

Chapitre 3

Le frottement

Lorsqu'un objet se déplace sur une surface ou dans un milieu visqueux tel que l'air ou l'eau, il se produit une résistance au mouvement. Cette résistance est appelée force de frottement cinétique. Lorsqu'on pousse sur un objet reposant sur un plan horizontal, il faut appliquer une certaine force avant que l'objet se mette en mouvement. Même avant de glisser sur la surface, cet objet subit une force de frottement. C'est le frottement statique.

Dans les deux cas, statique et cinétique, le frottement provient de liaisons entre les deux surfaces. Le frottement n'est pas une force purement mécanique, mais fait intervenir des processus électrostatiques complexes entre les atomes ou les molécules des deux surfaces. Dans ce chapitre, nous étudierons le comportement macroscopique du frottement.

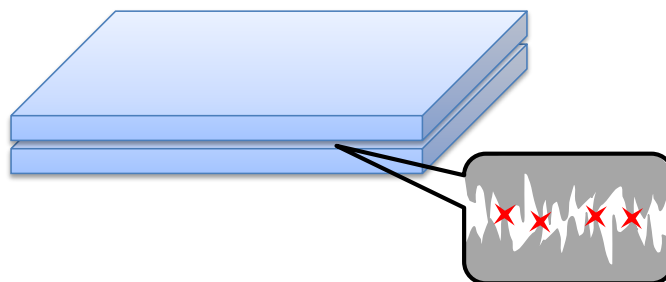


Figure 3.1 – Mécanisme du frottement.

3.1 La force normale

Un livre reposant sur une table imprime une force sur la table, c'est son poids $P = mg$. En contrepartie, la table soutient ce livre. La table applique donc également une force sur le livre. Cette force est appelée force *normale*. Elle est *toujours perpendiculaire au plan*. Dans cet exemple, puisque la table est horizontale, la force normale est égale au poids du livre, mais est en direction opposée. La force normale n'est pas toujours égale au poids et n'est pas toujours en direction opposée à celui-ci comme nous le verrons dans les exemples de la section suivante.

La force normale est une conséquence de la troisième loi de Newton (voir figure 2.3.) qui se résume ainsi

Troisième loi ; lorsque deux corps interagissent, les forces qu'ils exercent l'un sur l'autre sont toujours égales en grandeurs, mais opposées en directions.

3.2 Forces de frottement statique et cinétique

L'expérience montre que les deux types de forces de frottement, statique (f_s) et cinétique (f_c), sont proportionnelles à la force normale N et qu'elles dépendent des surfaces en contact selon un coefficient de frottement μ qui est une constante sans unité

$$f_s \leq \mu_s N \quad (3.1)$$

$$f_c = \mu_c N \quad (3.2)$$

$$\mu_s > \mu_c. \quad (3.3)$$

La force de frottement statique f_s est parallèle au plan et opposée à la composante parallèle au plan de la force appliquée. La force de frottement cinétique f_c est parallèle au plan et opposée au mouvement.

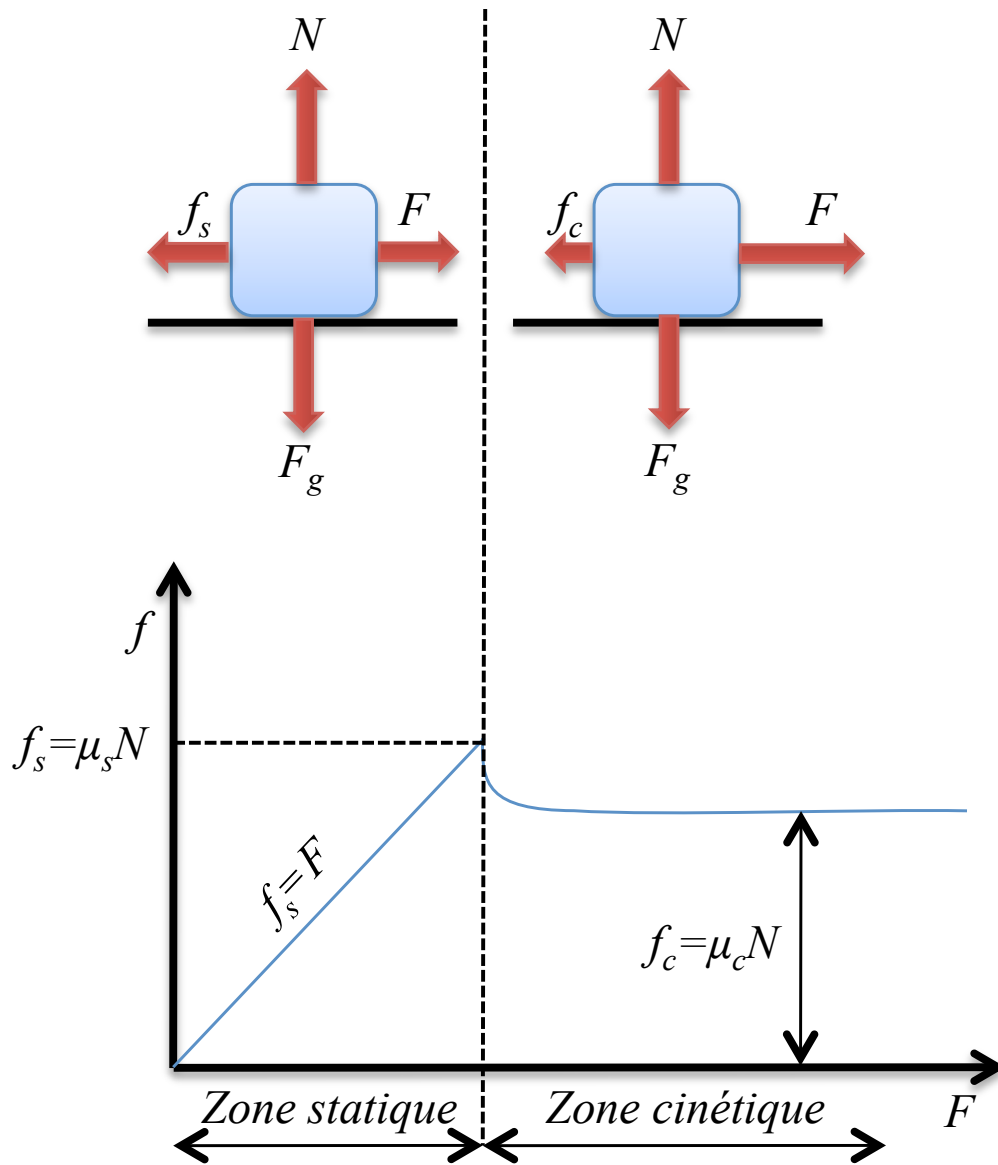


Figure 3.2 – La force de frottement en fonction de la force appliquée.

Exemple 3.1

On traîne une caisse de 68 kg sur un plancher en la tirant à l'aide d'un câble fixé de manière à former un angle de 25° au-dessus de l'horizontale.

- a) Si le coefficient de frottement statique est de 0,50, quelle est la force minimale que doit exercer le câble sur la caisse pour la faire bouger ?
- b) Si $\mu_c = 0,35$, quel est le module de l'accélération initiale de la caisse.

Solution

a) Pour résoudre ce problème il faut écrire les équations des forces résultantes en x et en y . Pour faire bouger la caisse il faut que la force minimale appliquée en x soit supérieure à la force de frottement statique maximale. Donc, on prendra comme limite inférieure $F_x = 0$.

$$F_x = T \cos \theta - f_s \qquad F_y = N + T \sin \theta - mg$$

$$= T \cos 25 - \mu_s N = 0 \qquad (3.4) \qquad = N + T \sin 25 - 68g = 0. \qquad (3.5)$$

En isolant N dans l'équation (3.4) et en remplaçant dans l'équation (3.5) on trouve



b) Dès que la caisse se met à bouger la force de frottement est réduite puisque $\mu_c < \mu_s$. Et puisque $\vec{F} = m\vec{a}$

$$F_x = ma_x \quad \Rightarrow \quad a_x = \frac{T \cos 25 - \mu_c N}{m}.$$

En isolant N dans l'équation (3.5) on trouve



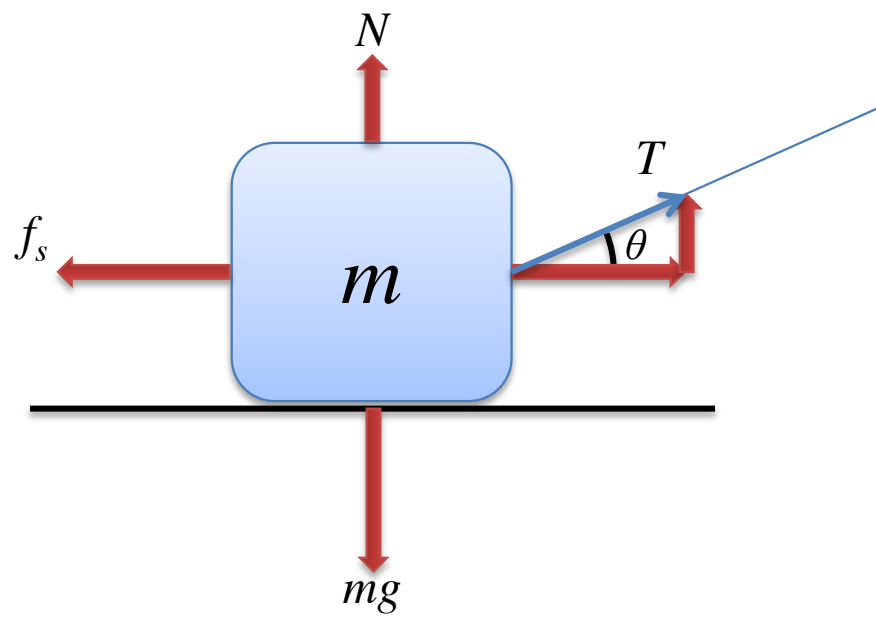


Figure 3.3 – Diagramme de forces d'une caisse que l'on tire.

Exemple 3.2

Un bloc de masse m repose sur un plan incliné dont la pente fait un angle θ avec l'horizontale. Si le coefficient de frottement statique entre le bloc et le plan est μ_s , pour quelles valeurs de m et θ le frottement statique est-il maximal ?

Solution

Le frottement statique sera maximal lorsque le bloc sera sur le point de glisser. C'est-à-dire lorsque le frottement statique maximal sera égal à la composante de la force gravitationnelle le long de la pente du plan.

Il faut encore une fois écrire les équations des forces en x et en y . Le choix de l'axe x selon la pente du plan simplifie les équations.

$$F_x = mg \sin \theta - \mu_s N = 0 \quad (3.6)$$

$$F_y = N - mg \cos \theta = 0. \quad (3.7)$$

En isolant N dans les deux équations et en les faisant égaux on obtient



Le frottement statique est maximal lorsque la tangente de l'angle d'inclinaison du plan est égale au coefficient de frottement statique μ_s . Ce résultat est *indépendant de la masse* et de la valeur de l'accélération gravitationnelle !

Deux blocs de masses différentes glisseront à partir du même angle pourvu que le coefficient de frottement statique soit le même entre les blocs et le plan. De plus ce sera le même angle sur la Terre comme sur la Lune.

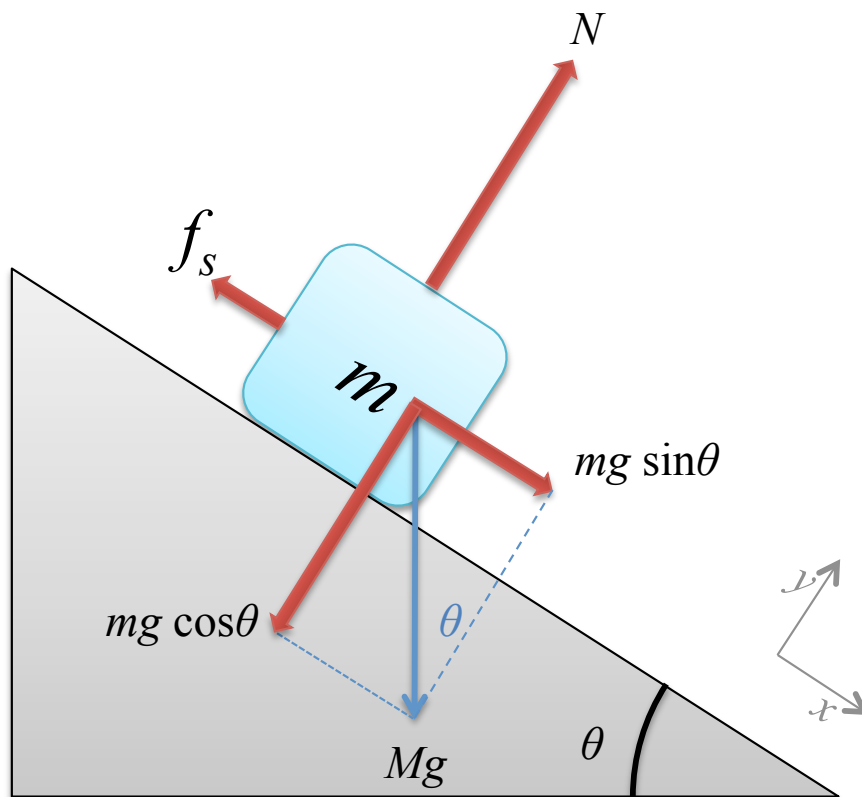


Figure 3.4 – Diagramme de forces d'un bloc sur un plan incliné avec frottement.

3.3 La souque à la corde

La souque à la corde est un bel exemple de la troisième loi de Newton. Est-ce vraiment le concurrent le plus fort qui gagne ?

La figure 3.5 montre un homme et une femme tirant chacun la corde dans leur direction. En supposant que chacun soit en mesure de tenir la corde sans qu'elle leur glisse des mains. Lequel tire le plus fort ?

Entre les deux personnes, la tension dans la corde est partout la même. Si la corde tire sur une des deux personnes avec une force T , alors la personne tire sur la corde avec une force égale et opposée. C'est la troisième loi de Newton. La tension dans la corde et la force de la personne forment une paire action-réaction.

Puisque la tension est la même pour les deux personnes, les deux personnes tirent avec la même force !

Pourquoi un des deux concurrents est-il en mesure de gagner si les deux tirent avec la même force ?

La réponse ne se trouve pas au niveau des mains, mais au niveau des pieds. Si l'homme gagnait la joute, c'est que la force de frottement statique avec le sol serait plus grande pour l'homme que pour la femme

$$F_h = F_f \quad (3.8)$$

$$f_{sh} > f_{sf}. \quad (3.9)$$

La femme glisserait donc sur le sol avant l'homme. L'homme gagnerait non parce qu'il est le plus fort (ce n'est d'ailleurs peut-être pas le cas), mais parce que la force de frottement statique entre lui et le sol serait plus grande que celle entre la femme et le sol.

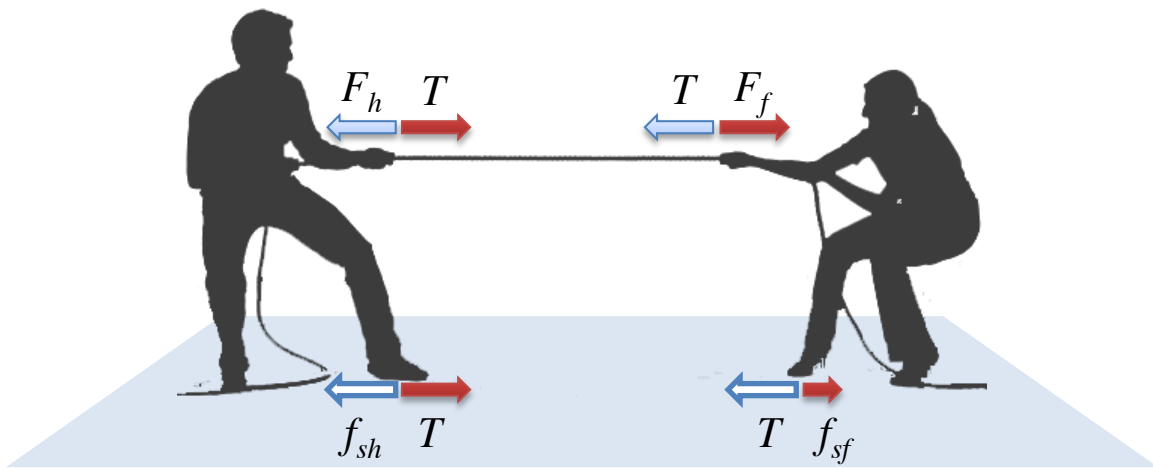


Figure 3.5 – Diagramme de forces de la souque à la corde.

3.4 Exercices

- 3.1 Soit un coefficient de frottement statique de 0,3 entre un bloc de 4 kg et une surface horizontale. Quelle est la force horizontale *maximale* qui peut s'exercer sur le bloc sans qu'il se mette à glisser ?
- 3.2 Soit un bloc de 20 kg d'abord immobile sur une surface horizontale rugueuse. Pour mettre le bloc en mouvement, il faut le soumettre à une force horizontale de 75 N. Puis, lorsqu'il est en mouvement, une force horizontale de 60 N suffira à maintenir sa vitesse constante. À partir de ces données, déterminez les coefficients de frottement statique et cinétique.
- 3.3 Une personne fait glisser, avec une force horizontale dont la grandeur est de 220 N, une caisse de 55,0 kg sur un plancher plat. Le coefficient de frottement cinétique est de 0,350.
- (a) Quelle est la grandeur de la force de frottement ?
 - (b) Quelle est la grandeur de l'accélération de la caisse ?
- 3.4 Une rondelle de hockey de 110 g franchit une distance de 15 m avant d'être immobilisée par la force de frottement de la glace sur laquelle elle glissait.
- (a) Si la grandeur de la vitesse initiale était de 6,0 m/s, quelle est la grandeur de la force de frottement ?
 - (b) Quel est le coefficient de frottement entre la rondelle et la glace ?
- 3.5 Glissant vers le bas d'un plan incliné à 30° , un bloc subit une accélération constante. D'abord immobile au sommet, il parcourt 18 m jusqu'à la base du plan, où sa vitesse est de 3 m/s. Déterminez
- (a) le coefficient de frottement cinétique entre le bloc et le plan incliné et
 - (b) l'accélération du bloc.

3.6 Pour déterminer les coefficients de frottement entre le caoutchouc et divers types de surfaces, un étudiant utilise une gomme à effacer qu'il fait glisser sur des plans inclinés. Au cours d'une expérience, il a constaté que la gomme à effacer commençait à glisser lorsque l'angle d'inclinaison du plan atteignait 36° ; puis, lorsque l'angle était ramené à 30° , la gomme poursuivait son déplacement à vitesse constante jusqu'au bas du plan incliné. À partir de ces données, déterminez les coefficients de frottement statique et cinétique correspondant à cette expérience.

§ § §