

PCM

Livret 5

## **Energie, conversions et transferts**

*Séquence 1 :* Les chaines énergétiques

*Séquence 2 :* Le travail d'une force

*Séquence 3 :* L'énergie mécanique et sa conservation

*Séquence 4 :* Les lois dans les circuits électriques

*Séquence 5 :* Energie et puissance électriques

*Séquence 6 :* Ondes et énergie

*Séquence 7 :* Chauffage d'un corps pur

*Séquence 8 :* La loi de Hess

**A. L'énergie**

A.1. Mais qu'est-ce que l'énergie ?	.....	P1
A.2. Les formes d'énergie	.....	P1

**B. Conversion de l'énergie**

B.1. Conservation de l'énergie	.....	P2
B.2. Les chaînes énergétiques et leur rendement	.....	P3

**A. L'énergie****A.1. Mais qu'est-ce que l'énergie ?**

▪ De tout temps, l'homme a eu besoin de l'énergie pour se nourrir, se mouvoir. Celle-ci existe sous plusieurs formes. Aujourd'hui, la technologie permet d'en produire en grande quantité, en utilisant toutes les ressources possibles. L'énergie reste un enjeu majeur, tant au niveau politique, économique, scientifique qu'environnemental...

- ▶ ▶ L'énergie caractérise la capacité à produire des actions, par exemple à engendrer du mouvement, modifier la température d'un corps ou à transformer la matière.
- ▶ ▶ L'énergie provient de différentes sources que l'on trouve dans la nature : le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, le vent, le rayonnement solaire, les chutes d'eau, la chaleur interne de la terre, l'uranium...

**A.2. Les formes d'énergie**

▪ L'énergie issue de toutes les sources précédemment citées peut se manifester de différentes façons. On parle alors de **formes d'énergie**.

→ **L'énergie lumineuse**, appelée aussi rayonnante, se dégage du soleil, d'un feu ou d'une ampoule électrique. L'énergie rayonnante du soleil est au cœur du phénomène de la photosynthèse (*toutes les plantes grandissent et se développent grâce à lui*) et du cycle naturel de l'eau (*avec la phase d'évaporation*)

→ **L'énergie thermique** est produite par le rayonnement solaire ou la combustion d'un corps combustible comme le bois.

→ **L'énergie mécanique** se traduit par le déplacement d'objets, de corps solides.

→ **L'énergie chimique** est stockée dans des corps chimiques, des molécules, qui ont eu besoin d'apports d'énergie importants pour être créés.

**Par exemple :**

- Les explosifs sont des concentrés d'énergie chimique.
- L'électrolyse de l'eau va produire de l'énergie chimique sous forme d'hydrogène et d'oxygène.
- Dans une batterie de voiture (batteries d'accumulateurs), l'énergie est également présente sous forme chimique.

→ **L'énergie électrique** correspond au déplacement de courants électriques dans des corps conducteurs (*dans la plupart des cas des métaux*). Elle existe à l'état naturel sous forme de foudre, qui se déplace, elle, dans l'air ou encore sous forme d'électricité statique (*charges électriques fixées sur un corps non-conducteur*).

▶ ▶ **L'énergie est disponible dans la nature sous différentes formes.**

▶ ▶ On l'utilise **sous forme mécanique** (liée au mouvement), **thermique** (chaleur), **électrique** (engendrée par des courants électriques), **chimique** (stockée sous la forme de liaisons chimiques, exploitée par les êtres vivants lors de la respiration et des fermentations, ou par combustion dans les moteurs thermiques), **nucléaire** (libérée par fission ou fusion de noyaux d'atomes) ou **lumineuse** (rayonnement).

## B. Conversion de l'énergie

### B.1. Conservation de l'énergie

▪ Toutes les formes d'énergie ont une caractéristique qui nous intéresse particulièrement dans notre vie quotidienne : elles peuvent se transformer, on dit aussi se convertir d'un type à un autre.

**Exemple :** un moteur à explosion transforme de l'énergie chimique (le carburant) en énergie thermique puis en énergie mécanique par le jeu des pistons dans le moteur.

▪ La conversion d'un type d'énergie en un autre à notre profit s'accompagne toujours de pertes d'énergie. Une partie de l'énergie transformée est dissipée dans la nature.

**Exemple :**

- Dans un moteur à explosion classique, près des 2/3 de l'énergie est « gaspillée » en chaleur.

- Dans une ampoule électrique, les pertes d'énergie sous forme de chaleur sont aussi importantes.

- Quand une voiture roule, une partie de l'énergie mécanique n'est pas utilisée pour le déplacement et se dissipe en frottements (résistance de l'air, frottements des pneus sur la chaussée).

▪ Des chercheurs essayent en permanence de trouver des solutions pour limiter ces pertes d'énergie et augmenter le rendement de chaque technologie. »

▶ ▶ **Les différentes formes d'énergie peuvent se transformer, se convertir, d'une forme à une autre.**

La conversion d'une forme d'énergie en une autre s'accompagne toujours de pertes d'énergie, essentiellement sous forme de chaleur

▶ ▶ Des transferts d'énergie peuvent également s'établir d'un système à un autre.

↪ **Mais globalement, l'énergie totale de l'Univers ne peut être ni créée, ni détruite : elle se conserve.**

#### Interview de Roger Balian, membre de l'Académie des sciences

L'énergie d'un système isolé reste constante au cours du temps. Il ne peut se créer ni se détruire d'énergie, et il est impropre de parler de « production » ou de « consommation » d'énergie. Dans tous les cas, il s'agit de **changement de forme**, ou de **transfert d'un système à un autre**.

« **Consommer** » de l'énergie dans un téléviseur signifie la transformer en énergie lumineuse émise par l'écran (en passant par l'énergie cinétique des électrons issus de la cathode), en énergie acoustique diffusée dans l'air ambiant (par l'intermédiaire des énergies cinétiques et potentielle de la membrane du haut-parleur) et surtout en chaleur inutile.

« **Produire** » de l'énergie dans une centrale hydroélectrique signifie transformer l'énergie potentielle de l'eau du barrage en énergie cinétique de cette eau dans les conduites, puis transférer cette énergie cinétique aux turbines et rotors des alternateurs qui en définitive la transforment en énergie électrique. La viscosité de l'eau, les frottements de l'effet joule soustraient de ce flux une faible partie, transformée en chaleur.

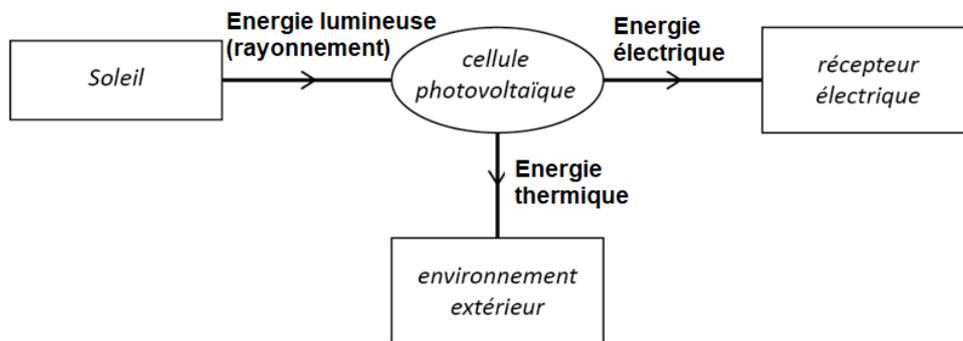
Dans une centrale thermique, on transforme de l'énergie nucléaire ou chimique en chaleur, puis une partie de celle-ci (30 à 40%) en énergie cinétique, enfin électrique.

## B.2. Les chaines énergétiques et leur rendement

- Une chaine énergétique permet de représenter les transferts d'énergie entre différents systèmes, ainsi que les formes d'énergie mises en jeu ; elle illustre le principe de conservation d'énergie
- Dans une chaine énergétique on distinguera :
  - ▶ **Les réservoirs d'énergie** : l'énergie totale qu'ils stockent peut varier. Ils seront représentés dans des rectangles.
  - ▶ **Les convertisseurs d'énergie** : leur énergie stockée ne varie pas. **La somme des énergies qu'ils reçoivent est donc forcément égale à la somme des énergies qu'ils cèdent.** Ils seront représentés dans des ellipses.

**Exemple** : un panneau photovoltaïque convertit l'énergie qu'il reçoit par rayonnement :

- en énergie électrique cédée au récepteur censé être alimenté
- en énergie thermique (indésirable mais toujours présente)



### Le rendement d'un convertisseur

- Un convertisseur dissipe toujours une partie de l'énergie qu'il reçoit par transfert thermique. Cela peut être l'effet souhaité (dans le cas d'un système de chauffage par exemple) mais, souvent, il s'agit d'un phénomène indésirable.

▶ ▶ On appelle « **énergie utile** » l'énergie cédée par le convertisseur pour laquelle le convertisseur a été conçu.

▶ ▶ Le rendement d'un convertisseur est le quotient (souvent exprimé en pourcentage) :

$$\eta = \frac{\text{Energie utile cédée}}{\text{Energie reçue}}$$

**Exemple** : dans le cas de la cellule photovoltaïque précédente, l'énergie utile est  $W_{elec}$  : la cellule a été conçue pour produire de l'électricité et non pas un échauffement. Son rendement vaut donc :

$$\eta = \frac{\text{Energie électrique cédée}}{\text{Energie lumineuse reçue}}$$

<i>Séquence 2</i>	<b>Le travail d'une force constante</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	---	------------------------------------

**A. Travail et puissance d'une force constante**

A.1. La force constante	P1
A.2. Notion de travail d'une force	P1
A.3. Le travail d'une force constante	P1
A.4. Puissance d'une force	P2

**B. Travail de quelques forces particulières**

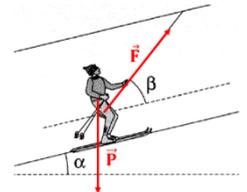
B.1. Le travail du poids	P2
B.2. Le travail de la réaction du support	P4

**A. Travail et puissance d'une force constante**

**A.1. La force constante**

► ► Une force  $\vec{F}$  est dite constante si elle garde la même direction, le même sens et la même valeur au cours du temps. Seul son point d'application se déplace.

**Exemple :** Le poids  $\vec{P}$  et la force motrice  $\vec{F}$  gardent la même direction, le même sens et la même valeur au cours du mouvement : ce sont des forces constantes



**A.2. Notion du travail d'une force**

• Soit un système (objet quelconque) sur lequel s'exerce plusieurs forces :  
 (Par exemple, le poids  $\vec{P}$ , les frottements  $\vec{f}$ , la réaction du support  $\vec{R}$ , une force motrice  $\vec{F}$ ...).

**Si l'objet est en mouvement**, ces forces

- peuvent être responsables de ce mouvement en le modifiant ou en le provoquant.
- peuvent n'avoir aucune action sur le mouvement

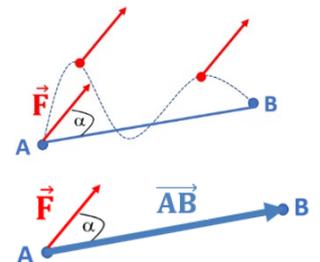
**On dit qu'une force travaille lorsqu'elle a une action sur le mouvement du système.**

- Si la force favorise le déplacement, on dira que la force exerce **un travail moteur**
- Si la force empêche le déplacement, on dira que la force exerce **un travail résistant**
- Si la force n'a aucune action sur le mouvement, on dira que **la force ne travaille pas**

**A.3. Le travail d'une force constante**

• Un solide soumis à une force  $\vec{F}$  constante localisée se déplace de telle façon que le point d'application de la force passe d'une position A à une position B.

↳ On appelle « **vecteur déplacement** » le vecteur  $\vec{AB}$



► ► Le travail d'une force constante se déplaçant d'un point A vers un point B, est égal au produit scalaire du vecteur force  $\vec{F}$  par le vecteur déplacement  $\vec{AB}$  :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} \leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos\alpha$$

$F$ : valeur de la force constante (en N)	$W_{AB}(\vec{F})$ : travail de la force $\vec{F}$ (en J)
$AB$ : distance parcourue (en m)	$\alpha$ : angle entre $\vec{F}$ et $\vec{AB}$

$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\cos\alpha > 0$	$\Downarrow W_{AB}\vec{F} > 0$	<b>Le travail est dit moteur</b>	$\vec{F}$ est une force motrice
$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$	$\cos\alpha < 0$	$\Downarrow W_{AB}\vec{F} < 0$	<b>Le travail est dit résistant</b>	$\vec{F}$ est une force résistante

Quelques cas particuliers				
$\alpha = 0^\circ$	$\cos\alpha = 1$	$\Downarrow W_{AB}\vec{F} = F \times AB$		
$\alpha = 90^\circ$	$\cos\alpha = 0$	$\Downarrow W_{AB}\vec{F} = 0$	<b>La force <math>\vec{F}</math> ne travaille pas : <math>\Downarrow</math> une force perpendiculaire au déplacement a un travail nul</b>	
$\alpha = 180^\circ$	$\cos\alpha = -1$	$\Downarrow W_{AB}\vec{F} = -F \times AB$		

**Remarque :** On note le travail d'une force par la lettre *W* (de l'anglais *WORK* pour travail)

### A.4. Puissance d'une force



- Pour monter des briques au 3<sup>ème</sup> étage d'une construction, il existe 2 méthodes :
  - Un maçon peut les monter lui-même par l'escalier
  - Une grue peut monter les briques
- $\Downarrow$  Dans les deux cas, le travail à fournir est le même : *la grue et le maçon exercent le même travail, fournissent la même énergie.*



- En revanche, la durée du travail exercé par la grue est beaucoup plus brève que la durée du travail exercé par le maçon :

*on dit que la puissance de la force développée par la grue est supérieure à celle de la force développée par l'homme, ou plus couramment, que la puissance de la grue est supérieure à celle du maçon.*

**► ► La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail *W* qu'elle fournit par la durée  $\Delta t$  correspondante :**  $P_{moy}(W) = \frac{W\vec{F}(J)}{\Delta t(s)}$

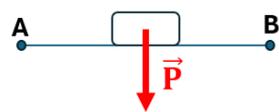
**Remarque :**

- $\Downarrow$  si  $W_{AB}\vec{F} > 0$ , la puissance est positive ; on parle de **puissance motrice**
- $\Downarrow$  si  $W_{AB}\vec{F} < 0$ , la puissance est négative ; on parle de **puissance résistante**.

### B. Travail de quelques forces particulières

#### B.1. Le travail du poids

- Le poids  $\vec{P}$  d'un objet est une force constante.
- L'expression du travail du poids est donc :  $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overline{AB}$



**Cas (1) : Mouvement sans changement d'altitude**

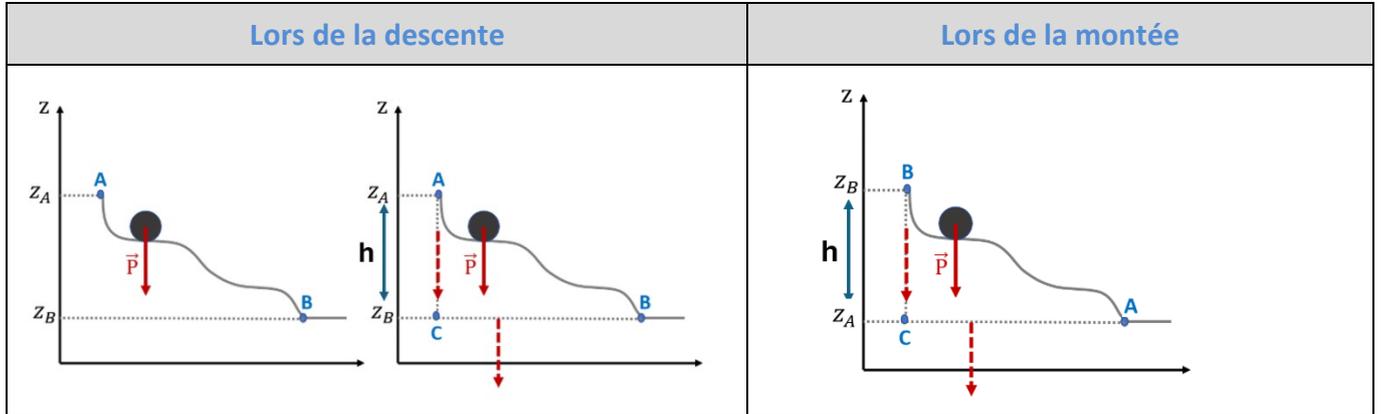
- Si le mouvement se fait sans changement d'altitude, le vecteur  $\vec{P}$  reste constamment perpendiculaire au déplacement :  $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overline{AB} = P \times AB \times \cos 90^\circ = 0$

**Cas (2) : Etude d'une montée ou d'une descente**

• Dans le cas d'une montée ou d'une descente, il peut être compliqué d'utiliser la formule

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} \text{ car il faut déterminer l'angle entre } \vec{P} \text{ et } \vec{AB} !$$

*Trouvons une autre formule !!.....*



Travail du poids $\vec{P}$	
Lors de la descente	Lors de la montée
$W_{AB}\vec{P} = \vec{P} \cdot \vec{AB} = \vec{P} \cdot (\vec{AC} + \vec{CB}) = \vec{P} \cdot \vec{AC} + \vec{P} \cdot \vec{CB}$	
$W_{AB}\vec{P} = P \times AC \times \cos 0^\circ + P \times CB \times \cos 90^\circ$	$W_{AB}\vec{P} = P \times AC \times \cos 90^\circ + P \times CB \times \cos 180^\circ$
$W_{AB}\vec{P} = P \times AC \times 1 + P \times CB \times 0$	$W_{AB}\vec{P} = P \times AC \times 0 + P \times CB \times (-1)$
$W_{AB}\vec{P} = P \times AC$	$W_{AB}\vec{P} = -P \times BC$
posons $h = AC$	posons $h = BC$
$W_{AB}\vec{P} = mgh > 0$ Le travail du poids est moteur lors de la descente	$W_{AB}\vec{P} = -mgh < 0$ Le travail du poids est résistant lors de la montée

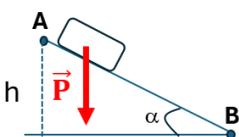
► ► Le travail du poids lors d'un déplacement au cours duquel l'altitude de son point d'application a varié d'une valeur  $h$  est :  $W_{AB}\vec{P} = \pm mgh$

Avec

$W_{AB}\vec{P} = mgh$  lors d'une descente

$W_{AB}\vec{P} = -mgh$  lors d'une montée

**Remarque :** Dans le cas d'une montée (ou d'une descente) le long d'une pente rectiligne



$$W_{AB}\vec{P} = \pm mgh$$

$$\text{avec } h = AB \times \sin \alpha$$

## B.2. Le travail de la réaction du support

### (1) La réaction d'un support

- La force exercée par un support sur un objet est notée  $\vec{R}$ .

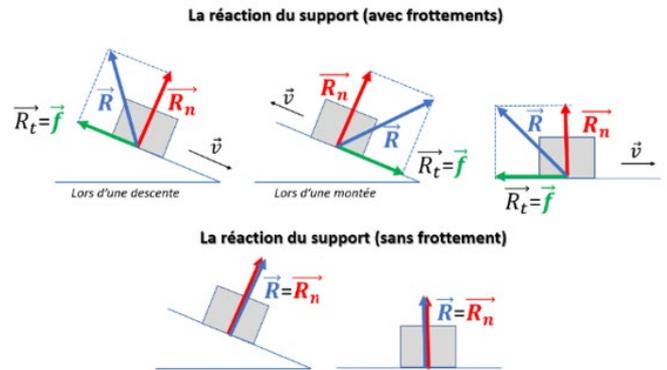
Cette force a deux actions :

- elle empêche l'objet de « rentrer » dans le sol (sous l'action de son poids  $\vec{P}$ ) :

**cette action est représentée par la composante  $\vec{R}_n$**

- elle empêche l'objet de glisser lorsque l'objet est en mouvement :

**cette action est représentée par la composante  $\vec{f}$**



$\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{f}$	
$\vec{R}_n$	$\vec{f}$
Réaction normale	Force de frottements
Perpendiculaire au déplacement	Opposée au déplacement

**remarque** : Lorsqu'il n'y a pas de frottement, on a  $\vec{R} = \vec{R}_n$  :  $\vec{R}$  est donc perpendiculaire au support

### (2) Le travail de la réaction d'un support

Dans le cas d'un déplacement rectiligne gardant la même direction et le même sens	Si le déplacement n'est plus rectiligne
<p><math>\vec{f}</math> est une force constante.</p> <p>L'angle entre <math>\vec{f}</math> et le vecteur déplacement <math>\vec{AB}</math> est de <math>180^\circ</math></p> <p><math>W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \times AB \times \cos 180^\circ = -f \times AB</math></p>	<p><math>\vec{f}</math> est une force non constante.</p> <p>On ne peut pas calculer son travail</p>
<p><math>\vec{R}_n</math> est une force constante.</p> <p>Elle est perpendiculaire au déplacement.</p> <p><math>W_{AB}(\vec{R}_n) = 0</math></p>	<p><math>\vec{R}_n</math> est une force non constante.</p> <p>MAIS, <b>à chaque instant</b>, <math>\vec{R}_n</math> reste constamment perpendiculaire au déplacement donc son travail est nul</p> <p>On admet que l'on a également : <math>W_{AB}(\vec{R}_n) = 0</math></p>

<i>Séquence 3</i>	<b>L'énergie mécanique et sa conservation</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	---	------------------------------------

**A. L'énergie cinétique**

A.1. Définition	P1
A.2. Le théorème de l'énergie cinétique	P1

**B. L'énergie potentielle**

	P1
--	----

**C. L'énergie mécanique et sa conservation**

C.1. Définition	P2
C.2. Variation de l'énergie mécanique d'un système	P2

**A. L'énergie cinétique**

**A.1. Définition**

• L'énergie cinétique est l'énergie que possède tous les corps en mouvement. Cette énergie dépend de la vitesse du corps et de sa masse

↳ Lors d'un accident pour une même vitesse, les dégâts occasionnés par un camion sont plus importants que pour une voiture : **l'énergie cinétique dépend de la masse du corps.**

↳ Lors d'un "crash test", les dégâts occasionnés sont plus importants lorsque la vitesse croît : **l'énergie cinétique dépend de la vitesse du corps.**

▶ ▶ Soit un solide de masse  $m$ , animé d'un mouvement de translation de vitesse  $v$ . Ce solide possède une énergie, appelée **énergie cinétique**  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

$E_c$  : énergie cinétique en **Joule (J)**  
 $m$  : masse du système en **kg**  
 $v$  : vitesse du centre d'inertie du système en  **$m \cdot s^{-1}$**

**A.2. Le théorème de l'énergie cinétique**

▶ ▶ Dans un référentiel Galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide ne translation entre 2 positions A et B est égale à la somme des travaux des forces s'exerçant sur le solide :

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \sum W_{AB} \vec{F}$$

**B. L'énergie potentielle de pesanteur**

↳ Comparons de la neige tombée au sommet d'une montagne à la neige tombée en plaine. Quel est l'effet du poids de la neige ?

- Dans la plaine, le poids de la neige a pour effet de tasser la neige
- Dans la montagne, il peut l'entraîner vers le bas → avalanche dévastatrice.

↳ La neige au sommet de la montagne possède de l'énergie en réserve que n'a pas la neige en plaine ; cette énergie est libérée au moment de l'avalanche.

**Cette énergie dépend du poids de la neige qui tombe ainsi que de la hauteur de chute.**

▶ ▶ Un objet de masse  $m$ , à l'altitude  $z$  possède une énergie, l'énergie potentielle de pesanteur:  $E_p = m \times g \times z$

$E_p$  : énergie potentielle en **Joule (J)**  
 $m$  : masse du système en **kg**  
 $z$  : altitude du système en  **$m$**

• La valeur de l'énergie potentielle de pesanteur dépend du choix d'origine du repère : on dit que l'énergie potentielle est définie à une constante près. Ce choix de repère n'a pas d'influence sur les résultats obtenus puisque seule la variation d'énergie potentielle a du sens. On aura donc souvent intérêt à choisir un repère dont l'origine coïncide avec la position la plus basse que le point étudié puisse occuper.

## C. L'énergie mécanique et sa conservation

### C.1. Définition

► ► On appelle énergie mécanique du système étudié la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle de pesanteur :  $E_m = E_c + E_p$

### C.2. Variation de l'énergie mécanique du système

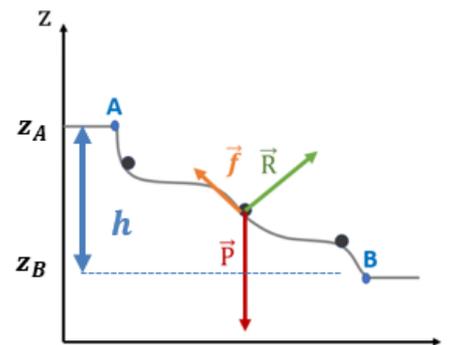
- On considère dans ce paragraphe un système soumis :
  - à son poids  $\vec{P}$
  - à la réaction d'un support  $\vec{R}_n$
  - à une force de frottement  $\vec{f}$  de même direction et de sens opposé au mouvement.

Si le point étudié se déplace entre une position A et une position B le théorème de l'énergie cinétique donne :

$$\Delta E_c = \sum W_{\vec{F}} = \underbrace{W_{AB}(\vec{P})}_{= mgh} + W_{AB}(\vec{f}) + \underbrace{W_{AB}(\vec{R}_n)}_{= \vec{0} \text{ car } \vec{R}_n \text{ est à chaque instant perpendiculaire au déplacement}} = mg(z_A - z_B)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 &= mg(z_A - z_B) + W_{AB}(\vec{f}) \\ \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 &= mgz_A - mgz_B + W_{AB}(\vec{f}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_B^2 + mgz_B - \frac{1}{2}mv_A^2 - mgz_A &= W_{AB}(\vec{f}) \\ E_{mB} - E_{mA} &= W_{AB}(\vec{f}) \iff \Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) \end{aligned}$$



► ► La variation de l'énergie mécanique d'un système soumis à l'action des forces  $\vec{P}$ ,  $\vec{R}$ , et  $\vec{f}$  est égale au travail de la force de frottement.

Dans le cas d'une absence de frottement, la variation de l'énergie mécanique est nulle : l'énergie mécanique est constante, on dit qu'elle se conserve

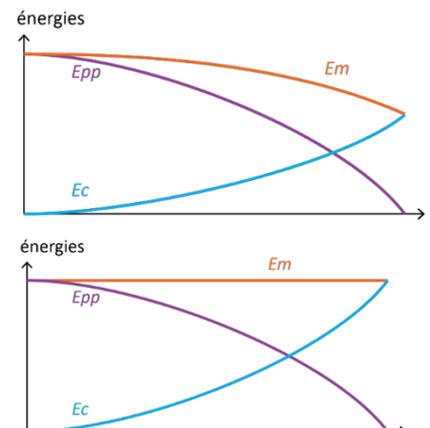
#### Exemple d'un système en chute

- si une force de frottement s'exerce :

L'énergie potentielle de pesanteur est partiellement convertie en énergie cinétique et en partie dissipée (cédée à l'extérieur ou convertie en énergie interne sous forme de chaleur).

- Cas particulier de la chute sans frottement

L'énergie potentielle de pesanteur est intégralement convertie en énergie cinétique.

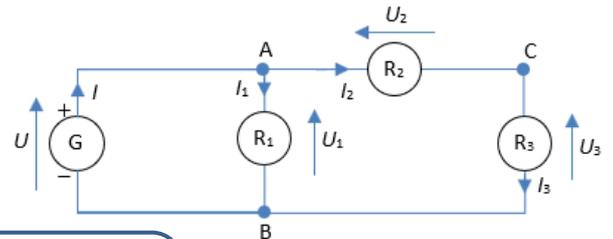


<i>Séquence 4</i>	<b>Tensions et intensités dans un circuit</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	---	------------------------------------

<b>A. Les circuits électriques</b>	P1
<b>B. Loi relative aux courants : la loi des nœuds</b>	
B.1. Mesure de l'intensité électrique	P2
B.2. La loi des nœuds	P2
<b>C. Loi relative aux tensions : la loi des mailles</b>	
C.1. Mesure de la tension électrique	P2
C.2. La loi des mailles	P3

### A. Les circuits électriques

• Un circuit électrique est composé d'au moins un générateur, un récepteur (résistance, moteur, DEL, etc.) et des fils de connexion.



- ▶ ▶ Un circuit possède des nœuds et des mailles :
- **Un nœud** est un point de connexion d'au moins trois dipôles.
- **Une maille** est une portion de circuit formant une boucle fermée

**Exemple :**

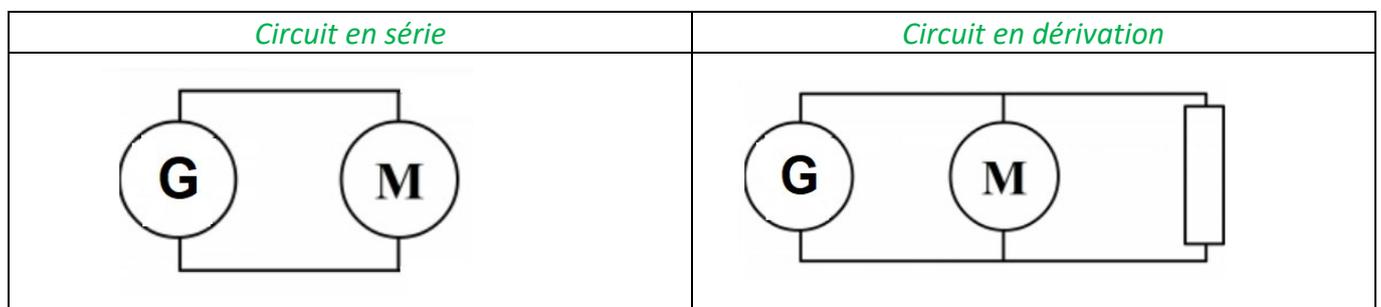
Dans le circuit électrique simple ci-dessus, comportant un générateur  $G$  et trois récepteurs  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

-  $A$  et  $B$  sont des nœuds (trois dipôles connectés),  $C$  n'est pas un nœud (seuls deux dipôles sont connectés).

- il y a trois mailles :

- la maille constituée du générateur  $G$  et des deux récepteurs  $R_2$  et  $R_3$  ;
- la maille constituée des trois récepteurs  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  ;
- et celle constituée du générateur  $G$  et du récepteur  $R_1$ .

- ▶ ▶ Il existe 2 types de circuits électriques :
- **Le circuit en série** qui possède une seule maille
- **Le circuit en dérivation** qui possède plusieurs mailles



## B. Loi relative aux courants : loi des nœuds

### B.1. Mesure de l'intensité électrique

• L'intensité électrique, notée  $I$ , caractérise le débit des charges électriques dans le circuit.

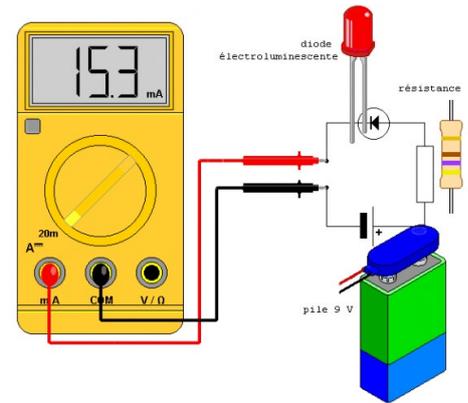
Elle s'exprime en ampères (A) et est représentée sur les schémas par une flèche placée sur les fils. Elle est éventuellement accompagnée d'une notation permettant de distinguer des intensités différentes.

• La mesure de l'intensité s'effectue avec un ampèremètre placé en série à l'endroit où l'on souhaite connaître l'intensité.

Le sens du branchement dépend du sens du courant électrique :

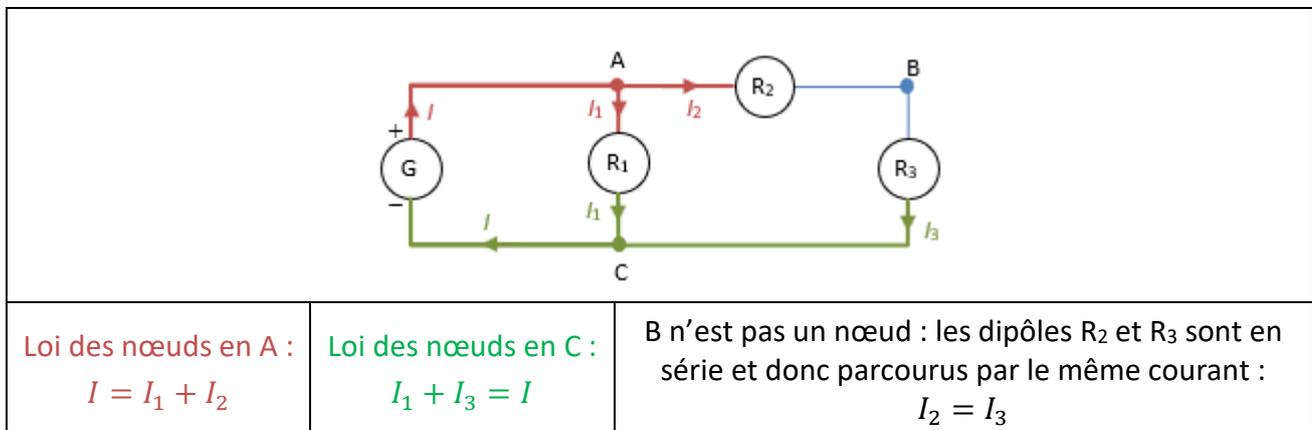
Le courant doit pénétrer par la borne notée « mA » ou « A » pour ressortir par la borne notée « COM »)

Dans le cas contraire, une valeur négative apparaîtra sur l'écran de l'appareil.



### B.2. La loi des nœuds

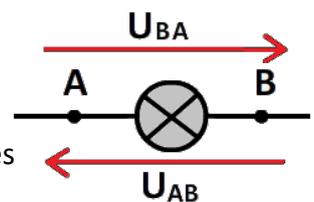
► ► **Loi des nœuds :** La somme algébrique des intensités des courants arrivant à un nœud est égale à la somme algébrique des intensités des courants qui en repartent.



## C. Loi relative aux tensions : loi des mailles

### C.1. Mesure de la tension électrique

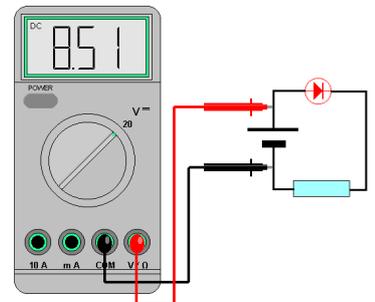
• La tension électrique est définie comme une différence « d'état électrique » entre 2 points d'un circuit. Elle s'exprime en volt (V) et est représentée sur les schémas électriques par une flèche placée au-dessus du dipôle.



La valeur de la tension électrique peut être positive ou négative :	
Aux bornes d'un récepteur	Aux bornes d'un générateur

- La tension se mesure avec un voltmètre placé en parallèle aux bornes du dipôle aux bornes duquel on veut mesurer la tension :

Pour mesurer la tension  $U_{AB}$ , la borne « V » du voltmètre doit être branché au point A et la borne « COM » du voltmètre doit être branché au point B



### C.3. La loi des mailles

► ► **Loi des mailles :** En parcourant une maille, la somme algébrique des tensions rencontrées est nulle.

Maille constituée des dipôles G et $R_1$ .		$U - U_1 = 0$
Maille constituée des dipôles $R_1$ , $R_2$ et $R_3$ .		$U_1 - U_2 - U_3 = 0$
Maille constituée des dipôles G, $R_2$ et $R_3$ .		$U_3 + U_2 - U = 0$

<i>Séquence 5</i>	<b>Energie et puissance électriques</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	---	------------------------------------

**A. Puissance et énergie**

A.1. La puissance électrique .....	P1
A.2. Energie et puissances électriques .....	P1

**B. Le conducteur ohmique**

B.1. La loi d'ohm .....	P2
B.2. Puissance et énergie consommées .....	P2
B.3. L'effet Joule .....	P2

**C. Les générateurs**

C.1. La source idéale de tension .....	P3
C.2. Intensité du courant électrique .....	P4
C.3. Energie disponible .....	P4

**A. Puissance et énergie**

**A.1. La puissance électrique**

► ► Pour un dipôle parcouru par un courant électrique d'intensité  $I$  et soumis à la tension  $U$ , l'expression générale de la puissance électrique instantanée  $P$  échangée par le dipôle est donnée par la relation :

$P = U \times I$

$P$  en watt (W)

$U$  en volt (V)

$I$  en ampère (A)

**Remarque :** On parle de puissance électrique fournie par un générateur et reçue par un récepteur

**A.2. Energie et puissance électriques**

- Pour aspirer un même sol, des aspirateurs de puissance différentes ne mettront pas le même temps :
- ↳ Le travail à effectuer est le même (*aspirer toutes les poussières et autres impuretés sur le sol*) donc l'énergie à fournir est la même !

Mais pour effectuer ce même travail d'aspiration, l'aspirateur le plus puissant mettra moins de temps.

**Donc la puissance d'un appareil électrique traduit sa capacité à produire un travail en un minimum de temps.**

► ► L'énergie et la puissance électriques sont reliées par les relations :

$$We = P \times \Delta t \iff P = \frac{We}{\Delta t}$$

$$P = U \times I \iff We = U \times I \times \Delta t$$

Unités de l'énergie électrique suivant les unités de la puissance  $P$  et de la durée  $\Delta t$  :

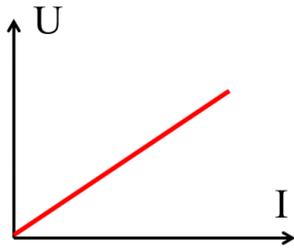
<b>Puissance</b>	W	W	kW	kW
<b>Durée</b>	s	h	s	h
<b>Energie</b>	J	W.h	kJ	kW.h

1W.h = 3600 J

**Remarque :** On note aussi l'énergie électrique par la lettre  $E$

## B. Le conducteur ohmique (anciennement résistor)

### B.1. La loi d'ohm

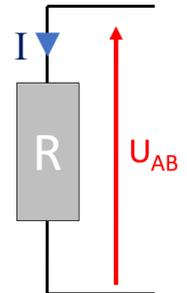


► ► La tension  $U$  aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant électrique qui le traverse.

Le coefficient de proportionnalité est la résistance  $R$  du conducteur ohmique.

$$U = R \times I$$

$U$ en volt (V)
$R$ en ohm ( $\Omega$ )
$I$ en ampère (A)



**Remarque :** en pratique, le conducteur ohmique est aussi appelé « résistance ».

### B.2. Puissance et énergie consommées par un conducteur ohmique

$$U = R \times I \Leftrightarrow I = \frac{U}{R}$$

<b>La puissance consommée par un conducteur ohmique peut se mettre sous la forme :</b>		
$P = U \times I$	$P = R \times I^2$	$P = \frac{U^2}{R}$

<b>L'énergie consommée par un conducteur ohmique peut se mettre sous la forme :</b>		
$E = U \times I \times \Delta t$	$E = R \times I^2 \times \Delta t$	$E = \frac{U^2}{R} \times \Delta t$

### B.3. L'effet Joule

• On appelle « **effet Joule** » l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans un conducteur.

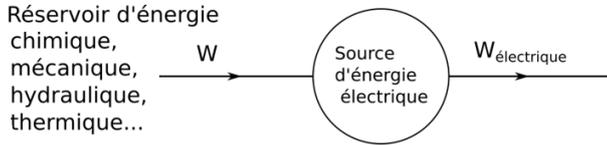
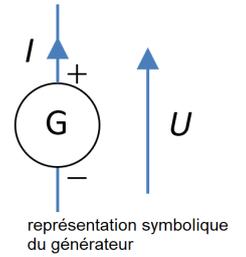
Les applications de l'effet Joules sont multiples. Certaines sont utiles, d'autres nuisent au fonctionnement des circuits.

Effets utiles	Effets nuisibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le chauffage électrique (<i>radiateur, bouilloire, fer à repasser, four électrique...</i>)</li> <li>- L'éclairage par incandescence.</li> <li>- Le disjoncteur thermique.</li> <li>- Le fusible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'échauffement des circuits électriques.</li> <li>- Les pertes en lignes.</li> <li>- La détérioration de certains circuits sous l'effet d'une augmentation de température.</li> </ul>

## C. Les générateurs, sources d'énergies électriques

### C.1. La source idéale de tension

- Un générateur électrique est un système servant à produire de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie.

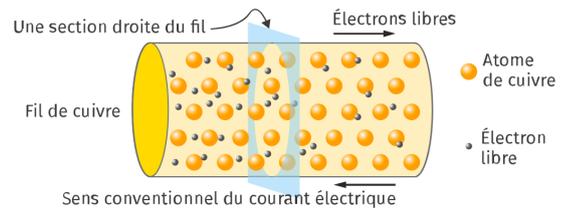


- On distingue 2 types de générateurs :

Source idéale de tension	Source réelle de tension
<p>Une source <b>idéale</b> de tension est un générateur électrique dont la tension <math>U</math> est <b>constante</b> quelle que soit l'intensité <math>I</math> du courant débité</p>	<p>La plupart de générateurs réels peuvent être simplement modélisés par l'association d'une source idéale de tension et d'un conducteur ohmique en série qui provoque une chute de tension quand le courant débité augmente.</p>
Caractéristique tension-intensité	
Représentation symbolique	

## C.2. Intensité du courant électrique

• Un courant électrique correspond à un déplacement ordonné de porteurs de charge, des électrons (*charges négatives*) dans un matériau conducteur, des ions (*charges négatives ou positives*) dans une solution.



L'intensité du courant est une valeur qui caractérise le débit des charges électriques :

$Q$  : Quantité d'électricité en coulomb (C)  
 $N$  : nombre d'électrons  
 $e$  : charge élémentaire  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

► ► On appelle « **quantité d'électricité** », notée  $Q$ , la valeur absolue de la charge électrique portée par un certain nombre  $N$  d'électrons :  $Q = N \times e$

$I$  : Intensité en ampères (A)  
 $Q$  : Quantité d'électricité en coulomb (C)  
 $\Delta t$  : durée en secondes (s)

► ► L'intensité du courant du courant circulant à travers un conducteur de section  $S$  est égale à la quantité d'électricité  $Q$  traversant la surface  $S$  pendant une durée  $\Delta t$  :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

**Remarque :** la quantité d'électricité peut donc s'écrire  $Q = I \times \Delta t$

Si on exprime  $I$  en ampères (A) et  $\Delta t$  en heures (h), la quantité d'électricité  $Q$  s'exprime en ampèreheure (A.h)  
 C'est cette unité qui est utilisée lorsque l'on donne la quantité d'électricité (appelée **capacité**) stockée dans les batteries : **1 Ah = 3 600 C**

## C.3. Énergie disponible

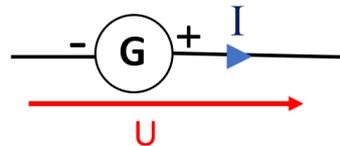
► ► Soit un générateur aux bornes duquel existe une tension  $U$  et débitant un courant d'intensité  $I$  :

L'énergie électrique fournie par le générateur au reste du circuit est :

$$W_{\text{fournie}} = U \times I \times \Delta t$$

$$\text{Or } Q = I \times \Delta t$$

$$\text{On a donc : } W_{\text{fournie}} = Q \times U$$



<i>Séquence 6</i>	<b>Ondes et énergie</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	-------------------------	------------------------------------

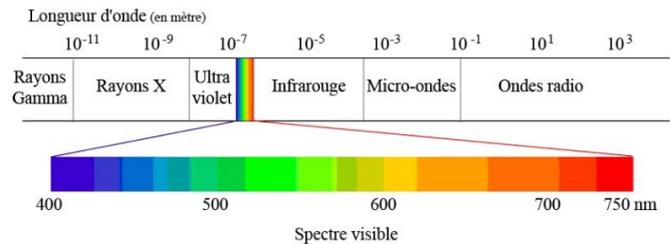
<b>A. La lumière, transport d'énergie</b>	
A.1. La nature ondulatoire de la lumière	P1
A.2. La nature corpusculaire de la lumière	P1
A.3. Flux et éclairage énergétique	P2
<b>B. Le panneau photovoltaïque, convertisseur d'énergie</b>	
B.1. Un convertisseur d'énergie	P2
B.2. Caractéristiques d'une cellule	P2
B.3. le rendement du panneau	P3
<b>C. Le LASER, source d'énergie</b>	
	P3

## A. La lumière, transport d'énergie

• Afin d'interpréter différentes expériences impliquant la lumière (*diffraction, interférences, effet photoélectrique...*), des physiciens (**Young, Planck, Einstein**) ont été amené à énoncer deux théories afin de définir la nature de la nature de la lumière.

### A.1. La nature ondulatoire de la lumière

• La lumière se déplace comme une onde périodique. Et comme toute onde périodique, elle est caractérisée par **sa vitesse  $c(m.s^{-1})$ , sa longueur d'onde  $\lambda(m)$ , sa période  $T(s)$  ou sa fréquence  $\nu(Hz)$ .**



**sa vitesse :** Vitesse de toutes les ondes électromagnétiques dans le vide  $c = 3.108 \text{ m.s}^{-1}$

**sa période :** La période d'une onde, notée  $T(s)$ , représente la durée d'une vibration complète

**sa longueur d'onde :** La longueur d'onde, notée  $\lambda (m)$ , représente la distance parcourue par l'onde pendant une période

**sa fréquence :** La fréquence d'une onde, notée  $f(Hz)$  ou  $\nu(Hz)$ , correspond au nombre de vibration complète en 1 s

♦ On a les relations

$c = \frac{\lambda}{T} \rightarrow \lambda = c \times T$	$\nu = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{\nu}$	$\lambda = \frac{c}{\nu}$
--	---	---------------------------

### A.2. La nature corpusculaire de la lumière

• La lumière est un flux de particules appelées « photons ». Ces photons *de masse, et de charge électrique nulle* transportent l'énergie de la lumière. On dit que les photons sont **des quanta**, ou paquets d'énergie.

♦ **Les photons d'une radiation lumineuse de longueur d'onde  $\lambda (m)$  ou de fréquence  $\nu (Hz)$ , transporte une énergie  $E(J)$  :  $E = h \times \nu$  ou  $E = \frac{h \times c}{\lambda}$**

$h$  : constante appelée « constante de Planck » :  $h = 6,6.10^{-34} \text{ J.s}$

$c$  : vitesse (=célérité) de la lumière dans le vide  $c = 3,0.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

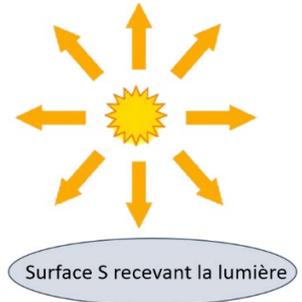
**Remarque :** L'énergie peut également s'exprimer en  $ev$  :  $1 \text{ ev} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$

### A.3. Flux et éclairage énergétique

♦ La **puissance rayonnante**  $P_{ray}$  (ou **flux énergétique**,  $\Phi_e$ ) représente la puissance totale rayonnée par une source émettant des rayonnements électromagnétiques. Elle s'exprime en W

♦ L'**éclairage énergétique**  $E_e$  (ou **irradiance**), correspond à la puissance rayonnante  $P_{ray}$  émis par une source, et reçu par une surface donnée S. Il s'exprime en  $W.m^{-2}$ :

$$E_e = \frac{P_{ray}}{S}$$



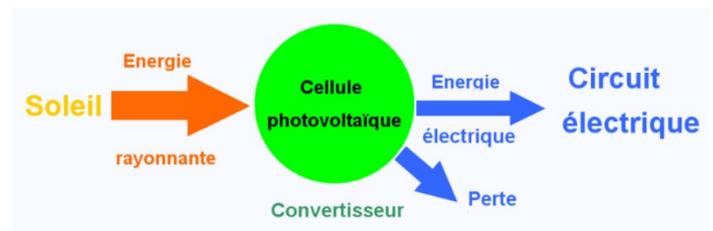
**Exemple :** à la surface terrestre, à midi solaire :  $E_e = 1000 W.m^{-2}$

↳  $1 m^2$  de la surface du sol reçoit 1000 W en puissance rayonnée provenant du soleil

## B. Le panneau photovoltaïque, convertisseur d'énergie

### B.1. Un convertisseur d'énergie

• Un panneau photovoltaïque est un convertisseur d'énergie : il reçoit une énergie rayonnée par le soleil et la transforme en énergie électrique (*énergie transmise à un circuit électrique*) et en énergie thermique (*perte*)



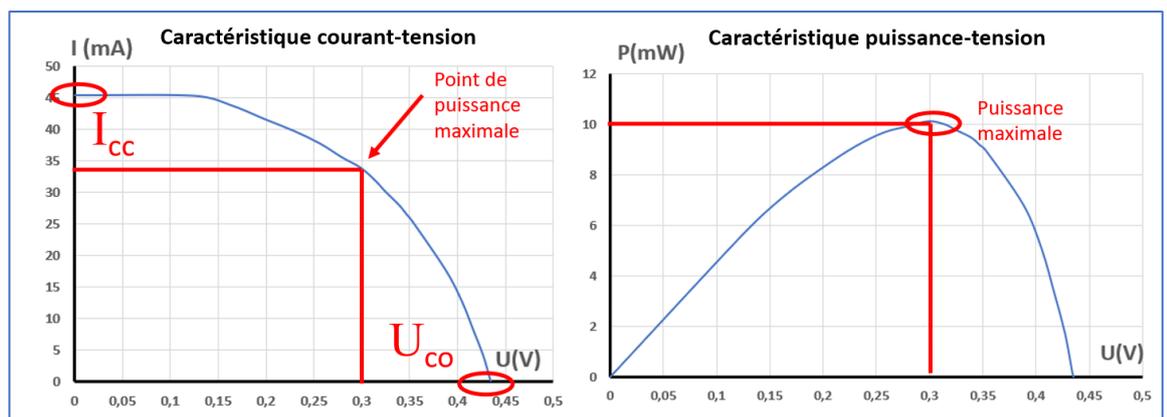
**Remarque :** La valeur de l'énergie reçue par un panneau dépend de l'inclinaison des rayons solaires. Cette énergie est maximale lorsque les rayons arrivent perpendiculaires sur le panneau

### B.2. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

• Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle « **caractéristique courant-tension** »

• Une cellule photovoltaïque est caractérisée par :

- Sa **tension en circuit ouvert** ( $U_{co}$ ) qui correspond à la tension mesurée aux bornes du capteur éclairé quand aucun récepteur n'est branché
- Son **intensité de court-circuit** ( $I_{cc}$ ) qui correspond à l'intensité maximale du courant électrique ; cette intensité est obtenue lorsque la cellule est court-circuitée (les deux pôles + et - de la pile sont reliés par un fil) donc lorsque la tension à ses bornes est nulle
- Sa **puissance de crête** ( $P_c$ ) qui correspond à la puissance maximale électrique qu'elle peut fournir



### B.3. Le rendement du panneau

- Seulement 4% de l'énergie électrique mondiale provient de l'énergie solaire. Ce développement minime s'explique, notamment, par le faible rendement des panneaux photovoltaïques.

- ♦ Le rendement d'un panneau est défini par :

$$\text{rendement} = \frac{\text{Energie électrique produite}}{\text{Energie rayonnante reçue}} = \frac{W_e}{E_{ray}}$$

Avec

$W_e$  : Energie électrique maximale fournie par la cellule

$E_{ray}$  : Energie rayonnante reçue par la cellule

- On peut montrer que l'on a

$$\text{rendement} = \frac{P_c}{P_{ray}}$$

Avec

$P_c$  : puissance de crête

$P_{ray}$  : puissance rayonnante

**Remarque :** Dans le calcul du rendement, les 2 énergies doivent avoir les mêmes unités (J, kJ, W.h, kW.h) ainsi que les 2 puissances (W, mW)

### C. Le LASER, source d'énergie

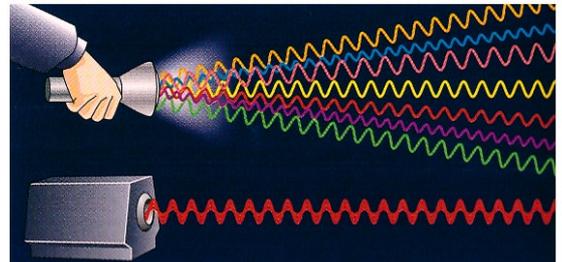
Le mot LASER signifie **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** ( amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement).

- Très vite, la lumière magique du laser a trouvé de multiples applications et le laser s'est installé dans notre vie quotidienne :

- au cœur de nos lecteurs de disques compacts,
- dans les lecteurs des codes-barres dans les supermarchés,
- au cours de spectacles lumineux qui portent son nom,
- dans l'industrie, où il coupe, soude et perce,
- dans l'alignement des routes, des tunnels grâce à son faisceau rectiligne,
- en médecine, grâce à son faisceau fin, précis et à son énergie facilement dosable ; il remplace dans certains cas le bistouri en permettant un découpage fin et précis des tissus, il suture des vaisseaux, il est utilisé pour traiter les décollements de la rétine, lors du traitement de la cataracte ou de la myopie, il traite certains cancers et brûle les zones malades sans toucher aux parties saines.....

Ces multiples applications sont dues à ses particularités.....

- ♦ Le faisceau de lumière émis par un laser est très différent d'un faisceau de lumière classique : **il est monochromatique, très directif et peut produire une énorme puissance sur une surface réduite**



#### Monochromaticité

↳ Si on envoie le faisceau lumineux émis par un laser sur un dispositif dispersif (prisme, réseau), on constate que l'on n'obtient qu'une seule raie lumineuse. **La lumière du laser ne contient donc qu'une seule longueur d'onde : elle est monochromatique.**

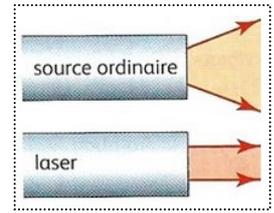


**Remarque :** Sa couleur dépend du type de laser utilisé:

- le laser hélium-néon du lycée émet de la lumière rouge
- il existe des lasers émettant de la lumière bleue ou de la lumière verte
- d'autres lasers émettent de la lumière invisible à l'œil humain, dans l'infrarouge ou dans l'ultraviolet.

## Directivité

↳ Les sources de lumière classiques émettent de la lumière dans toutes les directions. Contrairement à ces sources de lumière, les sources laser sont donc beaucoup plus directive (la lumière se propage dans une direction privilégiée)



**Le laser émet un faisceau très fin, faiblement divergent, parfaitement rectiligne, et visible sur de grandes distances.**

### Exemples d'utilisation :

- Cette propriété est utilisée lors des spectacles laser où le rayon lumineux se poursuit loin dans l'espace ou bien pour l'alignement des tracés de routes et de tunnels... Ainsi, un laser a été utilisé lors de la construction de la tour Montparnasse.
- Les lasers servent aussi dans la télémétrie, c'est-à-dire la mesure à distance. Le faisceau laser atteint une cible qui le renvoie en sens inverse.
- La vitesse de la lumière étant connue, il est possible, en mesurant le temps mis par le faisceau laser pour faire l'aller et le retour, de connaître la distance séparant la source laser d'un obstacle. Cette méthode a même permis le calcul précis de la distance Terre-Lune.

## Puissance

- Une source lumineuse est notamment caractérisée par sa puissance, exprimée en watts: la puissance d'une lampe à incandescence peut être égale à 40 W, 60 W, 100 W...

Pour un laser, la puissance est en général beaucoup plus faible (0,5 W pour les lasers employés au lycée), mais cette puissance est concentrée dans un faisceau de très faible diamètre.

↳ Pour caractériser un laser, on utilise une grandeur plus significative, qui est la **puissance reçue par unité de surface éclairée**, ou **éclairement**, et qui s'exprime en **W.m<sup>-2</sup>** ou **W.cm<sup>-2</sup>**

La puissance surfacique du laser peut être considérable. C'est ainsi qu'un faisceau laser peut faire fondre, volatiliser ou enflammer certains matériaux sur lesquels il est dirigé.

*Par exemple, l'éclairement du Soleil peut atteindre 0,1 W/cm<sup>2</sup>. Une loupe qui focalise la lumière du Soleil peut permettre d'atteindre un éclairement de 100 W/cm<sup>2</sup>, ce qui suffit pour enflammer du papier.*

### LE LASER TÉRAWATT

*Son éclairement peut atteindre 10<sup>18</sup> W/cm<sup>2</sup>, soit la concentration sur un centimètre carré de la lumière émise par 10 millions de milliards d'ampoules de 100 W.*

### LE LASER PETAWATT

*est un projet à venir. Son éclairement peut atteindre 10<sup>20</sup> W/cm<sup>2</sup>, soit la concentration sur un centimètre carré de la lumière émise par 1 000 millions de milliards d'ampoules de 100 W.*

<i>Séquence 7</i>	<b>Chauffage d'un corps pur</b>	<a href="#">RETOUR AU SOMMAIRE</a>
-------------------	---------------------------------	------------------------------------

**A. Les changements d'état**

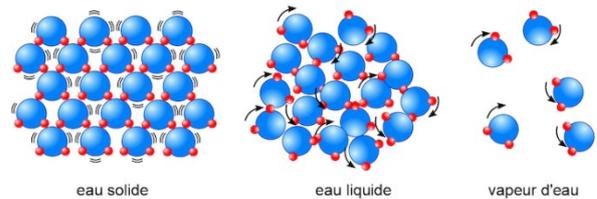
- A.1. Les états de la matière ..... P1
- A.2. Les changements d'état ..... P1
- A.3. Les paliers de changement d'état ..... P2
- A.4. Les diagrammes d'état ..... P2

**B. Variation d'enthalpie d'un corps pur lors d'un chauffage**

- B.1. L'enthalpie H et sa variation  $\Delta H$  ..... P3
- B.2. Variation d'enthalpie lors d'un chauffage sans changement d'état ..... P3
- B.2. Variation d'enthalpie lors d'un chauffage avec changement d'état ..... P4

**A. Les changements d'état**

**A.1. Les états de la matière**



• L'eau existe sous trois états (ou phases) : l'état solide (glace, grêle neige...), l'état liquide (eau du robinet, buée...), et l'état gazeux (vapeur d'eau).

*Si au niveau macroscopique la matière semble immobile, au niveau microscopique elle ne l'est jamais totalement.*

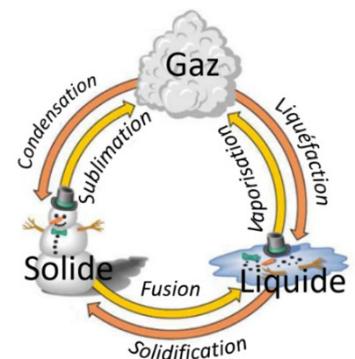
<i>Le nombre des liaisons intermoléculaires (entre les molécules) et leur durée de vie permet de comprendre la différence entre les 3 états de la matière</i>		
L'état solide	L'état liquide	L'état gazeux
état compact et ordonné	état compact et désordonné	état dispersé et désordonné
Les entités chimiques sont reliées les unes aux autres par des liaisons intermoléculaires très nombreuses : empilement compact des espèces en vibration constante autour d'une position d'équilibre	Les liaisons intermoléculaires sont moins nombreuses que dans l'état solide avec des durées de vie très courtes (elles changent en permanence) : arrangement irrégulier et en mouvement constant.	Aucune liaison intermoléculaire : les molécules sont libres de bouger indépendamment les unes des autres

**A.2. Les changements d'état**

• Un changement d'état physique correspond au passage d'un état physique à un autre état physique. Il se fait à température constant

**Remarques:**

- La liquéfaction (passage de l'état gazeux à l'état liquide) se nomme couramment « condensation » : on parle alors de « condensation liquide » pour différencier cette condensation du changement d'état gaz-solide qui devient une « condensation solide »



### A.3. Les paliers de changements d'état d'un corps pur

↳ *Que se passe-t-il lorsque l'on chauffe de la glace ?*

#### Etape 1 : réchauffement de la glace jusqu'à 0°C :

L'énergie thermique apportée par le chauffage augmente l'agitation des molécules ; la température du solide s'élève.

#### Etape 2 : fusion de la glace à 0°C :

Lorsque l'agitation thermique est suffisante, certaines liaisons hydrogène « lâchent » et l'édifice cristallin se disloque : **c'est la fusion**

Au cours de la fusion, toute l'énergie thermique fournie au cristal est utilisée pour rompre des liaisons hydrogène donc l'agitation des molécules n'augmente pas : la température reste constante à 0°C sous la pression atmosphérique.

#### Etape 3 : réchauffement de l'eau jusqu'à ≈ 100°C :

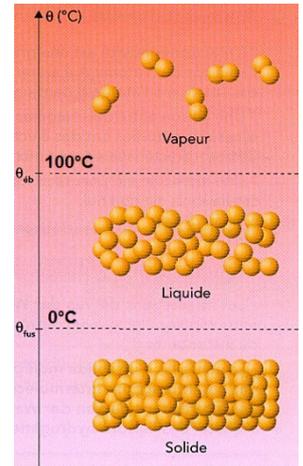
Une fois, la « glace » entièrement liquide, l'agitation thermique croît à nouveau et la température augmente. Les liaisons hydrogène existant entre les molécules d'eau sont de moins en moins nombreuses.

#### Etape 4 : vaporisation de l'eau à ≈ 100°C :

Les liaisons hydrogène disparaissent entièrement à 100°C : il se produit **la vaporisation**, à température constante

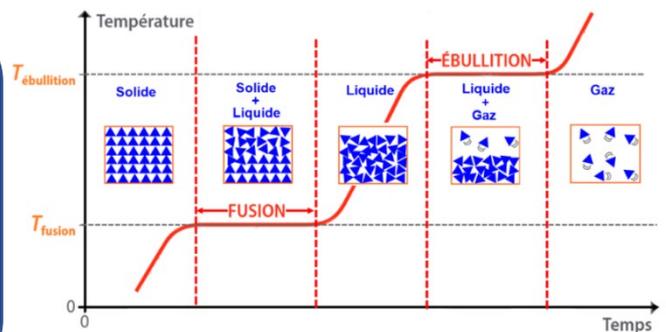
Une fois l'eau entièrement vapeur, l'agitation thermique croît à nouveau.

Les molécules de gaz n'interagissant plus, l'énergie thermique reçue est entièrement transformée en énergie cinétique et leur vitesse augmente.



▶ ▶ Lors d'un chauffage, l'énergie thermique apportée à un corps pur moléculaire peut :

- conduire à une élévation de température avec rupture de liaisons moléculaires (hydrogène ou de Van der Waals) et accroissement de l'agitation des molécules
- provoquer un changement d'état avec seulement rupture de liaisons moléculaires, la température restant alors constante.



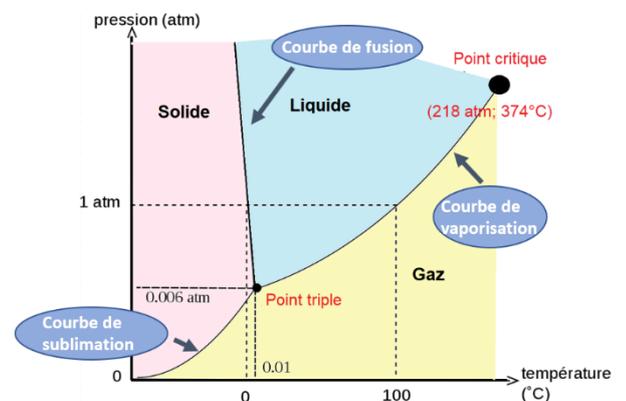
#### Remarque:

▪ Les températures de changement d'état d'un composé sont directement liées au type de forces intermoléculaires (hydrogène ou de Van Der Waals) qui agissent dans le composé ainsi qu'à leur intensité : Plus les liaisons intermoléculaires sont nombreuses ou intenses, plus les températures de changements d'état seront élevées

### A.4. Les diagrammes d'état

▶ ▶ Le diagramme d'état (P,T) d'un corps pur permet de déterminer la phase dans laquelle se trouve ce corps pur pour une pression et une température donnée.

A la température de changement d'état physique, les deux états physiques coexistent.



**Exemple:** Ci-contre le diagramme d'état de l'eau

**Au point triple :** l'eau existe sous les 3 formes à la fois

**Au-delà du point critique :** point limite au-delà duquel il n'y a plus de changement d'état liquide-vapeur, on parle d'état fluide. Dans cet état, les propriétés du fluide sont intermédiaires entre celle d'un liquide et d'un gaz

## B. Variation d'enthalpie d'un corps pur lors d'un chauffage

### B.1. L'enthalpie H et sa variation $\Delta H$

▪ Toute substance impliquée dans une réaction contient une certaine quantité d'énergie interne. En effet, lors de la formation d'une particule de matière, que ce soit un atome ou une molécule, une quantité d'énergie est accumulée. Cette énergie se retrouve sous la forme:

- **d'énergie cinétique** liée au mouvement des électrons autour du noyau et au mouvement des molécules et des atomes (*vibration, rotation et translation*);
- **d'énergie potentielle** provenant des forces d'attraction entre les nucléons, entre les noyaux et les électrons, au niveau des liaisons chimiques entre atomes, et dans les interactions moléculaires.

La somme de toutes ces énergies correspond à **l'enthalpie de la substance**.

▶ ▶ **L'enthalpie (H) est l'énergie totale d'un système, soit la somme de tous les types d'énergie qu'il contient à pression constante.**

▪ Il est difficile de déterminer expérimentalement l'enthalpie H d'un système. Il est plus simple de déterminer **la variation d'enthalpie  $\Delta H$**  ( $= H_f - H_i$ ) en mesurant la chaleur absorbée ou dégagée lors d'une transformation physique (*lors d'un changement d'état*) ou chimique (*lors d'une réaction chimique*)

▶ ▶ **L'enthalpie H comme la variation d'enthalpie  $\Delta H$  s'expriment en joules (J) ou en kilojoules (kJ).**

Lorsque $\Delta H > 0$	Lorsque $\Delta H < 0$
<ul style="list-style-type: none"> <li>↪ <math>H_f &gt; H_i</math> l'enthalpie du système est plus grande en fin de transformation qu'au début</li> <li>↪ la transformation a absorbé de l'énergie</li> <li>↪ <b>la transformation est dite endothermique</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↪ <math>H_f &lt; H_i</math> l'enthalpie du système est plus petite en fin de transformation qu'au début</li> <li>↪ la transformation a libéré de l'énergie</li> <li>↪ <b>la transformation est dite exothermique</b></li> </ul>

### B.2. Variation $\Delta H$ de l'enthalpie lors d'un chauffage SANS changement d'état

▶ ▶ **Soit un corps de masse  $m$ , passant d'une température  $\theta_i$  à  $\theta_f$ . L'énergie échangée entre le corps et le milieu extérieur se met sous la forme :  $\Delta H = m \times C \times \Delta\theta$**

$\Delta H$	$m$	$C$	$\Delta\theta$
variation d'enthalpie du corps (en J ou en kJ)	masse du corps (en kg)	capacité thermique massique (en $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ou en $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ )	$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ (en K)

#### Remarques:

(1)  $\theta(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$

Lorsque l'on calcule  $\Delta\theta$ , on trouve même le résultat avec  $\theta_i$  et  $\theta_f$  exprimés en  $^{\circ}C$  ou en K

(2) Si le corps se réchauffe on a  $\theta_f - \theta_i > 0$  :  $\Delta H > 0 \rightarrow H_f > H_i$

L'enthalpie finale du corps est plus importante que l'enthalpie initiale car le corps en se réchauffant a gagné de l'énergie thermique

Si le corps se refroidit on a  $\theta_f - \theta_i < 0$  :  $\Delta H < 0 \rightarrow H_f < H_i$

L'enthalpie finale du corps est plus faible que l'enthalpie initiale car le corps en se refroidissant a perdu de l'énergie thermique

### B.3. Variation $\Delta H$ de l'enthalpie lors d'un chauffage AVEC changement d'état

- Lors d'un changement d'état, un corps échange de la chaleur avec l'extérieur.
- Ainsi, lors d'une fusion (*solide*  $\rightarrow$  *liquide*) ou d'une vaporisation (*liquide*  $\rightarrow$  *gaz*), le corps a besoin d'énergie pour rompre des liaisons intermoléculaires : **ces changements d'états sont endothermiques**

Si un changement d'état est endothermique dans un sens, alors il est exothermique dans l'autre sens

- Ainsi, La solidification (*liquide*  $\rightarrow$  *solide*) ou la liquéfaction (*gaz*  $\rightarrow$  *liquide*) **sont exothermiques**

► ► **L'enthalpie de changement d'état, notée  $\Delta H_{\text{cht d'état}}$ , indique l'énergie échangée entre 1 kg d'un corps pur et le milieu extérieur lors du changement d'état du corps pur**

Si  $\Delta H_{\text{cht d'état}} > 0$  : le changement d'état est endothermique

Si  $\Delta H_{\text{cht d'état}} < 0$  : le changement d'état est exothermique

**Remarque :** L'enthalpie de changement d'état était anciennement appelée « chaleur latente de changement d'état » et notée  $L$

Les changements d'état			
fusion	<i>solide</i> $\rightarrow$ <i>liquide</i>	$\Delta H_{\text{fus}} > 0$	Endothermique
solidification	<i>liquide</i> $\rightarrow$ <i>solide</i>	$\Delta H_{\text{sol}} < 0$	Exothermique
vaporisation	<i>Liquide</i> $\rightarrow$ <i>gazeux</i>	$\Delta H_{\text{vap}} > 0$	Endothermique
liquéfaction	<i>Gazeux</i> $\rightarrow$ <i>liquide</i>	$\Delta H_{\text{liq}} < 0$	Exothermique
sublimation	<i>Solide</i> $\rightarrow$ <i>gazeux</i>	$\Delta H_{\text{sub}} > 0$	Endothermique
Condensation solide	<i>Gazeux</i> $\rightarrow$ <i>solide</i>	$\Delta H_{\text{cond}} < 0$	Exothermique

#### Exemple :

- Enthalpie de fusion de l'eau :  $\Delta H_{\text{fus}} = 334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$   
 $\hookrightarrow$  la fonte d'1 kg de glace nécessite 334 kJ
- Enthalpie de solidification de l'eau :  $\Delta H_{\text{sol}} = - 334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$   
 $\hookrightarrow$  la solidification d'1 kg d'eau liquide libère 334 kJ

► ► **Lors d'un changement d'état d'une masse  $m$  d'un corps pur, l'énergie échangée entre le corps et le milieu extérieur est**

$$\Delta H = m \times \Delta H_{\text{cht d'état}}$$

$\Delta H$	$m$	$\Delta H_{\text{cht d'état}}$
variation d'enthalpie du corps (en J ou en kJ)	masse du corps (en kg)	Enthalpie de changement d'état (en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ou en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

## Séquence 8

## La loi de Hess

[RETOUR AU SOMMAIRE](#)
**A. Enthalpie standard de formation**

A.1. L'état standard d'un corps

..... P1

A.2. Enthalpie standard de formation

..... P1

**B. Enthalpie standard de réaction**

B.1. Définition

..... P1

B.2. La loi de Hess

..... P2

B.3. Le pouvoir calorifique

..... P2

**A. Enthalpie standard de formation****A.1. L'état standard d'un corps**

• On dit qu'un corps est à l'état standard lorsqu'il est pur (donc non mélangé), et pris dans son état physique le plus stable dans les CSTP

**Les CSTP ou Conditions Standards de Température et de Pression**

Pression	concentrations	température
1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa	1 mol.L <sup>-1</sup>	généralement 298K (≈ 25°C)

• Les grandeurs qui s'y rapportent sont notées avec l'exposant «<sup>0</sup>»

**A.2. Enthalpie standard de formation**

• **Corps simple** : Constituant formé d'un seul élément chimique (Ex: O<sub>2</sub>, Fe, C, H<sub>2</sub>).

**Corps composé** : Constituant formé d'au moins deux éléments chimiques (Ex : H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, AlCl<sub>3</sub>).

► ► On appelle « enthalpie standard de formation » l'énergie thermique libérée (ou reçue) par la réaction qui permet de former une mole d'un corps composé à partir de corps simples

Elle est notée  $\Delta_f H^0$

(les réactifs et les produits de la réaction étant à l'état standard)

**Remarques :**

- Les enthalpies standards de formation sont données dans des tables.
- L'enthalpie standard de formation des corps simples (dans les conditions standards) est égale à zéro par définition.

**Exemple : Formation du dioxyde de carbone gazeux à partir des corps simples :**

La réaction est exothermique : la formation d'une mole de dioxyde de carbone gazeux à partir des corps simples C et O<sub>2</sub> libère une énergie 394 kJ

**B. Enthalpie standard de réaction****B.1. Définition**

• Au cours d'une réaction chimique, il y a un échange d'énergie avec l'extérieur.

► ► L'enthalpie standard de réaction,  $\Delta_r H^0$  correspond à l'énergie échangée entre un milieu réactionnel et le milieu extérieur, (dans les conditions standards), pour un avancement de la réaction valant une mole. Elle s'exprime en J.mol<sup>-1</sup>.

**SIGNE DE L'ENTHALPIE STANDARD DE RÉACTION**

Le signe de l'enthalpie standard de réaction permet de caractériser la réaction chimique :

$\Delta_r H^0 < 0$	la réaction est exothermique, le système cède de l'énergie
$\Delta_r H^0 > 0$	la réaction est endothermique, le système absorbe de l'énergie
$\Delta_r H^0 = 0$	la réaction est athermique

**Exemple : Réaction de combustion complète de l'heptane :**

La réaction de combustion d'une mole d'heptane en présence de 11 moles de dioxygène libère  $4,5 \cdot 10^6 \text{ J}$ .

**B.2. La loi de Hess**

• On peut déterminer l'enthalpie standard de réaction à la température T (à 298K généralement) à partir des enthalpies standard de formation des réactifs et des produits en utilisant la loi de Hess :

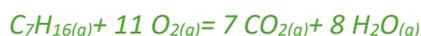
**► ► Loi de Hess :**

$$\Delta_r H^0 = \sum x_i \Delta_f H_i^0 (\text{produits}) - \sum x_i \Delta_f H_i^0 (\text{réactifs})$$

Les  $x_i$  représentent les coefficients stœchiométriques des différents produits, et réactifs, i.

**Exemples :**

substance	$O_2(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(g)$	$C_7H_{16(g)}$
$\Delta_f H^0 \text{ (J} \cdot \text{mol}^{-1})$	0 (car corps simple)	$-3,9 \cdot 10^5$	$-2,4 \cdot 10^5$	$-1,9 \cdot 10^5$

**Réaction de combustion complète de l'heptane :**

$$\Delta_r H^0 = 7 \times \Delta_f H^0(CO_{2(g)}) + 8 \times \Delta_f H^0(H_2O_{(g)}) - \Delta_f H^0(C_7H_{16(g)}) - 11 \times \Delta_f H^0(O_{2(g)})$$

$$\Delta_r H^0 = 7 \times (-3,9 \cdot 10^5) + 8 \times (-2,4 \cdot 10^5) - (-1,9 \cdot 10^5) - 11 \times (0) = -4,5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La combustion de 1 mol d'heptane (dans les conditions standards) libère  $4,5 \cdot 10^6 \text{ J}$

**B.3. Le pouvoir calorifique**

► ► Le pouvoir calorifique (noté P) ou chaleur de combustion d'une matière combustible est l'opposé de l'enthalpie de réaction de réaction par unité de masse dans les CSTP

$$\text{Pour une réaction de combustion : } PC = -\Delta_r H^0$$

Remarques : Le PC s'exprime en général en  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  mais on peut également le donner en  $\text{kJ/L}$ , en  $\text{kJ/mol}$ , en  $\text{MJ/kg}$ ,.....

**Exemples :**

$$PC(\text{éthanol}) = 29,7 \text{ MJ/kg} = 21,3 \text{ MJ/L} = 1,3 \text{ MJ/mol}$$

La combustion de 1 kg d'éthanol libère une énergie de 29,7 MJ

La combustion de 1 L d'éthanol libère une énergie de 21,3 MJ

La combustion de 1 mol d'éthanol libère une énergie de 1,3 MJ