

Adhérence et frottement

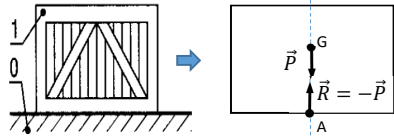
1- Définitions relatives au frottement

Si deux surfaces en contact se déplacent ou glissent l'une par rapport à l'autre on dit qu'il y a **frottement**. Lorsque ces deux surfaces tendent à glisser mais ne se déplacent pas, on dit qu'il y a **adhérence**. L'étude des lois de frottement (avec les lois de Coulomb) identifie ce phénomène.

2- Mise en évidence du phénomène

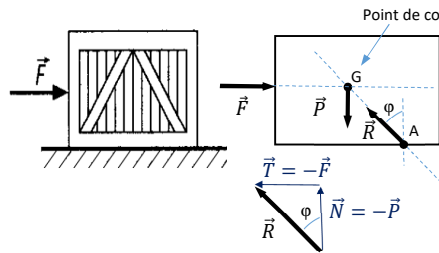
Examinons ce qui se passe lorsqu'on exerce sur une caisse de poids \vec{P} et de centre de gravité G une poussée latérale d'intensité \vec{F} croissante et dont la ligne d'action passe par le point G. On constate qu'il existe une force à partir de laquelle la caisse va se mettre à glisser sur le plan horizontal.

1^{ère} situation, l'intensité de \vec{F} est négligeable :



\vec{R} schématise l'ensemble des actions de contact exercées par le sol sur la caisse. L'équilibre (PFS) impose que \vec{P} et \vec{R} sont égales et opposées.

2nd situation, la force n'est pas suffisante pour déplacer la caisse, c'est l'adhérence :

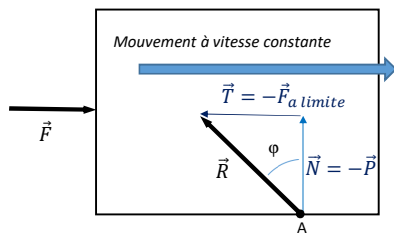


Du fait de la présence de la poussée latérale \vec{F} , le sol exerce sur la caisse une réaction schématisée en A par la **force résultante \vec{R}** qui a deux composantes :

\vec{T} réaction tangentielle tendant à s'opposer au mouvement et \vec{N} la réaction Normale du sol sur la caisse

La caisse restant immobile, le PFS impose que $\vec{T} = -\vec{F}$ et $\vec{N} = -\vec{P}$

3^{ème} situation, la force est suffisante pour déplacer la caisse, c'est le frottement :



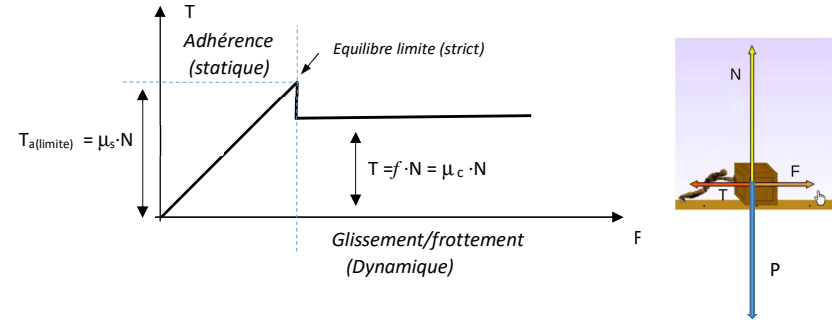
Pour une force $\vec{F} \geq \vec{F}_{a\ limite}$ la caisse glisse sur le sol.

On a toujours $\vec{N} = -\vec{P}$ mais cette fois, la **composante tangentielle** de la force de frottement, **toujours opposée au mouvement**, devient **constante en module**, et telle que : $\vec{T} = \vec{T}_{a\ limite} = -\vec{F}_{a\ limite}$.

La valeur limite de \vec{F} qui conserve l'adhérence permet de définir le **coefficient de frottement statique μ_s** (ou f_s) encore appelé coefficient de frottement d'adhérence tel que :

$$\mu_s = f_s = \frac{F_{a\ limite}}{N} = \frac{T_{a\ limite}}{N} = \tan \varphi_s = \tan \alpha_{limite}$$

En raison de perte d'énergie lors du frottement, il faut fournir un effort $F \geq \mu_s \cdot N$ pour initier le mouvement. Le glissement continuera à une vitesse uniforme tant que $F = \mu_c \cdot N$ ($\mu_c \cdot N$ étant légèrement inférieure à $\mu_s \cdot N$).



3- Formules

Deux paramètres permettent de caractériser l'adhérence et le glissement et sont fonction de la paire de matériaux en contact (exemple d'une voiture : pneu / enrobé) :

- Coefficient de frottement statique : μ_s
- Coefficient de frottement cinématique : μ_c

Pour la plupart des paires de matériaux, $\mu_s > \mu_c$

A l'adhérence :

Formules	Traductions
$T = F$	A l'adhérence l'effort tangentiel T est proportionnel à F
$T = \mu_s \cdot N$	La valeur maximale que peut prendre T (avant le décrochage et donc le glissement) est égale à $\mu_s \cdot N$. Si F dépasse $\mu_s \cdot N$, l'objet sera mis en mouvement car F sera supérieur à T.

Au glissement :

Formules	Traductions
$T = \mu_c \cdot N$	Après le décrochage (donc en phase de glissement), T vaut $\mu_c \cdot N$

4- Facteur ou coefficient de frottement.

Les coefficients μ , f et φ ne dépendent ni de l'intensité des efforts exercés, ni de l'étendue des surfaces en contact.

Paire de matériaux	Adhérence (μ_s)		Frottement (μ_c)	
	Sec	Lubrifié	Sec	Lubrifié
Acier / acier	0.18	0.12	0.15	0.09
Acier / fonte	0.19	0.1	0.16	0.08 à 0.04
Téflon / acier	0.04		0.04	
Métal / glace			0.02	
Fonte / Caoutchouc	0.8	0.2	0.3	0.1
Pneu voiture / route	0.8		0.6	

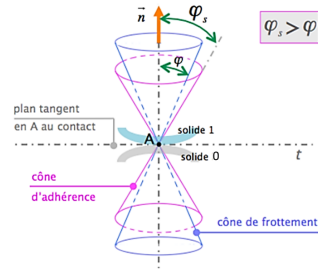
5- Cône de frottement.

Utilisé avec les résolutions graphiques, le cône de frottement permet de définir la limite dans laquelle doit se trouver la force de contact pour qu'il y ait adhérence.

Dans le but de simplifier l'étude, on peut confondre adhérence et frottement en posant $\varphi = \varphi_s$ et $\mu = \mu_c = \mu_s = \tan \varphi$

Exemple d'un solide 1 qui est en équilibre sur un plan incliné 0.

$\vec{A}_{0/1}$ schématise l'action exercée par 0 sur 1. Sa position par rapport au cône de frottement permet d'identifier les 3 situations vues précédemment



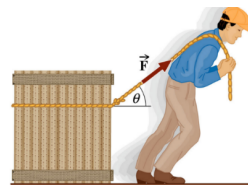
<u>Adhérence</u>	<u>Adhérence</u> «limite» ou « strict »	<u>Frottement</u>
<u>Pas de mouvement</u>		<u>Mouvement</u>
La force est à l' INTERIEUR du cône	La force est SUR le cône	La force est SUR le cône

6- Application :

I- Déplacement d'une caisse.

On tire une caisse de masse totale de 100 kg avec une corde qui fait un angle de $\theta = 30^\circ$ avec le plan horizontal. On considère un coefficient de frottement statique $\mu_s = 0,5$.

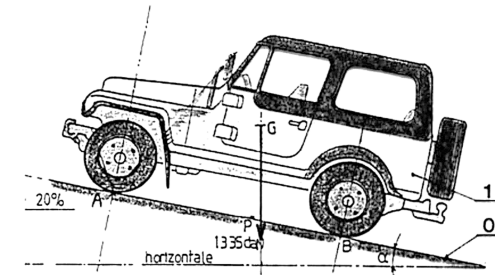
Représenter les différentes forces mises en jeu dans un repère x,y puis déterminer l'intensité de la force F permettant de mettre en mouvement la caisse.



II- Cas d'une voiture immobilisée sur une pente

Une voiture est à l'arrêt dans une pente de 20 % dont seules les roues avant sont en prise (roues avant bloquées), les roues arrière sont en roue libre.

P (1335 daN) représente le poids du véhicule, les actions exercées sur les roues en A et B sont schématisées par des vecteurs forces passant par ces mêmes points. Le frottement en A (pneu/goudron) est caractérisé par $f = \mu = 0,8$



- Isoler l'ensemble de la voiture, faire le BAM.
- Tracer le cône de frottement en A.
- Conclure sur l'adhérence ou le frottement en A.

III-Véhicule en butée sur un trottoir.

La voiture ci-dessous est en équilibre dans la position indiquée : les roues avant sont légèrement décollées du sol (pas de contact en A) et sont en contact avec le sommet d'un trottoir de hauteur h. Les frottements en B et D sont caractérisés par un coefficient $\mu_s = 0,55$.

P schématise le poids du véhicule. Les roues arrière sont motrices et les roues avant porteuses. La hauteur du trottoir est de 20 cm sur cette figure ($h = 0,2$ m)

- Faire un bilan des actions mécaniques mises en jeu en B, G et D.
- Faire une résolution graphique des forces en B, G et D. La voiture peut-elle monter le trottoir sans élan ?
- Estimer, avec une résolution graphique, la hauteur maximale (h_{max}) que le véhicule puisse monter.

