

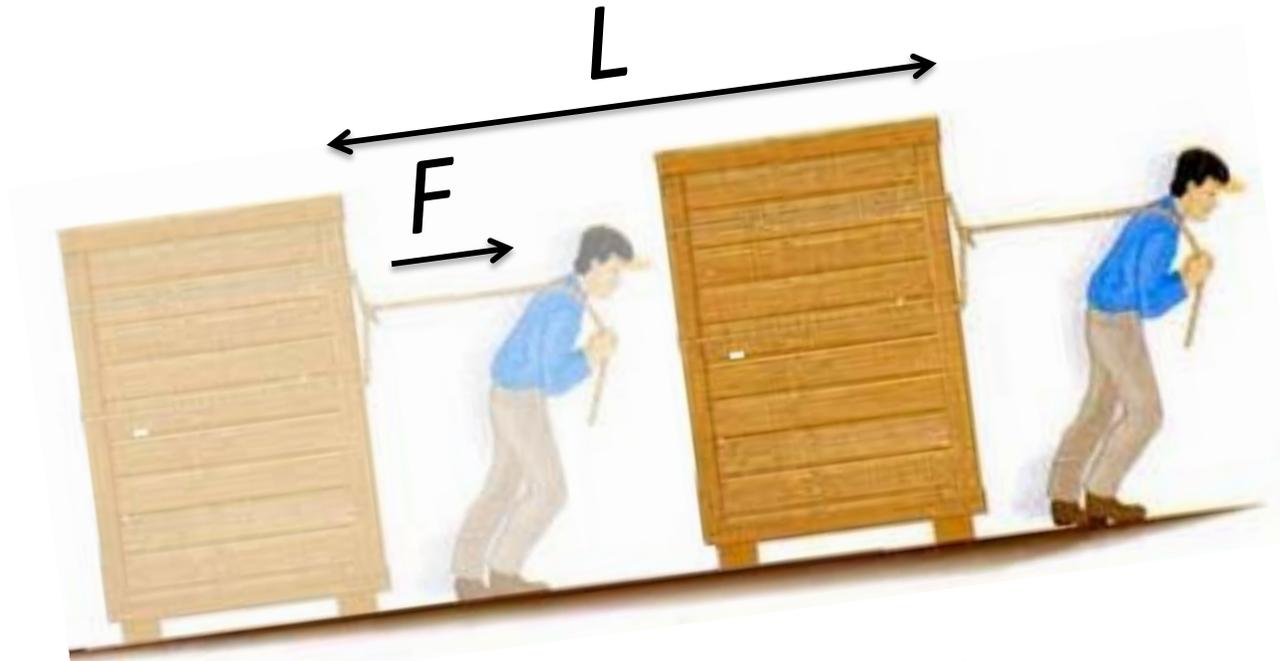
L'ENERGIE

Eric Vittoz

HB9VZ

10.11.2023

Qu'est-ce que l'énergie?



Permet de déplacer une force (travail).
Force F (ici: contre gravité et friction).
Longueur L .

Energie fournie: $E = F L$

Formes de l'énergie

Cinétique

Potentielle

Electrique

Electro-magn.

Chimique

Nucléaire

Thermique

Energies libres

L'énergie:

- ne peut **pas** être **produite**
- peut être **convertie** d'une forme à l'autre
- est **constante** dans un système fermé

Energie dégradée

UNITES EN PHYSIQUE

- Système international d'unités (SI):

Longueur	mètre (m)
Masse:	kilo (kg)
Temps:	seconde (s)
Courant:	ampère (A)
Tempér.:	kelvin (K)
Q.matière:	mole (mol)
Int. lumin.:	candela (cd)

- Unités dérivées:

Par les lois physiques.
Exemple:

Force: newton (N)

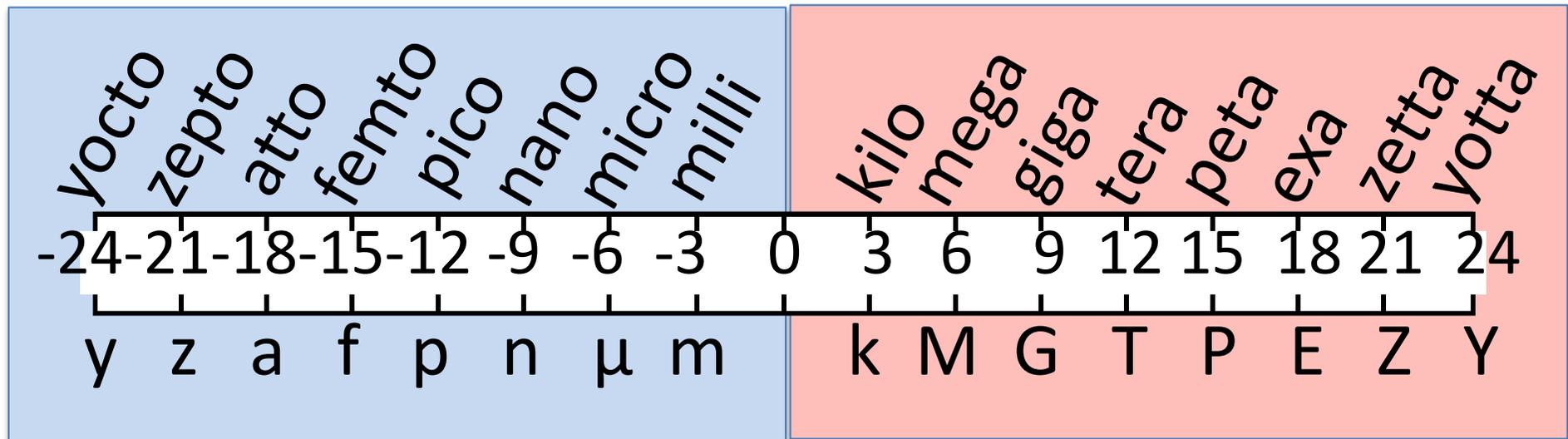
par $F=ma$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$$

Ordres de grandeur

- Grande gamme de valeurs pour une unité donnée

Exprimées en multiples de 1000 = 10^3



Exemple: 1 nm = 0.000000001 m = 10^{-9} m

Unités de mesure de l'énergie

- Joule [J] $1\text{J} = 1\text{Nm} = 1\text{kgm}^2/\text{s}^2$

travail de 1N sur 1m



- Kilowattheure (kWh): $1\text{kWh} = 3.6\text{ MJ}$
- Calorie (cal): $1\text{cal} = 4.2\text{ J}$
- Calorie alim. (Cal) $1\text{Cal} = 4.2\text{ kJ}$
- Electronvolt (eV) $1\text{eV} = 0.16\text{ aJ}$

Puissance

- Débit de l'énergie: énergie/temps

- Unités de mesure:

Watt (W) : $1\text{W} = 1\text{J}/\text{seconde}$

Kilowatt (kW): $1\text{kW} = 1\text{kWh}/\text{heure}$



100 kW



10 W



1 μW

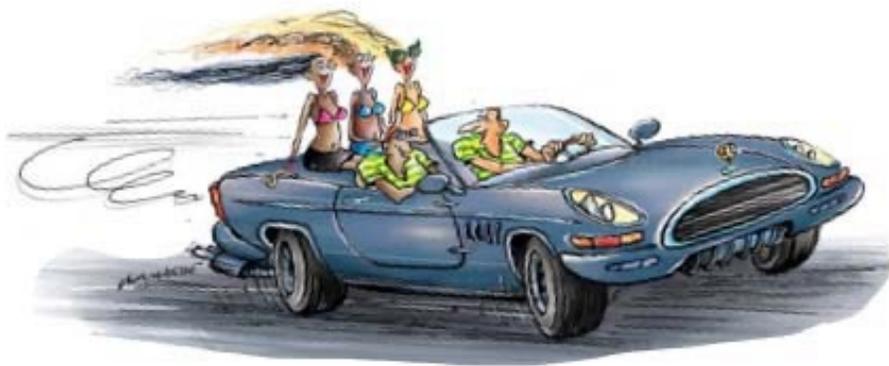
Energie cinétique

Energie E d'une masse m à vitesse v
(travail de la force pour atteindre la vitesse)

$$E = mv^2/2 \quad 1\text{kg à } 1\text{m/s} = 0.5 \text{ J}$$

1500kg à 120km/h = 0.23 kWh

Si le moteur s'arrête v baisse par



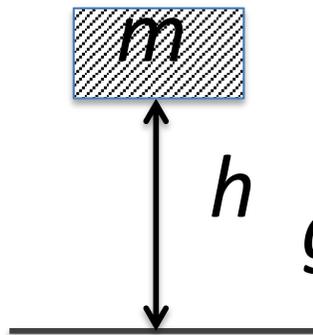
- Frictions
- Freinage
- Collision
- Montée

E dissipée
en chaleur

E potentielle

Energie potentielle (de gravité)

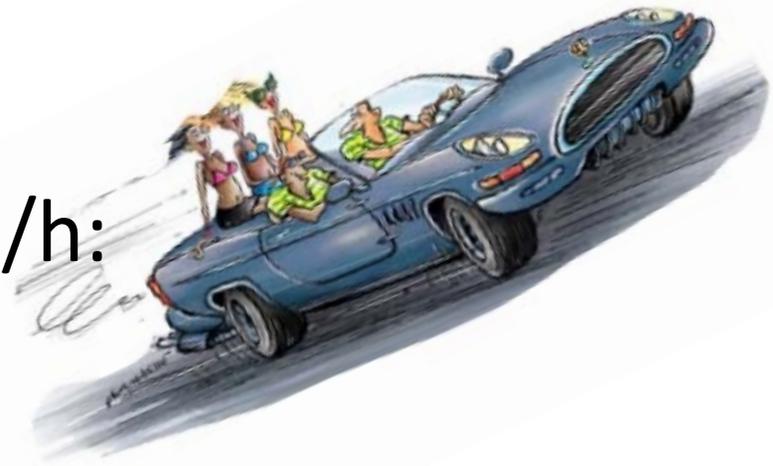
- Energie d'une masse m élevée d'une hauteur h
Travail contre la force de gravité (poids) mg



$E = mgh$ 1kg à 1m = 9.8 J

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

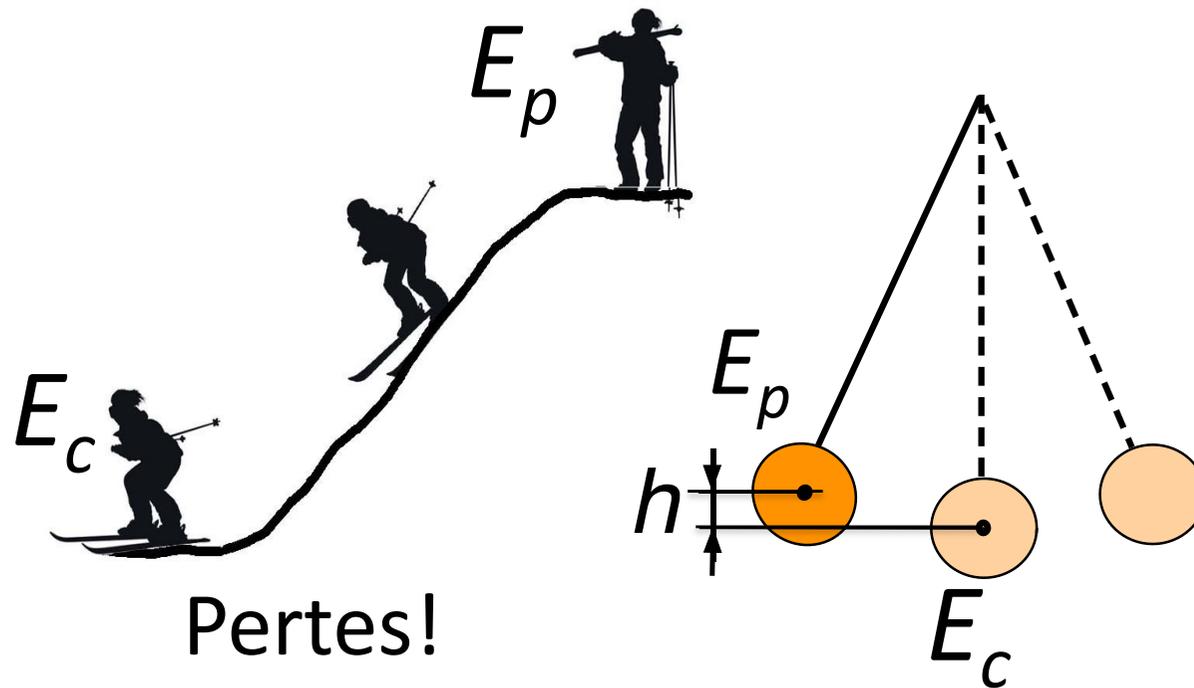
Arrêt du moteur à 120km/h:
 $h = 56.6\text{m}$ avant arrêt.
(frictions négligées)



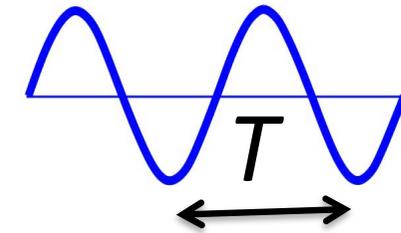
Energie mécanique

- Energie cinétique E_c + potentielle E_p
- Conversion naturelle d'une forme à l'autre.

- Isolée:



- Cyclique: oscillation:



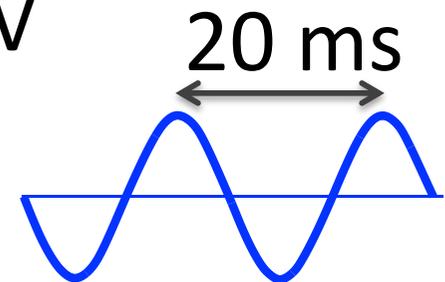
Balancier-spiral



E_p = tension du
ressort spiral

Energie électrique

- A disposition sous forme d'une tension U
 - mesurée en volts (V)
 - continue (piles, batteries): 1.5, 12 V
 - alternative (prises): 230 V, 50Hz
(valeur efficace)



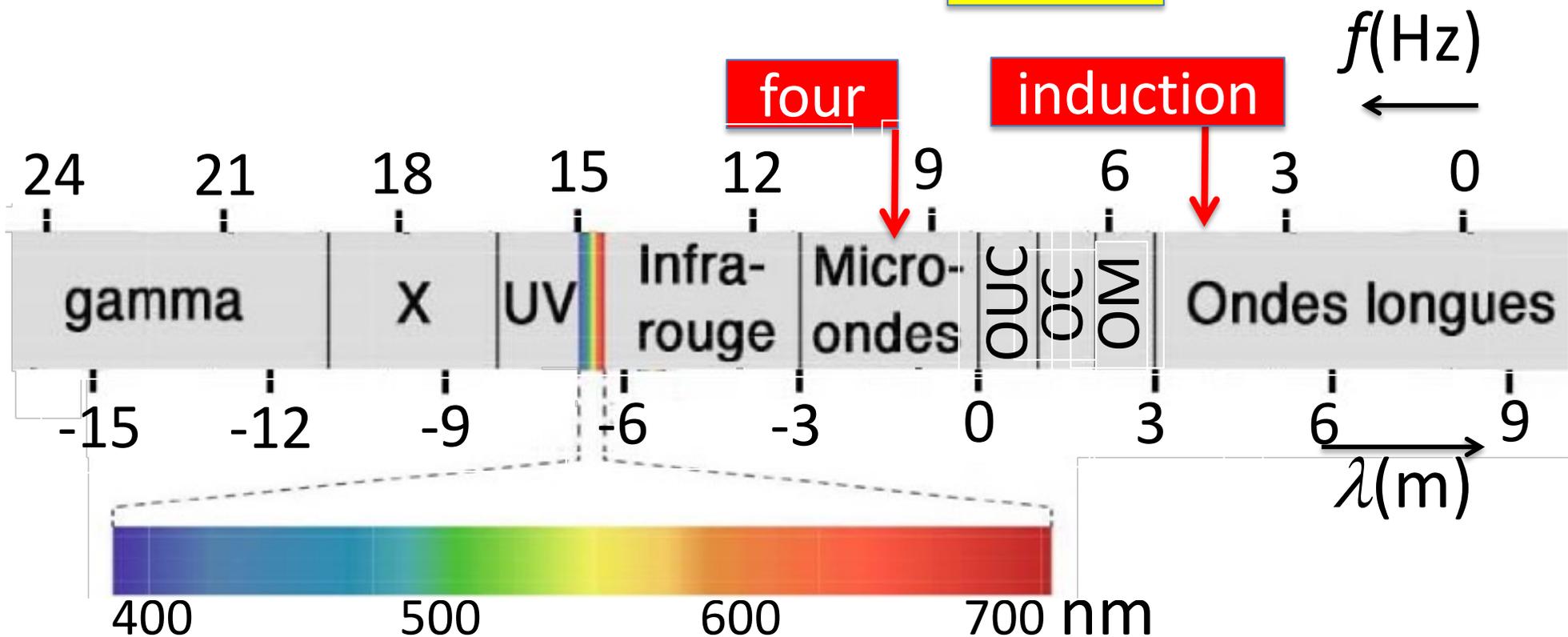
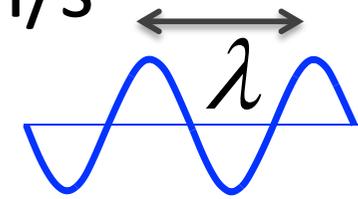
- Provoque un courant I dans l'appareil connecté
 - mesuré ampères (A).

- Puissance absorbée en watts

$$P = U I \cos \phi$$

Energie électromagnétique (EM)

- Rayonnement d'une onde
 - Se propage dans le vide à $c = 0.3 \text{ Gm/s}$
 - Caractérisée par sa fréquence f ou par sa longueur d'onde $\lambda = c/f$

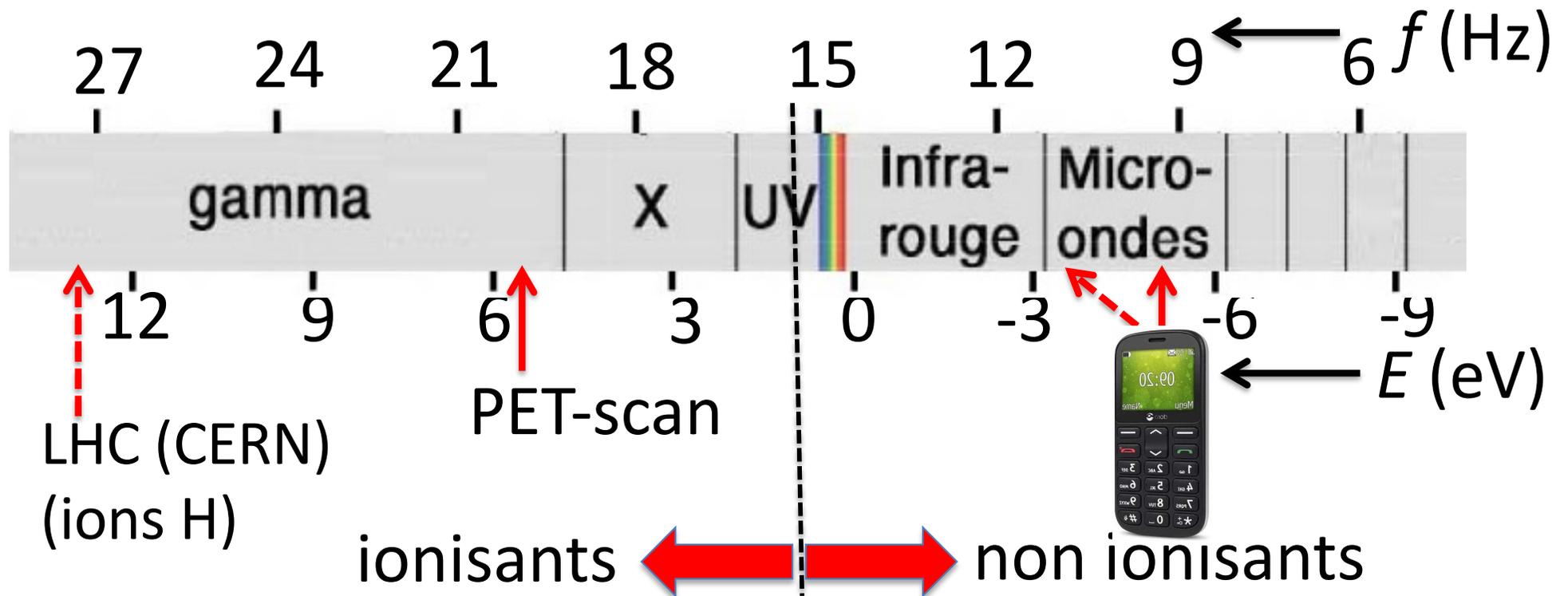


Forme corpusculaire de l'énergie EM

- Petits paquets d'énergie: photons

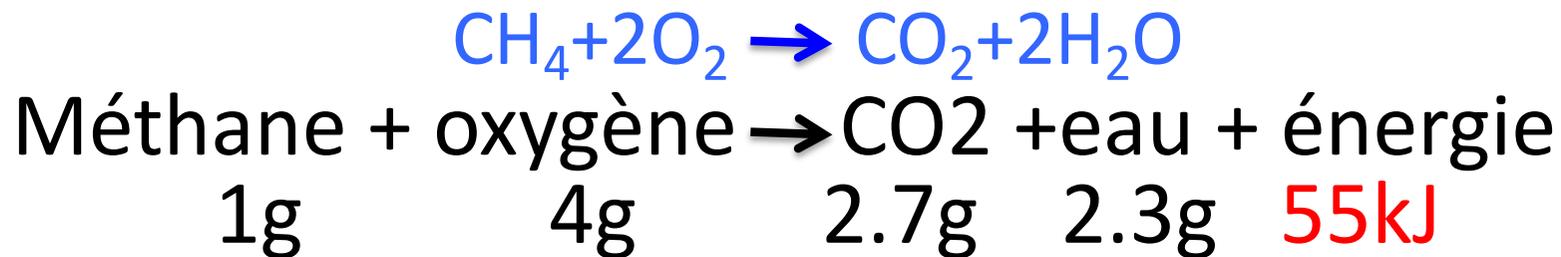
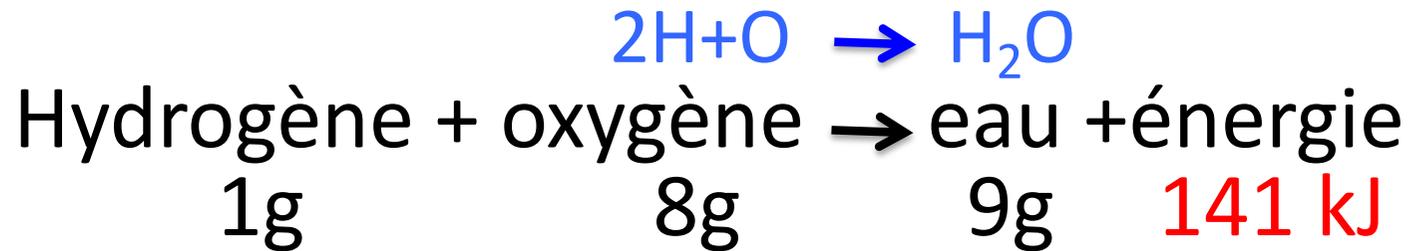
$$E = hf$$

Constante de Planck $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{Js}$



Energie chimique

Fournie ou dépensée dans un réaction chimique



1 g pétrole: 42 kJ + 3.8 g de CO₂

1 g TNT : 14.5 kJ (combustion) 4.2 kJ (explosion)

1 g ATP : 0.1 kJ (transport énergie cellulaire)

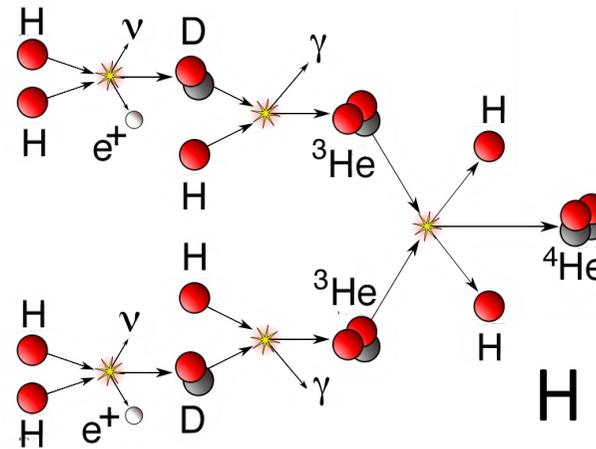
Energie nucléaire

- Energie de la matière: $E=mc^2$
1 g de matière → 90 TJ
- Conversion totale: matière-antimatière
Ex: 1 électron+1 positron → 2 photons de 82fJ (PET)
- Conversion partielle:
 - Fusion d'atomes légers: ex: hydrogène
 - Fission d'atomes lourds: ex: uranium

Fusion solaire



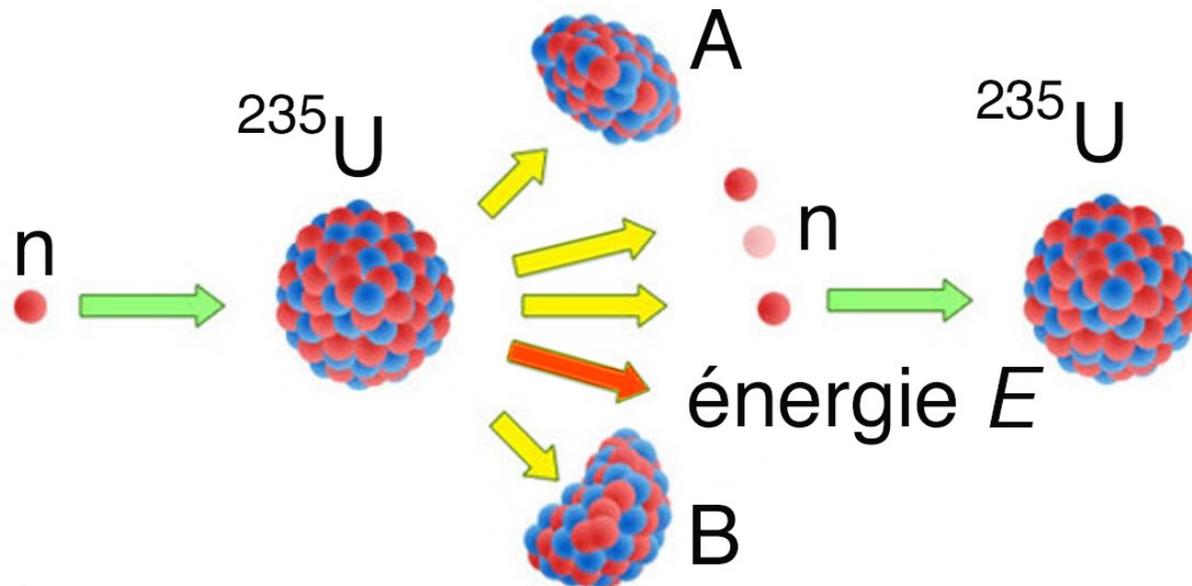
- Réaction de fusion



- Les neutrinos s'échappent : 65G/s cm^2 travers Terre
- L'énergie diffuse vers la surface (en 100 kan!)
- Puissance totale: 386 YW = $3.86 \cdot 10^{23}$ kW
- Densité de puissance seulement 300 W/m³
- Perte de masse: 4.4 Gkg/s.

Centrales nucléaires

- Réaction de fission contrôlée



- Energie moyenne: $E=32.5 \text{ pJ} \rightarrow 23 \text{ GWh/kg}$
- Réaction contrôlée par absorption des neutrons excédentaires.
- Les produits de fission sont radioactifs.

Energie thermique

- Energie cinétique des atomes et molécules
 - centaines de m/s dans directions aléatoires
- E proportionnelle à température absolue T avec

$$T \text{ (K)} = T(^{\circ}\text{C}) + 273 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Energie nécessaire à élever la température:

$$E = mc(T_{ch} - T_{fr})$$

m = masse à réchauffer

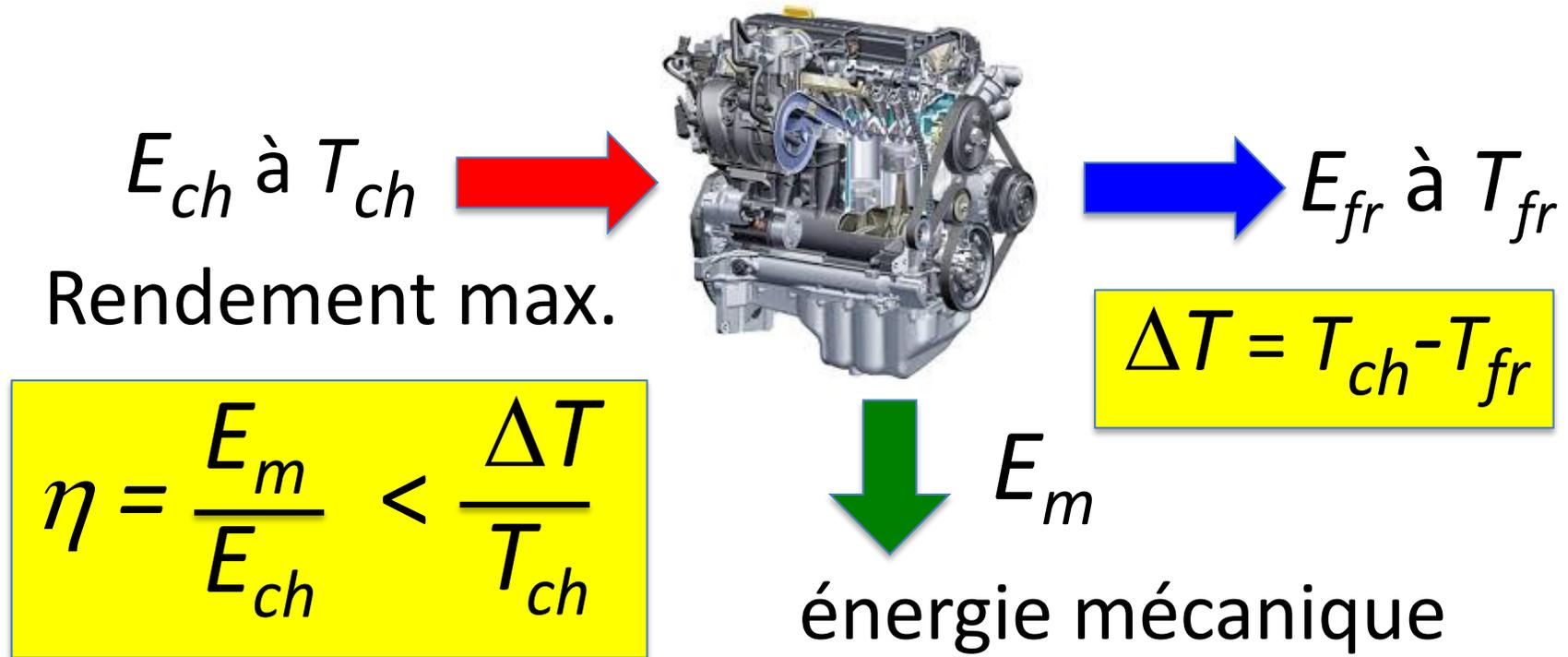
c = capacité thermique

eau: $c = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} = 4.2 \text{ kJ/kgK}$

- Convertible seulement si **2 sources** à T_{ch} et T_{fr}

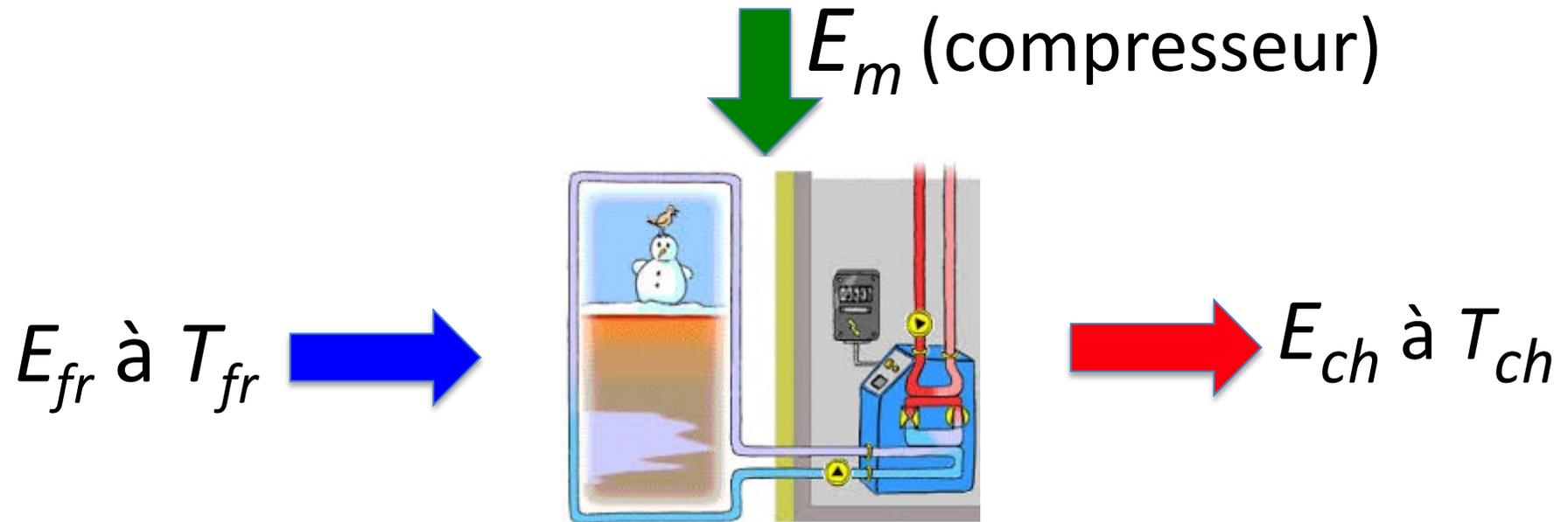
Transformation de l'énergie thermique

- En énergie mécanique: moteur thermique



- Exemple: $T_{ch}=800\text{K}$, $T_{fr}=300\text{K}$: $\eta < 62.5\%$

Pompe à chaleur



Coefficient de performance:

$$COP = \frac{E_{ch}}{E_m} < \frac{T_{ch}}{\Delta T}$$

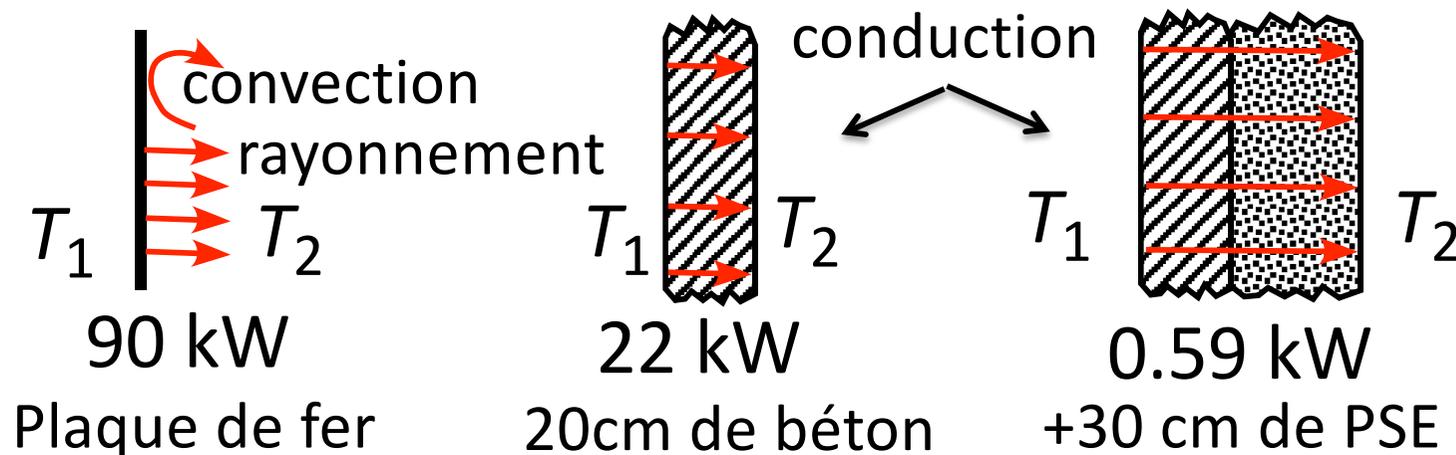
Exemple: $T_{fr} = -10^{\circ}\text{C}$

$T_{ch} = 30^{\circ}\text{C}$: COP < 6.6

$T_{ch} = 60^{\circ}\text{C}$: COP < 3.8

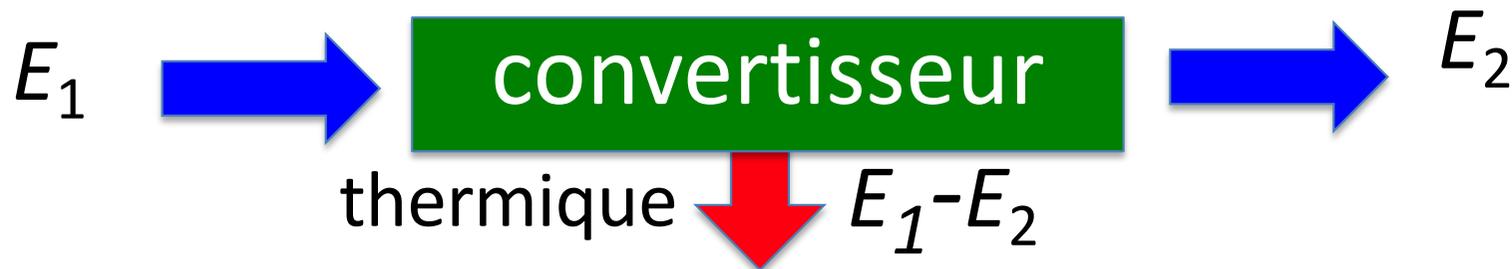
Pertes de chaleur

- Des milieux à températures différentes échangent de l'énergie pour homogénéiser ces températures.
- Echange par **conduction** , **convection** et **rayonnement** .
- Puissance proportionnelle à $\Delta T = T_1 - T_2$ et à la surface.
- Réduite par l'isolation thermique.
- Exemple pour $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ et une surface de 300m^2 .



Conversion de l'énergie libre

- Transformation d'une forme à une autre.
- Toujours une dégradation partielle en énergie thermique (dissipation d'énergie).



- Rendement de conversion:

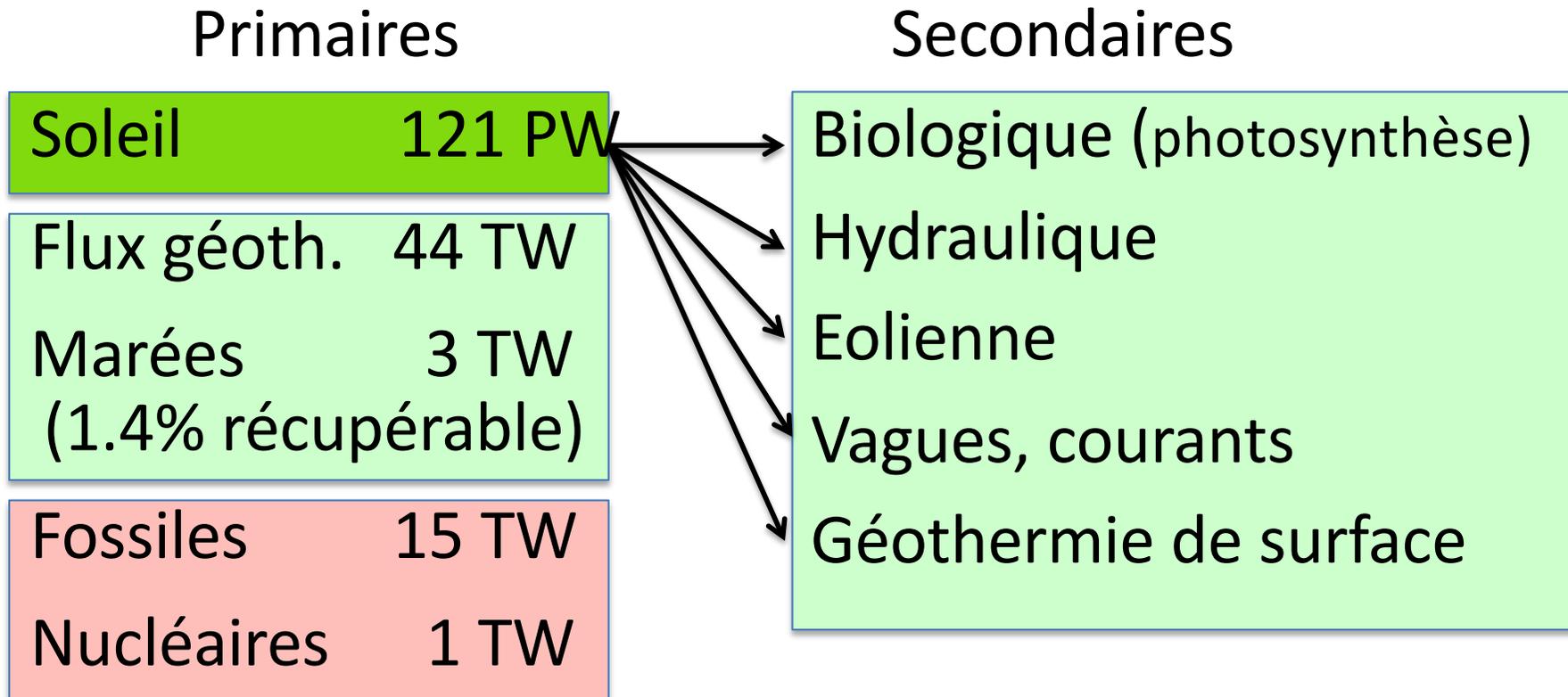
$$\eta = E_2 / E_1$$

Moteur électrique: 95%

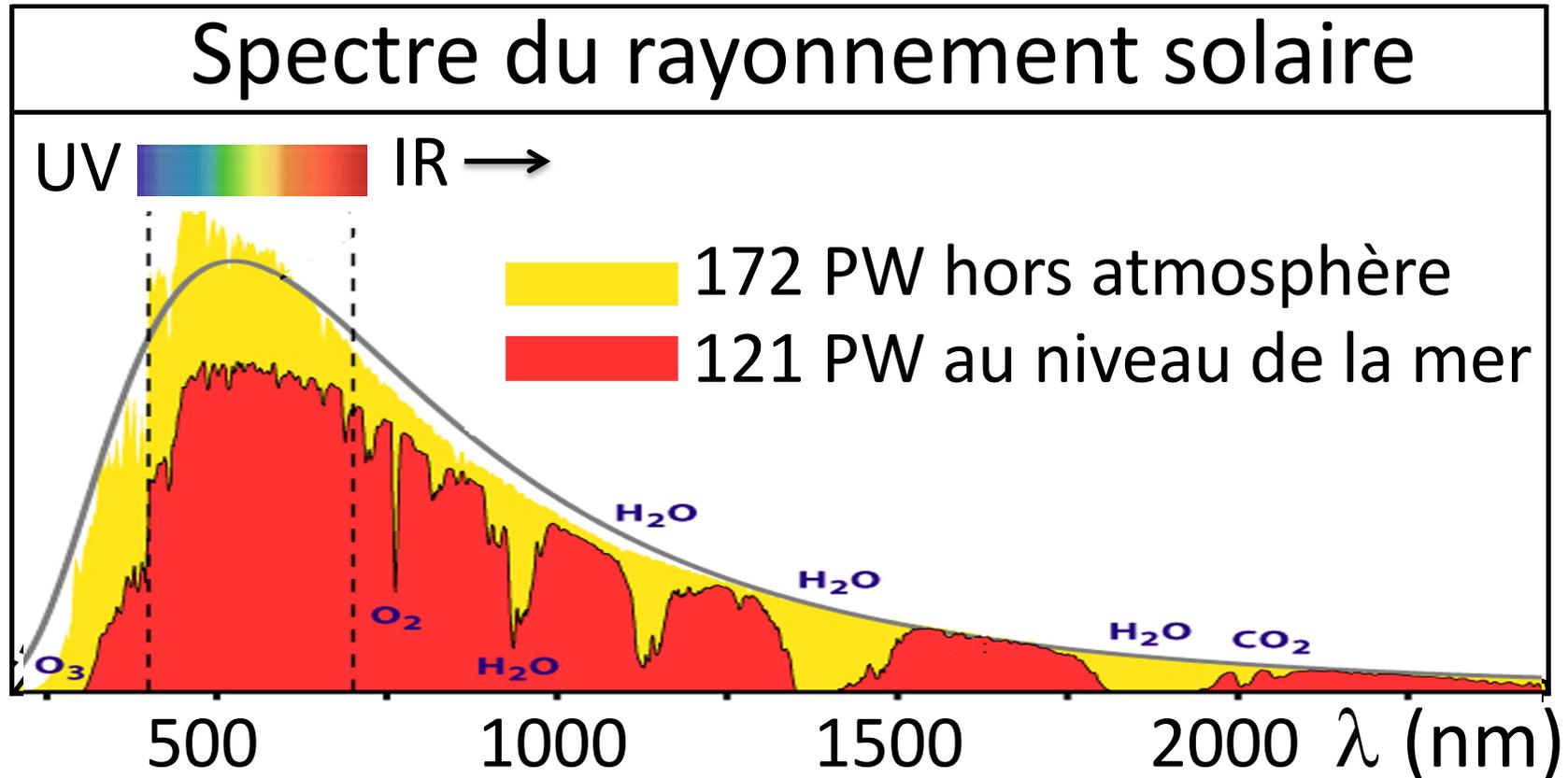
Alternateur: 95 à 98

Turbine à hydraulique :90%

Sources d'énergie

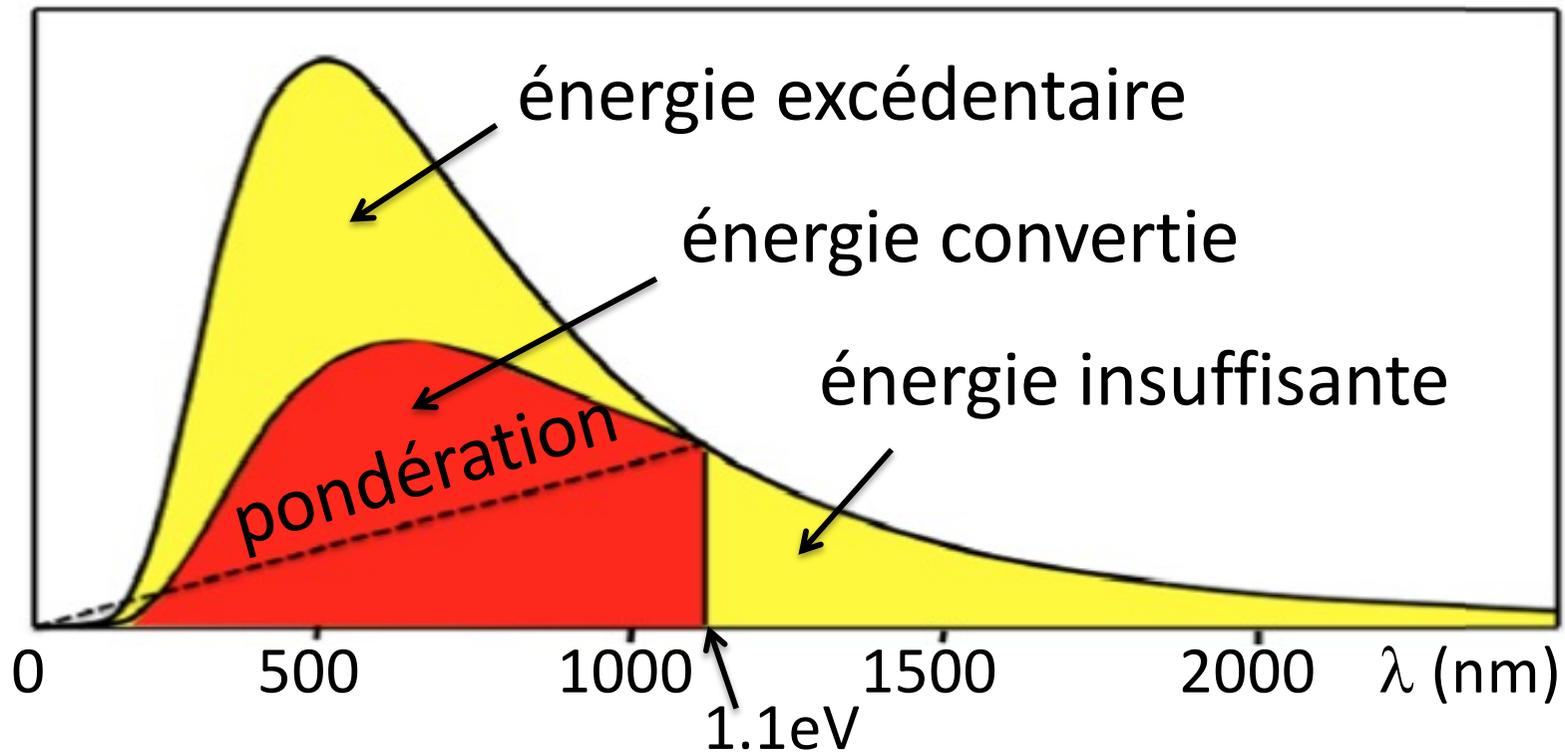


Energie solaire



- Puissance maximum (soleil au zénith): $P = 950 \text{ W/m}^2$
moyenne maximum : $P = 238 \text{ W/m}^2$
moyenne annuelle en Suisse: $P = 125 \text{ W/m}^2$
- Convertisseur passif: spectre entier.

Energie photovoltaïque



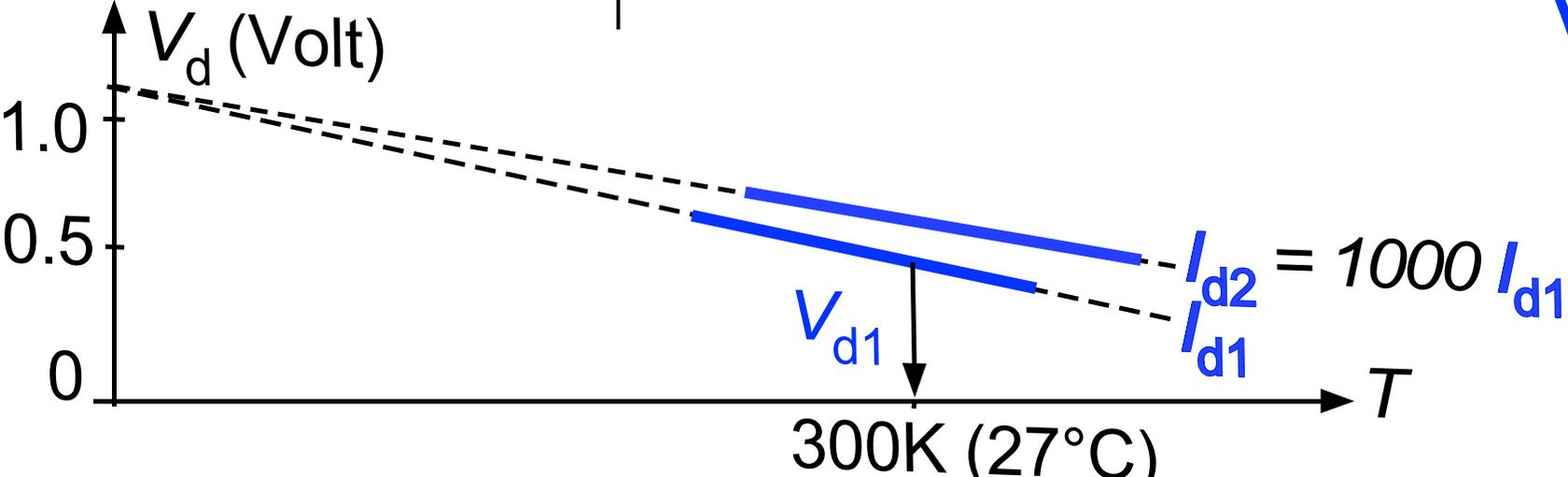
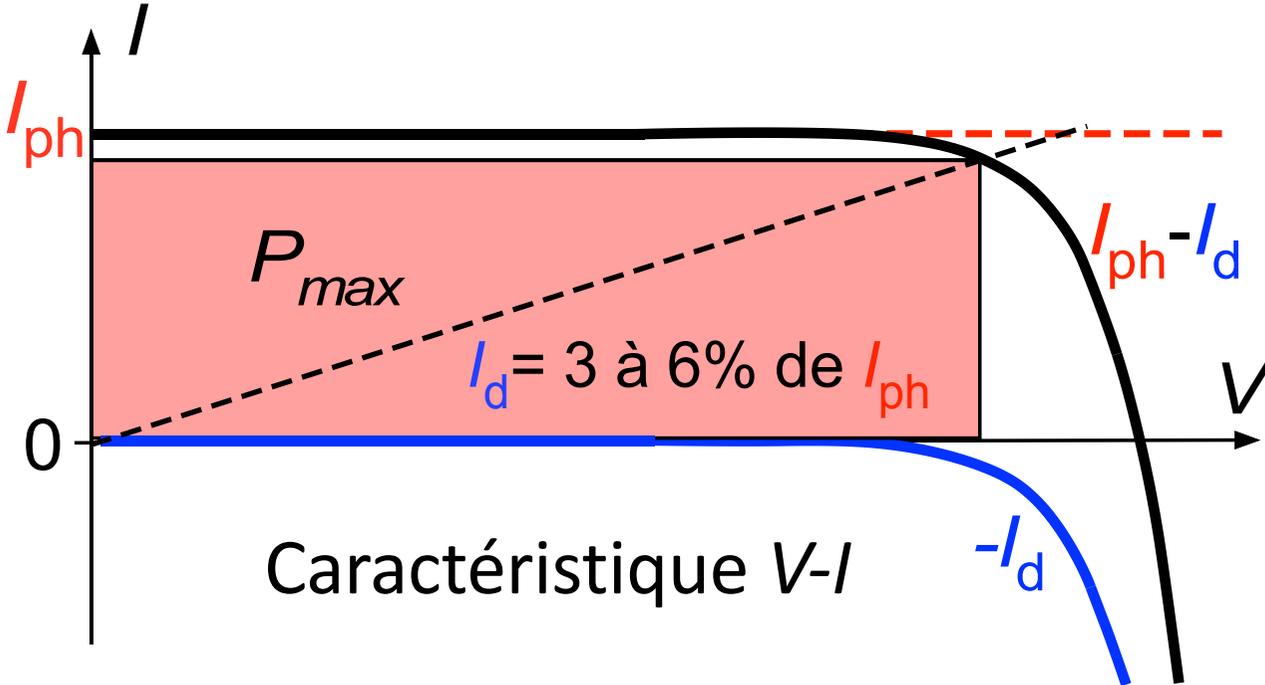
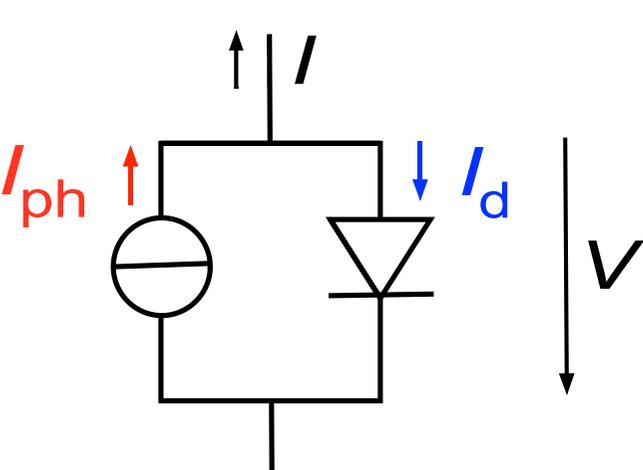
Rendement η de conversion

théorique à 0K: $\eta = 45\%$, $U = 1.1\text{V}$

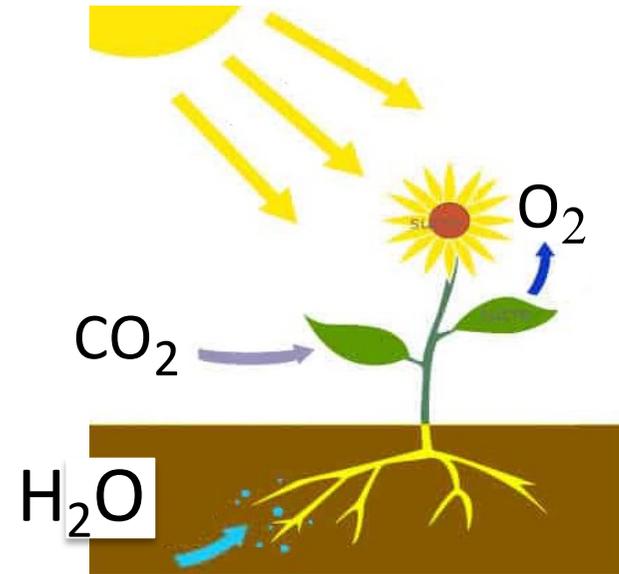
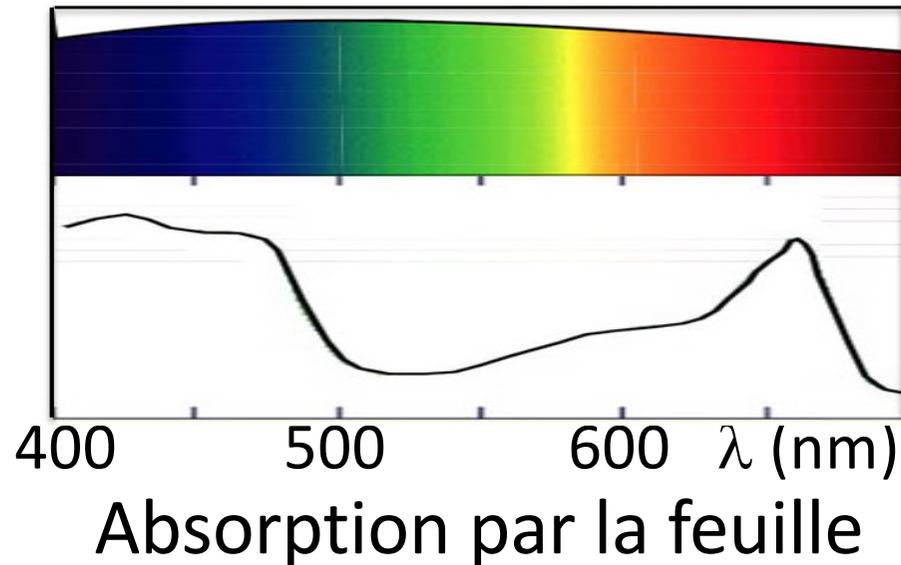
theorique à 300K: $\eta = 29\%$, $U = 0.7\text{V}$ à $1\text{kW}/\text{m}^2$

pratique: $\eta = 7$ a 24%

Cellule photovoltaïque



Photosynthèse



9g eau + 22g CO_2 → 15g glucose + 16g oxygène

- Rendement $\eta = 0.2$ à 2%, nourriture, combustible, ...
- Forêt suisse: croissance de $10 \text{ Mm}^3/\text{an}$ pour 12.6 Gm^2 donne 3.4 GW ou 0.27 W/m^2 ($\eta = 0.2 \%$)

Energie hydraulique

- Energie potentielle de l'eau $E=mgh$
- Exemple: Grande Dixence
 - volume d'eau: 400 Mm^3
 - hauteur de chute: 1883 m
 - $E= 7.4 \text{ PJ}=2.05 \text{ TWh}$
 - centrale de Bieudron (énergie cinétique, $v =190 \text{ m/s}$)
 - $P_{\text{max}}= 1270 \text{ MW}$ pour $75 \text{ m}^3/\text{s}$
- Centrales au fil de l'eau: faible hauteur, gros débit.
 - Faible réserve d'énergie
 - Puissance dépendant du débit



Stockage de l'énergie

- Thermique dans le sol (géothermie de surface)
- Potentielle (pompage-turbinage), $\eta = 80\%$
- Cinétique (volant inertiel)
- Accumulateurs électro-chimiques $\eta = 80\%$
- Hydrogène $\eta < 60\%$
- Air comprimé
- Carburants fossiles

Transport de l'énergie

- Combustibles: oléoducs. gazoducs, trains....
- Electricité: haute tension pour reduire les pertes
 - Courant alternatif
 - Transformateur élévateur de tension
 - Lignes de transmission.
 - Transformateur abaisseur de tension.
 - Synchronisation des réseaux interconnectés.

Bilan énergétique de la Terre

- Toute l'énergie reçue du Soleil finit en chaleur.
- Compensée par le rayonnement IR de la Terre.
- Partiellement renvoyé par l'atmosphère pour

$$T = 15^{\circ}\text{C}$$

sans atmosphère:

$$T = -18^{\circ}\text{C}$$

Equilibre délicat:

0.3 °C par % renvoi

