TRAVAIL ET PUISSANCE D'UNE FORCE CONSTANTE

Définissons, tout d'abord, ce qu'est une force constante.

INTRODUCTION :

Une force est constante lorsque sa valeur, sa direction et son sens ne varient pas au cours du temps.

Déterminons les conditions qui permettent d'affirmer qu'une force travaille.
Pour cela, étudions les effets d'une force dont le point d'application se déplace.

I- EFFETS D'UNE FORCE DONT LE POINT D'APPLICATION SE DÉPLACE

ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE 1 PAGE 74

1- Les différents effets :

a) Les forces de frottement ralentissent la météorite et provoquent une élévation de sa température.

b) Les forces exercées par l'écureuil pour effectuer son ascension modifient son altitude, sa vitesse.

Le poids de l'écureuil ralentit son ascension.

c) Le poids du ballon modifie son altitude, sa vitesse, sa trajectoire.

d) Les forces exercées par les mains des pilotes provoquent une rotation de la roue de barre.

e) La force de traction exercée par le câble modifie la vitesse, la trajectoire du navire.

f) Les forces exercées par l'archère déforment l'arc.

2- Bilan :

Une force, exercée sur un système, dont le point d'application se déplace peut :

- mettre en mouvement celui-ci,
- modifier la valeur de sa vitesse, son altitude ou sa température,
- déformer temporairement ou définitivement celui-ci.

Dans ces conditions, on dit que la force travaille.

Ce qui fait que les physiciens ont introduit une nouvelle grandeur appelée : travail d'une force et qui permet de lier la force exercée sur un système et son effet sur le déplacement de celui-ci.

II- TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

Voyons les paramètres dont dépend le travail d'une force ainsi que son expression.

ACTIVITÉ DE QUESTIONNEMENT : NOTION DE TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

1- La force est parallèle au déplacement

a) L'effort fourni par l'homme n'est pas le même dans les trois situations.

b) L'effort fourni par l'homme est plus important dans la situation 3 car le déplacement est le plus grand et la force exercée par l'homme est plus élevée.

c) Cet effort ne dépend pas uniquement de la valeur de la force. L'effort dépend de la longueur de déplacement du système.

d) L'expression du travail W qui semble le mieux convenir est

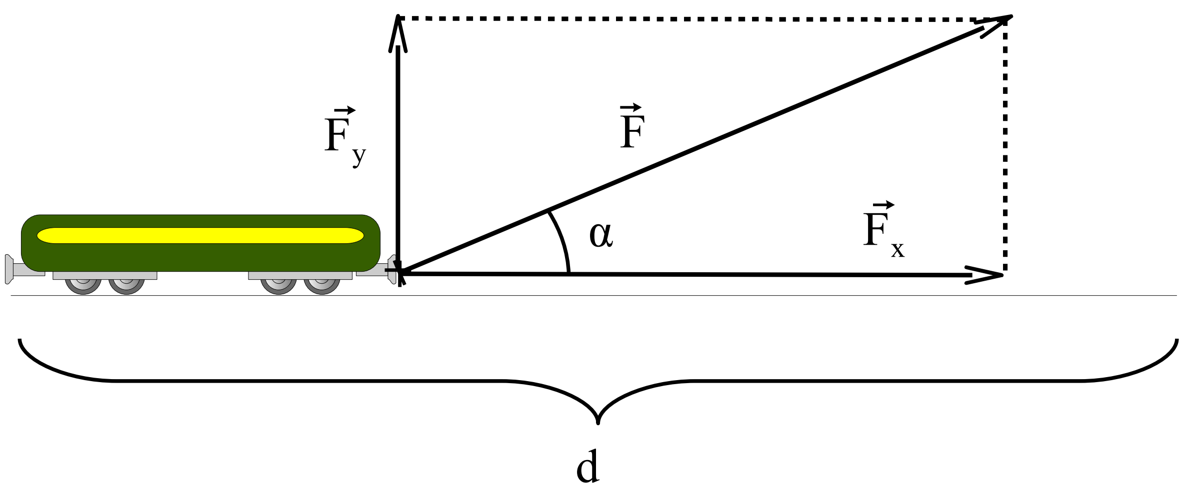
$$W = F\,d$$

où F : Valeur de la force et d : longueur du déplacement

Plus la valeur de la force augmente, plus l'effort augmente. Plus la longueur du déplacement augmente, plus l'effort augmente.

2- La force a une direction quelconque

a) Les composantes F_x et F_y de F



b) La composante de F qui favorise le déplacement du wagonnet est la composante F_x.

c) L'expression du travail W qui semble le mieux convenir est

$W = F\,d\cos\alpha$

Donnons l'expression du travail d'une force constante dans le cas d'un déplacement rectiligne et dans le cas d'un déplacement quelconque.

1 - Expression

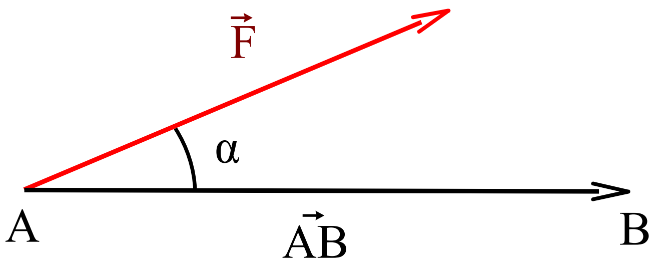
- Cas d'un déplacement rectiligne

Dans un référentiel donné, le travail d'une force constante $\vec{F}$ lors d'un déplacement AB rectiligne de son point d'application, du point A jusqu'au point B, est défini par le produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\vec{AB}$:

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} . \vec{AB}$$

soit

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



W_{AB} (F) : travail de la force F en Joule (J). C'est une grandeur algébrique.
F : valeur de la force constante en Newton (N)
AB : distance entre A et B en mètre (m)
α : angle entre les vecteurs F et AB en degré (°)

- Cas d'un déplacement quelconque

Dans un référentiel donné, le point d'application d'une force constante F se déplace d'un point A à un point B.

Décomposons ce déplacement, non rectiligne, en une succession de déplacements suffisamment petits pour être considérés comme rectilignes.

Le travail de la force est égale à la somme des travaux appelés travaux élémentaires :

$$W_{AB}(\vec{F}) = W_{AM_1}(\vec{F}) + ... + W_{M_iM_{i+1}}(\vec{F}) + ... + W_{M_nB}(\vec{F})$$
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} . \vec{AM}_1 + ... + \vec{F} . \vec{M_iM}_{i+1} + ... + \vec{F} . \vec{M_nB}$$
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} . (\vec{AM}_1 + ... + \vec{M_iM}_{i+1} + ... + \vec{M_nB}) = \vec{F} . \vec{AB} = F.AB.\cos\alpha$$

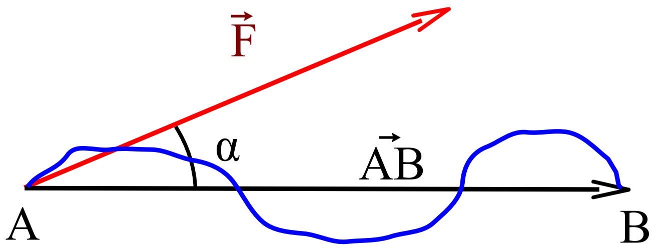
Cette expression ne fait pas intervenir le chemin suivi.

Le travail d'une force constante F, lors du déplacement quelconque de son point d'application entre A et B, est indépendant du chemin suivi entre A et

B :

$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB}$

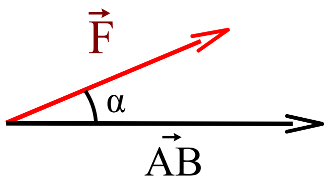
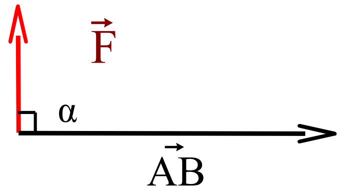
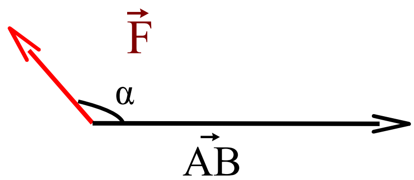
quel que soit le chemin suivi pour aller de A en B.



Voyons dans quel cas, on parle de travail moteur et de travail résistant.

2 - Travail moteur et travail résistant

Pour cela, complétons le tableau suivant :

		
$0° \leq \alpha < 90°$	$\alpha = 90°$	$90° < \alpha \leq 180°$
Cos $\alpha > 0$	Cos $\alpha = 0$	Cos $\alpha < 0$
W_{AB} (F) > 0	W_{AB} (F) $= 0$	W_{AB} (F) < 0
La force favorise le déplacement du solide	La force n'a pas d'effet	La force s'oppose au déplacement du solide
Le travail est moteur	Le travail est nul	Le travail est résistant

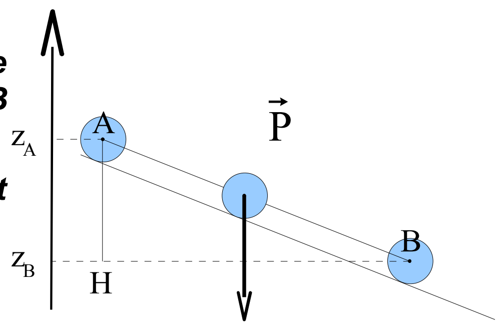
Passons à l'étude du travail du poids d'un corps.

3 - Travail du poids d'un corps

Activité : Travail du poids d'un corps

Une balle, de masse m, roule le long d'une pente. Son centre de gravité G passe d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B en suivant une trajectoire quelconque.

Déterminer le travail du poids de la balle le long de ce trajet dans le référentiel terrestre.



$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\vec{AB} = P \times AB \times \cos\alpha = P \times AH = mg(z_A - z_B)$

Bilan :

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 A et de l'altitude z_B du point d'arrivée B :

$$W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

Les altitudes z_A et z_B sont lues sur un axe vertical orienté vers le haut.

Le travail d'une force peut être effectué en une durée plus ou moins grande. Il est nécessaire d'introduire une grandeur qui tient compte de la durée mise pour effectuer le travail : c'est la puissance d'une force.

III- PUISSANCE DU TRAVAIL D'UNE FORCE

ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE 3 PAGE 75

1 - La force de traction exercée par le câble est identique dans les 2 cas. Les deux grues soulèvent la même charge.
La distance de déplacement des charges est identique.
⇒ Le travail de la force de traction est identique dans les 2 cas.
2 - La grue 1 est la plus efficace.
3 - La puissance est plus élevée lorsque la durée est plus faible. La relation qui convient est donc $P = \dfrac{W}{\Delta t}$

Cette relation donne la valeur de la puissance moyenne. Résumons ceci.

1 - Puissance moyenne

La puissance moyenne, notée P_m, du travail d'une force F constante dont le point d'application se déplace de A à B, est le quotient du travail $W_{AB}(\vec{F})$ par la durée Δt mise à l'effectuer :

$$P_m = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$$

où $W_{AB}(\vec{F})$ est en Joule (J), Δt en seconde (s) et P_m en Watt (W)

Donnons maintenant l'expression de la puissance instantanée.

2 - Puissance instantanée

On exerce une force constante F dont le point d'application se déplace du point M_1 au point M_2 pendant une durée $\Delta t = t_2 - t_1$ très courte.

Donnons l'expression de la puissance à la date t :

$P(t) = \dfrac{W_{M_1M_2}(\vec{F})}{t_2 - t_1} = \dfrac{\vec{F}.\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$. Or $\vec{v}(t) = \dfrac{\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1}$ et comme le vecteur $\vec{v}(t)$ et le vecteur $\overrightarrow{M_1M_2}$ sont colinéaires et de même sens, on a donc

$P(t) = \vec{F}.\vec{v}(t)$

Bilan :

La puissance instantanée, notée $P(t)$, du travail d'une force constante est égale au produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ par le vecteur vitesse $\vec{v}(t)$:

$$P(t) = \vec{F}.\vec{v}(t)$$

Remarque :

Dans le cas d'un solide en translation rectiligne et uniforme, le vecteur vitesse est constant et la puissance instantanée est égale à la puissance moyenne :

$$P_m = \vec{F}.\vec{v}(t)$$