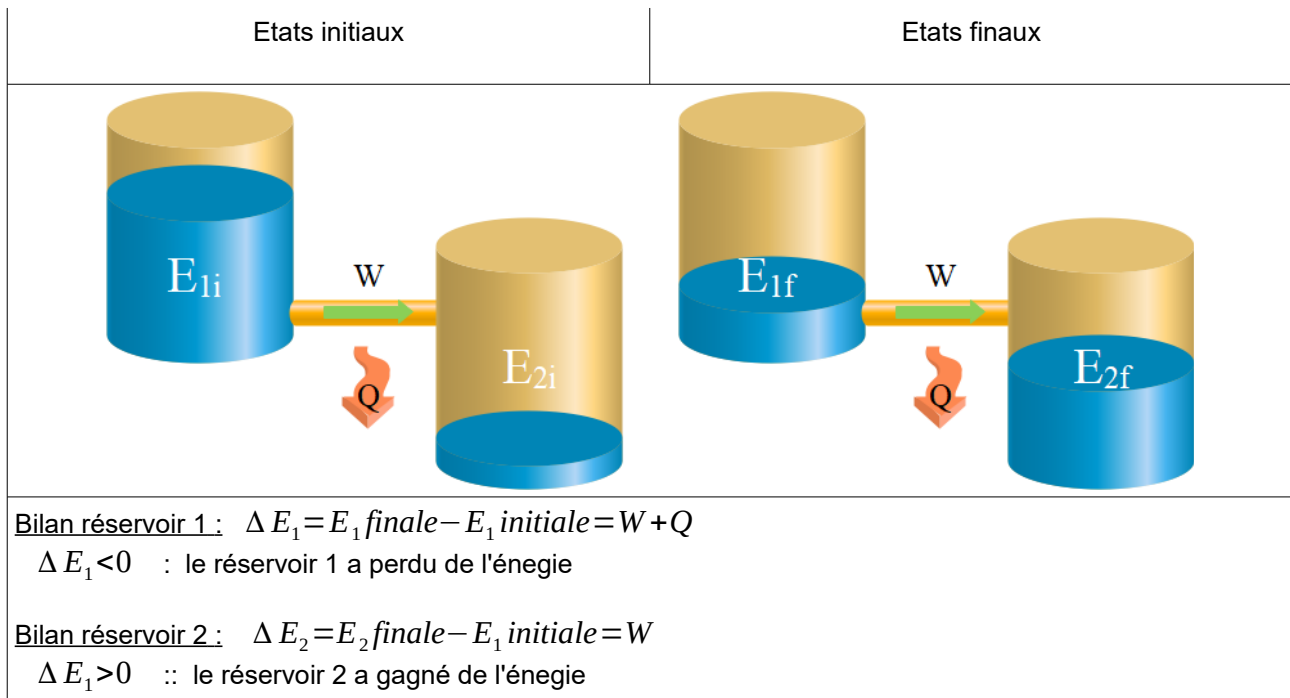
~~$$\Delta W = W_{finale} - W_{initiale}$$
$$\Delta Q = Q_{finale} - Q_{initiale}$$~~

W et Q >0 : le système absorbe de l'énergie.
W et Q <0 : le système cède de l'énergie

6. Premier principe de la thermodynamique

L'énergie ne se crée pas, ne perd pas : elle se transforme

$$\Delta E = E_{finale} - E_{initiale} = W + Q$$



7. Calculer les énergies d'état (ou stockables)

Energies potentielles

Toutes les énergies sont exprimées en Joule [J] sauf indication contraire

De pesanteur

$$E = m \cdot g \cdot z$$

m : masse [kg]

g : accélération de pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

z : altitude [m]



Calculer l'énergie potentielle de 10 tonnes d'eau à 40m d'altitude.



Calculer le travail nécessaire pour élever 1 tonne d'eau à 10 m de hauteur.

Élastiques

En translation

$$E = \frac{1}{2} k \cdot X^2$$

X : allongement/raccourcissement [m] $X = l_{tot} - l_0$

k : constante de raideur [N/m]



En rotation

$$E = \frac{1}{2} k \cdot \theta^2$$

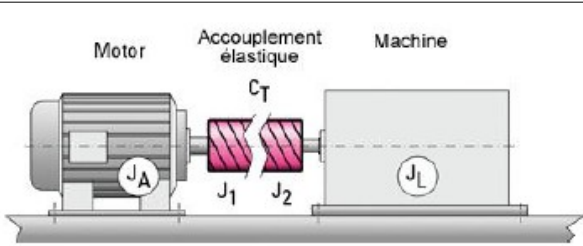
θ : variation d'angle [rad] $\theta = \theta_{tot} - \theta_0$

k : constante de torsion [N.m / rad]



Calculer l'énergie potentielle d'un ressort comprimé de 10 cm dont la constante k vaut 500 N.m^{-1} .

Calculer le travail nécessaire pour comprimer ce même ressort de 3 cm



Calculer l'énergie potentielle accumulée lorsque l'accouplement en rouge présente un angle de torsion de 20° pour une constante k de 500N.m.rad^{-1}

Calculer le travail nécessaire pour tordre cet accouplement de 10°

De pression

$$E = p \cdot V$$

p : pression [Pa]
 V : volume [m^3]



Calculer l'énergie stockée dans une cuve de compresseur de 100 litres à la pression de 8 bars.

Calculer le travail nécessaire pour augmenter la pression de la cuve de 1bar à 5 bars.

Chimique

$$E = m \cdot PC_m$$

m : masse de combustible [kg]
 PC_m : pouvoir calorifique massique du combustible [J / kg]

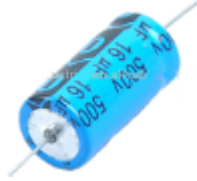
$$E = V \cdot PC_v$$

V : volume de combustible [m^3]
 PC_v : pouvoir calorifique volumique du combustible [J / kg]





Calculer l'énergie libérée par 1kg d'essence dont le Pouvoir Calorifique $PC_m = 47,3\text{MJ.kg}^{-1}$

Électrique

$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ <p>C : capacité du condensateur [F] U : tension aux bornes [V]</p>	<p>Condensateur</p> 
<p>Calculer la quantité d'énergie stockée dans un condensateur ci-dessus polarisé sous 230V dont la capacité est de 16µF.</p> <p>Calculer l'énergie fournie par ce même condensateur s'il se décharge de 230V à 200V.</p>	

Cas particulier des batteries électriques, piles et accumulateurs :

$E = C \cdot U$ <p>Le produit C.U : énergie stockable [Wh] C : capacité de la batterie [A.h] U : tension nominale [V]</p>	<p>Batterie / Pile / Accumulateur</p> 
<p>C'est un cas particulier :</p> <ul style="list-style-type: none">• Cette formule permet de déterminer l'énergie stockable mais en aucun cas l'énergie stockée. (en d'autres termes, la simple mesure de U ne permet pas de déterminer l'état de charge de la batterie)• La tension nominale est la valeur inscrite sur le produit 	

Energies cinétiques

Mécaniques

En translation

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

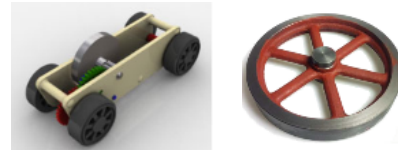
m : masse en translation [kg]
v : vitesse de translation [m/s]



En rotation

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

J : moment d'inertie [kg.m²]
 ω : vitesse de rotation angulaire [rad/s]

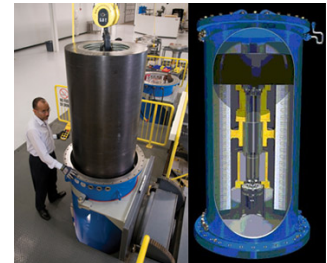


Calculer l'énergie cinétique d'un camion de 10 tonnes roulant à 100km.h⁻¹

Calculer le travail nécessaire pour accélérer le camion de 80km.h⁻¹ à 100km.h⁻¹.

Calculer l'énergie cinétique (kWh) d'un volant d'inertie du Val de Rennes dont les caractéristiques sont les suivantes : J = 2500kg.m², vitesse rotation de 1500tr.min⁻¹

Calculer le travail fourni par le volant ci-dessus pour une variation de vitesse de 500tr.min⁻¹.



Électriques

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

L : inductance [H]
i : intensité du courant [A]



Calculer les énergies de transferts

Détermination de l'énergie de transfert à partir de la puissance :

$$W = P_{(t)} \cdot \Delta t$$

W : énergie [J]
P(t) : puissance [W]
 Δt : temps de la mesure [s]

De manière générale, la puissance comme nous le verrons dans un cours ultérieur, est le produit d'une grandeur effort et d'une grandeur de flux.

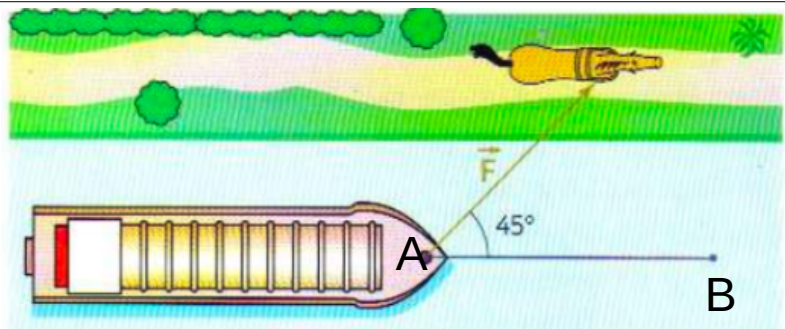
Détermination de l'énergie de transfert à partir du travail d'une force :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{l} \quad \text{Ou plus exactement :}$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

W : travail de la force F non conservative [J]
F : force qui travaille [N]
AB : chemin sur lequel la force se déplace [m]

Ce prononce : « Le travail de la force F le long du chemin AB est égal au produit scalaire de la force F par le chemin AB.



Rappel de mathématiques : le produit scalaire

Il existe trois définitions mathématiques mais seules deux nous sont utiles en Sciences de l'ingénieur :

Définition 1 : $\vec{u} \cdot \vec{v} = \|\vec{u}\| \cdot \|\vec{v}\| \cdot \cos(\vec{u}, \vec{v})$

Définition 2 : $\vec{u} \cdot \vec{v} = u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y$

Particularité : le produit scalaire est nul si les deux vecteurs sont orthogonaux (Effectivement le $\cos(\vec{u}, \vec{v}) = 0$)