

Production Centralisée et décentralisée de l'énergie électrique

Par: Pr. Aissa CHOUDER

Ce cours est destiné aux étudiants Master 1 Réseau Electrique (RE). L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants les fondamentaux de la génération de l'énergie électrique selon le paradigme actuel qui est la génération centralisée et aussi les nouveau concepts de la génération décentralisée. Ce cours a également pour but de dresser les différentes topologies et les constituants de base des deux architectures adoptées pour la génération de l'énergie électrique.

Chap1: Les Formes de l'Énergie

- *l'électrotechnique traite de la création, du transport et de la transformation de l'énergie électrique*

***La force est l'agent du changement
et l'énergie est une mesure du changement.***

DONC l'énergie pure n'existe pas.

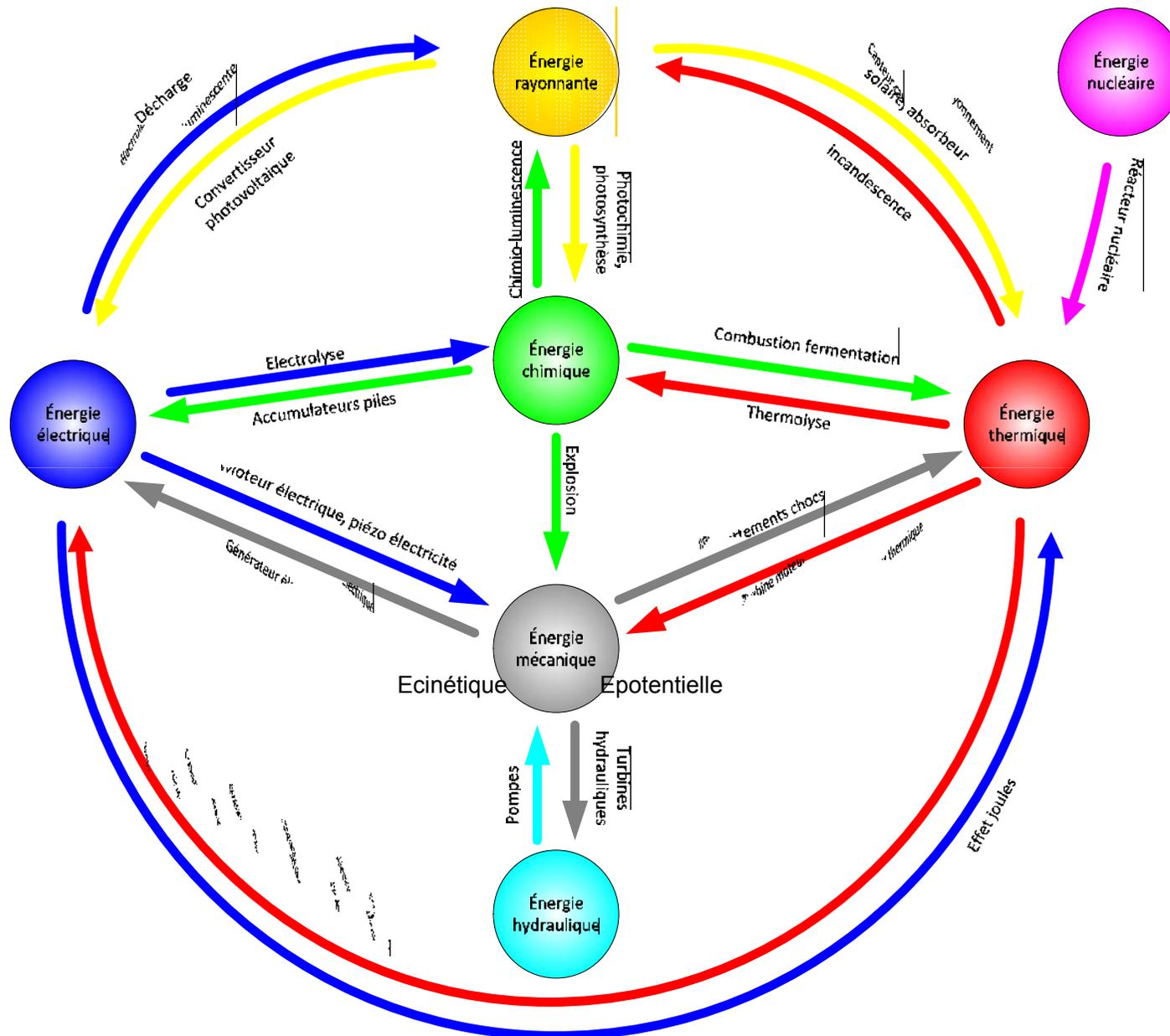
Suivant le changement physique considéré on lui associera une

- *énergie cinétique : système dont la vitesse change*
- *énergie potentielle: système dont l'altitude change*
- *énergie thermique : système dont la température change*
- *énergie électrique : système dont la tension ou le courant change*
- *énergie de rayonnement : système où le rayonnement change*
- *énergie de combustion: système où les liaisons moléculaires sont modifiées*
- *énergie nucléaire : système où la cohésion de l'atome est modifiée*

L'énergie se mesure en Joules

***La propriété fondamentale de l'énergie est de pouvoir changer de forme :
elle se transfère et modifie sa nature.***

Les différentes formes de l'énergie



Unités d'énergie

*Historiquement la **calorie** fut la première unité de travail, elle perdure dans l'alimentation : Une calorie(cal)= 4,19 J*

*Dans le domaine de l'électricité : 1 **kWh**=3600.10³ J*

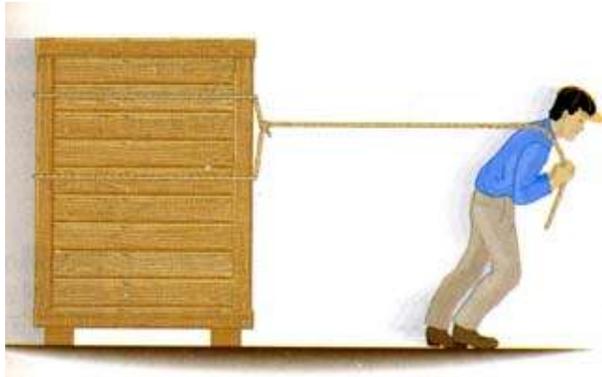
*La tonne équivalent pétrole : 1 **tep** = 43 GJ*

Rappels:

- Kilo: 10³
- Mega: 10⁶
- Giga: 10⁹
- Tera: 10¹²
- Peta: 10¹⁵

Le Travail: énergie du changement créé par une force

En translation

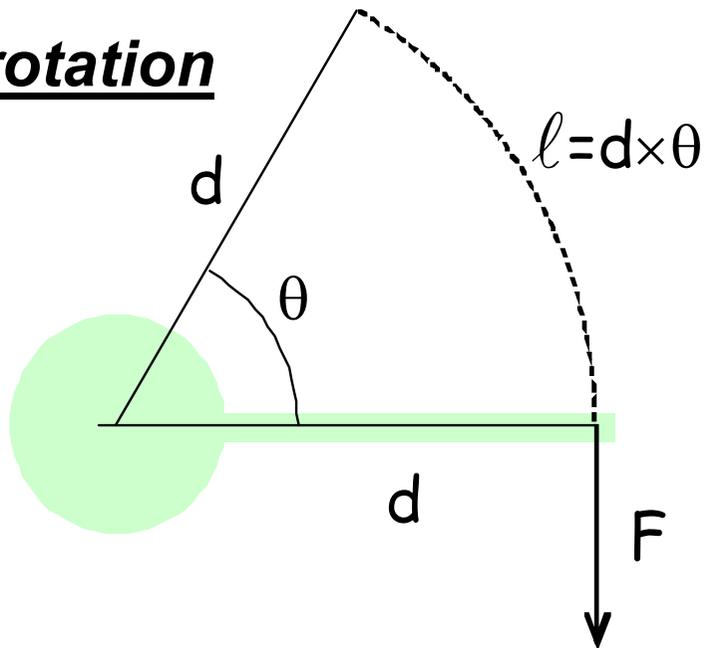


$$\Delta W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

$$\Delta W = F \cdot d \cdot \cos\left(\angle \vec{F} \vec{d}\right)$$

$$[J] = [N] \cdot [m]$$

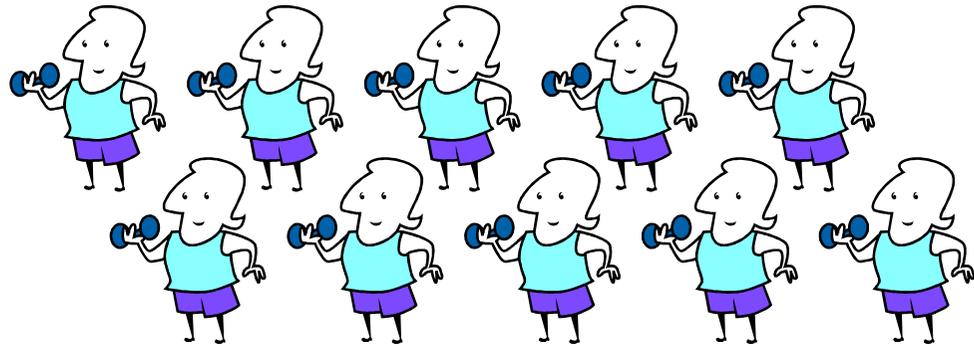
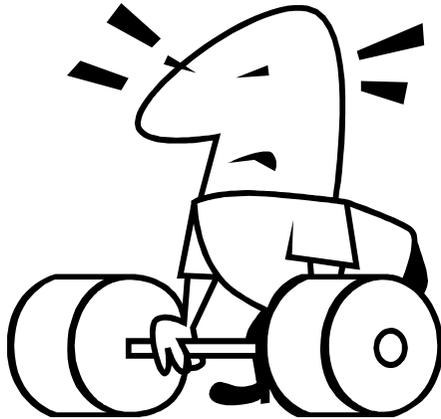
En rotation



$$W = F \times \ell = F \times \underbrace{d \times \theta}_T = T \times \theta$$

$$[J] = [N] \cdot [m] \cdot [rad] = [N \cdot m] \cdot [rad]$$

La Puissance

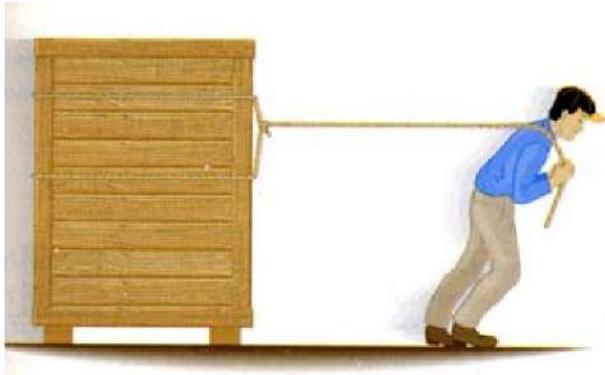


*Dépense énergétique égale
Puissance 10 fois plus grande*

$$P_m = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$
$$[W] = \frac{[J]}{[s]}$$

La Puissance

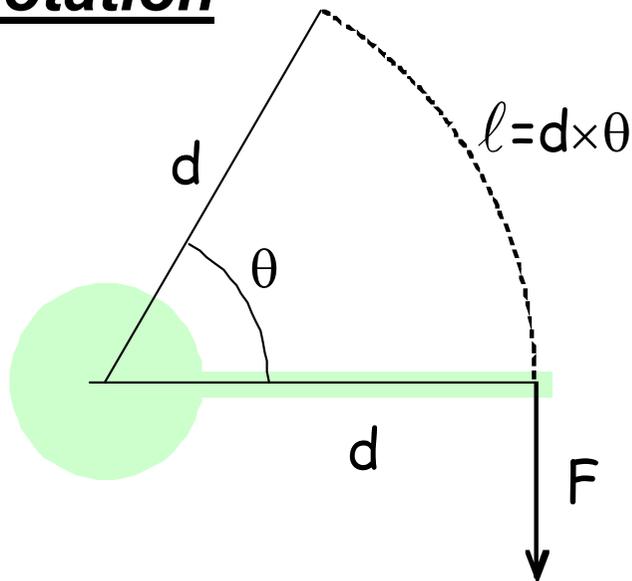
En translation



$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta(F \cdot d)}{\Delta t} = F \times \underbrace{\frac{\Delta(d)}{\Delta t}}_v = F \times v$$

$$[W] = [N] \cdot [m \cdot s^{-1}]$$

En rotation



$$P = \frac{dW}{dt} = T \times \underbrace{\frac{d\theta}{dt}}_{\Omega} = T \times \Omega$$

$$[W] = [N \cdot m] \cdot [rad \cdot s^{-1}]$$

L'énergie thermique

Transfert d'énergie thermique:

La quantité de chaleur dépend

- de la variation de température
- De la capacité calorifique
- De la masse du corps

$$Q = m \times C \times (T_f - T_i)$$

$$[J] = [kg] \times [J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}] \times [^\circ C]$$

L'énergie mécanique

- **Energie cinétique de translation**

Eau d'une turbine , choc d'une voiture, fusée

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2$$

$$[J] = [kg] \cdot [m \cdot s^{-1}]^2$$

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2)$$

- **Energie cinétique de rotation ou angulaire**

Voiture à friction , stockage inertiel, volant
moteur

$$E_r = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

J moment d'inertie
en kg.m²

- **Energie potentielle de pesanteur**

Chute d'eau, tremplin,

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$[J] = [kg] \cdot [m \cdot s^{-2}] \cdot [m]$$

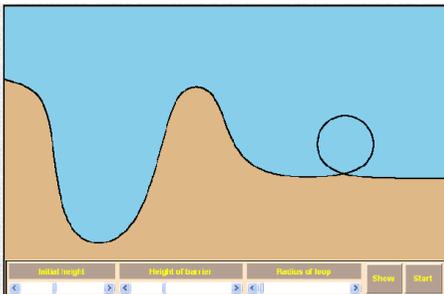
$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$$

g: constante
gravitationnelle =
9,81 ms⁻²

- **Energie potentielle élastique**

Ressort de montre

$$E = \frac{1}{2} . k . (x_2^2 - x_1^2)$$



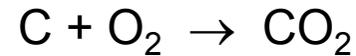
Energie mécanique

$$E_m = E_p + E_C$$

Constante en l'absence de perte

L'énergie chimique

Lors de la combustion des gaz



L'énergie de rayonnement

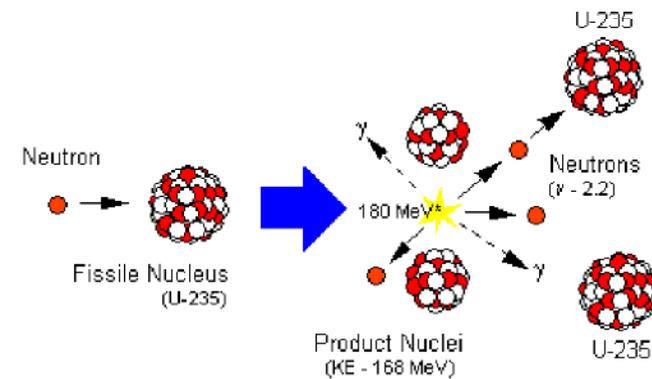
$$E = hf$$

$h: 6,62 \cdot 10^{-34}$

Constante de Planck

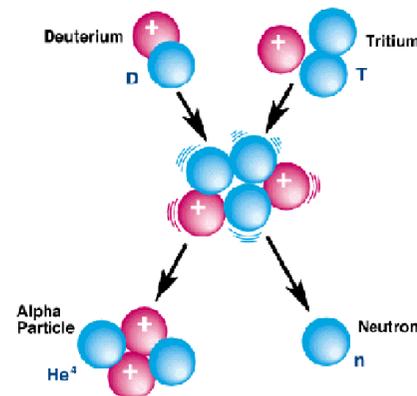
L'énergie nucléaire

La fission



La fusion

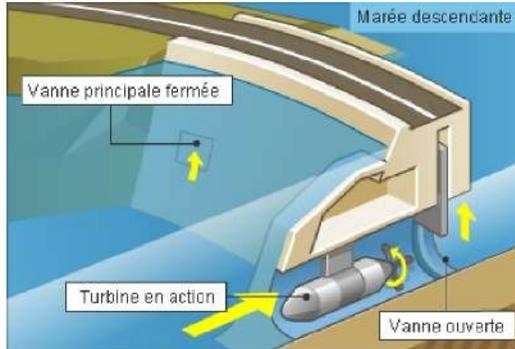
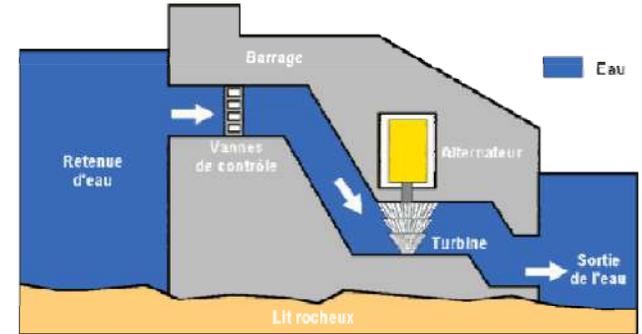
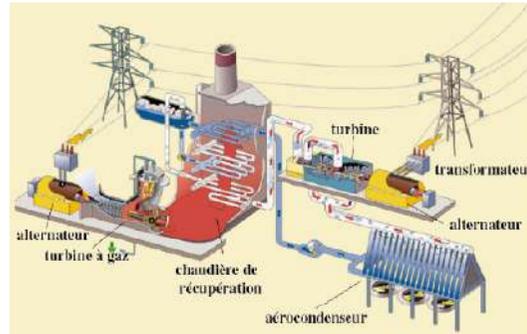
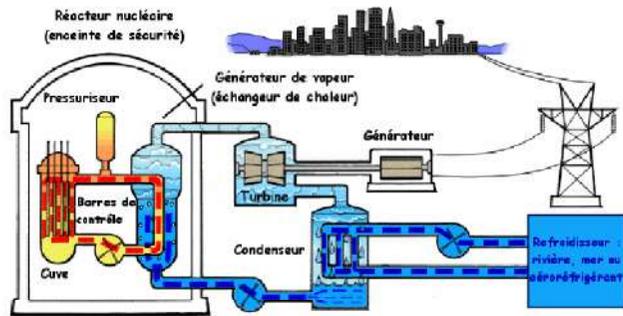
Deuterium-Tritium Fusion Reaction



L'énergie électrique

Energie électrique

$$W = U \times I \times t$$



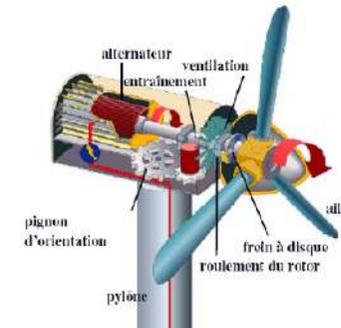
Capteur cylindre-parabolique à la centrale solaire de Kramer Junction en Californie



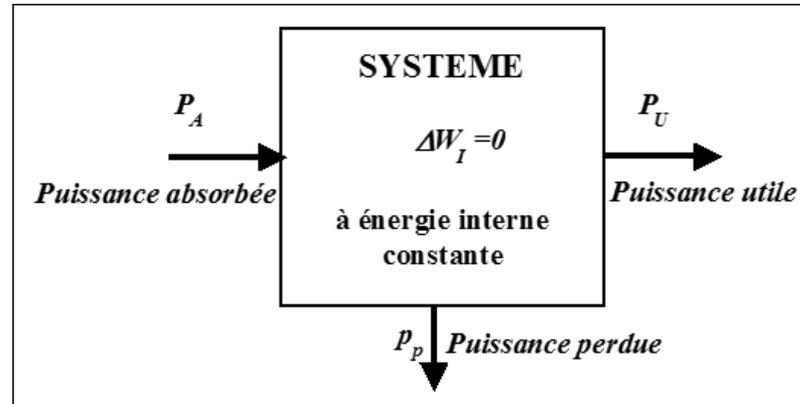
Capteur parabolique "Euro-dish" sur la Plate-forme solaire d'Almeria en Espagne



La centrale expérimentale de 50 kW à Manzanares



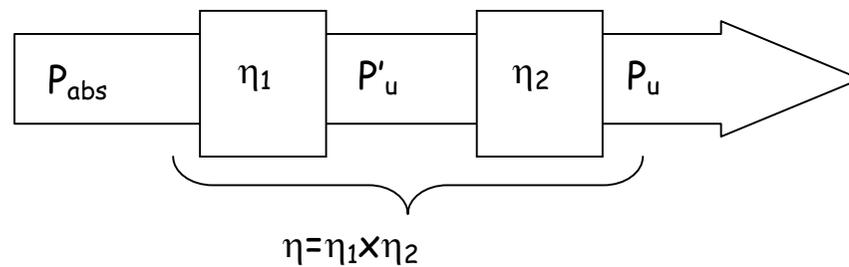
Bilan d'énergie



$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - p_p}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + p_p}$$

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

$$p_p = (1 - \eta) \times P_{\text{absorbée}}$$



$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} = \eta_1 \times \eta_2$$

Les différentes phases de l'énergie

Énergie primaire : énergie n'ayant subi aucune conversion. La production primaire d'énergie correspond à l'extraction d'énergie puisée dans la nature et, par extension, à la production de certaines énergies " dérivées " (électricité dite " primaire " qui provient de centrales hydrauliques ou nucléaires, d'origine photovoltaïque, éolienne, géothermique).

Énergie secondaire (ou dérivée) : énergie provenant de la conversion d'une énergie primaire ou d'une autre énergie dérivée.

Chaleur
Méca : Rotation

Énergie finale : énergie délivrée aux consommateurs pour être convertie en énergie " utile ". Exemple : électricité, essence, gaz, gazole, fioul domestique etc.

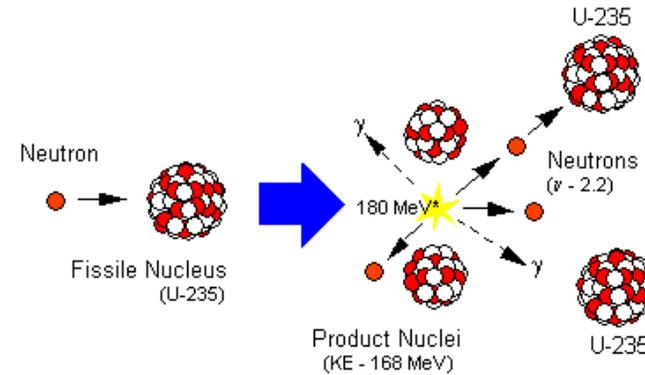
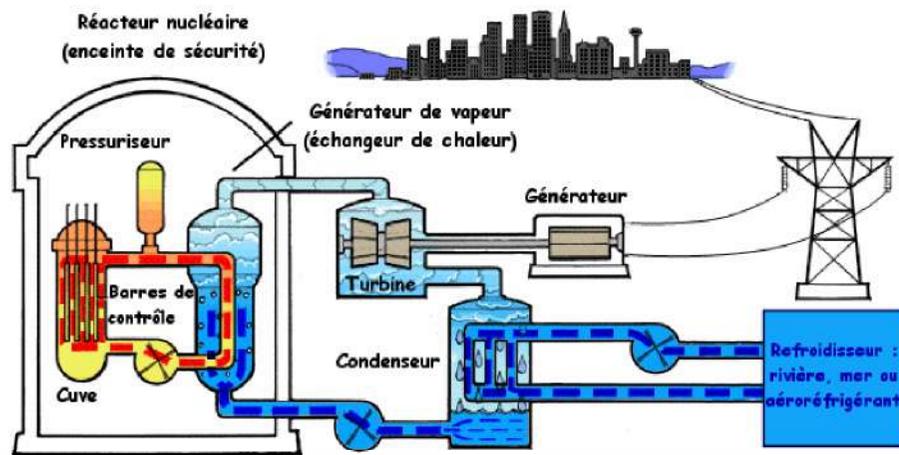
Electrique

Énergie utile : énergie dont dispose le consommateur, après la dernière conversion (c-à-d en usage final), à partir de ses propres équipements.
de l'énergie

Mécanique

Production d'énergie électrique

Le nucléaire



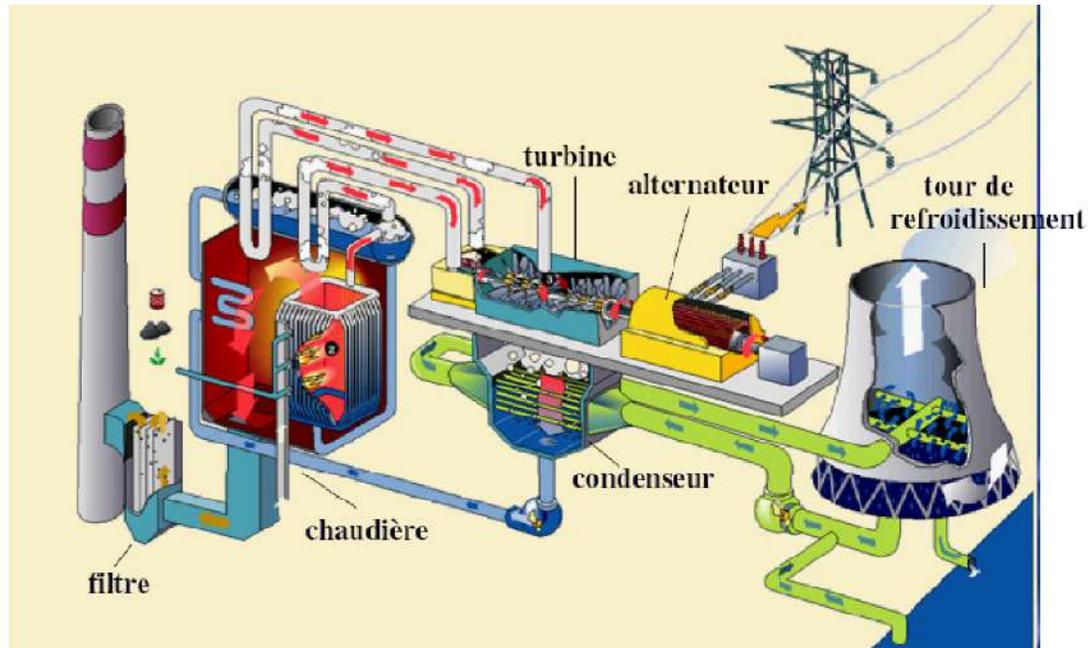
1400MW / tranche



1% de l'uranium naturel

Production d'énergie électrique

Les centrales thermiques



Charbon

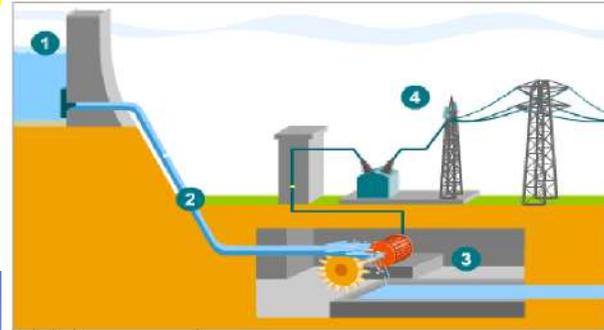
Fioul

Gaz

Production d'énergie électrique

Les centrales hydrauliques

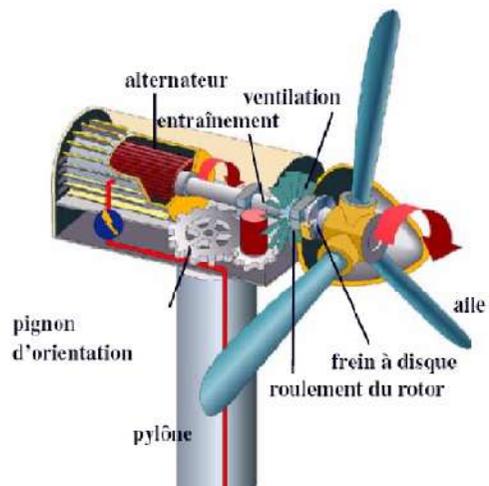
$$P = \rho Qgh$$



Production d'énergie électrique

Les éoliennes

$$P = \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2$$



Production d'énergie électrique

Energie photovoltaïque



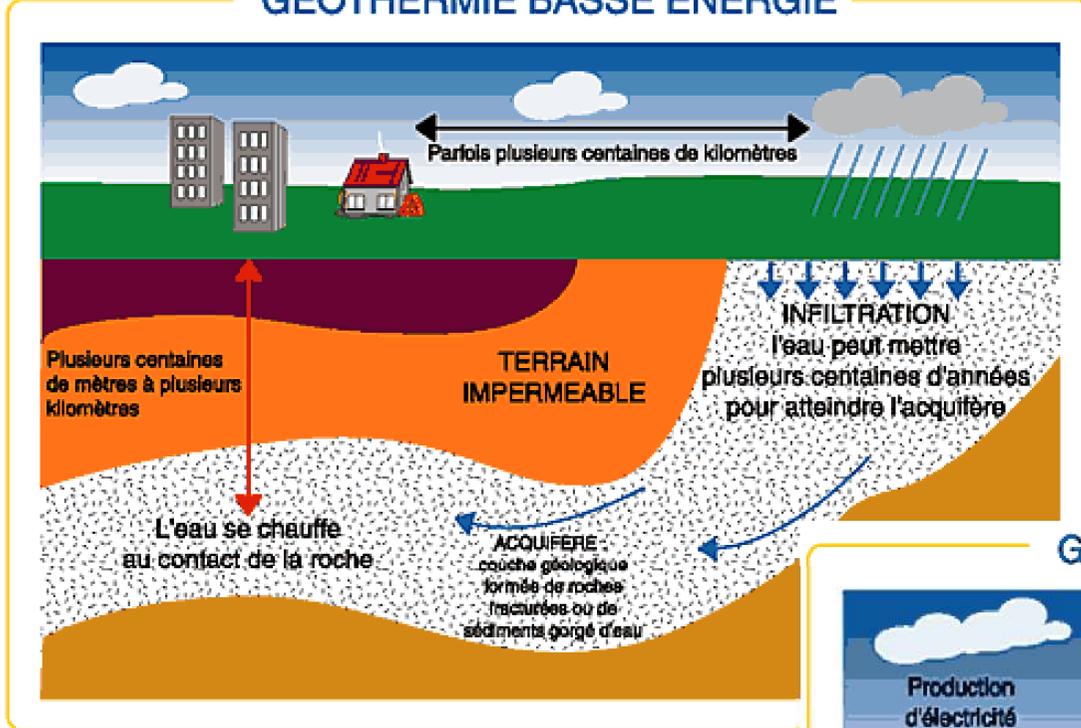
Source: <http://groupe-electrogene.xtrmexport.com/>

- L'énergie électrique fournie par les modules dépend :
 - *De la surface des modules,*
 - *De l'ensoleillement,*
 - *De l'inclinaison des modules,*
 - *De l'orientation des modules,*
 - *De la température ambiante.*



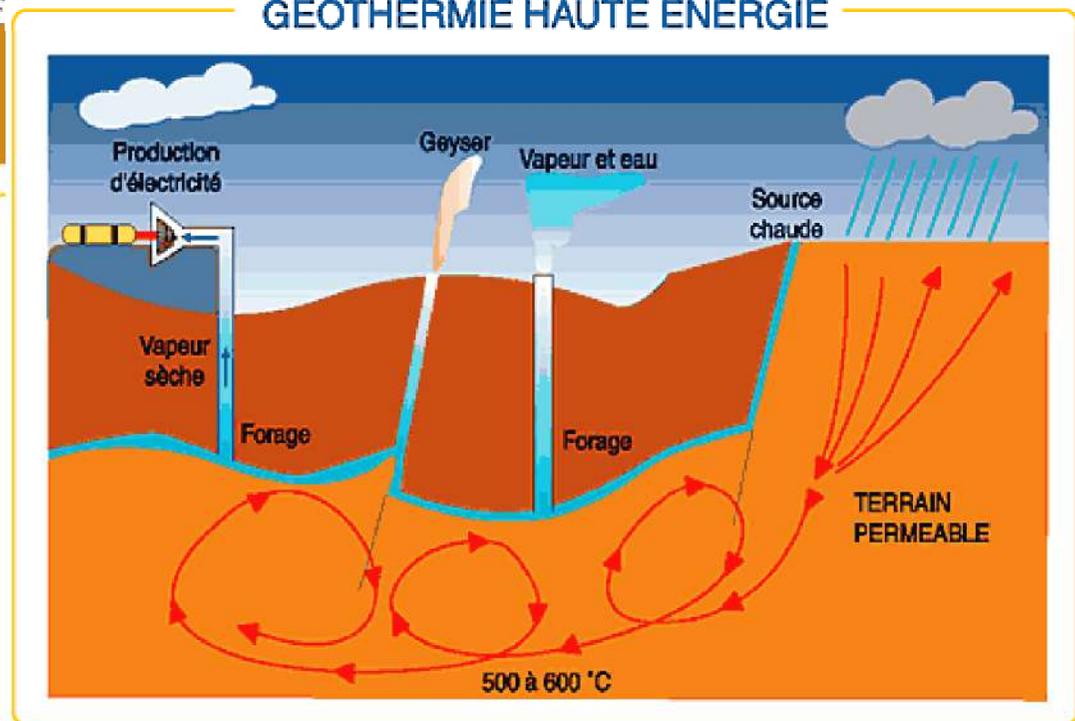
Source: <http://mm.stedebouwarchitectuur.nl>

GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE



Géothermie

GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE

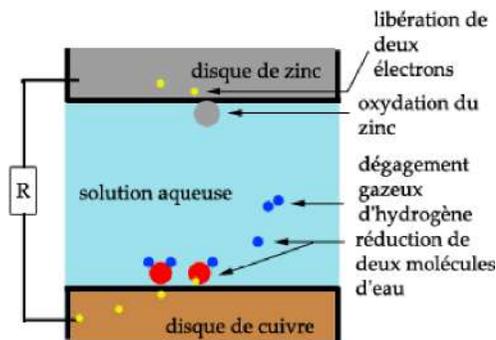


Origine de la production

dans le monde en 2007

- Énergie thermique : 12740 TWh, soit 68%
- Énergie hydraulique : 2999 TWh, soit 16%
- Énergie nucléaire : 2593 TWh, soit 14%
- Énergies renouvelables hors hydraulique : 474 TWh, soit 3%

Stockage de l'énergie: piles et accumulateurs



Fem résistance interne $U_{PN} = E - rI$

Capacité $Q = I \times t$

Dépend du courant de décharge : plus on décharge vite moins la capacité est importante.

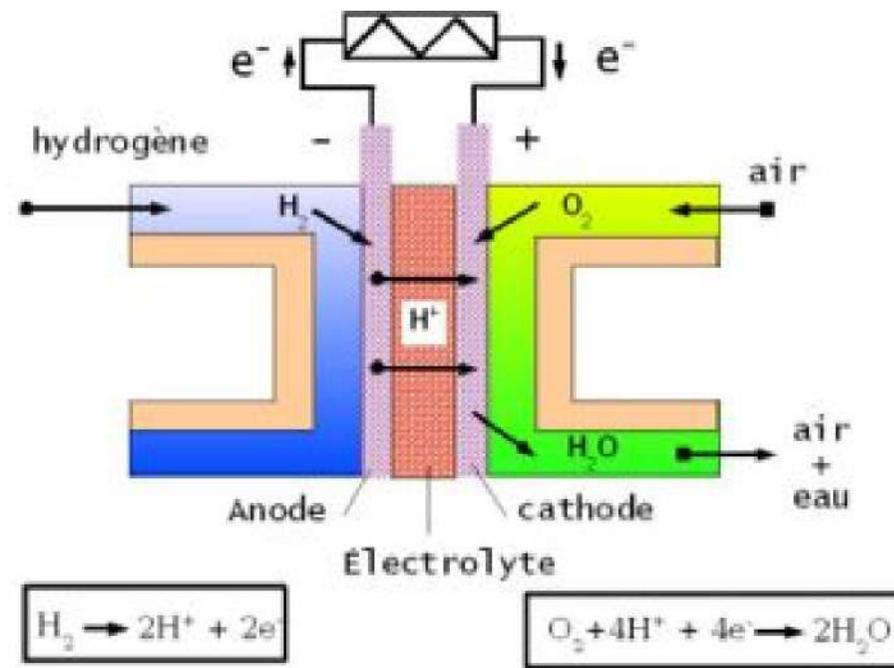
On parle de I_{10} : décharge de l'accu en 10 h

Energie disponible $W = E \times I \times t = Q \times E$

Type	Densité massique en Wh/kg	Densité volumique en Wh/l	Tension d'un élément	Puissance en pointe (massique) en W/kg	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge par mois
Plomb/acide	30 - 50	75 - 120	2,25 V	700	400 - 800	5 %
Ni-Cd	45 - 80	80 - 150	1,2 V	?	1 500 - 2 000	> 20 %
Ni-MH	60 - 110	220 - 330	1,2 V	900	800 - 1 000	> 30 %
Ni-Zn	70 - 80	120 - 140	1,65 V	1 000	> 1 000	> 20 %
Na-NiCl ₂ (ZEBRA)	120	180	2,6 V	200	800	→ 100 % (12 %/jour)
Pile alcaline	80 - 160	?	1,5 - 1,65 V	?	25 à 500	< 0,3 %
Li-ion	90 - 180	220 - 400	3,6 V	1 500	500 - 1 000	10 %
Li-Po	100 - 130	?	3,7 V	250	200 - 300	10 %
Li-PO ₄ (lithium phosphate)	120 - 140	190 - 220	3,2 V	800	2 000	5 %
LMP (lithium metal polymer)	110	110	2,6 V	320	?	?
Li-Air	1 500 - 2 500	?	3,4 V	200	?	?

Stockage de l'énergie:

Pile à combustible



Réserves Mondiales

<i>Réserves mondiales d'énergies selon la source d'énergie</i>				
	Réserves mondiales (en Gtep)	Réserves mondiales (en %)	Production annuelle (en Gtep)	Nombre d'années de production à ce taux
Pétrole	234	22%	4,0	58
Gaz naturel	208	19%	3,3	62
Charbon	603	56%	3,95	153
Uranium	30	3%	0,59	48
Hydraulique	2,7		0,79	-
Éolien	8,8		0,03	-
Solaire	92 000		0,000 7	-
Biomasse	70			-
Pétrole (non conventionnel)	410	33%	3,9	105
Uranium (réserves supposées)	65	5%	0,62	105
Total conventionnel	965		11,3	85
Total non conventionnel	1 228		11,3	109