

## Séance 5

# Forces de frottement

$$\frac{d\vec{x}}{dt}(t) = \vec{v}(t)$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt}(t) = \vec{a}(t)$$

$$m \vec{a}(t) = \sum \vec{F}(t)$$

**Force de frottement entre deux surfaces solides**

The graph shows the friction force  $f$  on the y-axis and the applied force  $F_{app}$  on the x-axis. The curve starts at the origin and increases linearly in the 'Au repos' (at rest) region, reaching a peak labeled  $f_{s,max} = \mu_s N$ . In the 'En mouvement' (in motion) region, the friction force drops to a constant value  $f_c = \mu_c N$ . The free-body diagram shows a blue block on a grey surface. Forces acting on it are: a red arrow pointing down for weight  $m\vec{g}$ , a black arrow pointing up for normal force  $\vec{N}$ , a blue arrow pointing right for applied force  $\vec{F}_{app}$ , and a green arrow pointing left for friction force  $\vec{f}$ .

**Force de frottement statique**

Si un bloc est au repos sur une surface et si on exerce une force parallèle  $F_{app}$  à la surface, la force de frottement statique ajuste automatiquement sa valeur pour compenser la force appliquée, mais seulement jusqu'à une valeur maximale dont le module est donné par :

$$f_{s,max} = \mu_s N$$

**Force de frottement cinétique**

Si un bloc glisse sur la surface, la force de frottement cinétique peut être estimée par :

$$f_c = \mu_c N$$

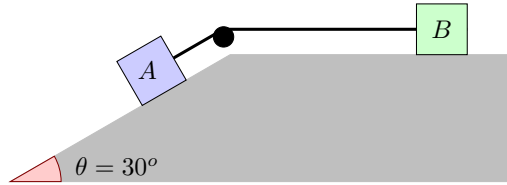
Le coefficient  $\mu_c$  tend vers une constante uniquement lorsque le glissement devient régulier !

**31** La vitesse d'une rondelle de hockey de  $m = 90 \text{ gr}$  passe d'une valeur  $v_0 = 10 \text{ m/s}$  à une valeur  $v_f = 8 \text{ m/s}$  sur une distance  $d = 12 \text{ m}$ . Quelle est la force de frottement exercée sur la rondelle ?

**32** Un camion de masse  $m = 3000 \text{ kg}$  descend en roue libre une pente avec une inclinaison  $\alpha = 5^\circ$  à vitesse constante. On a coupé le moteur et débrayé :-)  
Tous les effets de frottement sont supposés constants : la force de frottement ne change pas !  
Quelle doit être la force fournie par le moteur pour que la camion puisse remonter cette pente avec la même vitesse ?

**33**

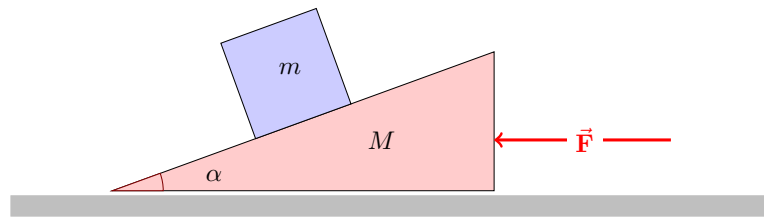
Deux blocs reliés entre eux sont en mouvement à vitesse constante. Le bloc  $A$  descend sur le plan incliné. Les masses respectives de deux blocs sont  $m_A = 5 \text{ kg}$  et  $m_B = 2 \text{ kg}$ . On a un unique coefficient de frottement bloc-sol pour les deux blocs.



1. Quelle est la valeur de ce coefficient de frottement cinétique bloc-sol ?
2. Quelle est la tension dans la corde ?

**34**

Un bloc de masse  $m = 0.5 \text{ kg}$  est placé sur un coin de section triangulaire de masse  $M = 2 \text{ kg}$ . Ce second bloc est soumis à une force horizontale  $F$  et glisse sans aucun frottement sur le sol horizontal. L'angle  $\alpha = 40^\circ$ . Le coefficient de frottement statique entre les deux blocs est  $\mu_s = 0,6$ . Pour quelles valeurs de cette force  $F$ , le bloc ne glisse pas sur le plan incliné ?



**Force de frottement exercée par un fluide sur un corps : force de trainée (drag)**

La trainée est une force aérodynamique due à l'écoulement de l'air autour d'un corps en mouvement. Cette force s'oppose au mouvement et grandit avec la vitesse :

$$F_D = \underbrace{\frac{1}{2} C_D \rho A}_k v^2$$

où  $A$  est la surface frontale du corps,  $\rho$  est la masse volumique du fluide et  $C_D$  est un coefficient de trainée qui dépend lui-même de la forme, de l'orientation et de la vitesse du corps.

Pour un mouvement à basse vitesse, la trainée est simplement proportionnelle à la vitesse :  $F_D = \gamma v$ .

**35**

Un paquet de masse  $m = 20 \text{ kg}$  tombe d'un avion et atteint une vitesse limite  $v_L = 30 \text{ m/s}$ . On considère que la trainée de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse. Quelle vaut la trainée lorsque le paquet a une vitesse qui est la moitié de sa vitesse limite ?

**36**

Le moteur d'une auto permet gravir une pente d'un angle maximal  $\alpha$  avec une vitesse constante. Tous les effets de frottement sont supposés constants : la force de frottement ne change pas ! Quelle serait son accélération maximale sur une route horizontale ?

### Notions physiques en mécanique

Vitesse	$\vec{v}$	$m/s$
Accélération	$\vec{a}$	$m/s^2$
Force	$\vec{F}$	$kg\ m/s^2 = N$
Impulsion	$\vec{F}\ \Delta t$	$kg\ m/s = Ns$
Quantité de mouvement	$m\vec{v}$	$kg\ m/s = Ns$
Puissance	$\vec{F} \cdot \vec{v}$	$kg\ m^2/s^3 = Nm/s = J/s = W$
Travail	$\vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$	$kg\ m^2/s^2 = Nm = J$
Energie cinétique	$\frac{1}{2}mv^2$	$kg\ m^2/s^2 = Nm = J$

Lorsque les forces sont **constantes**,

$$\Delta(m\vec{v}) = \sum \vec{F}\Delta t$$

$$\Delta\left(\frac{1}{2}m v^2\right) = \sum \vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$$

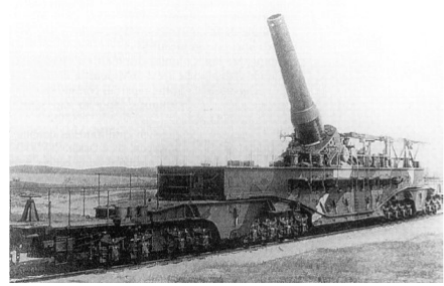
**37**

Une balle est projetée du sommet d'une falaise avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  qui pointe vers le haut avec un angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale. La falaise a une hauteur  $h$  rapport au sol. La force de trainée est négligée.

1. Esquisser un dessin du problème !
2. Déterminer la vitesse de la balle lorsqu'elle touche le sol avec la cinématique et la loi de Newton.
3. Déterminer ensuite cette même vitesse en effectuant un bilan d'énergie !

**38**

Une masse  $m = 2\text{ kg}$  est propulsée avec une vitesse initiale  $v = 4\text{ m/s}$  sur une surface horizontale. Le coefficient de frottement cinétique est  $\mu_c = 0.6$ .  
Quelle sera la distance parcourue avant que l'objet ne s'arrête ?



**39**

Un canon dont l'élévation du tube est donnée par un angle  $\alpha$  se trouve sur la plate-forme d'un wagon initialement au repos. La masse totale du wagon et du canon est  $M$ . Un obus de masse  $m$  est tiré. La vitesse  $v$  de cet obus par rapport au canon est connue à la sortie du tube de la pièce d'artillerie. Tous les frottements sont négligés.

1. Quelle sera la vitesse de recul du wagon juste après le tir ?
2. Quel sera l'angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale selon lequel le boulet sort du canon ?  
En d'autres mots, quelle sera l'orientation de la vitesse de l'obus par rapport à un repère inertiel lié à un point fixe du sol. Attention : il ne s'agit pas de l'angle  $\alpha$  :-)

**Collisions élastiques et inélastiques !**

La quantité de mouvement globale est toujours conservée.

Lors d'une collision **parfaitement élastique**, l'énergie cinétique globale est aussi conservée.

Lors d'une collision **totale inélastique**, les deux particules restent collées entre elles !

**40**

Une grosse berline allemande de  $m_1 = 1500$  kg emboutit l'arrière d'une petite voiture française de  $m_2 = 1000$  kg, arrêtée à un feu rouge. Les 2 véhicules restent accrochés et produisent des traces de pneus de 4 m de long. Le coefficient de frottement cinétique est  $\mu_c = 0.6$

1. Quelle est leur vitesse commune juste après la collision ?
2. Quelle est la vitesse de la grosse berline allemande juste avant la collision ?

**41**

Lors d'un plaquage, deux joueurs de rugby se percutent perpendiculairement.

Le premier joueur a une masse  $m_A = 90$  kg et court avec une vitesse  $v_A = 8$  m/s .

Le second joueur a une masse de  $m_B = 110$  kg et court avec une vitesse  $v_B = 7.5$  m/s.

La collision est parfaitement inélastique et se produit pendant le court instant où les pieds ne touchent pas la sol. En d'autres mots, les deux joueurs restent accrochés ensemble après leur choc !

1. Quelle est leur vitesse commune juste après le choc ?
2. Quelle est la perte d'énergie cinétique ?

**42**

La tête d'un bâton de golf frappe une balle de golf de  $m = 46$  gr au repos. Si le choc dure sur un intervalle de temps  $\Delta t = 5 \cdot 10^{-4}$  secondes et que la balle acquiert une vitesse  $v = 220$  km/h. Quelle est l'impulsion et la force moyenne correspondante subies par la balle ?

**43**

Une balle de tennis de  $m = 60$  gr percute horizontalement un mur avec une vitesse  $v = 30$  m/s. Après la collision, elle n'a plus que 81% de son énergie cinétique initiale. Quelle est l'impulsion subie par la balle ?