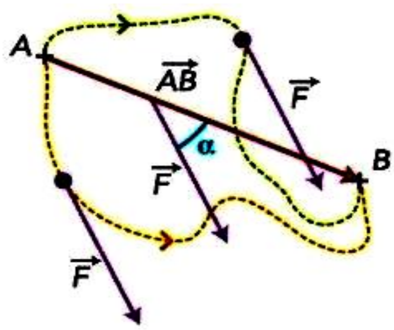
Module	Volume horaire	contenus	Connaissances et savoir –faire exigibles	Exemples d'activités	Moyens didacti-ques	Diagnostique
Travail et puissance d'une force.	**4H**	I. Notion de travail d'une d'une force constante. I. 1- Définition d'une force constante. I. 2- dans le cas d'une translation rectiligne . I. 3- dans le cas d'une translation curviligne. I. 4- Travail du poids d'un corps solide dans le champ de pesanteur uniforme. II. Travail d'un ensemble de forces constantes appliquées à un corps solide en translation rectiligne. III. Travail d'une force de moment constant appliquée à un corps solide IV. Travail d'un couple de moment constant. V. Puissance d'une force ou d'un ensemble de forces .	♣ Connaître quelques effets de quelques actions mécaniques sur un solide soumis à des forces dont les points d'application se déplacent ♣ Exprimer et calculer le travail d'une force constante au cours d'une translation (cas d'un déplacement rectiligne curviligne) ♣ connaitre l'unité du travail ♣ connaitre le travail moteur et résistant ♣ connaitre et utiliser l'expression du travail du poids dans le champ de pesanteur uniforme ♣ savoir que le travail du poids d'un corps est indépendant de la trajectoire suivie. ♣ Connaitre et utiliser l'expression du travail d'une force de moment constant ♣ Connaitre et utiliser le travail d'un couple de forces de moment constant ♣ Utiliser la relation $P = W/\Delta t$ dans le cas de translation rectiligne et de rotation ♣ connaitre l'unité de puissance	▪ Utiliser des documents ou logiciels ou expériences simples pour montrer l'effet des interactions mécaniques que subit le solide (cas des forces dont le point d'application se déplace par rapport à une référence) ▪ Exercices d'applications	Manuel de l'élève	Diagnostique Formative Exercices de synthèse

I. Notion de force constante - travail d'une force constante

I. 1) C'est quoi une force constante?

Une force modélise une action mécanique, Elle est caractérisée par sa direction, son sens et son intensité. Lorsque ces trois caractéristiques ne varient pas au cours du temps, la force est dite constante .(voir figure ci-après)



I. 2) Notion de travail.

Lorsqu'une force $\vec{F}$ déplace son point d'application du point A au point B suivant n'import quel chemin ,

on dit qu'elle effectue un travail noté $W_{A\to B}(\vec{F})$.

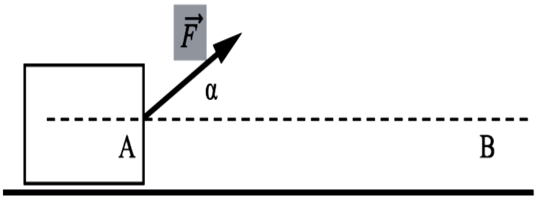
II. Travail d'une force constante lors d'un déplacement rectiligne.

II. 1) Définitions :

a- Le travail de la force constante $\vec{F}$ pour le déplacement rectiligne AB est :

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

Soit :



- $W_{A\to B}(\vec{F}) = F.AB.cos\alpha \;\; dans\ (SI) \begin{cases} W\ en\ joule : j \\ F\ en\ Newton : N \\ AB\ en\ mètre : m \end{cases}$
- Le travail peut s'exprimer en fonction des coordonnées du vecteur force $\vec{F}$ et du vecteur

  déplacement $\vec{AB}$ dans un repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j})$

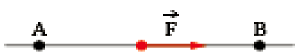
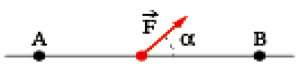
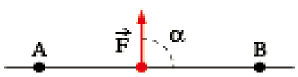
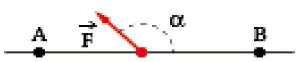
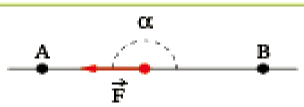
  $\vec{F} = Fx\vec{i} + Fy\vec{j}$ et $\vec{AB} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j}$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F_x.(x_B - x_A) + F_y.(y_B - y_A)$$

b- Le joule est le travail effectué par une force constante de un newton qui déplace son point d'application de un mètre dans sa propre direction et son propre sens.

II. 2) le travail : une grandeur algébrique

Selon la valeur de l'angle α entre le vecteur force et le déplacement, le travail peut être positif, négatif ou nul, c'est donc une grandeur algébrique.

$\alpha = 0$ $\cos\alpha = 1$		$W(\vec{F}) = F\times AB > 0$	Le travail est moteur
$0 < \alpha < 90$ $\cos\alpha > 0$		$W(\vec{F}) = F\times AB\times\cos\alpha > 0$	
$\alpha = 90$ $\cos\alpha = 0$		$W(\vec{F}) = F\times AB = 0$	La force ne travaille pas
$90° < \alpha < 180°$ $\cos\alpha < 0$		$W(\vec{F}) = F\times AB\times\cos\alpha < 0$	Le travail est résistant
$\alpha = 180$ $\cos\alpha = -1$		$W(\vec{F}) = -F\times AB < 0$	

Exercice d’application :

Calculer le travail d'une force d'intensité 20N pour un angle α=60° et un déplacement horizontal de 1m. Le résultat doit être donné en joules avec 3 chiffres significatifs

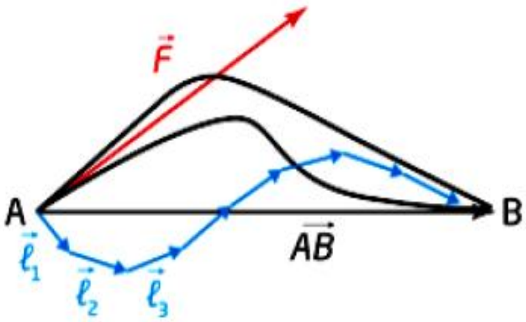
III. Travail d’une force constante en translation curviligne

III. 1- Travail élémentaire d’une force constante.

Dans le cas d’une trajectoire curviligne (voir figure); pour calculer le travail de la force $\vec{F}$ de la position A à la position B nous divisons la trajectoire en « très petits » déplacements élémentaires rectilignes $\vec{\ell_i}$.

Le long du déplacement élémentaire $\vec{\ell_i}$, On parle du travail élémentaire noté du travail δW_i tel que $\delta W_i(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{\ell_i}$

Le travail total est la somme des travaux élémentaires :



$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \sum W_i(\vec{F}) = \sum \vec{F}.\vec{\ell_i} = \vec{F}.(\sum \vec{\ell}_i)$$

or $\overrightarrow{AB} = (\sum \vec{\ell}_i)$

$$\Rightarrow W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.(\vec{\ell_1} + \vec{\ell_2} + \cdots \ldots\ldots + \vec{\ell_n}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB}$$

Généralisation :

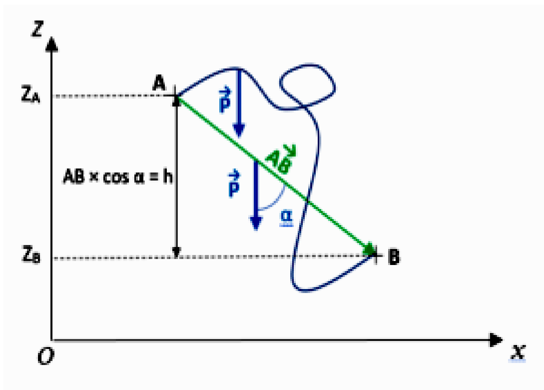
Le travail d’une force constante $\vec{F}$ dont le point d’application M passe d’un point A à un point B ne dépend pas du chemin suivit par M entre A et B. Il ne dépend que du point de départ et du point d’arrivée.

Le travail d'une force constante est égal au produit scalaire **de la force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$:** $\boldsymbol{W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB}}$

III. 2- Travail du poids d'un corps solide dans le champ de pesanteur uniforme.

Dans un repère Galiléen $(O, \vec{\imath}, \vec{k})$, Soit d’un corps de masse m son centre d’inertie G se déplace d’une point A d’altitude z_A à un point B d’altitude z_B.

les coordonnées du poids $\vec{P}$ et du vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ sont :



$$\vec{P}\begin{pmatrix} P_x = 0 \\ P_z = -P = -mg \end{pmatrix} \; et \; \overrightarrow{AB}\begin{pmatrix} x_B - x_A \\ z_B - z_A \end{pmatrix}$$

$$soit \quad W_{A\to B}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB}$$

$$\Rightarrow \underset{A\to B}{W}(\vec{P}) = P_x(x_B - x_A) + P_z(z_B - z_A)$$

Donc $\boldsymbol{W(\vec{P}_{A\to B}) = -mg(z_B - z_A) = mg(z_A - z_B) = mg.h}$

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi mais uniquement de l’altitude initiale et de l’altitude finale ; on dit que le poids est une force conservatrice.

Remarque :

il faut toujours vérifier le signe de $W(\vec{P}_{A\to B})$ sachant que :

- Si le corps descend, alors $z_A - z_B > 0$: $W(\vec{P}_{A\to B}) > 0$ le travail du poids est moteur.
- Si le corps monte, alors $z_A - z_B < 0$: $W(\vec{P}_{A\to B}) < 0$ le travail du poids est résistant.
- Si le système reste à la même altitude, alors $z_A = z_B$: $W(\vec{P}_{A\to B}) = 0$ le travail du poids ne travaille pas

Exercice d'application :

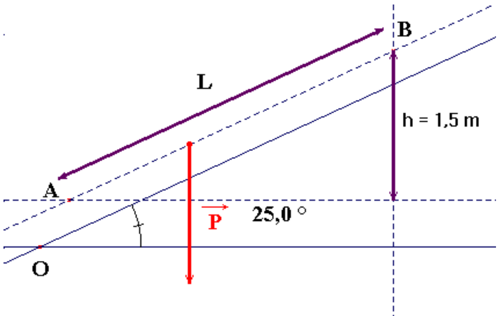
Un solide de masse **m** se déplace sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 25°$ d'un point **A** à un point **B** situé à une altitude **h** = 1,5 m au-dessus de **A**.

1) Parmi les relations suivantes, choisir celle qui exprime le travail du poids entre **A** et **B** :

a. **W = m.g.L** , b. **W = - m.g.L**
c. **W = m.g.h** , d. **W = - m.g.h**

2) Calculer le travail du poids entre **A** et **B**.

Données : **m** = 1,0 kg et **g** = 10 N / kg



IV. Travail d'un ensemble de forces constantes appliquées à un corps solide en translation .

Un solide (S) en translation est soumis à plusieurs forces ($\vec{F_1}, \vec{F_2}, \dots \dots \dots \dots, \vec{F_n}$) constantes, appliquées respectivement en (M_1 ,M_2,…………………,M_n) .

Le travail total W_T de ces forces lors du déplacement des M_i de la positions A à la position B est :

$$W_T = W_1 + W_2 + \cdots \dots .. + W_n = \sum_i W_i = \vec{F_1}.\overrightarrow{AB} + \vec{F_2}.\overrightarrow{AB} + \cdots \dots + \vec{F_n}.\overrightarrow{AB}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{W_T = \sum_i W_i = \sum_i \vec{F_i}.\overrightarrow{AB} = \vec{F}.\overrightarrow{AB}}$$

avec $\vec{F} = \sum_i \vec{F_i}$ résultante des forces $\vec{F_i}$

Exercice d'application : Travail de la force de frottement

Un système constitué de deux blocs reliés par un fil AB de masse négligeable est tiré avec une force constante $\vec{F}$, d'intensité 300N, sur un plan horizontal rugueux.

On donne α=60°

1) Calculer le travail de la force $\vec{F}$ lorsque le système s'est déplacé de AB=20m.

2) La vitesse étant constante, la tension du fil horizontal AB qui relie les deux blocs est alors constante et égale à 120N.

a) Calculer le travail au cours du trajet de la tension du fil appliqué au bloc S_2 et le travail de la tension du fil appliqué au bloc S_1.
b) Calculer le travail total des forces de frottement exercées par le plan sur S_1et S_2 ?

V. Puissance d'une force

V. 1- Puissance moyenne

La puissance moyenne d'une force est le quotient du travail de cette force par la durée Δt pour réaliser ce travail.

$$P_m = \frac{W(\vec{F})}{\Delta t} \quad avec \begin{cases} P_m \text{ puissance moyenne exprimée dans } (SI) \text{ en watt} (w) \\ W(\vec{F}) \text{ travail de la force } \vec{F} \text{ exprimé en Joule} (j) \\ \Delta t \text{ durée exprimée en seconde } (s) \end{cases}$$

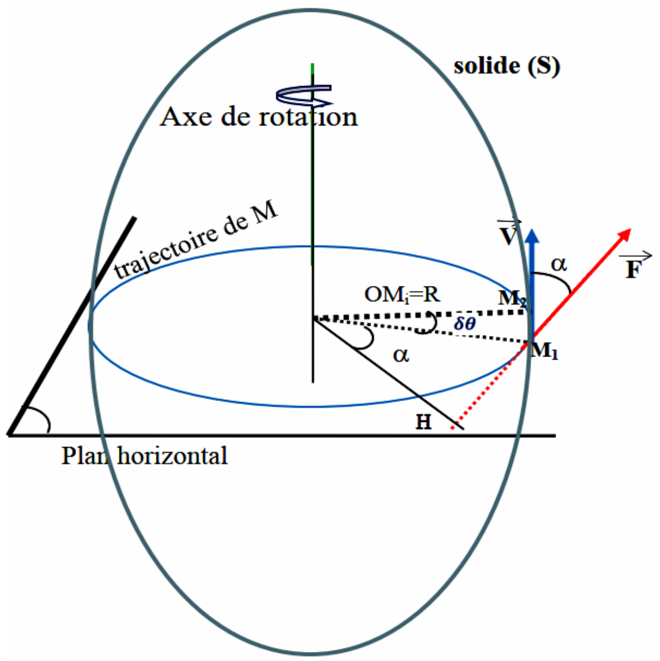
V. 2- Puissance instantanée

Pour un déplacement élémentaire $\delta\vec{\ell}$ fait pendant une durée très petite δt ,La puissance instantanée P(t_i) d'une force constante $\vec{F}$ qui réalise un travail élémentaire $\delta W(\vec{F})$ est définit par l'expression :

$$P_i = \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{\vec{F}.\delta\vec{\ell}}{\delta t} = \vec{F}.\frac{\delta\vec{\ell}}{\delta t} = \vec{F}.\vec{v} = F.V.\cos\alpha \begin{cases} F \text{ : force exprimée en (N)} \\ V \text{ : vitesse exprimée en m/s} \\ \alpha \text{ : angle compris entre } \vec{F} \text{ et } \vec{v} \text{ exprimé en rad} \end{cases}$$

VI. travail et puissance d'une force de moment constant exercé sur un solide en rotation autour d'un axe fixe

VI. 1- Travail élémentaire



Pour une faible rotation $\delta\theta$, le point d'application de la force $\vec{F}$ parcourt un petit arc M_1M_2 peut être assimilé à un segment de longueur δl . Au cours de ce déplacement , la force $\vec{F}$ peut être aussi considérée comme constante .

Le travail effectué sur ce petit déplacement est dit travail élémentaire et a pour expression

$\delta W(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{M_1M_2} = \vec{F}.\overrightarrow{\delta\ell} = F.\delta\ell.\cos\alpha$

Or $\delta\ell = R\delta\theta$

$\Rightarrow \delta W(\vec{F}) = F.R.\delta\theta.\cos\alpha$

d'autre part d'après l'expression du moment de la force $\vec{F}$ suivante :

$M_\Delta(F) = F.OH = F.R.\cos\alpha$

on écrit $\boxed{\delta W(\vec{F}) = M_\Delta.\delta\theta}$

VI. 2- Travail total

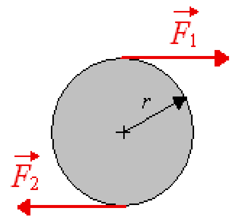
Au cours de la rotation d'un corps solide d'un angle $\Delta\theta$, le travail total réalisé par la force $\vec{F}$ dont le moment est constant par rapport à l'axe de rotation (Δ) est égale à la somme des travaux élémentaires :

$$W(\vec{F}) = \sum_i \delta W_i = \sum_i M_\Delta.\delta\theta = M_\Delta \sum \delta\theta = M_\Delta.\Delta\theta = M_\Delta.2\pi N$$

Donc $\boxed{W(\vec{F}) = M_\Delta.\Delta\theta}$ **avec** $\boxed{\Delta\theta = 2\pi N}$ **(N : nombre des tours)**

VI. 3 -Travail d'un couple de forces de moment constant

a - Rappel : moment d'un couple de force par rapport à l'axe de rotation



- **Couple de forces** :

  Deux forces localisées $(A_1, \vec{F_1})$ et $(A_2, \vec{F_2})$ dont les droites d'action sont parallèles, ayant des sens contraires et des intensités égales forment un couple.

- **Moment du couple :**

  Le moment d'un couple de deux forces est égal au produit de la valeur de l'intensité commune des deux forces $F_1 = F_2 = F$ par la distance d entre les droites d'actions des deux forces.

$$\boxed{M_\Delta(\vec{F_1},\vec{F_2}) = M_c = \mp F.d}$$

Ce moment est considéré positif si le couple à tendance à faire tourner le solide dans le sens positif arbitraire et considéré négatif dans le cas inverse .

b- Travail d'un couple de force de moment constant

Puisque le moment du couple $(\vec{F_1},\vec{F_2})$ est constant donc $\boxed{W_C = M_C.\Delta\theta}$

M_C est le moment du couple par rapport à l'axe de rotation (Δ)

VI. 4- Puissance instantanée d'une force de moment constant exercée sur un corps solide en rotation autour d'un axe fixe .

On considère un solide en rotation autour d'un axe fixe avec une vitesse angulaire ω sous l'action d'une force $\vec{F}$ orthogonal à l'axe de rotation.

Puisque pour le point M la trajectoire est circulaire alors La puissance instantanée de la force $\vec{F}$ est :

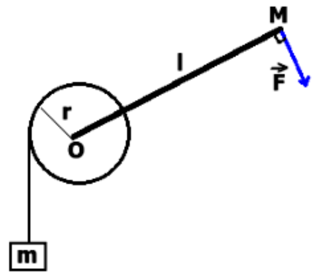
$P_i = \frac{\delta W}{\delta t} = F.V.cos\alpha$ et comme $V = R\omega$ et $M_\Delta(\vec{F}) = F.OH = F.R.cos\alpha$

la puissance instantanée s'écrit : $\boxed{P_i = M_\Delta(\vec{F}).\omega}$

Exercices :

Exercice 1 :

On accroche un corps A de masse m = 2kg à une poulie de rayon r = 10cm . Pour maintenir l'ensemble en équilibre , on exerce une force $\vec{F}$ à l'extrémité d'un bras de levier solidaire de la poulie . Ce bras de levier a pour longueur OM = l = 50cm , la direction de $\vec{F}$ est perpendiculaire à OM .



L'ensemble peut tourner autour d'un axe de rotation Δ perpendiculaire au plan contenant le système (poulie + bras de levier) et passant par O le centre d'inertie de la poulie

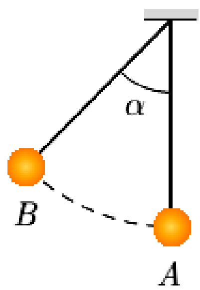
On prend g = 10N/kg

1) Faire le bilan des forces exercées sue le système (poulie + bras de levier) .
2) A l'équilibre déterminer l'expression du moment de chacune des forces par rapport à l'axe de rotation Δ en fonction des données .
3) En déduire l'expression de l'intensité de la force $\vec{F}$ et calculer sa valeur .
4) comment va évoluer la vitesse angulaire du système si on supprime la force $\vec{F}$?

5) A l'aide de bras de levier on soulève la masse m avec une vitesse constante v = 2m/s Calculer le travail de la force $\vec{F}$ lorsque la poulie effectue 20 tours complets .

Exercice 2 :

Un pendule simple est constitué d'une boule de masse 50 g accrochée au bout
d'un fil de longueur 30 cm, de masse négligeable. La boule reçoit en *A* une impulsion qui la fait remonter jusqu'en *B*, de telle manière que le pendule fait alors un angle $\alpha = 30\circ$ avec la verticale.



1) Calculez le travail du poids de la boule entre *A* et *B*.
2) Quel est le travail entre *A* et *B* de la force exercée par le fil sur la boule ?
3) Quel serait le travail du poids de la boule, si le pendule faisait un tour complet ? Expliquez !

Exercice 3 :

Un skieur de masse m=90,0 kg descend une piste inclinée d'un angle de 14° sur l'horizontale à une vitesse constante de 70,0 km/h. Les forces de frottement de la piste sur les skis ainsi que celles de l'air ont une résultante $\vec{f}$ parallèle à la pente.

1) Faire l'inventaire des forces agissant sur le skieur.
2) Le principe d'inertie permet de calculer la valeur de $\vec{f}$. Pourquoi ? Calculer f.
3) Quel est le travail de cette force lorsque le skieur parcourt une distance de 100 m dans ces conditions ?

4) Quelle est la puissance de $\vec{f}$?

5) Quel est le travail du poids du skieur pour ce même parcours ?