TRAVAIL ET ENERGIE

Préambule :
Cette leçon prolonge le thème « mouvements et interactions » puisque nous allons analyser les situations d'un autre point de vue : celui de l'énergie.
Pour cela, nous allons mettre en relation la notion de forces et celle d'énergie en introduisant une nouvelle grandeur : le travail d'une force.
Grâce à cette nouvelle notion, nous allons pouvoir évaluer des transferts d'énergie et faire des bilans d'énergie (via le TEc).

Le travail d'une force est un mode de transfert d'énergie : il représente l'énergie transmise par une force à un corps lors du déplacement de son point d'application.

I. DEFINITION DU TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE*.

*Une force est **constante** si sa norme, son sens, sa direction et son point d'application restent inchangés ; en revanche, au cours du mouvement, le point d'application peut se déplacer mais l'endroit où s'applique la force, lui, est inchangé.

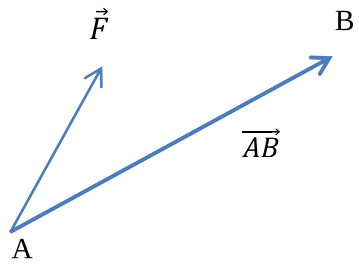
Le travail d'une force est un mode de transfert d'énergie : il représente l'énergie transmise par une force à un corps lors du déplacement de son point d'application.

1) Définition mathématique :

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

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

F en N
AB en m
W en J



A retenir :
Le travail d'une force est nul si :

** son point d'application ne se déplace pas

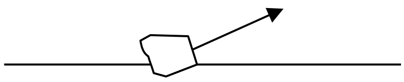
** sa direction est perpendiculaire au déplacement du système étudié.

2) Travail moteur et résistant.

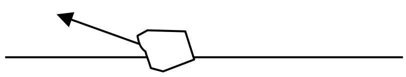
Soit un objet en mouvement vers la droite, se déplaçant de A à B avec une vitesse horizontale.
Le travail d'une force est **moteur** si la force favorise le déplacement, donc si elle est dans son sens.
Le travail d'une force est **résistant** si la force s'oppose au déplacement.

sens mvt

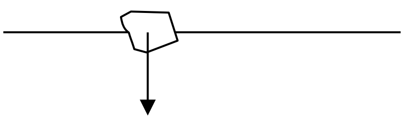
W($\vec{F}$) > 0 si $\vec{F}$ est dans le sens du mouvement



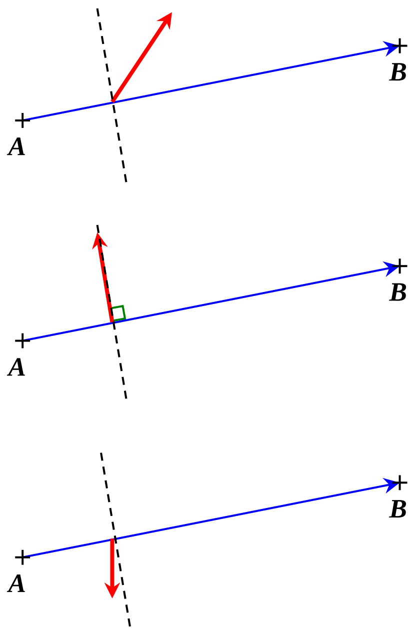
W($\vec{F}$) < 0 si $\vec{F}$ est dans le sens opposé au mouvement



W($\vec{F}$)= 0 → $\vec{F}$ a une direction perpendiculaire au déplacement.

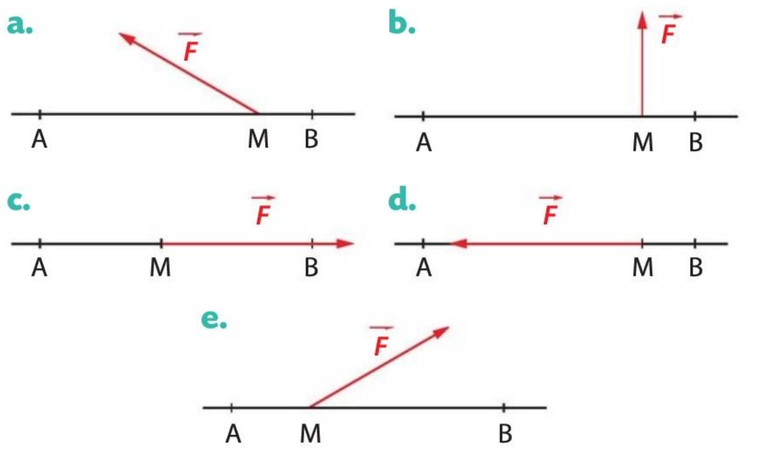


Application 1 :
Indiquer dans chaque cas si le travail de la force est moteur, résistant ou nul (déplacement de A vers B).
Faire le lien entre votre réponse et la comparaison de l'angle ($\vec{F}$, $\overrightarrow{AB}$) par rapport à 90 °.



Travail	Comparaison de l'angle avec 90 °
moteur	Inférieur à 90 °
Nul	égal à 90 °
résistant	Supérieur à 90 °

Application 2 : dans chaque situation ci-dessous, déterminer le signe de $W_{AB}(\vec{F})$.



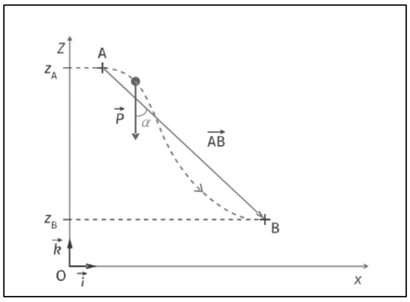
a)W < 0 ; b) W = 0 ; c)W > 0 ; d) W < 0 ; e) W > 0.

Application 3 :
Montrer que $W_{BA}(\vec{F}) = -W_{AB}(\vec{F})$.
$W_{BA}(\vec{F})$ = F.AB.cos(180 – α) = - F.AB cosα = - $W_{AB}(\vec{F})$

II. DETERMINATION DU TRAVAIL DE QUELQUES FORCES CONSTANTES.

Nous allons voir qu'en fonction du travail de certaines forces, on peut dégager des propriétés pour certaines forces.

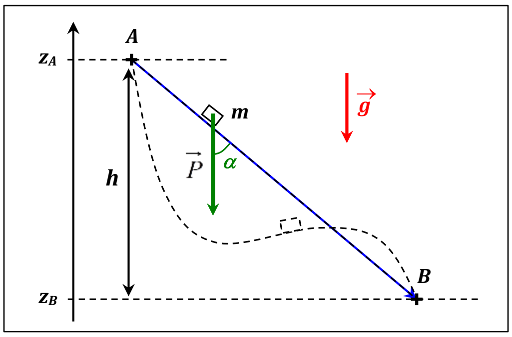
1) Travail du poids.

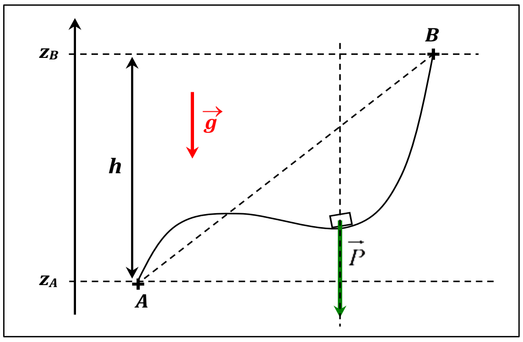


Considérons un objet de masse m dont le centre d'inertie se déplace d'un point A à un point B suivant le chemin indiqué ci-contre.
Déterminons le travail du poids au cours du déplacement de l'objet de A à B :

démonstration p 261 du livre

Applications : donner l'expression de $W_{AB}(\vec{P})$ en fonction de h et commenter son signe.





cas A : le prod.sc de $\vec{P}.\vec{AB}$ est > 0 (α < 90 °) donc le poids est moteur : $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = + mgH$
cas B : le prod.sc de $\vec{P}.\vec{AB}$ est < 0 (α > 90 °) donc le poids est résistant : $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = - mgH$

A retenir : $W_{AB}(\vec{P}) = \pm mgH_{AB}$ (avec $H_{AB} > 0$ évidemment) : + si l'objet descend et « - » si l'objet monte.

2) Travail de la force de frottement.

Lors d'un mouvement rectiligne de longueur AB, le travail d'une force de frottement constante $\vec{f}$ est donné par :

démonstration p 261 du livre

III. **THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE** (noté TEc).

Rappel collège : Ec = ½.mv² avec E en J, m en kg et v en $m.s^{-1}$.

1) Enoncé.

La variation ΔE_C de l'énergie cinétique d'un système S en mouvement, d'une position A à une position B, est égale à la somme des travaux de toutes les forces qui s'exercent sur S entre A et B :

$$\Delta_{AB} E_C = E_C(B) - E_C(A) = \Sigma\, W_{AB}(\vec{F})$$

Le théorème de l'Ec permet de quantifier le lien entre le travail des forces et la variation de la vitesse :

si $W_{AB}(\Sigma\vec{F})$ ou la somme des W des forces > 0 : le système gagne de l'Ec entre A et B : la vitesse de S augmente.
si $W_{AB}(\Sigma\vec{F})$ ou la somme des W des forces < 0 : le système perd de l'Ec entre A et B : la vitesse de S diminue.
si $W_{AB}(\Sigma\vec{F}) = 0$: le système conserve son Ec entre A et B : la vitesse de S reste cte : attention, dans ce cas, le vecteur somme_forces peut TB agir sur la direction du S mais en aucun cas sur sa vitesse.

Application au lancer parabolique d'un objet en chute libre : seule force en présence : le poids

Phase montée	Phase descente
Le poids est résistant	Le poids est moteur
$W(P) < 0$	$W(P) > 0$
$\Delta E_C < 0$: le système ralentit	$\Delta E_C > 0$: le système accélère

2) Méthode d'utilisation.

- définir le système étudié et préciser le référentiel d'étude
- faire un bilan des forces et les représenter
- écrire l'expression littérale du TEc en précisant les points entre lesquels on l'applique
- exprimer les différents W et éliminer les termes nuls s'il y en a
- identifier la grandeur recherchée et l'isoler pour déterminer son expression littérale.

Exemple : un enfant de masse m se lâche d'un point A pour glisser sur un toboggan, modélisable par une portion rectiligne AB, sur laquelle s'exerce une force de frottement de norme f constante.
Donner l'expression littérale de la vitesse atteinte par l'enfant au point B, situé en bas du toboggan.

- système étudié : l'enfant
- référentiel d'étude : référentiel terrestre
- bilan des forces : le poids, la réaction normale du support, la force de frottement
- Théorème de l'Ec entre A et B :

$$\Delta_{AB} E_C = E_C(B) - E_C(A) = \Sigma\, W_{AB}(\vec{F}) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{N}) + W_{AB}(\vec{f})$$

La réaction normale étant perpendiculaire au support donc perpendiculaire au déplacement dans ce cas, son travail est nul.

$\frac{1}{2}.mV_B^2 - \frac{1}{2}.mV_A^2 = m.g.H - f.AB$ avec $H = y_A - y_B$

$V_B = \sqrt{V(A)^2 + 2g.H - 2f.AB/m}$

L'enfant se « lâche » donc V(A) = 0 : $V_B = \sqrt{2g.H - 2f.AB/m}$

Commentaires : influence des différents paramètres sur la valeur de « v » :
** + H augmente, + V(B) augmente
** + f augmente, + V(B) diminue
** + m augmente, + V(B) augmente

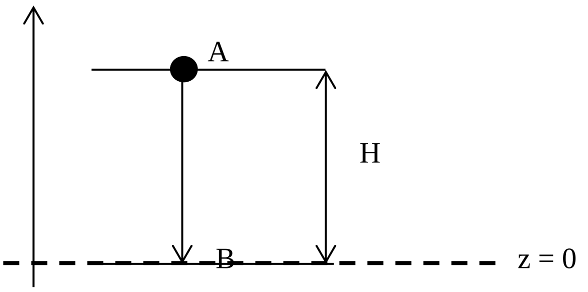
IV. <u>TRANSFERTS ENERGETIQUES.</u>

1) <u>Energie potentielle de pesanteur (notée E_{PP}).</u>

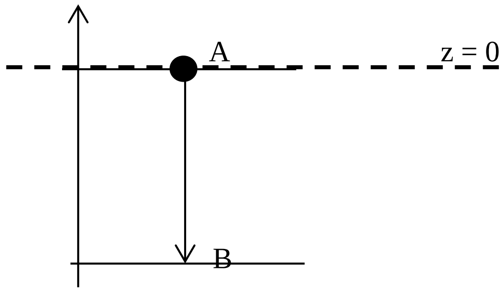
Un corps de masse « m » placé dans un champ gravitationnel possède, grâce à sa position, une énergie « en réserve » appelée **<u>énergie potentielle de pesanteur</u>** ; cette énergie en réserve (donc potentielle) pourra être transférée en Ec si ce corps se déplace, soumis à son poids (càd soumis à l'interaction gravitationnelle).

Si l'origine des E_{PP} est prise en z = 0, alors $Epp_{(z = 0)} = 0$; on retiendra que $\mathbf{E_{pp} = mgz}$ <u>avec l'axe Oz vers le haut.</u>

<u>IMPORTANT</u> : la valeur et le signe de Epp dépendent de l'origine des altitudes.



Epp(A) = mgz(A) = mgH
Epp(B) = 0
Δ_{AB} Epp = Epp(B) – Epp(A) = – mgH



Epp(A) = 0
Epp(B) = – mgz(B) = – mgH
Δ_{AB} Epp = Epp(B) – Epp(A) = – mgH

<u>A retenir</u> : Epp n'a pas de signification physique puisque sa valeur et son signe de Epp dépendent de l'origine des altitudes ; en revanche, la variation de Epp, notée ΔEpp, est indépendante du choix de l'origine des z !

Existe-t-il un lien entre ΔE_{PP} et $W(\vec{P})$?

Existe-t-il un lien entre $\Delta_{AB}E_{PP}$ et $W_{AB}(\vec{P})$?

	Objet qui descend de A à B	Objet qui monte de A à B
Epp ↑ ou ↓ ?	Epp diminue	Epp augmente
Δ_{AB} Epp > 0 ou < 0 ?	La variation de Epp est négative	La variation de Epp est positive
$W_{AB}(\vec{P})$ > 0 ou < 0 ?	Le travail du poids est moteur donc positif	Le travail du poids est résistant donc négatif

A retenir :

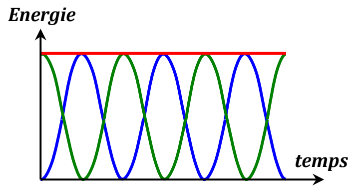
W_{AB} (poids) = – $\Delta_{AB}E_{PP}$ = - (E_{PP} (B) – E_{PP} (A)) = E_{PP} (A) – E_{PP} (B).
Si l'objet monte, Epp ↑ donc $\Delta E_{PP} > 0$ et $W(\vec{P}) < 0$.
Si l'objet descend, Epp ↓ donc $\Delta E_{PP} < 0$ et $W(\vec{P}) > 0$.

2) Conservation de l'énergie mécanique (notée E_m).

L'énergie mécanique est définie par $E_m = Ec + E_{PP}$.

Définitions :
Certaines forces ne font pas varier l'énergie mécanique du système : on les appelle des **forces conservatives** (ex : le poids, la force électrique …).
Par exemple, un objet en chute libre va perdre de l'E_{PP} mais en même temps gagner de l'E_C donc au final, son Em sera conservée.

Applications au cas d'un pendule lâché d'une hauteur h :



cas 1

1/ Identifier les différentes énergies représentées en f° de t.
En rouge : Em qui se conserve
En bleu : Ec car à to, le pendule n'a pas de vitesse donc son Ec est nulle
En vert : Epp : à to, il est à une hauteur maximale donc Epp est max
2/ Expliquer pourquoi le transfert d'Epp en Ec est total.
Le transfert est total car la totalité de Epp se transforme en Ec : Em = cte.
3/ Identifier les forces présentes et énoncer une phrase indiquant les conditions dans lesquelles Em se conserve. Le poids et la tension du fil ; seul le poids a un travail non nul puisque la tension du fil est en permanence perpendiculaire au déplacement

A retenir : si, parmi toutes les forces auxquelles est soumis le S, seul le poids travaille, alors l'E_m du système se conserve.

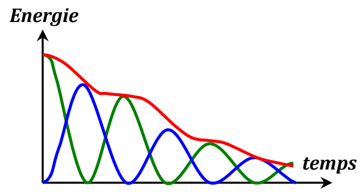
3) Non conservation de l'énergie mécanique.

D'autres forces font varier l'énergie mécanique du système, on les appelle des **forces non conservatives** (ex : les forces de frottement font perdre de l'Em ; les forces de traction font gagner de l'Em).

Lorsqu'un système est soumis à des forces non conservatives (ne se compensant pas), **son énergie mécanique ne se conserve pas : $\Delta_{AB}E_m = \Sigma\, W_{AB}(\vec{F}_{\text{non conservatives}})$**

Applications :

** cas d'un pendule lâché d'une hauteur h, en présence de frottements : dans ce cas, il y a **transfert partiel** d'énergie potentielle en énergie cinétique ou inversement.



cas 2

S = {pendule = masse accrochée au fil} dans Rt
Bilan des forces : le poids, la tension du fil, force de frottements
Appliquons le TEc entre A et B :
$\Delta_{AB} E_c = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{T}) + W_{AB}(\vec{f}) = W_{AB}(\vec{P}) + 0 + W_{AB}(\vec{f})$
$\Delta_{AB} E_c = -\Delta_{AB}E_{PP} + W_{AB}(\vec{f})$
$\Delta_{AB} E_c + \Delta_{AB}E_{PP} = W_{AB}(\vec{f})$

$\Delta_{AB}E_m = W_{AB}(\vec{f}) < 0$: Em diminue

bleu → Ec : vert → Epp ; rouge → Em