Chapitre 11 Travail et énergie

On délaisse les lois de Newton dans ce chapitre (sans les oublier) pour se concentrer sur 2 notions très importantes en physique : le travail d'une force et l'énergie. On verra en particulier que des lois sur la conservation de l'énergie permettent de résoudre simplement des problèmes compliqués en apparence.

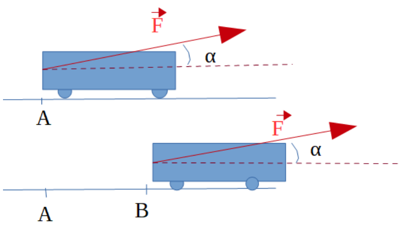
I– Travail d'une force

1. Transfert d'énergie par travail mécanique

Un automobiliste exerçant sur sa voiture (en panne) une force $\vec{F}$ supposée constante au cours du temps donne de la vitesse au véhicule : la voiture acquiert donc de l'énergie quand, simultanément, l'automobiliste en perd (sous forme d'énergie biochimique). Ce transfert d'énergie est le travail de la force $\vec{F}$.

Le **travail** d'une force permet d'évaluer l'effet d'une **force** sur l'**énergie** d'un objet.

<u>Schéma</u> : Cas général du travail d'une force $\vec{F}$ lors d'un déplacement $\vec{AB}$ avec un angle α entre $\vec{F}$ et $\vec{AB}$



On comprend bien que :
- plus la distance AB parcourue est importante, plus le travail est grand
- plus la force F est grande, plus le travail est grand
- plus l'ange α est grand, plus le travail est petit (si α < 90°). (Si vous poussez la voiture vers le haut, vous lui transmettez moins de vitesse dans la direction AB)

Le travail d'une force dépend donc de : la valeur de la force $\vec{F}$, de la longueur du déplacement $\vec{AB}$ considéré et de l'angle α entre la force et la direction de déplacement.

2 Expression du travail W d'une force F

Cette présentation nous mène à la définition rigoureuse du travail d'une force :

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ de la force $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace de A à B est égal à :

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

$W_{AB}(\vec{F})$ en Joule(J),
F en Newton(N), AB en mètre (m)

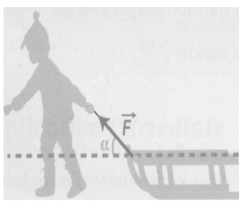
<u>Remarque</u> : $\vec{F} \cdot \vec{AB}$ est le **produit scalaire** des vecteurs $\vec{F}$ et $\vec{AB}$

3 Calculs de quelques travaux

<u>Exercice 6 p 198</u>: Connaître l'expression du travail d'une force

À l'aide d'une corde, Sylvain tire sa luge en ligne droite sur une distance AB de 200 m.
La force $\vec{F}$ exercée par la corde sur la luge fait un angle α de 40° par rapport à l'horizontale. Elle garde une valeur constante de 45 N.

1. Donner l'expression du travail de la force $\vec{F}$ au cours du déplacement $\vec{AB}$.
2. Calculer sa valeur.



Exercice 6 p 198:

Réponses :

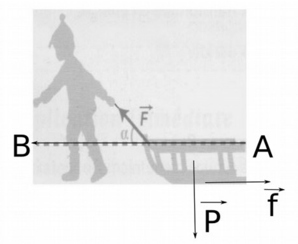
1 et 2. $W_{AB}(\vec{F})=\vec{F}\cdot\vec{AB}=F\times AB\times\cos\alpha=45\times200\times\cos 40°$ = 6894 J

Donc le travail de la force $\vec{F}$ permet d'apporter 6894 J d'énegie à la luge. Cette énergie permet de maintenir la luge en mouvement alors qu'elle subit des frottements.De plus, le travail de la force $\vec{F}$ est moteur car $W_{AB}(\vec{F})>0$.

Cours : généralisation pour toute force $\vec{F}$:

> On dit que le travail d'une force $W_{AB}(\vec{F})$ est **moteur** si $W_{AB}(\vec{F}) > 0$
> Remarque : si le travail est moteur, cela signifie que le travail de la force $\vec{F}$ a contribué à augmenter l'énergie cinétique (= énergie de mouvement) du système considéré.

Questions supplémentaires sur cet exercice :



3. Quel est le travail du poids $\vec{P}$ de la luge lors du déplacement AB ?

Données : m(luge) = 6,0 kg et $g=9{,}8\ N.kg^{-1}$

$W_{AB}(\vec{P})=\vec{P}\cdot\vec{AB}=mg\times AB\times\cos 90°=6{,}0\times9{,}8\times200\times\cos 90°=0$

car $\vec{P}$ perpendiculaire à $\vec{AB}$ car cos 90° = 0

4. Quel est le travail de la force $\vec{f}$ de frottements du sol sur la luge ? On suppose que $\vec{f}$ est opposée au mouvement et horizontale et que sa valeur est constante f=34,47 N.

$W_{AB}(\vec{f})=\vec{f}\cdot\vec{AB}=f\times AB\times\cos 180°=34{,}47\times200\times(-1)$ = -6894 J.

Le travail de la force de frottements $\vec{f}$ est résistant car il est négatif.

Cours: généralisation pour toute force $\vec{F}$:

> On dit que le travail d'une force $W_{AB}(\vec{F})$ est **résistant** si $W_{AB}(\vec{F}) < 0$
> Remarque : si le travail est résistant, cela signifie que le travail de la force $\vec{F}$ a contribué à diminuer l'énergie cinétique du système considéré.

Dans cet exemple de la luge, le système luge perd de l'énergie sous forme de chaleur à cause des frottements. Par contre, il gagne de l'énergie grâce à la force de traction $\vec{F}$ exercée par Sylvain. Ici, le travail du poids ne modifie pas l'énergie cinétique du système. Au total, la variation de l'énergie cinétique du système est nulle (6894 – 6894 =0) : la luge avance à vitesse constante.

Remarque : Si la luge avait zigzagué pour aller de A à B, l'énergie perdue par la luge au cours du mouvement aurait été plus grande. Le travail de $\vec{f}$ dépend du chemin suivi : on dit que $\vec{f}$ est une **force non conservative**.

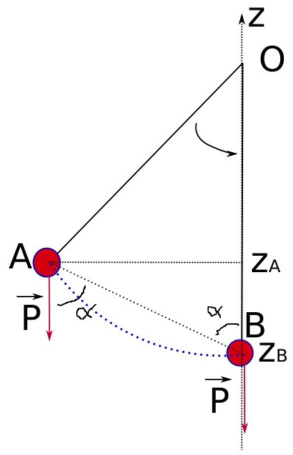
Cours : généralisation pour toute force $\vec{F}$

> Une force $\vec{F}$ est **non conservative** si le travail de cette force entre A et B **dépend** du chemin suivi entre A et B. La force de frottements est toujours non conservative.

II Travail du poids

1) formule du travail du poids $W_{AB}(\vec{P})$

Cherchons une formule pour le travail du poids.



Soit un pendule (fil attaché + boule) , la trajectoire de la boule est un arc de cercle . Soit A le sommet de la trajectoire. B est le point d'altitude la plus basse. L'altitude de A est z_A et l'altitude de B est z_B.

Établissons l'expression du travail du poids entre les points A et B soit $W_{AB}(\vec{P})$. Par définition du travail d'une force, nous savons que :

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

Or, P = mg donc $W_{AB}(\vec{P})=mg\times AB\times\cos\alpha$

Or, cosα = $\frac{(z_A-z_B)}{AB}$ donc :

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

soit au final :

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

Conclusion : le travail $W_{AB}(\vec{P})$ du poids $\vec{P}$ d'un système de masse m lors d'un déplacement $\vec{AB}$ est donné par la formule :

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

Unités : W en Joule(J) , m en kg , g = 9,8 N/kg , z en mètre(m) .

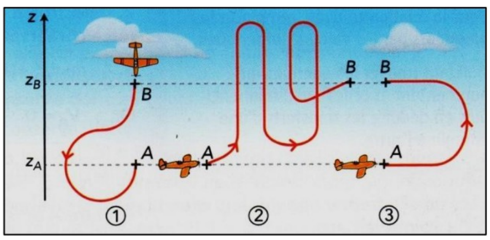
Attention : z_A est l'altitude du point de **départ**.

Commentaires :
1) Le travail du poids peut-être moteur ou résistant .
2) Formule toujours vraie .
3) Si la boule avait pris un autre chemin tout en passant par A au départ et B à la fin, le travail du poids aurait été le même : le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi : on dit que **le poids $\vec{P}$ est une force conservative** . Le poids ne modifie pas l'énergie mécanique du système (énergie cinétique + énergie potentielle).

Exercice p 198 n°8 Connaître l'expression du travail du poids

Lors d'un meeting aérien, un avion de voltige, de masse *m*, effectue différentes figures dans un plan vertical

1. Attribuer à chaque figure l'expression du travail du poids de l'avion qui lui correspond parmi les propositions suivantes :



$W_{AB}(\vec{P})$ = m .g.(z_B - z_A) ; $W_{AB}(\vec{P})$ = m .g.(z_A - z_B)

$W_{BA}(\vec{P})$ = *m.g.(z_B -z_A)* ;

2. a. Calculer dans chaque cas sa valeur.
   b. Comparer ces valeurs. Justifier les éventuelles égalités.

Données : m = 600 kg ; g = 9,81 m.s^{-2} ; z_B - z_A = 800 m.

Réponses : 1. Figure 1 associée à $W_{AB}(\vec{P})=mg\times(z_B-z_A)$, figure 2 associé à $W_{AB}(\vec{P})=mg\times(z_A-z_B)$, figure 3 associé à $W_{AB}(\vec{P})=mg\times(z_A-z_B)$

2. a) figure 1 : $W_{BA}(\vec{P})=mg\times(z_B-z_A)=600\times9{,}81\times800=4\,708\,800\,J$

figure 2 : $W_{AB}(\vec{P})=mg\times(z_A-z_B)=600\times9{,}81\times(-800)=-4\,708\,800\,J$

figure 3 : $W_{AB}(\vec{P})=mg\times(z_A-z_B)=600\times9{,}81\times(-800)=-4\,708\,800\,J$

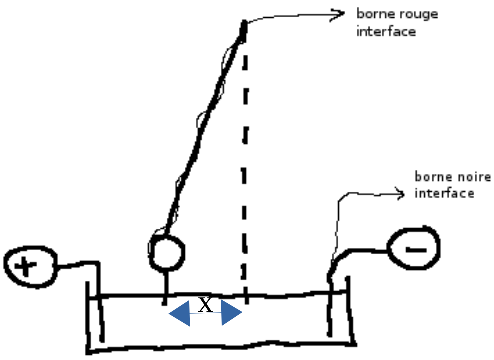
b) Pour la figure 1, la travail du poids est positif car il est moteur (il contribue à augmenter la vitesse). Pour la figure 2 et 3, le travail du poids est résistant. Il y a égalité car le poids ne dépend pas du chemin suivi entre A et B (poids = force conservative).

III Transferts d'énergie lors des oscillations d'un pendule

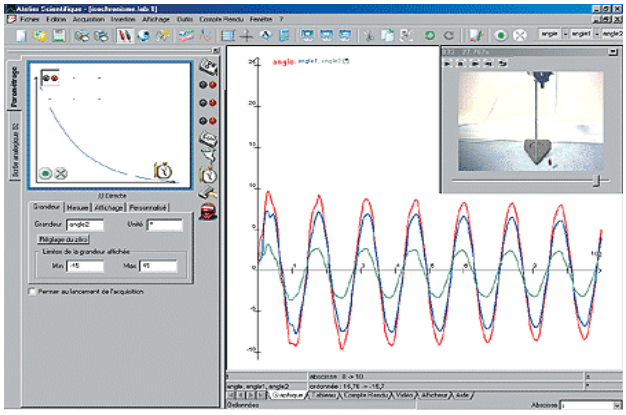
1. Période T d'un pendule

On lâche une pendule écarté de sa position d'équiblibre. Il se met en oscillation :

Dispositif :



Résultats :

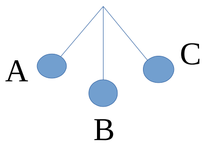


Ce dispositif permet de mesurer la distance x en fonction du temps t. Déterminons la période T du pendule.

La période T d'un pendule est la durée d'une oscillation .

Remarque : De quoi dépend cette période ?
Elle ne dépend pas de l'angle d'écartement initial, ni de l'élan donné. T ne dépend que de la longueur du fil.

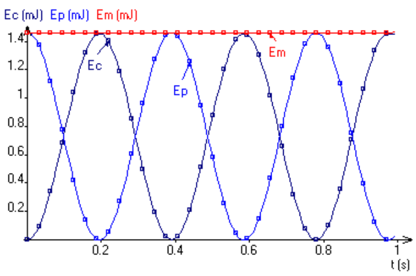
2. Transferts d'énergie lors des oscillations d'un pendule



Lorsque le pendule est en A, sa vitesse est nulle : son énergie cinétique Ec est donc nulle. Par contre A est en altitude : en A, la boule possède de l'énergie potentielle Ep.

Rappels :	L'énergie cinétique E_c :	$Ec = \frac{1}{2}mv^2$	m en kg, v en $m.s^{-1}$
	L'énergie potentielle E_p :	$E_p = mgz$	z : altitude en m

Lorsque le pendule va de A à B, son énergie **potentielle** est convertie en énergie **cinétique** . De B à C, l'énergie **cinétique** est à nouveau convertie en énergie **potentielle** . L'évolution des énergies d'un pendule au cours du temps est donc :



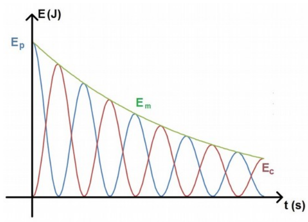
Energies d'un pendule (pas de frottements)

L'énergie mécanique Em d'un système est :

$$E_m = E_C + E_P$$

Si les transferts d'énergie s'opère **sans frottements**, Em est **constante**. Si les transferts d'énergie s'opère **avec frottements**, Em diminue.

Dans ce dernier cas, l'évolution des énergies est :



Energies d'un pendule (frottements)

3. Conclusion sur les transferts énergétiques :

Lorsqu'un système est soumis à **des forces conservatives** (poids, force électrique) ou/et à des forces non conservatives qui ne travaillent pas alors son Em se conserve :

$\Delta Em = \Delta Ec + \Delta Ep = 0$ Δ veut dire variation

Ou :

$Ec_A + Ep_A = Ec_B + Ep_B$ = constante

Par exemple, on a vu que l'énergie mécanique d'un pendule en oscillation se conserve. C'est le cas aussi d'un projectile si on peut négliger les frottements.

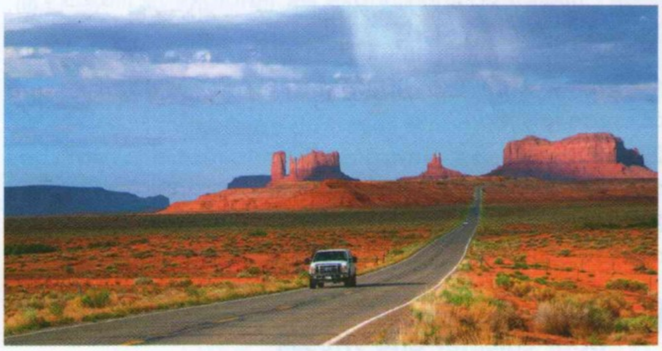
Si les frottements ne sont pas négligeables :

Lorsqu'un système est soumis à des forces **non conservatives** (**frottements par exemple**), son énergie mécanique **ne se conserve pas**. Elle varie. Cette variation est égale à la somme des travaux des forces non conservatives (noté $W(\vec{f})$)

$\Delta Em = W(\vec{f})$

Exercices :

15 Utiliser les transferts d'énergie pour calculer la valeur d'une force



Un véhicule de masse m = 1 000 kg est en mouvement sur une route horizontale et rectiligne à la vitesse de valeur $v = 83{,}5\ km \cdot h^{-1}$.
Sous l'action exclusive de son système de freinage, le véhicule s'arrête en 50,0 m.

1. Donner l'expression de la variation d'énergie mécanique pendant le freinage en fonction de m et de v.

2. Calculer la valeur de la force de freinage $\vec{f}$, considérée constante et parallèle au déplacement pendant tout le freinage.

18 Utiliser la non-conservation de l'énergie mécanique

COMPÉTENCE **Calculer.**

Arrivé sur un green horizontal, un joueur de golf doit effectuer un put de longueur ℓ = 6,0 m pour que sa balle, de masse m, aille dans le trou.
Le joueur communique à la balle une vitesse initiale de valeur v_0.
La balle, assimilée à un point matériel, est alors animée d'un mouvement rectiligne. Durant son mouvement, elle est soumise à une force de frottement constante de valeur $4{,}0 \times 10^{-2}$ N.

1. a. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la balle et les représenter sur un schéma.
b. Donner l'expression du travail de chacune des ces forces au cours du mouvement.

2. L'énergie mécanique de la balle se conserve-t-elle au cours du mouvement ?

3. Quelle doit être la valeur de v_0 pour que la balle atteigne le trou avec une vitesse de valeur nulle ?

Donnée : m = 45 g.