Energétique

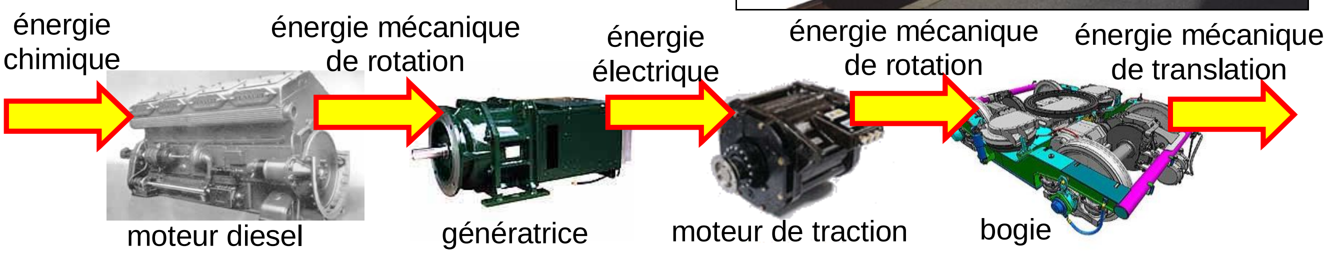
1 - L'énergie

L'**énergie** est une grandeur physique qui peut donner naissance à une action (déplacer chauffer, éclairer, casser, …)

Elle peut prendre plusieurs formes : **thermique**, **mécanique**, **électrique**, **chimique**, **nucléaire**, …

Dans les systèmes que nous étudierons, on appellera « machine » tout organe qui transformera l'énergie d'une forme à une autre.

Exemple de chaîne de transformation d'énergie :
locomotive diesel-électrique



L'énergie se note W (de l'anglais Work = travail), son unité est le **joule (J)**.

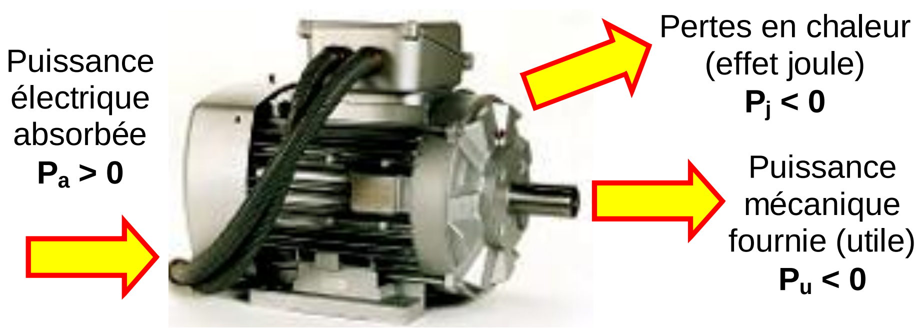
2 - La puissance

La puissance exprime la variation d'énergie par rapport au temps :

$$\boxed{P = \frac{dW}{dt}}$$

Elle s'exprime en watt (W). 1 W = 1 J/s

Par convention, si on isole une machine, la puissance qu'elle reçoit est positive, celle qu'elle fournit est négative. Exemple du moteur électrique :



3 - Le principe de la conservation de l'énergie

L'énergie peut se transformer mais ne peut jamais disparaître. Si on isole une machine qui ne stocke pas d'énergie, elle doit donc en fournir autant qu'elle en reçoit. Dans l'exemple précédent du moteur électrique on doit donc avoir :

$$P_a + P_u + P_j = 0$$

4 - Rendement d'un système

Le rendement η (« nu ») d'une machine est le rapport entre la puissance utile fournie par celle-ci et la puissance absorbée :

$$\boxed{\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}}} \quad \text{avec } P_{utile} = P_{absorbée} - P_{perdue}$$

Aucun système n'étant parfait, il y a toujours de l'énergie perdue, généralement par **effet joule** (chaleur). On a donc toujours :

$$\eta < 1$$

Dans une chaîne d'énergie (voir exemple de la locomotive diesel-électrique) le rendement total de la chaîne est le produit des rendement de chacune des machines la constituant :

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \ldots\ldots \times \eta_i$$

5 - Travail et puissance d'une action mécanique

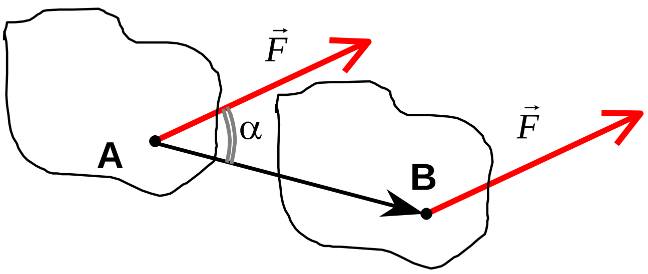
5.1 Travail et puissance d'une force

5.1.1. Travail d'une force

Le **travail** d'une force est l'énergie développée par une force pour contribuer à un déplacement dans un repère.

Il s'exprime en joules et il est égal au **produit scalaire** du vecteur force par le vecteur déplacement de son point d'application.

Exemple : travail d'une force $\vec{F}$ pour un déplacement de A vers B :

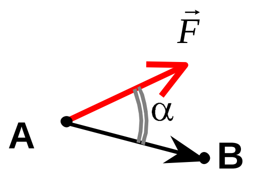
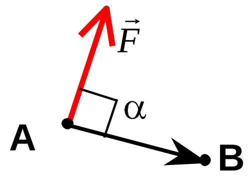
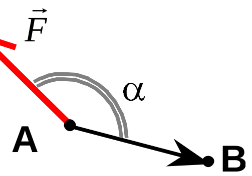


$$\boxed{W = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = \|\vec{F}\|.\|\overrightarrow{AB}\|.\cos\alpha}$$

avec $\vec{F}\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$ et $\overrightarrow{AB}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$

alors $\boxed{W = X.x + Y.y + Z.z}$

L'intensité et le signe du travail dépendent de l'orientation de la force par rapport au déplacement :

		
$0<\alpha<90°$ force et déplacement dans le **même sens**	$\alpha=90°$ force et déplacement **orthogonaux**	$90°<\alpha<180°$ force et déplacement en **sens opposés**
$W>0$ **Travail moteur**	$W=0$ **Travail nul**	$W<0$ **Travail résistant**

5.1.2. Travail élémentaire et puissance d'une force

Le travail élémentaire d'une force $\vec{F}$ effectuant un déplacement élémentaire $\mathrm{d}\vec{l}$ est :

$$\mathrm{d}W=\vec{F}.\mathrm{d}\vec{l}$$

La puissance instantanée développée par la force est alors :

$$P=\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}=\vec{F}.\frac{\mathrm{d}\vec{l}}{\mathrm{d}t}$$

or $\frac{\mathrm{d}\vec{l}}{\mathrm{d}t}=\vec{V}$ est la vitesse instantanée du point d'application de la force, d'où :

$$\boxed{P=\vec{F}.\vec{V}}$$

5.2 Puissance d'une A.M. quelconque sur un déplacement quelconque

De façon générale, si un solide S se déplace dans un référentiel R avec un champ de vitesses $\{\mathcal{V}_{S/R}\}$ et qu'il est soumis à une A.M. extérieure $\{\mathcal{T}_{ext\to S}\}$, alors la puissance développée par cette action mécanique sera égale au **comoment** du **torseur d'action mécanique** par le **torseur cinématique** :

$$\boxed{P=\{\mathcal{T}_{ext\to S}\}\otimes\{\mathcal{V}_{S/R}\}}$$

$$P={}_A\begin{Bmatrix}\vec{R}_{ext\to S}\\ \overrightarrow{M_A}(ext\to S)\end{Bmatrix}\cdot{}_A\begin{Bmatrix}\vec{\Omega}_{S/R}\\ \vec{V}_{A\in S/R}\end{Bmatrix}=\vec{R}_{ext\to S}\cdot\vec{V}_{A\in S/R}+\overrightarrow{M_A}(ext\to S)\cdot\vec{\Omega}_{S/R}$$

$$P={}_A\begin{Bmatrix}X & L_A\\ Y & M_A\\ Z & N_A\end{Bmatrix}\cdot{}_A\begin{Bmatrix}\Omega x & Vx_A\\ \Omega y & Vy_A\\ \Omega z & Vz_A\end{Bmatrix}=X\cdot Vx_A+Y\cdot Vy_A+Z\cdot Vz_A+L_A\cdot\Omega x+M_A\cdot\Omega y+N_A\cdot\Omega z$$

5.3 Expression du travail et de la puissance dans les cas les plus simples

Action mécanique	Force $\vec{F}$	Couple $\vec{C}$
Mouvement	Déplacement $\vec{l}$ à vitesse $\vec{V}$ colinéaire à la force	Rotation d'angle θ à vitesse angulaire ω autour du même axe que le couple
Travail	$\boxed{W = F \cdot l}$	$\boxed{W = C \cdot \theta}$
Puissance	$\boxed{P = F \cdot V}$	$\boxed{P = C \cdot \omega}$

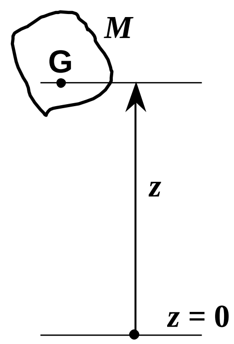
6 - Les différentes formes de l'énergie mécanique

6.1 Energie potentielle de pesanteur

Un corps soumis à la pesanteur acquiert de l'**énergie potentielle** (capacité à fournir de l'énergie) lorsqu'il s'élève en altitude. Il pourra par exemple restituer cette énergie en retombant au sol.

L'expression de l'**énergie potentielle de pesanteur** est alors :

$$\boxed{E_p = M.g.z}$$



avec M : masse du solide considéré (en kg)

g : accélération de la pesanteur (g =9.81 m.s^{-2})

z : altitude du centre de gravité du solide (en m)

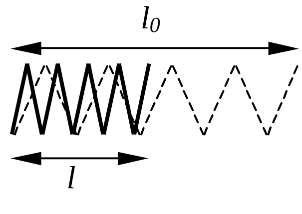
remarque : l'altitude $z = 0$ est choisie arbitrairement.

6.2 Energie potentielle élastique

Un ressort (ou autre corps élastique) qu'on comprime ou qu'on étire acquiert de l'**énergie potentielle** qu'il pourra libérer en revenant a sa position initiale.

Pour un ressort hélicoïdal, l'**énergie potentielle élastique** est :

$$\boxed{E_{élast} = \frac{k}{2} \cdot (l_0 - l)^2}$$



avec k : raideur du ressort en N/m

l_0 : longueur à vide du ressort en m

l : longueur du ressort comprimé ou tendu en m

6.3 <u>Energie cinétique</u>

Un solide en mouvement possède une énergie appelée **énergie cinétique**.

• Pour un solide de masse M en mouvement de **translation** avec une vitesse V, elle s'exprime de la façon suivante :

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2}$$

• Pour un solide en mouvement de **rotation** autour d'un axe (Δ) avec une vitesse angulaire ω et dont le **moment d'inertie** (voir chapitre sur la dynamique) autour de (Δ) est J, elle s'exprime de la façon suivante :

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

• Pour un solide en **mouvement quelconque**, l'énergie cinétique sera :

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2} M . V_G^{\ 2} + \frac{1}{2} J_{\Delta G} . \omega^2}$$

avec M : masse du solide

V_G : vitesse de son centre de gravité (ou centre d'inertie)

$J_{\Delta G}$: moment d'inertie du solide autour de l'axe parallèle au vecteur rotation passant par le centre de gravité G.

ω : vitesse de rotation du solide (rad/s)

7 - <u>Conservation de l'énergie mécanique</u>

Si un système est isolé (pas d'échange d'énergie avec l'extérieur) alors son énergie mécanique totale reste constante :

$$\boxed{E_{méca} = E_p + E_{élast} + E_c = \text{cste}}$$

8 - <u>Théorème de l'énergie cinétique</u>

Dans un repère (R) galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un solide entre les dates t_1 et t_2 est égale à la somme des travaux des A.M. extérieures appliquées sur (S) entre ces 2 dates :

$$\boxed{E_{c2} - E_{c1} = W_1^2(ext \to S)}$$

En appliquant ce théorème sur un intervalle de temps élémentaire on a :

$$\boxed{\frac{dE_c}{dt} = P_{ext \to S}}$$

la puissance des A.M. extérieures est égale à la dérivée de l'énergie cinétique.