TRAVAIL ET PUISSANCE D'UNE FORCE

1. TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE.

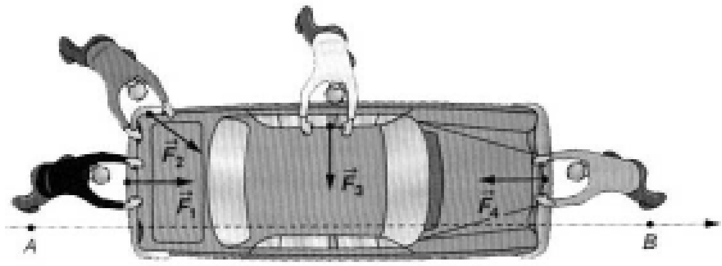
1.1. EFFETS POSSIBLES DU DEPLACEMENT DU POINT D'APPLICATION D'UNE FORCE.

Une force dont le point d'application se déplace peut:

- mettre en mouvement un corps
- modifier sa vitesse, son altitude, sa température;
- pour un système déformable, modifier la forme du corps (temporairement ou définitivement).

Les effets seront d'autant plus importants que la valeur de la force sera grande et qu'elle agira sur une longue distance.

Un avion catapulté sur la piste d'un porte avion.

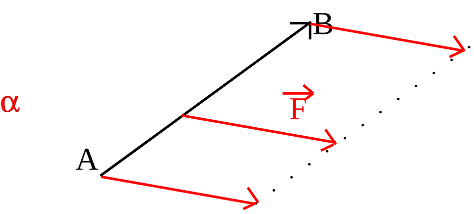


Les quatre personnes qui poussent une voiture de A et B exerçant des forces de même valeur F mais de directions différentes comme l'indique le schéma, n'ont pas la même efficacité dans leur action pour déplacer la voiture de A à B. On dit que les forces F ne produisent pas le même travail.

Ces constatations ont conduit les physiciens à introduire une nouvelle grandeur appelée ***travail d'une force***.

1.2. DEFINITION.

Le travail, notée $W_{AB}(\vec{F})$, d'une force constante $\vec{F}$, lors d'un déplacement rectiligne de son point d'application de A vers B, est égal au produit scalaire de la force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\vec{AB}$.



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

où est l'angle entre les vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{AB}$.

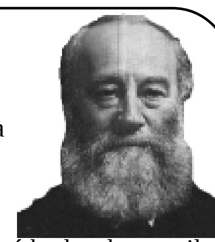
$W_{AB}(\vec{F})$ s'exprime en Joule (J)
F en Newton
AB en mètre.

Ce travail ne dépend pas du trajet suivi par le point d'application de la force.

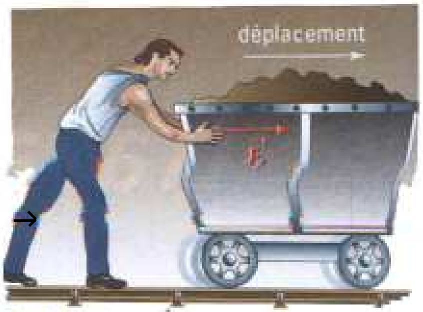
Remarque.
Le travail que nous venons de définir s'appelle aussi travail mécanique. Cette précision permet de distinguer du terme travail utilisé dans le langage courant, qui peut désigner un travail intellectuel, physique, hebdomadaire, etc... Un travail physique peut être épuisant sans pour cela correspondre à un travail mécanique.

Exemple.
Quand l'haltérophile maintient pendant quelques secondes la barre à bout de bras, les forces qu'il exerce sur celle-ci sont très importantes. Comme leur point d'application ne se déplace pas, elles ne travaillent pas. Elles ont seulement travaillé quand le sportif a élevé la barre du sol jusqu'à sa position actuelle. Pourtant, maintenir une telle position n'est pas facile: le travail physique de l'haltérophile est important.

James Prescott Joule
(1818 - 1889)



Né à Manchester, il fut l'élève du grand chimiste anglais John Dalton. Comme bien des bourgeois de l'époque, l'industriel anglais Joule est passionné de sciences, qu'il pratique en amateur. Brasseur de profession, Joule utilisa un dispositif s'inspirant d'une machine à brasser la bière. En 1847, ses expériences établissent avec précision l'équivalence entre travail et chaleur (1 cal = 4,18 J).
Dans le cadre de la révolution industrielle du XIX^{e} siècle, il participa largement à l'élaboration et à la mise au point des machines thermiques utilisées dans les usines ou dans l'agriculture et qui ont complètement changé les méthodes de travail et de production.
On le connait également pour ses études sur l'effet thermique des courants électriques (loi de Joule)et les moteurs électriques.
On a donné son nom à l'unité de travail d'une force.



Doc. 2 – La force F_1 travaille.

Doc. 3 – La force F_2 ne travaille pas.

Doc. 4 – La force F_1 ne travaille pas.

Doc. 5 – La force F_1 travaille.
Son travail est résistant.

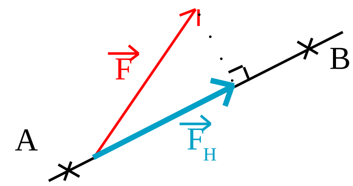
Remarque.

On a maintenant une définition précise de l'unité Joule abordée en classe de 3ème, à savoir qu'1 Joule est le travail d'une force de 1 N dont le point d'application se déplace de 1 m selon la direction de la force.

Le déplacement d'un point est relatif à un référentiel, qu'il est impératif de préciser. Il en est de même pour le travail d'une force constante. En général, on suppose par défaut qu'il s'agit d'un référentiel terrestre.

Le produit scalaire $\vec{F}.\vec{AB}$ est aussi égal à $\vec{F}_H.\vec{AB}$: le vecteur $\vec{F}_H$ est le projeté orthogonal de $\vec{F}$ sur l'axe orienté selon $\vec{AB}$.

Nous pouvons alors calculé $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}_H.\vec{AB}$, le travail de la force $\vec{F}$ au cours du déplacement rectiligne $\vec{AB}$ est égal au travail de son projeté $\vec{F}_H$ sur ce même déplacement



Les vecteur $\vec{F}_H$ et $\vec{AB}$ ayant même direction, cette expression peut faciliter le calcul du travail de la force $\vec{F}$.

1.3. DIFFERENTS CAS.

La valeur de cos appartient à l'intervalle [-1, 1]: le travail $W_{AB}(\vec{F})$ est donc une grandeur algébrique qui peut être positive, négative ou nulle. On classe les travaux en trois catégories:

Si $W_{AB}(\vec{F}) > 0$, le travail est dit ***moteur***.
L'angle est compris dans l'intervalle[0°, 90°]: cos > 0. Le travail est moteur si AB et le projeté orthogonal de la force $\vec{F}$ sur l'axe orienté par $\vec{AB}$ sont de même sens.

Si $W_{AB}(\vec{F}) < 0$, le travail est dit ***résistant***.
L'angle est compris dans l'intervalle[90°, 180°]: cos < 0. Le travail est résistant si AB et le projeté orthogonal de la force $\vec{F}$ sur l'axe orienté par $\vec{AB}$ sont de sens contraire.

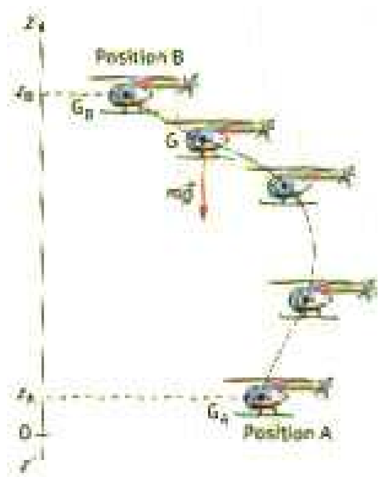
Si $W_{AB}(\vec{F}) = 0$, le travail est ***nul***. L'angle vaut 0°: cos = 0. Le travail d'une force est nul lorsque le droite d'action de cette force reste constamment perpendiculaire au déplacement de son point d'application.

Remarque.

Ce dernier résultat est valable pour toute force, pourvu que sa direction reste orthogonale à la trajectoire quelconque de son point d'application. C'est le cas:

- de la force de gravitation agissant sur un satellite en orbite circulaire dans le référentiel géocentrique;
- quand un solide glisse sans frottement sur un support fixe dans le référentiel d'étude, la force $\vec{R} = \vec{T} + \vec{N}$ du support sur le solide se limite au vecteur normal $\vec{N}$. La fore tangentielle T est nulle. Le vecteur $\vec{N}$ étant perpendiculaire au déplacement $\vec{AB}$, son travail est nul. En l'absence de frottement, le travail de la force de contact est nul.

1.4. TRAVAIL DU POIDS.



Sur une zone étendue à quelques kilomètres, le poids d'un corps peut être considéré comme une force constante.

Le travail du poids, au cours d'un déplacement du centre de gravité G d'une position A en une position B s'écrit:

$$W_{AB}(\vec{p}) = \vec{p}\,.\,\vec{AB} = \vec{p}\,.\,(\vec{AH} + \vec{HB})$$

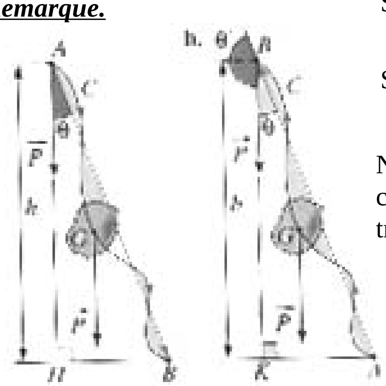
Soit $W_{AB}(\vec{p}) = \vec{p}\,.\,\vec{AH}$, car $\vec{p}\,.\,\vec{HB} = 0$.

Seule la composante verticale AH du déplacement intervient.
Comme p = m x g, on obtient finalement:

$$W_{AB}(p) = m \times g\,.\,AH = m \times g \times (z_A - z_B)$$

Lorsque le centre de gravité G d'un corps passe d'un point A à un point B, le travail du poids dépend seulement de l'altitude z_A du point de départ et de l'altitude z_B du point d'arrivée.

Remarque.



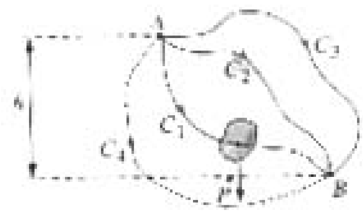
Si l'altitude z_A est supérieure à l'altitude z_B, le travail est moteur, puisque $z_A - z_B > 0$, alors

$$W_{AB}(\vec{p}) = m \times g \times h.$$

Si l'altitude z_A est inférieure à l'altitude z_B, le travail est résistant, puisque $z_A - z_B < 0$, alors

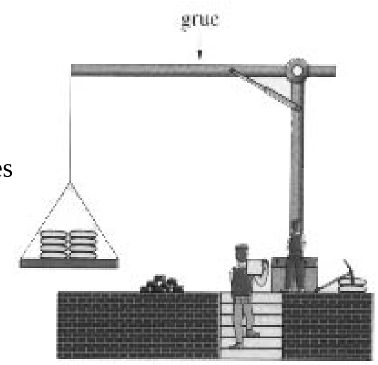
$$W_{AB}(\vec{p}) = - m \times g \times h.$$

Nous avons montré que le travail d'une force est indépendant du chemin suivi pendant le déplacement. C'est également le cas du travail du poids



2. PUISSANCE DU TRAVAIL D'UNE FORCE.

2.1. NOTION DE PUISSANCE.



Pour monter des sacs de ciment au premier étage d'un pavillon en construction, il existe deux méthodes: le maçon peut utiliser une grue ou les monter lui-même.

Dans les deux cas, le travail à fournir est le même; il est en valeur absolue, égal au travail du poids des sacs entre le rez-de-chaussée et le premier étage. En revanche, la durée de l'opération est beaucoup plus brève si l'on dispose de la grue.

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.

2.2. PUISSANCE MOYENNE DU TRAVAIL D'UNE FORCE.

Si pendant la durée t, la force $\vec{F}$ effectue le travail $W(\vec{F})$, la puissance moyenne du travail de cette force est le quotient du travail effectué par la durée mise à l'effectuer:

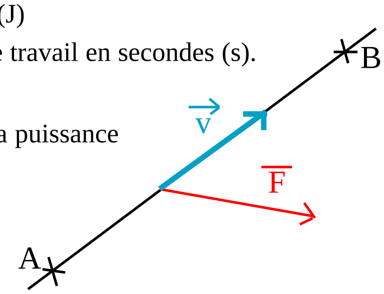
$$P_m(\vec{F}) = \frac{W(\vec{F})}{t} \text{ ou } W(\vec{F}) = P_m(\vec{F}) \times t. \text{ où}$$

P_m: puissance moyenne en Watts (W)

$W(\vec{F})$: travail effectué en Joules (J)

t: durée mise pour effectuer le travail en secondes (s).

2.3. PUISSANCE INSTANTANEE.



Tout comme on définit une vitesse instantanée à partir de la vitesse moyenne, on peut évaluer la puissance instantanée P d'une force en prenant une durée très petite.

On aura la possibilité de remplacer:

- la durée du parcours $= \frac{AB}{v}$
- et le travail de la force $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos$

On aura alors la puissance associée

$$P(\vec{F}) = \frac{W(\vec{F})}{} = \frac{F \times AB \times \cos}{} = F \times v \times \cos = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Ce résultat se généralise en posant que la puissance moyenne de la force F est égale au produit scalaire de la force $\vec{F}$ et de la vitesse $\vec{v}$ de son point d'application.