

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) →  $1\text{Tec} = 0,7\text{ Tep}$

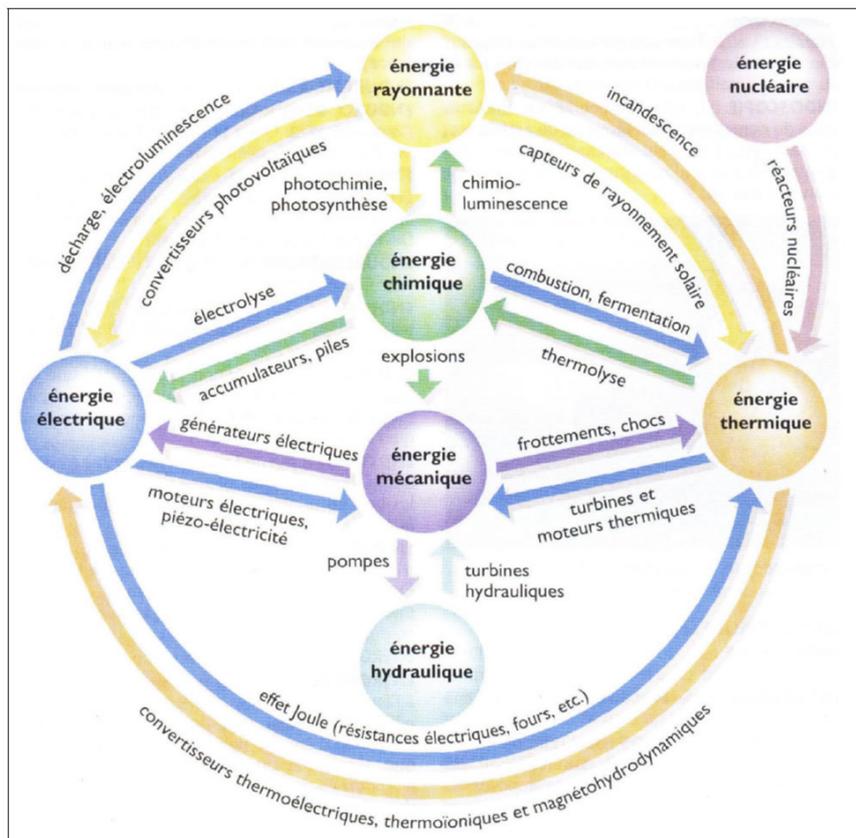
Le Wattheure (Wh) →  $1\text{Wh} = 3600\text{J}$

Le Joule (J)

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

L'électron-volt (eV) →  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$

## 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<sup>-1</sup>



**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 m<sup>3</sup> d'air (27 tonnes) à 60 km.h<sup>-1</sup>



## 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 $\mu$ g d'uranium**



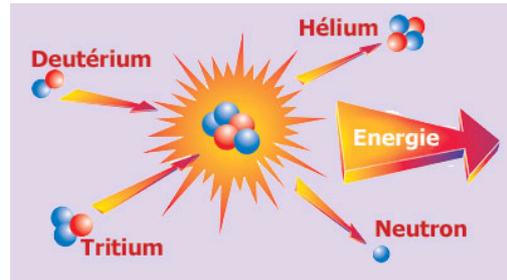
## L'interaction nucléaire forte

### Fusion :

Principe non maîtrisé

1kWh  $\propto$  qlq 1 $\mu$ 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 »

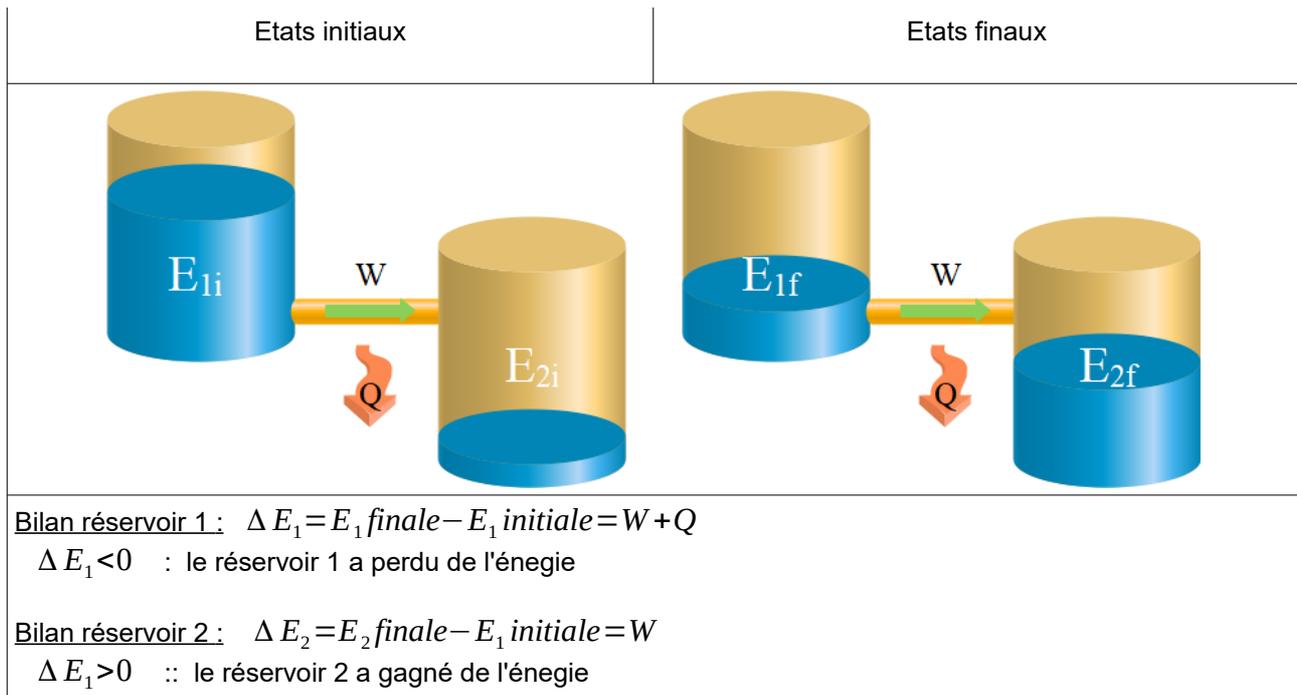
~~$$\Delta W = W_{finale} - W_{initiale}$$
$$\Delta Q = Q_{finale} - Q_{initiale}$$~~

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

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

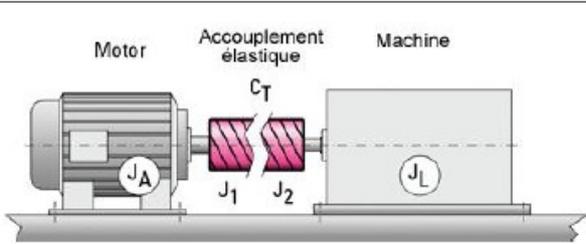
$\theta$  : variation d'angle [rad]  $\theta = \theta_{tot} - \theta_0$

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



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

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  $20^\circ$  pour une constante  $k$  de  $500\text{N.m.rad}^{-1}$

Calculer le travail nécessaire pour tordre cet accouplement de  $10^\circ$

## De pression

$$E = p \cdot V$$

$p$  : pression [Pa]  
 $V$  : volume [ $\text{m}^3$ ]



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 [ $\text{m}^3$ ]  
 $PC_v$  : 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"><li>• 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)</li><li>• La tension nominale est la valeur inscrite sur le produit</li></ul> 	

## 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.m<sup>2</sup>]  
 $\omega$  : vitesse de rotation angulaire [rad/s]

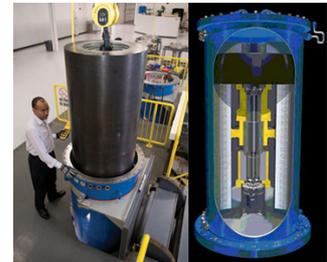


Calculer l'énergie cinétique d'un camion de 10 tonnes roulant à 100km.h<sup>-1</sup>

Calculer le travail nécessaire pour accélérer le camion de 80km.h<sup>-1</sup> à 100km.h<sup>-1</sup>.

Calculer l'énergie cinétique (kWh) d'un volant d'inertie du Val de Rennes dont les caractéristiques sont les suivantes : J = 2500kg.m<sup>2</sup>, vitesse rotation de 1500tr.min<sup>-1</sup>

Calculer le travail fourni par le volant ci-dessus pour une variation de vitesse de 500tr.min<sup>-1</sup>.



### 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]

$\Delta t$  : 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 :

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

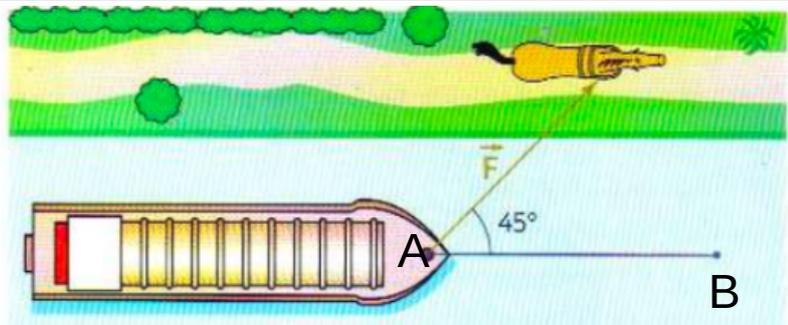
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

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  $\cos(\vec{u}, \vec{v}) = 0$  )