Chapitre 3

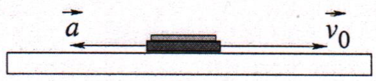
Dynamique du point

3.1 Les forces de frottements

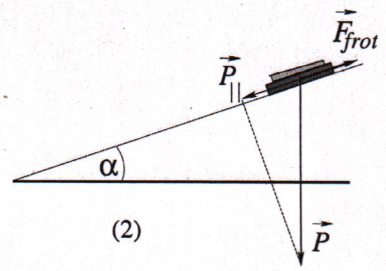
Lorsque deux surfaces sont en contact, une *force de frottement* s'exerce dès que l'une des deux surfaces a tendance à glisser sur l'autre ; cette force de frottement agit de façon à s'opposer au glissement.

3.1.1 Expériences

1) Lançons un objet sur un plan horizontal avec uvec une vitesse $\vec{v}_0$ (par exemple la brosse que j'utitilise pour effacer le tableau sur le plan du bureau). La brosse ralentit et s'arrête au bout de quelques instants. On déduit que la brosse subit une décélération $\vec{a}$, donc une force $m\vec{a}$ (m étant la masse de la brosse) qui s'oppose au mouvement (figure (1)).



(1)



(2)

Cette force résulte du frottement entre les deux surfaces, c'est la force de frottement. La force de frottement agit toujours pour s'opposer au glissement d'un objet sur un autre.

2) Brosse posée sur un plan incliné de α par rapport à l'horizontale (figure (2)). Tant que α n'est pas trop grand (inférieur à une certaine valeur critique α_{max}), la brosse reste en équilibre. Ce qui veut dire qu'il existe une force qui compense $\vec{P}_{\|}$, la composante parallèle au plan du poids de la brosse. C'est la force de frottement, c'est dire qu'un objet peut subir une force de frottement même quand il n'est pas en mouvement.

3.1.2 Coefficient de frottement statique

Continuons l'expérience avec la brosse posée sur le plan horizontal et tirée avec une force horizontale $\vec{F}$. En (a), $\vec{F} = 0$ et seules les forces $\vec{P}$ (poids de la brosse) et $\vec{N}$ (réaction du plan) agissent sur la brosse. L'équilibre de la brosse s'écrit : $\vec{N} + \vec{P} = \vec{0}$. L'équilibre vertical reste vrai dans la suite de cette expérience.

En (b), $\vec{F}$ est différente de 0 mais pas suffisante pour mettre la brosse en mouvement qui demeure statique (immobile). On déduit qu'il y a une force $\vec{F}_s$ qui compense $\vec{F}$: $\vec{F}_s + \vec{F} = \vec{0}$. La force $\vec{F}_s$ est la force de frottement statique.

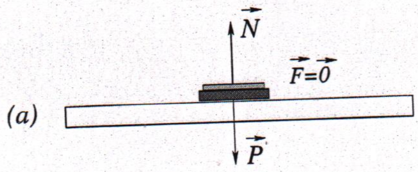


FIGURE 3.1 – Équilibre vertical

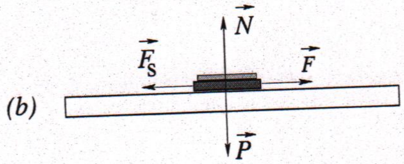


FIGURE 3.2 – Force de frottement

On augmente peu à peu $\vec{F}$ (figure (*c*)) et il n'y a toujours pas de mouvement. On déduit que $\vec{F_s}$ augmente en conséquence pour compenser $\vec{F}$.
On continue à augmenter $\vec{F}$ jusqu'à ce qu'à ce que l'équilibre soit rompu, c'est-à-dire jusqu'à ce la brosse commence à bouger. La force $\vec{F}$ vaut alors $\vec{F_r}$.

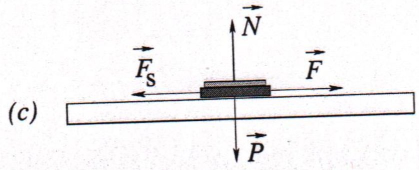


FIGURE 3.3 – Si on augmente $\vec{F}$, alors $\vec{F_s}$ augmente en conséquence pour compenser $\vec{F}$

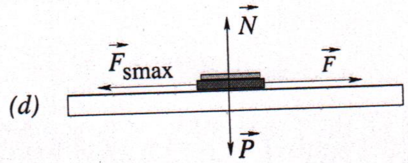


FIGURE 3.4 – Recherche de l'équilibre limite

Pour trouver l'équilibre 'limite', autrement dit, pour trouver la force appliquée $\vec{F}$ au-dessus de laquelle l'équilibre est rompu, on prend une valeur de $\vec{F}$ légèrement inférieure à $\vec{F_r}$ et on recommence l'expérience en l'augmentant progressivement par de très petites quantités. Juste avant la rupture d'équilibre, les frottements ont atteint leur valeur maximale $\vec{F}_{\text{smax}}$ (figure (*d*)). Dès que $\vec{F}$ dépasse $\vec{F}_{\text{smax}}$, l'équilibre se rompt. Si on coupe la brosse en deux et qu'on empile les morceaux l'un sur l'autre (figure (*e*)), $\vec{F}_{\text{smax}}$ reste inchangée.

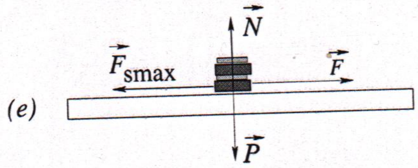


FIGURE 3.5 – $\vec{F}_{\text{smax}}$ ne dépend pas de l'étendue de la surface

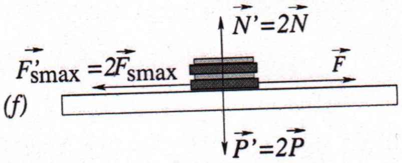


FIGURE 3.6 – On double le poids

On déduit que $\vec{F}_{\text{smax}}$ ne dépend pas de l'étendue de la surface en contact.
Prenons maintenant deux brosses et empilons-les l'une sur l'autre (figure (*f*)). On a alors $\vec{P'} = 2\vec{P}$ puisque le poids a doublé, et par suite, $\vec{N'} = 2\vec{N}$ et $\vec{F}'_{\text{smax}} = 2\vec{F}_{\text{smax}}$. On voit que si le poids double, la force normale double et la force de frottement maximale double. Cependant, le rapport du module de la force de frottement statique maximum au module de la force normale est constant : $F'_{\text{smax}}/N' = F_{\text{smax}}/N$. On définit ce rapport comme le *coefficient de frottement statique*, noté μ_s.

$$\mu_s = \frac{F_{\text{smax}}}{N} \tag{3.1}$$

On a donc

$$F_s \leq F_{\text{smax}} = \mu_s N. \tag{3.2}$$

Le coefficient μ_s dépend de la nature des surfaces en contact, de leur propreté, de leur poli, de la quantité d'humidité présente, etc. Pour un frottement entre métaux dans les conditions ordinaires, μ_s varie de 0.3

à 1.0. Si les surfaces sont lubrifiées, la valeur de μ_s se verra extrêmement réduite. Au joint de la hanche, dans le cors humain, le liquide synovial réduit μ_s à environ 0.003. Si, au contraire, ces surfaces sont d'abord nettoyées puis mises en contact sous vide, des forces énormes d'adhésion entrent en jeu, ce qui rend la valeur de μ_s très élevée.

3.1.3 Coefficient de frottement cinétique

Continuons les expériences précédentes.

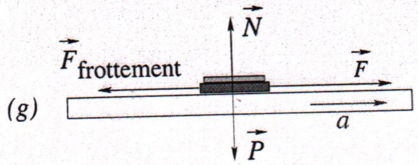


FIGURE 3.7 – F augmente et devient > à $\vec{F}_{\text{smax}}$

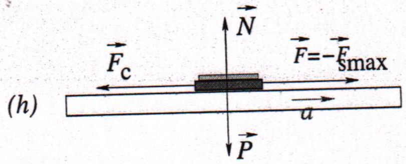
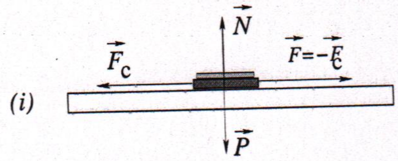


FIGURE 3.8 – F rediminue jusqu'à F_{smax}

Augmentons l'intensité de $\vec{F}$ au-delà de F_{smax}. Dès que F devient supérieure à F_{smax}, la brosse se met à bouger. Elle accélère si on continue à lui appliquer la force $\vec{F}$ (figure (g)). Pendant que la brosse est en mouvement, on fait baisser F jusqu'à F_{smax} et la brosse demeure en mouvement accéléré (avec, cependant, une accélération $\vec{a}$ plus faible qu'en (g)). On déduit que la force de frottement diminue pendant le mouvement, c'est la force de frottement cinétique $\vec{F_c}$, appelée aussi force de frottement dynamique ou de glissement. On a :

$$F_c \leq F_{\text{smax}} \tag{3.3}$$

On diminue encore l'intensité $\vec{F}$ jusqu'à F_c. À ce moment-là, $\vec{F}+\vec{F_c}=\vec{0}$ et la brosse aura atteint une vitesse v_0 et continue par la suite à glisser à la vitesse constante v_0 (principe d'inertie). Par conséquent, pour commencer le mouvement, il faut appliquer une force supérieure à F_{smax} alors que pour le maintenir une force F_c inférieure à F_{smax} suffit.



De manière similaire, on définit le coefficient de frottement cinétique μ_c comme le rapport du module de la force de frottement cinétique F_c au module de la force normale N :

$$\mu_c = \frac{F_c}{N} \rightarrow F_c = \mu_c N \tag{3.4}$$

Puisque $F_c \leq F_{\text{smax}}$, alors

$$\mu_c \leq \mu_s \tag{3.5}$$

Remarque La force qu'on appelle *réaction* dans le cas de contact entre objets est : $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{\text{frottement}}$. En l'absence de frottements, $\vec{R}$ se réduit à la force normale $\vec{N}$.