

FORCES (ET FROTTEMENT)

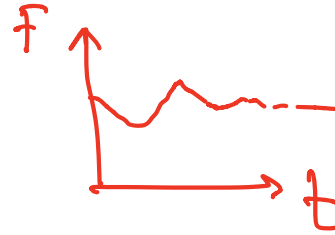
PGC-04

PGC-05

LA FORCE MOYENNE

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

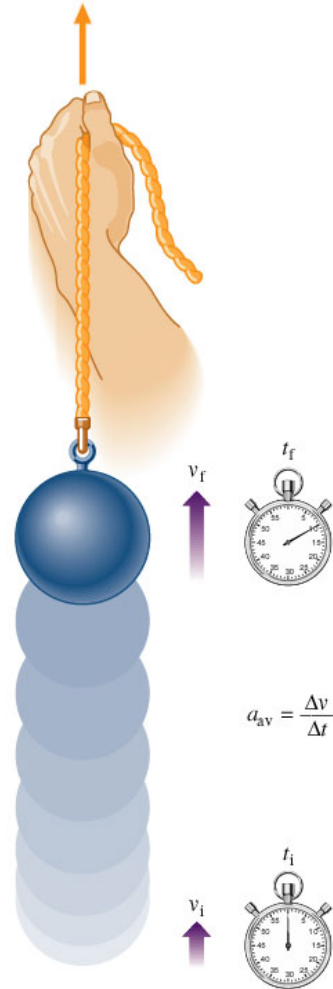
Δt long



$$a_m = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$F_m = M \cdot a_m$$

© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



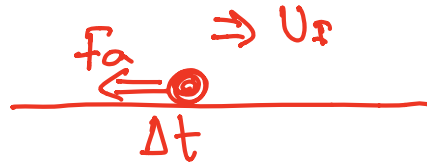
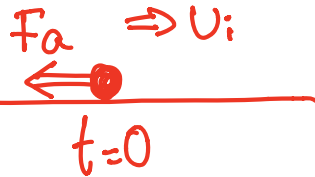
$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

EXEMPLE

Un vieux taxi de masse $m=1741.7$ kg, roule sur une route à la vitesse $v = 35.8$ m/s, lorsque le conducteur décide de continuer au point mort. La résistance de l'air le ralentit jusqu'à 22.4 m/s en 24 s avec une décélération non uniforme.

a. Calculez la décélération moyenne pendant cet intervalle de temps.

b. Déterminez la force moyenne agissant sur la voiture.



$$m = 1741.7 \text{ kg}$$

$$U_i = 35.8 \text{ m/s}$$

$$U_f = 22.4 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 24 \text{ s}$$

$$a. \quad \underline{a_m} = \frac{U_f - U_i}{\Delta t} = \dots = -0.56 \text{ m/s}^2$$

$$b. \quad \underline{F_m} = m \cdot a_m = \dots = -975 \text{ N}$$

⚠ F_a non uniforme
⇒ $F_{a \text{ moyenne}}$
{ aura même résultat! }

LE POIDS

Le poids est défini comme la force verticale gravitationnelle sur un corps à la surface de la Terre.

$$\vec{F}_w = m \cdot \vec{g}$$

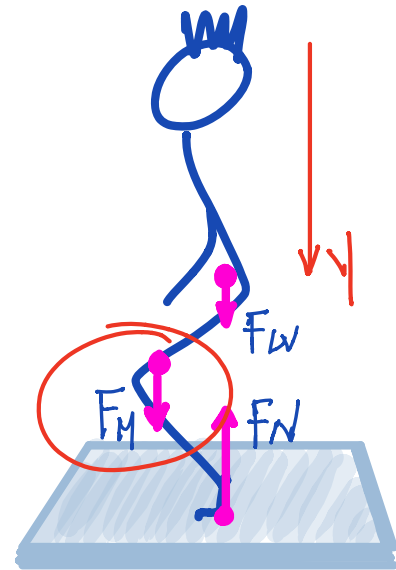
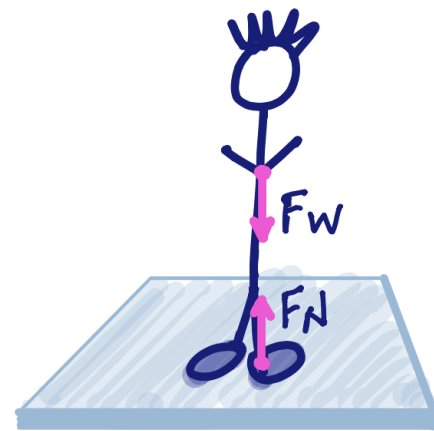
Cas spécial: la physique du saut.

$$F_N = -(F_w + F_M)$$

↑ "interne"

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_w + \vec{F}_N \Rightarrow$$

$$\sum F = F_w - (F_w + F_M) = \boxed{-F_M}$$

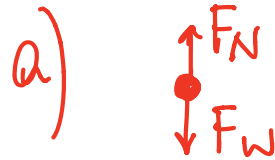
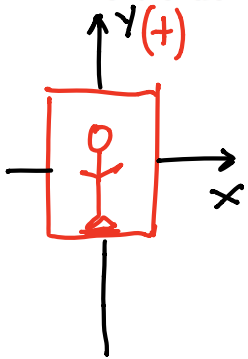


EXEMPLE

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

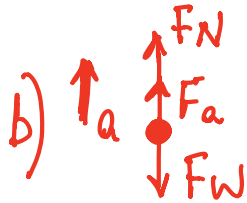
Corrigé par rapport au cours. On y retourne Mercredi!

Exercice 4.1. Une étudiante de masse 40 kg est debout à l'intérieur d'un ascenseur sur un pèse-personne qui indique le poids en newtons. Quel poids est indiqué (a) si l'ascenseur est au repos et (b) si l'ascenseur a une accélération ascendante égale à la moitié de l'accélération de la pesanteur ($a = \frac{1}{2}g$)?



$$\sum F_y = F_N - F_W = 0 \Rightarrow F_N = F_W$$

C'est l'indication de la p-p: F_N



$$\sum F_y = F_N - F_W = ma \Rightarrow F_N = m a + mg$$
$$\Rightarrow F_N = \frac{1}{2}mg + mg \Rightarrow F_N = \frac{3}{2}mg$$

Alors la p-p indique un poids effectif plus grand. Comme si la gravité serait plus grande!

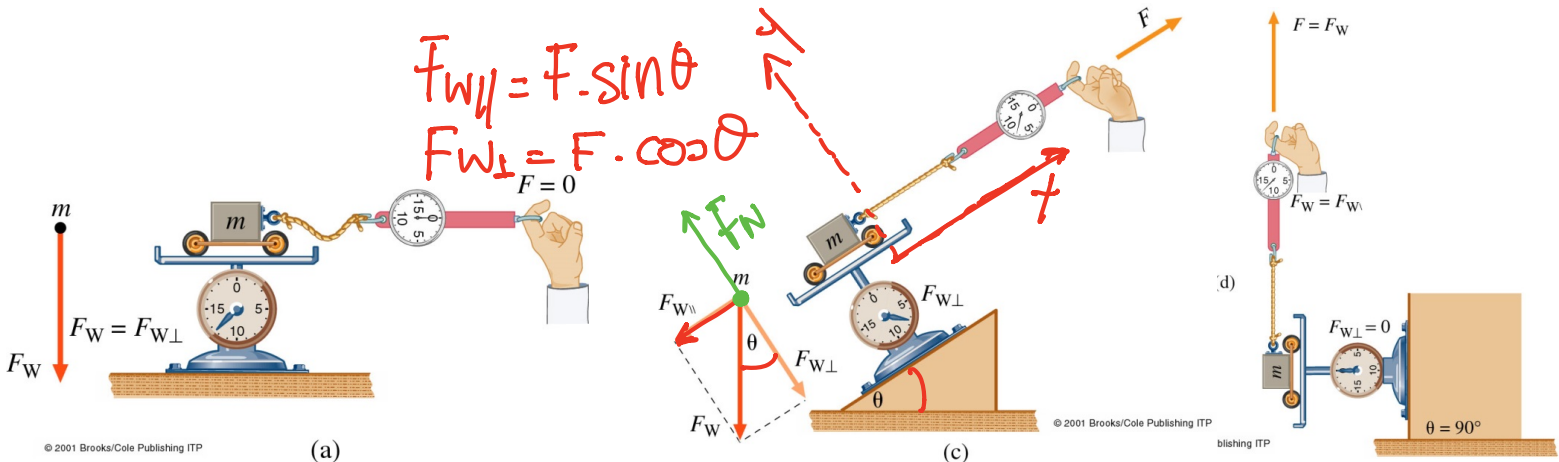
LE PLAN INCLINÉ

La force gravitationnelle agit strictement vers le bas. Mais par rapport au plan incliné elle a deux composantes:

$F_{W\parallel}$ parallèle au plan.

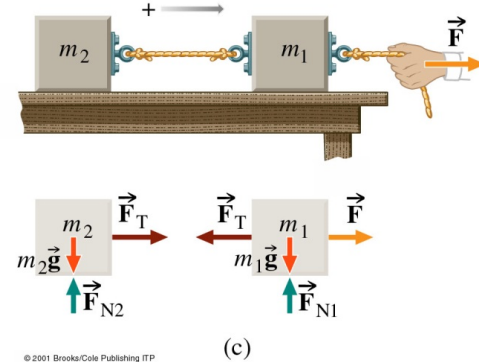
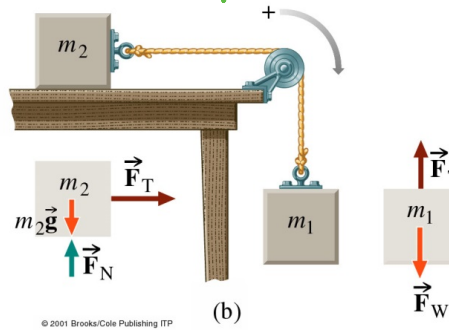
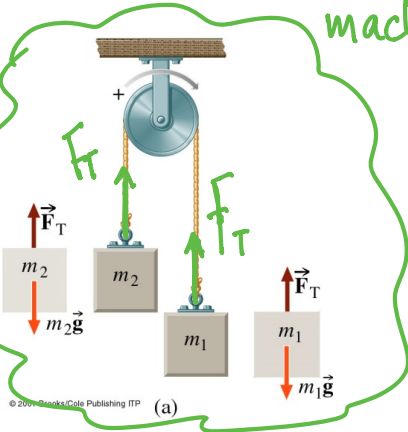
$F_{W\perp}$ perpendiculaire au plan.

Seuls les mouvements le long du plan incliné sont possibles → Ils sont dus à $F_{W\parallel}$
 Nous verrons plus loin que $F_{W\perp}$ bien que compensée par la réaction du plan, affecte le mouvement par l'intermédiaire du frottement.



MOUVEMENTS COUPLÉS

machine d'Atwood dans la suite comme exemple.



Les deux masses dans les exemples ci-dessus sont reliées par une corde de longueur fixe :

- Les poulies sont légères et sans frottement, il n'y a donc pas de force tangentielle et la tension est constante le long de chaque corde.
- Nous négligeons aussi les frottements des surfaces.

La 2^{ème} loi de Newton permet d'écrire deux équations couplées et déterminer deux inconnues (F_T et a).

MOUVEMENTS COUPLÉS

La machine d'Atwood

Pour masse m_1 :

$$\Sigma F_1 = m_1 \cdot a = F_1 - F_T = m_1 g - F_T \quad (1)$$

pour m_2 :

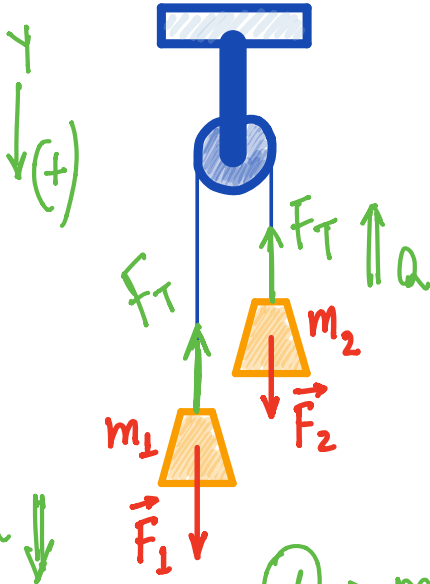
$$\Sigma F_2 = -m_2 a = m_2 g - F_T \quad (2)$$

$$\Rightarrow m_1 a + m_2 a = m_1 g - m_2 g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (m_1 + m_2) a = (m_1 - m_2) g \Rightarrow a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$$

$$(1) \Rightarrow m_1 \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g = m_1 g - F_T \Rightarrow F_T = m_1 g - \frac{m_1 (m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} g$$

$$\Rightarrow F_T = \frac{(m_1 + m_1 m_2) g - (m_1^2 - m_1 m_2) g}{m_1 + m_2} = \frac{2 m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$



LE FROTTEMENT

L'expérience quotidienne montre qu'en l'absence de force motrice, tout objet en mouvement fini par s'arrêter, en violation apparente de la première loi de Newton.

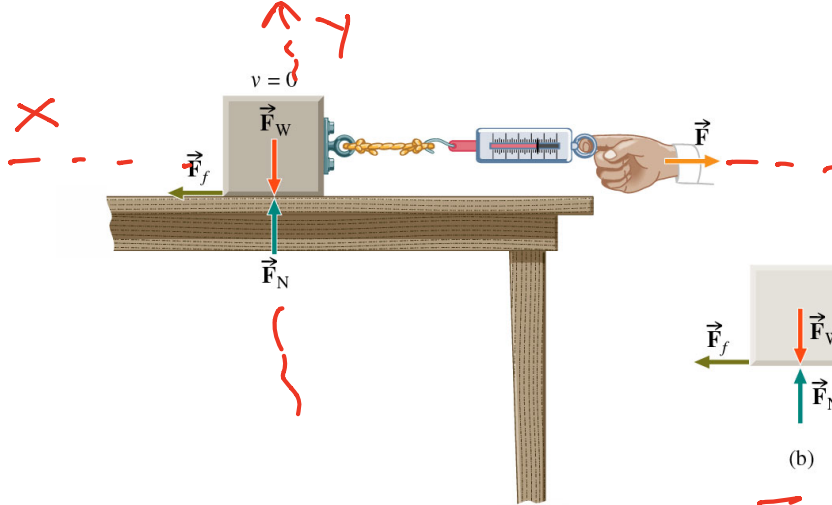
La deuxième loi nous dit qu'il faut une force pour décélérer le mouvement : c'est la force de frottement.

Il y a deux formes principales de frottements :

- le frottement **cinétique** qui s'oppose à un mouvement déjà établi.
- le frottement **statique** qui empêche un mouvement de démarrer.

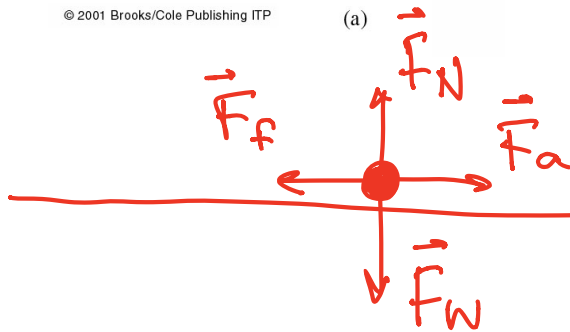
L'origine du frottement est l'interaction électromagnétique des atomes qui forment les solides, les liquides et les gaz.

LE FROTTEMENT STATIQUE



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

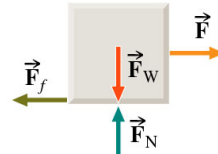
(a)



F_f

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow F_a - F_f = 0$$

pendant qu'il y ait pas de mouvement.

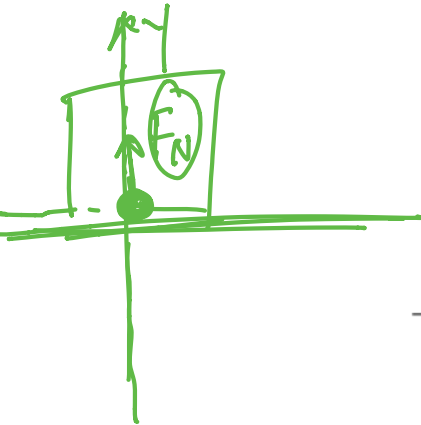


(b)

- F_f :
- parallèle à la surface
 - s'oppose au mouvement.
 - augmente pendant que le corps ne bouge pas!

Jusqu'à F_f^{MAX}

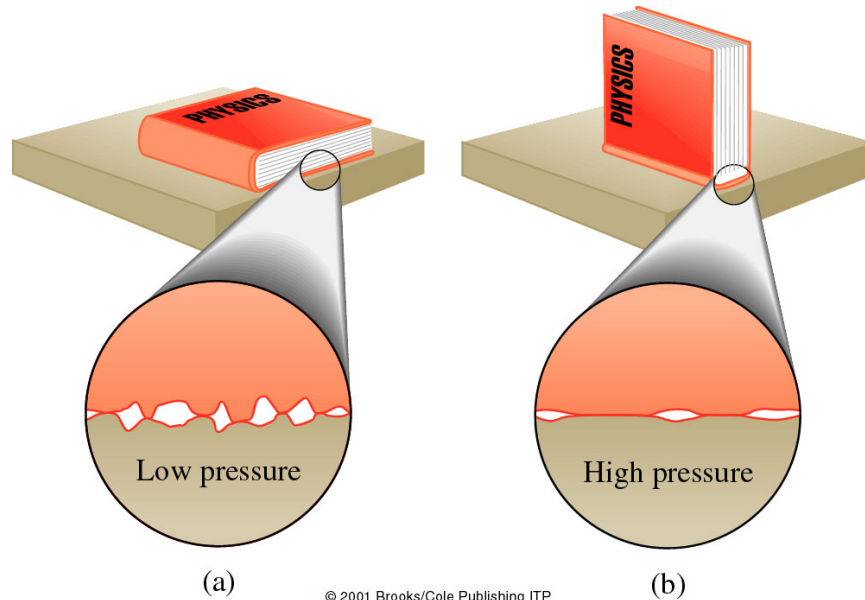
LE FROTTEMENT STATIQUE



$$F_f^{\max} = \mu_s F_N$$

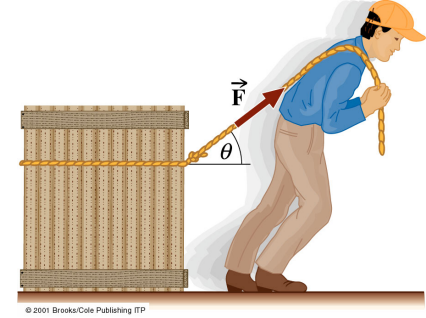
Matériaux	μ_s
Acier sur glace	0.1
Acier sur acier, sec	0.6
Acier sur acier, lubrifié	0.1
Bois sur bois	0.5
Téflon sur acier	0.04
Chaussures sur glace	0.1
Bottes de montagne sur rocher	1.0
Pneus de voiture sur béton sec	1.0
Caoutchouc sur asphalte	0.6

LE FROTTEMENT STATIQUE



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

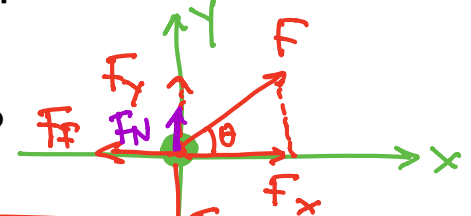
EXEMPLE



Une caisse en bois de masse totale de 100 kg doit être déplacée sur un plancher en chêne. On la tire avec une corde qui fait un angle de $\theta = 30^\circ$ avec le plan horizontal.

Le coefficient de frottement statique est 0.5

- Quelle est la force minimale pour la mettre en mouvement ?
- Est-elle plus grande ou moins grande si $\theta = 0$?



$$\sum F_y = 0 = F_N - F_w + F \sin \theta = 0 \Rightarrow \boxed{F_N = F_w - F \sin \theta}$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_f = F_x = F \cos \theta \Rightarrow F_f > F \cos \theta \Rightarrow F_f^{\max} = F \cos \theta$$

$$F_f^{\max} = \mu_s \cdot F_N = \mu_s F_w - \mu_s F \sin \theta = F \cos \theta \Rightarrow F = \frac{\mu_s F_w}{\cos \theta + \mu_s \sin \theta} = 0.44 \text{ kN}$$

$$\theta = 0: \boxed{F_f^{\max} = \mu_s F_w}$$

$$\boxed{F_f^{\max} = \mu_s (F_w - F \sin \theta)}$$

LE FROTTEMENT CINÉTIQUE

$$F_f = \mu_c F_N$$

“ μ_c général”
 $\mu_c < \mu_s$.

Matériaux	μ_s	μ_c
Acier sur glace	0.1	0.05
Acier sur acier, sec	0.6	0.4
Acier sur acier, lubrifié	0.1	0.05
Bois sur bois	0.5	0.3
Téflon sur acier	0.04	0.04
Chaussures sur glace	0.1	0.05
Bottes de montagne sur rocher	1.0	0.8
Pneus de voiture sur béton sec	1.0	0.7
Caoutchouc sur asphalte	0.6	0.4

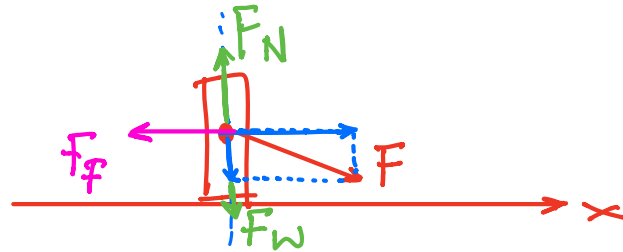
LE FROTTEMENT AVEC ROULEMENT

La roue facilite considérablement le transport des charges par rapport au glissement. La raison est qu'en roulant sans glisser sur une surface, on élimine le frottement statique et le frottement dynamique. Mais comme il y a aussi propulsion, il y a forcément frottement.

$$F_f = \underline{\underline{\mu_r}} F_N \quad \mu_r \ll \mu_s, \mu_c$$

roue rail d'acier $\mu_r \sim 0.001$
beton $\mu_r \sim 0.01 - 0.02$
voiture à 80 km/h 30%
50 km/h

EXEMPLE



Exercice 5.3. Une malle de 100 kg remplie de vieux livres est traînée sur le plancher par une jeune femme qui exerce une force de 300 N vers le bas à 30° avec le plan horizontal. (a) Sachant que $\mu_c = 0.40$ et $\mu_s = 0.30$, calculer l'accélération résultante. (b) Supposons que la femme mette de côté certains livres, réduisant la charge à 50 kg. Que devient l'accélération? (c) Dans ce dernier cas et comme elle a un peu de mal, elle verse de l'huile sous la malle, de façon que $\mu_s = 0.40$ et $\mu_c = 0.30$. Quelle est alors l'accélération?

Solution à discuter
Mercredi