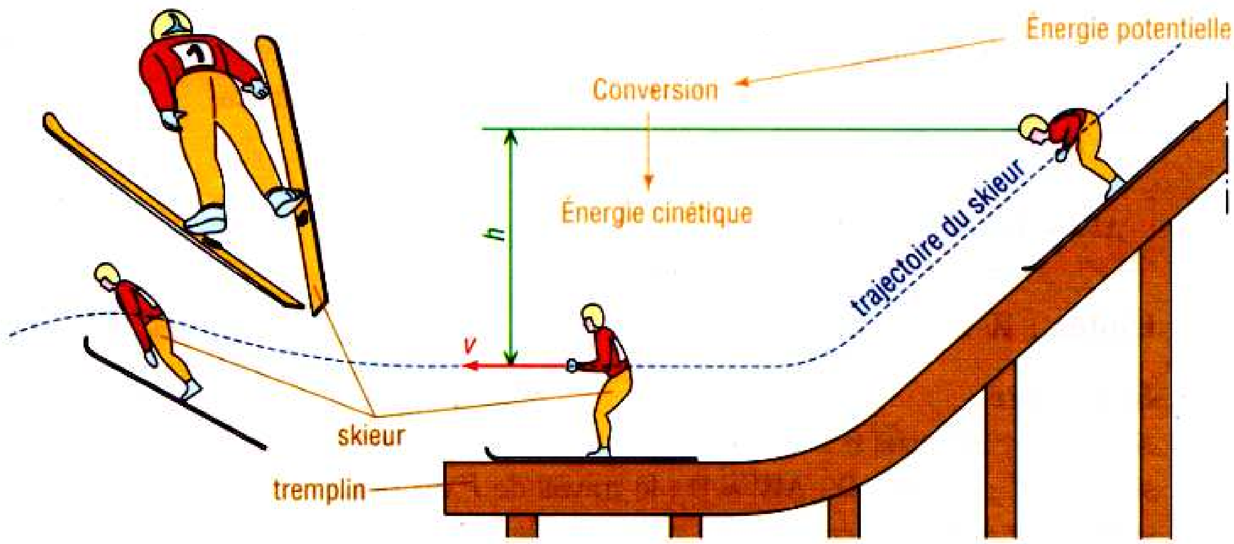
ÉNERGÉTIQUE : ÉNERGIE, PUISSANCE ET TRAVAIL



Objectifs du COURS :

Ce cours traitera essentiellement les points suivants :

- Notions d'énergie et de puissance
- Le travail (W) :
  - travail élémentaire
  - travail d'une force constante
  - travail d'un couple constant
  - cas des ressorts de torsion
- Exercices d'application

Les problèmes liés à l'énergie sont d'une grande importance : l'énergie est en effet à l'origine de tous les mouvements du monde de la technologie. Elle existe sous plusieurs formes : mécanique, électrique, thermique,…

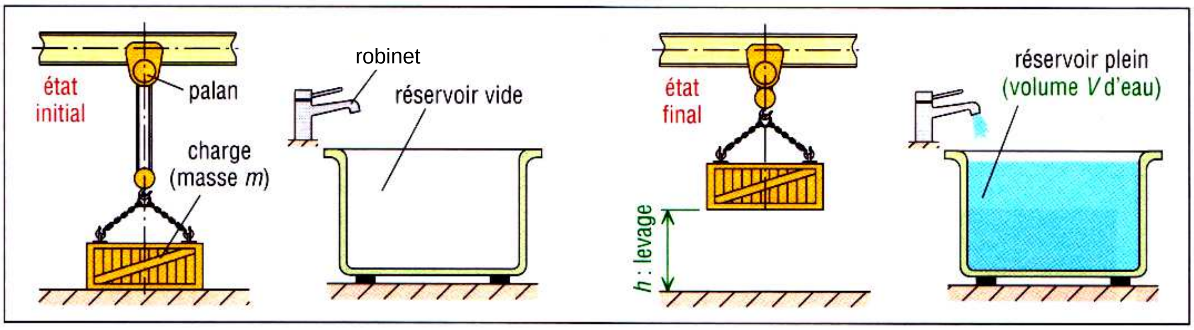
Une bonne connaissance des phénomènes énergétiques permet aux techniciens et ingénieurs de construire de manière économique des produits moins énergivores.

Les théorèmes sur l'énergie abordés permettent dans certains cas de déterminer les efforts engendrés sans avoir à calculer les accélérations.

La loi de conservation de l'énergie permet d'établir un lien entre énergie potentielle (exemple : hauteur ***h*** de départ d'un skieur sur un tremplin de saut à ski) et énergie cinétique (vitesse ***V*** avant saut).

NOTIONS D'ÉNERGIE ET DE PUISSANCE

L'énergie et la puissance sont deux notions qui, bien que liées, sont différentes. Mettons ces différences en évidence à partir des deux dispositifs ci-dessous :



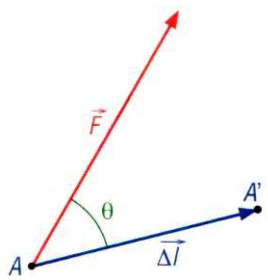
Pour lever la charge de masse ***m*** sur la hauteur ***h***, il faut fournir une certaine quantité d'énergie ***W***.
De la même manière pour remplir le réservoir, il faut fournir un certain volume d'eau ***V*** d'eau.
Quelle que soit l'ouverture du robinet, c'est-à-dire quel que soit le débit d'eau, la quantité d'eau nécessaire au remplissage est toujours la même ***V***.
De la même façon, si l'on ne tient pas compte du rendement (des pertes ou des fuites d'énergie), la quantité d'énergie à fournir pour lever la charge est la même quelle que soit la vitesse de levage.
Plus le débit d'eau délivré par le robinet est élevé, plus vite le réservoir sera rempli. De même, plus la vitesse de levée de la charge est grande, plus la puissance fournie instantanément est grande et plus vite la charge sera levée.

Le travail ou l'énergie représente ce qu'il faut fournir globalement à un système pour l'amener d'un état initial à un état final. La manière dont le chemin est parcouru entre ces deux états n'a pas d'importance.
La puissance caractérise le débit d'énergie fourni à chaque instant. Elle ne dépend ni de l'état initial ni de l'état final du système, mais permet de décrire les flots d'énergie entre ces deux états.

TRAVAIL (W)

TRAVAIL ÉLÉMENTAIRE ΔW

Le travail élémentaire ΔW de la force $\vec{F}$ dont le point d'application A se déplace de $\overrightarrow{\Delta l}$ entre A et A' ($\overrightarrow{\Delta l} = \overrightarrow{AA'}$) est égal au produit scalaire de $\vec{F}$ par $\overrightarrow{\Delta l}$.



$$\Delta W = \vec{F} \cdot \overrightarrow{\Delta l} = F \cdot \Delta l \cdot \cos\theta$$

Unités : W en J (joules) ; F en N ; Δl en m.

Remarques :

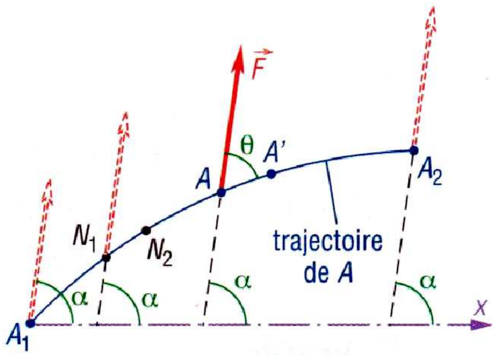
Si $0 \leq \theta < 90°$; **$\cos\theta > 0$; $\Delta W > 0$** ; le travail de $\vec{F}$ **est moteur ;**
Si $\theta = 90°$; **$\cos\theta = 0$; $\Delta W = 0$** ; le travail de $\vec{F}$ **est nul ;**
Si $90° < \theta \leq 180°$; **$\cos\theta < 0$; $\Delta W < 0$** ; le travail de $\vec{F}$ **est résistant ;**

TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

La force $\vec{F}$ se déplace de A_1 à A_2 en conservant la même direction (angle α constant) et une intensité constante.

La trajectoire A_1A_2 peut être divisée en une infinitée de petits déplacements élémentaires A_1N_1, N_1N_2, N_nA_2 tels que :

$$\overrightarrow{A_1A_2} = \overrightarrow{A_1N_1} + \overrightarrow{N_1N_2} + \ldots + \overrightarrow{N_nA_2}$$



Le travail entre A_1 et A_2 s'exprime par :

$$W_{1/2} = \vec{F} \cdot \overrightarrow{A_1N_1} + \vec{F} \cdot \overrightarrow{N_1N_2} + \ldots + \vec{F} \cdot \overrightarrow{N_nA_2}$$
$$= \vec{F} \left(\overrightarrow{A_1N_1} + \overrightarrow{N_1N_2} + \ldots + \overrightarrow{N_nA_2}\right) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{A_1A_2}$$

Le travail de $\vec{F}$ de A_1 à A_2 se ramène au produit scalaire de $\vec{F}$ par la distance $\overrightarrow{A_1A_2}$.

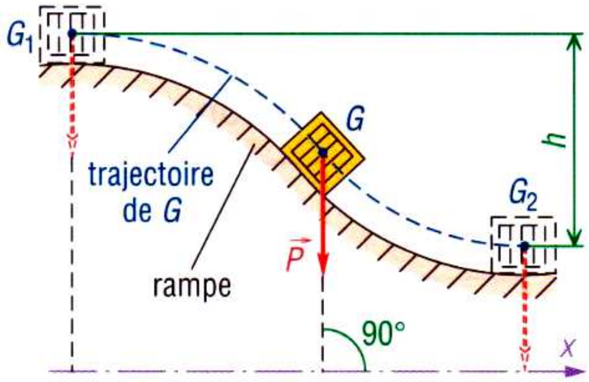
$$W = \vec{F} \cdot \overrightarrow{A_1A_2}$$

Exemples : travail du vecteur poids $\vec{P}$ (travail des forces de pesanteur)

Prenons le cas d'un objet descendant une rampe de forme quelconque de G_1 à G_2.

$$W_{1/2} = \vec{P} \cdot \overrightarrow{G_1G_2} = P \cdot h$$

Quelle que soit la trajectoire de G, le travail de $\vec{P}$ est égal au produit de P par la dénivellation h.



Supposons maintenant qu'il s'agit d'un skieur de 80 kg descendant une pente dont la différence de niveau est de 300 m entre le haut et le bas.

Question :

Calculer le travail de $\vec{P}$.

W = 80 x 9,81 x 300 = 235 44 J soit 235,4 kJ

Reprendre l'exemple du leve charge (page 2) avec un travail de levage de la charge (1 000 daN) sur la hauteur de 2 m.

Question 1 :

Calculer le travail de levage.

W = 10 000 x 2 = 20 000 J soit 20kJ

Si le palan se déplace horizontalement sans lever la charge :

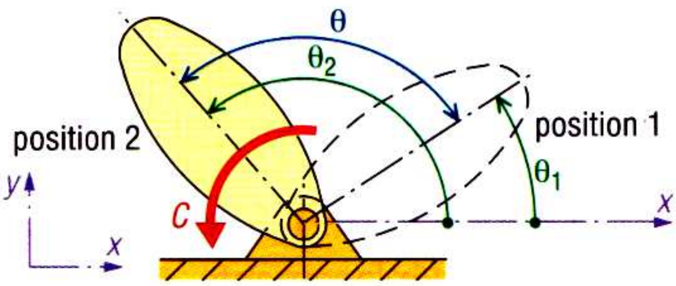
Question 2 :

Que peut-on dire du travail $\vec{P}$ *?*

Le travail est nul.

TRAVAIL D'UN COUPLE CONSTANT

Le travail d'un couple constant C se déplaçant de l'angle θ est égal au produit C par θ.



$$W = C \times \theta$$

Unités : W en J (joules) ; θ en rad (radians) ; C en Nm.

Exemple :

Un moteur électrique tournant à 1 500 tr.min^{-1} exerce un couple constant de 20 Nm sur un récepteur.

Question :

Déterminer le travail réalisé par minute et par seconde.

Par minute :
$\Delta\theta$ = 1 500 x 2π = 9 425 rad
ΔW = 20 x 9 425 = 188 491 J soit 188,5 kJ

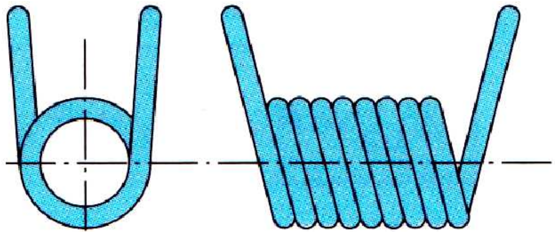
Par seconde :
$$\Delta W' = \frac{\Delta W}{60} = 3\,142 \text{ J}$$

CAS DES RESORTS DE TORSION

Pour les ressorts de torsion (barre de torsion, cylindrique à spirale), le couple C supporté est fonction de l'angle d'enroulement α.

$$C = k \times \alpha$$

$$W = \frac{1}{2} \times C \times \alpha = \frac{1}{2} \times k \times \alpha^2$$


Exemple de ressort de torsion

Unités : W en J (joules) ; k en Nm . rad^{-1} (dans le cas d'une rotation) ou $N.m^{-1}$; α en rad.

Remarques :

k est la raideur du ressort, W le travail réalisé est aussi de l'énergie potentielle stockée ou restituée par le ressort.

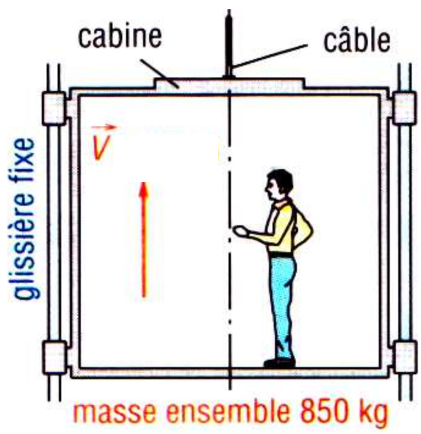
EXERCICES D'APPLICATION

EXERCICE N°1

Sachant que la masse d'une cabine d'ascenseur est de 850 kg. La vitesse de levage (supposée constante) est de 1,2 $m.s^{-1}$, les forces de frottements sont évaluées à 40 daN, la hauteur entre le sous-sol et le dernier étage est de 25 m.

Question :

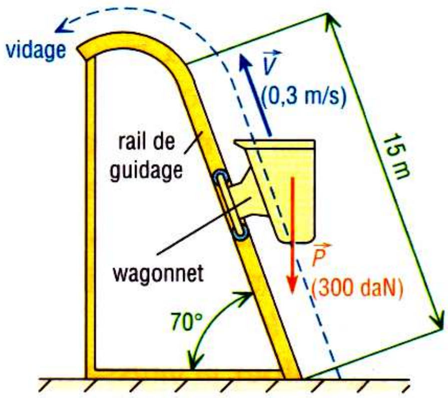
Calculer le travail de la cabine d'ascenseur.



W = 218,46 kJ

EXERCICE N°2

Un skip de chargement effectue le levage d'un wagonnet, le poids de l'ensemble est de 300 daN, la distance parcourue sur le rail est de 15 m, l'inclinaison du rail est de 70° par rapport à l'horizontale, la vitesse du wagonnet est de 0,3 m.s^{-1}.



Question :

Calculer le travail de levage du wagonnet.

W = 15 x sin 70° x 3 000 = 42 286,2 J soit 42,3 kJ