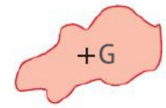
Dans tout le chapitre, le système considéré est modélisé par son centre d'inertie (doc. 1). L'étude est effectuée dans le référentiel terrestre.



Doc. 1 Système et son centre d'inertie G.

1 L'énergie cinétique

L'énergie cinétique d'un système est due au fait qu'il est en mouvement.

Dans un référentiel où le système, de masse m, a une vitesse de norme v, son **énergie cinétique** vaut :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

- v en mètres par seconde ($m \cdot s^{-1}$)
- m en kilogrammes (kg)
- E_c en joules (J)

Comme v dépend du référentiel, E_c aussi (doc. 2).

Exercices 26 et 27 p. 297

Doc. 2 Dans le référentiel du sol, la vache a une énergie cinétique nulle, mais pas dans celui du train s'il roule.

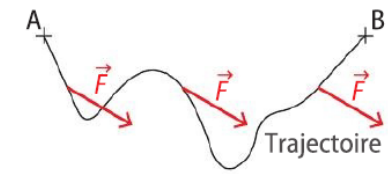
2 Le travail d'une force

a. Définition

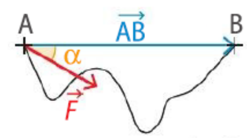
Soit un système se déplaçant d'un point A à un point B en subissant une force $\vec{F}$. Il reçoit, du fait de $\vec{F}$, une énergie appelée **travail de la force $\vec{F}$** sur le déplacement de A à B, et notée $W_{AB}(\vec{F})$.

Si le travail de $\vec{F}$ est positif, le système voit son énergie augmenter du fait de $\vec{F}$. S'il est négatif, l'énergie du système diminue sous l'effet de $\vec{F}$.

Une force constamment perpendiculaire au mouvement a un travail nul. On dit qu'**elle ne travaille pas**.



Doc. 3 La force $\vec{F}$ est constante sur la trajectoire qui mène de A à B.



Doc. 4 Représentation de $\vec{F}$, $\overrightarrow{AB}$ et de l'angle α.

b. Travail d'une force constante

La force $\vec{F}$ est **constante** si sa direction, son sens et sa norme sont inchangés au cours du déplacement (doc. 3).

Le travail de A à B de la force $\vec{F}$ **constante** est le produit scalaire de cette dernière et du vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ (doc. 4) :

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

- F en newtons (N)
- AB en mètres (m)
- $W_{AB}(\vec{F})$ en joules (J)

Unités

- Les joules (J) sont donc aussi des newtons mètres (N·m).

Vocabulaire

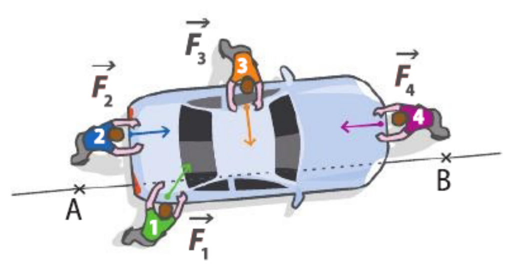
- Une force résistante est une force dont le travail est négatif.
- Une force motrice est une force dont le travail est positif.

Exemple

L'angle selon lequel chaque personnage pousse la voiture (doc. 5) est très important. Tous exercent une force de même norme, mais :

- $W_{AB}(\vec{F_4}) < 0$: ce personnage exerce une force résistante*, il est contre-productif pour le trajet de A vers B ;
- $W_{AB}(\vec{F_2}) > W_{AB}(\vec{F_1}) > 0$: les personnages 1 et 2 exercent des forces motrices*, le deuxième étant plus efficace que le premier ;
- $W_{AB}(\vec{F_3}) = 0$: ce personnage ne fournit aucun travail à la voiture.

Exercice 43 p. 298



Doc. 5 La voiture se déplace de A vers B.

c. Travail du poids dans le champ de pesanteur uniforme

Dans le repère (O ; x, y) (doc. 6), le poids $\vec{P}$ du système, force constante, a pour coordonnées $\begin{pmatrix} 0 \\ -P \end{pmatrix}$. Le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ est $\begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$.

Le travail du poids sur ce déplacement est $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$, qui s'écrit ici $W_{AB}(\vec{P}) = -P\,(y_B - y_A)$, soit $W_{AB}(\vec{P}) = P\,(y_A - y_B)$.

Lorsque le système de masse m se déplace d'un point A d'altitude y_A à un point B d'altitude y_B, le **travail de son poids $\vec{P}$** vaut :

$$W_{AB}(\vec{P}) = mg\,(y_A - y_B)$$

m en kilogrammes (kg)
y_A et y_B en mètres (m)
$W_{AB}(\vec{P})$ en joules (J)

$g = 9{,}81\ \mathrm{N{\cdot}kg^{-1}}$ est la norme du champ de pesanteur.

Attention Cette expression n'est valable que si l'axe y est orienté vers le haut.

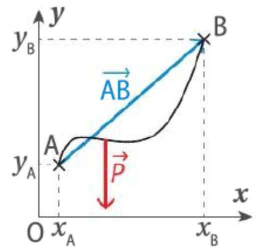
- Si $(y_A - y_B) < 0$, alors $W_{AB}(\vec{P}) < 0$: le système monte et le poids est résistant.
- Si $(y_A - y_B) > 0$, alors $W_{AB}(\vec{P}) > 0$: le système descend et le poids est moteur.

Exemple

Un déménageur charge des caisses et un chariot (doc. 7), d'une masse totale $m = 100$ kg, dans un camion, en les transportant du point A au point B, séparés de $y_B - y_A = 1{,}00$ m verticalement et de $x_B - x_A = -3{,}00$ m horizontalement. Quel que soit le chemin adopté par le déménageur, le travail du poids des caisses et du chariot vaut :

$W_{AB}(\vec{P}) = mg(y_A - y_B) = 100 \times 9{,}81 \times (-1{,}00) = -981$ J.

Exercices 28 et 29 p. 297



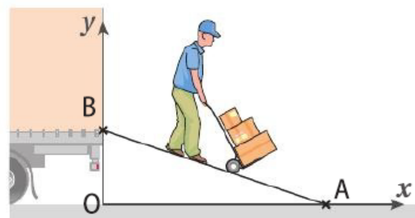
Doc. 6 Le poids est une force verticale, et le déplacement est quelconque.

MaThs

Produit scalaire

$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ b_y \end{pmatrix} = a_y \times b_y$

Fiche 9 p. 434



Doc. 7 Le déménageur transporte son chariot de A à B.

d. Travail de frottements constants sur une trajectoire rectiligne

Les frottements subis par un système en mouvement sont constamment parallèles au déplacement, et de sens opposé à ce dernier (doc. 8).

Lorsque le système subit **des frottements $\vec{f}$ de norme f constante** lors de son déplacement rectiligne d'un point A à un point B, le travail des frottements est opposé au produit de leur norme par la distance AB parcourue :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$$

f en newtons (N)
AB en mètres (m)
$W_{AB}(\vec{f})$ en joules (J)

$W_{AB}(\vec{f})$ est négatif : les frottements sont résistants.

Exemple

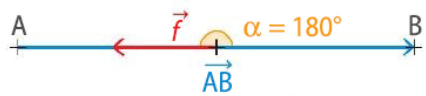
Si les frottements entre les roues du chariot et la rampe (doc. 7) ont une norme $f = 10$ N constante, leur travail vaut $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$.

Le théorème de Pythagore donne :

$AB = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2} = \sqrt{1{,}00^2 + (-3{,}00)^2} = 3{,}16$ m.

Finalement, $W_{AB}(\vec{f}) = -10 \times 3{,}16 = -32$ J.

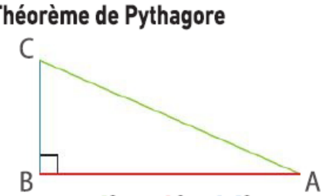
Exercices 31 et 32 p. 297



Doc. 8 L'angle entre $\vec{f}$ et $\overrightarrow{AB}$ vaut 180°.

MaThs

Théorème de Pythagore



$AC^2 = AB^2 + BC^2$

3 Théorème de l'énergie cinétique

a. Énoncé

Théorème de l'énergie cinétique

La **variation ΔE_c de l'énergie cinétique** d'un système en mouvement d'un point A, où elle vaut $E_c(A)$, à un point B, où elle vaut $E_c(B)$ est la somme des travaux des forces qu'il subit :

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F_1}) + W_{AB}(\vec{F_2}) + W_{AB}(\vec{F_3}) + \ldots$$

Notation

- Δ (la lettre grecque *delta* majuscule) est utilisée pour désigner des variations : si la grandeur X varie d'une valeur initiale X_i à une valeur finale X_f, alors $\Delta X = X_f - X_i$.

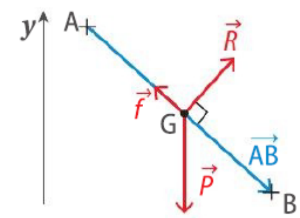
Remarque Ce théorème n'est valable que dans certains référentiels nommés référentiels galiléens (ce sont ceux dans lequel le principe d'inertie est valable). On considérera dans tout le chapitre que le référentiel d'étude est galiléen.

b. Méthode d'utilisation

① Définir le **système** et le point choisi pour le modéliser.
② Préciser le **référentiel** dans lequel on étudie le mouvement.
③ Dresser le **bilan des forces** subies par le système.
Préciser : – leur notation ;
– leur direction ;
– leur sens ;
– l'expression de leur norme lorsqu'on la connaît.
Les représenter, à partir d'un point, sur un **schéma**.
④ Écrire l'expression littérale du **théorème de l'énergie cinétique** en utilisant les notations de l'énoncé ou en définissant les notations.
L'utiliser pour répondre à la question posée par l'énoncé.

a.

b.



Doc. 9
Un enfant descend sur un toboggan (**a**). Le schéma des forces subies par l'enfant (**b**).

Exemple

Un enfant de masse m s'élance d'un point A situé en haut d'un toboggan présentant une partie [AB] rectiligne (doc. 9a).

① On étudie l'enfant modélisé par son centre d'inertie G.
② Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre, supposé galiléen.
③ Le système subit :
– son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
– les frottements de l'air et du toboggan $\vec{f}$, parallèles au toboggan, vers le haut ;
– la réaction normale du toboggan $\vec{R}$, perpendiculaire à ce dernier, vers le haut (doc. 9b).
④ Le théorème de l'énergie cinétique entre le point A (début du mouvement) et le point B (fin de la partie rectiligne) s'écrit :

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{f}) + W_{AB}(\vec{R})$$

$\vec{R}$ ne travaille pas, car elle est perpendiculaire au déplacement.

Le travail du poids est $W_{AB}(\vec{P}) = mg(y_A - y_B)$.

Comme $W_{AB}(\vec{P}) > 0$, le poids est moteur.

Si la norme f des frottements est constante, alors $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$.

Comme $W_{AB}(\vec{f}) < 0$, les frottements sont résistants.

Si l'on note v_A la vitesse de l'enfant en A, v_B sa vitesse en B, on obtient :

$$\frac{1}{2}m{v_B}^2 - \frac{1}{2}m{v_A}^2 = mg(y_A - y_B) - f \times AB$$

À la suite de cela, on peut extraire la grandeur recherchée. Par exemple, la vitesse acquise en B s'écrit : $v_B = \sqrt{{v_A}^2 + mg(y_A - y_B) - f \times AB}$

MaThs

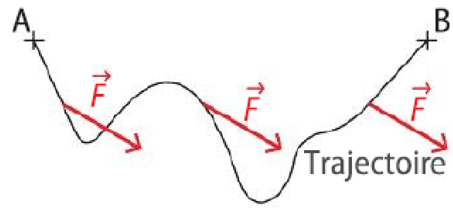
Si deux vecteurs sont perpendiculaires, leur produit scalaire est nul.
Ici $\vec{R}$ est perpendiculaire à $\vec{AB}$.

Exercices 34 et 35 p. 297

***** L'essentiel *****

TRAVAIL D'UNE FORCE

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force $\vec{F}$ est **l'énergie** que le système reçoit sous l'effet de $\vec{F}$ lors de son déplacement de A à B.



Travail d'une force $\vec{F}$ constante

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

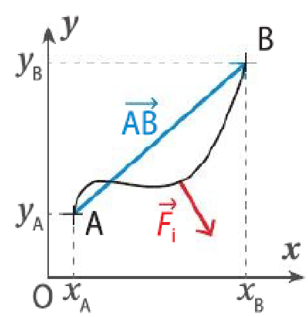
Poids $\vec{P}$	**Frottements $\vec{f}$ constants sur une trajectoire rectiligne**	**Force $\vec{F}$ constamment perpendiculaire au mouvement**
$W_{AB}(\vec{P}) = mg(y_A - y_B)$	$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$ $(W_{AB}(\vec{f}) < 0)$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$

THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Système qui se déplace de A à B et subit les forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$, etc.

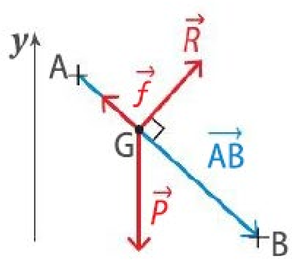
Variation de l'énergie cinétique du système entre A et B

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F}_1) + W_{AB}(\vec{F}_2) + W_{AB}(\vec{F}_3) + \ldots$$



Situation réelle

Choix du système, du point qui le représente et du référentiel



Bilan des forces et schéma

$$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{f}) + W_{AB}(\vec{R})$$

Application du théorème de l'énergie cinétique