

# ADHERENCE FROTTEMENT

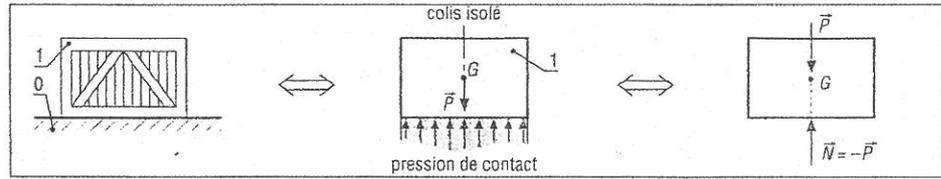


## ADHERENCE - FROTTEMENT

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.

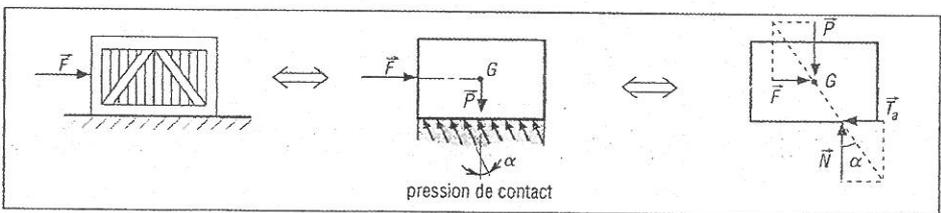
Soit un colis (1) de poids  $\vec{P}$  et de centre de gravité G, en équilibre sur un plan horizontal (0).

### Cas du repos



$\vec{N}$  schématise la résultante des actions de contact exercées par le sol sur le colis. Celui-ci est en équilibre sous l'action de 2 forces  $\vec{N}$  et  $\vec{P}$ .

### Cas de l'adhérence



Si on exerce sur le colis (1) une poussée latérale  $\vec{F}$  passant par G. Il n'y a pas de mouvement, le colis est en équilibre et l'application du principe fondamental met en évidence une force d'adhérence  $\vec{T}_a$  égale à  $\vec{F}$  et de sens opposé qui s'oppose au déplacement de l'objet.  $N = P$   
 La valeur limite de F avant que l'objet ne se mette à glisser permet de définir le rapport de frottement statique  $\mu_s$  (ou  $f_s$ ), encore appelé coefficient de frottement d'adhérence tel que :

$$\mu_s = f_s = \frac{F \text{ limite}}{N} = \frac{T_a \text{ limite}}{N} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Rapport de frottement statique} \\ \text{(ou coefficient de frottement d'adhérence)} \end{array} \right. \quad ; \mu \text{ lire } mu$$

### Remarque :

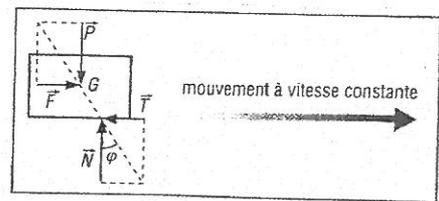
De la même manière on définit un angle de frottement statique ( $\varphi_s$ ) ou angle de frottement d'adhérence tel que

$$\mu_s = f_s = \tan \varphi_s = \tan (\alpha \text{ limite})$$

### Cas du frottement

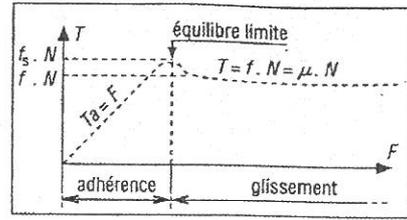
Dans le cas où  $F > F_{\text{limite}}$ , le colis se met à glisser dans le plan horizontal on dit qu'il y a frottement. Le glissement continuera à vitesse uniforme si  $F = \mu \cdot N$ . La vitesse sera accéléré si F est supérieure à cette nouvelle valeur.

$$f = \mu = \tan \varphi = \frac{T}{N} \quad \begin{array}{l} \mu = f = \text{coefficient de frottement} \\ \varphi = \text{angle de frottement} \end{array}$$



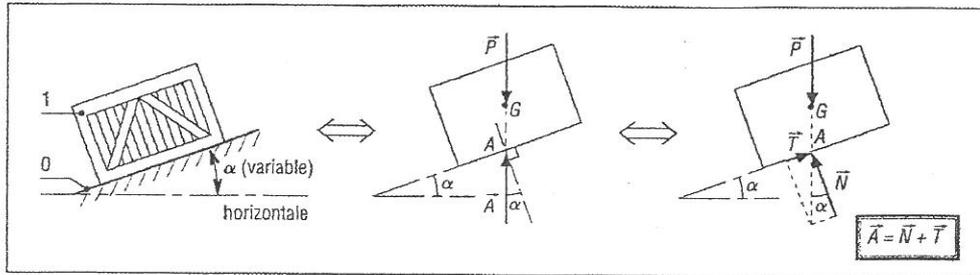
**Remarques**

La force de frottement  $T = \mu N = f N$  s'oppose au mouvement du colis et est à l'origine des pertes d'énergie par frottement. Si l'objet est arrêté il faudra, pour le remettre en mouvement, fournir un effort  $F > \mu_s N$ .



**Exemple**

Posons le colis sur un plan incliné ( $\theta$ ) dont l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) est variable. A schématise la résultante des actions de contact exercées par le plan sur le colis.



Les phases et les propriétés précédentes sont retrouvées :

- Si  $\alpha < \varphi_s$ , la caisse en équilibre reste en équilibre ( $\vec{A} = -\vec{P}$ ).
- Si  $\alpha = \varphi$ , la caisse en mouvement continue sa descente à vitesse constante. Pour ce cas  $T = f N = \mu N$  avec  $N = P \cos \alpha$ .
- Si  $\alpha > \varphi$ , la caisse en mouvement continue sa descente à vitesse accélérée. T reste égale à  $\mu N$  et  $N = P \cos \alpha$ .

**Facteur ou coefficient de frottement**

Le coefficient de frottement dépend essentiellement de la nature des matériaux en contact et aussi de la vitesse relative de déplacement des surfaces en contact mais très peu de la rugosité des surfaces.

Valeurs indicatives de $\mu_s$ et $\mu$	Adhérence		Frottement (glissement)	
	$\mu_s = f_s = \tan \varphi_s$		$\mu = f = \tan \varphi$	
nature des matériaux en contact	à sec	lubrifié	à sec	lubrifié
acier sur acier	0,18	0,12	0,15	0,09
acier sur fonte	0,19	0,1	0,16	0,08 à 0,04
acier sur bronze	0,11	0,1	0,1	0,09
téflon sur acier	0,04		0,04	
fonte sur bronze		0,1	0,2	0,08 à 0,04
nylon sur acier			0,35	0,12
bois sur bois	0,65	0,2	0,4 à 0,2	0,16 à 0,04
métaux sur bois	0,6 à 0,5	0,1	0,5 à 0,2	0,08 à 0,02
métal sur glace			0,02	
pneu voiture sur route	0,8		0,6	0,3 à 0,1 sur sol mouillé

Coefficient d'adhérence  $\mu_s$  spécifique aux pneumatiques :

- Voie en béton, asphalte rugueux ou bitume sec = 0,8
- Macadam, pavés sec = 0,6
- Voie en béton, asphalte rugueux ou bitume mouillé = 0,5
- Macadam mouillé = 0,4
- Pavés mouillés ou macadam gras = 0,3
- Pavés gras ou glace sèche = 0,2
- Glace sèche = 0,1

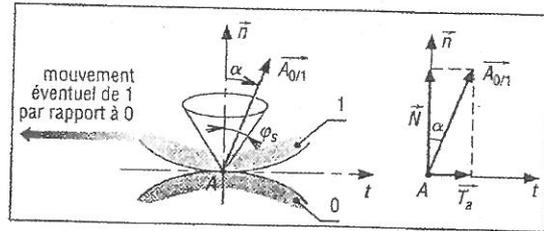
### Lois du frottement ( lois de Coulomb )

Les lois sont exprimées pour deux solides (0) et (1) en contact en un point A.

#### a) Cas de l'adhérence

- Il n'y a pas de mouvement.
- La force d'adhérence  $\vec{T}_a$  s'oppose au mouvement éventuel de (1) par rapport à (0).
- $\vec{A}_{0/1}$  est contenue dans le cône de frottement d'adhérence. Autrement dit :

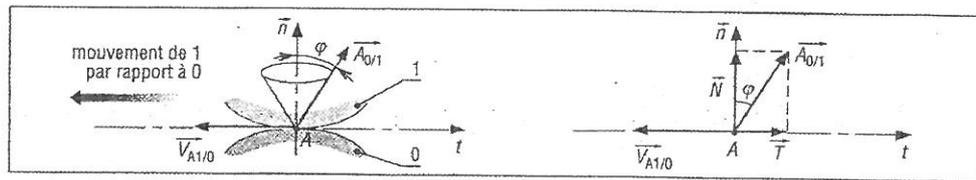
$\alpha < \varphi_s$	$T_a < \mu_s \cdot N$
----------------------	-----------------------



#### b) Cas de l'équilibre limite ou de l'équilibre strict

Il y a adhérence, on est dans le cas particulier où  $\alpha = \varphi_s$  et  $T_a = \mu_s \cdot N = f_s \cdot N$ .  $\vec{A}_{0/1}$  est située sur le cône de frottement d'adhérence.

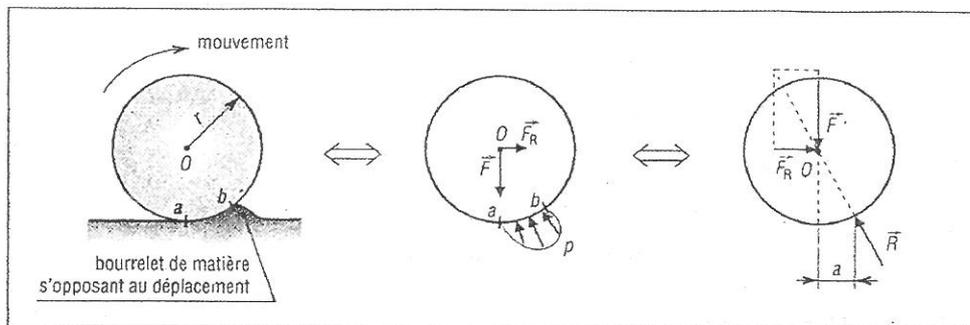
#### c) Cas du frottement avec glissement



$\vec{V}_{A1/0}$  caractérise la vitesse de glissement du point A appartenant au solide (1) par rapport au solide (0). La force de frottement  $\vec{T}$  est opposée à  $\vec{V}_{A1/0}$  ( s'oppose au mouvement ),  $\vec{A}_{0/1}$  est située sur le cône de frottement. Autrement dit :

$$\alpha = \varphi \text{ et } T = \mu N = f \cdot N \text{ avec } f = \tan \varphi$$

### Résistance au roulement



Au cours du roulement sous la charge  $\vec{F}$ , un bourrelet de matière se forme devant l'élément roulant et s'oppose au mouvement, c'est la résistance au roulement.

$\vec{R}$  schématise la résultante des pressions de contact.

$\vec{F}_R$  représente la force qu'il faut exercer pour assurer ou maintenir le roulement de l'élément roulant.

L'application du principe fondamental de la statique donne :

$$F_R = \frac{a}{r} F = f_R \cdot F$$

- a : coefficient de résistance au roulement
- $f_R = \frac{a}{r}$  : facteur de frottement de roulement
- r : rayon de l'élément roulant

Remarque :

a dépend de nombreux paramètres : élasticité des matériaux, rayon de la roue, vitesse de déplacement, rugosité des surfaces, etc.

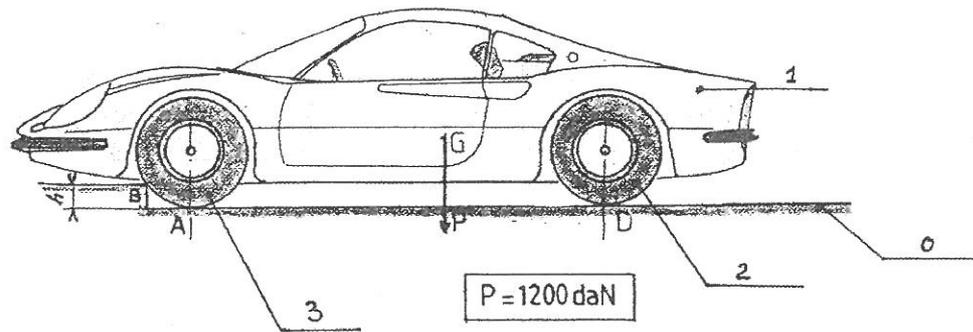
Valeur de a pour :

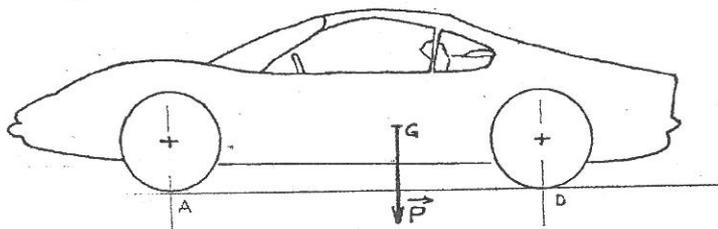
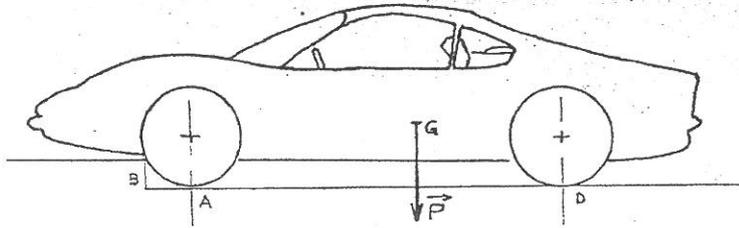
- élastomère sur bitume : 3 à 15
- pneu sur bitume : 20 à 30

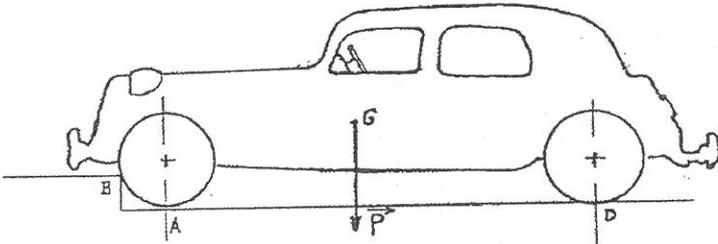
### EXERCICE

La voiture proposée est en équilibre dans la position indiquée, roues avant décollées du sol ( pas de contact en A ) et sont en contact en B avec un trottoir de hauteur h . Les frottements en B et D sont caractérisés par  $f_B = f_D = 0,6$ .

P ( 1 200 daN ) schématise le poids du véhicule . Les roues arrière sont motrices et les roues avant porteuses . La voiture peut-elle monter sur le trottoir sans élan ? (prendre une hauteur de trottoir de 5 mm sur le dessin )







L'application du principe fondamental de la statique donne :

$$F_R = \frac{a}{r} \quad F = f_R \cdot F$$

- a : coefficient de résistance au roulement
- $f_R = \frac{a}{r}$  : facteur de frottement de roulement
- r : rayon de l'élément roulant

**Remarque :**

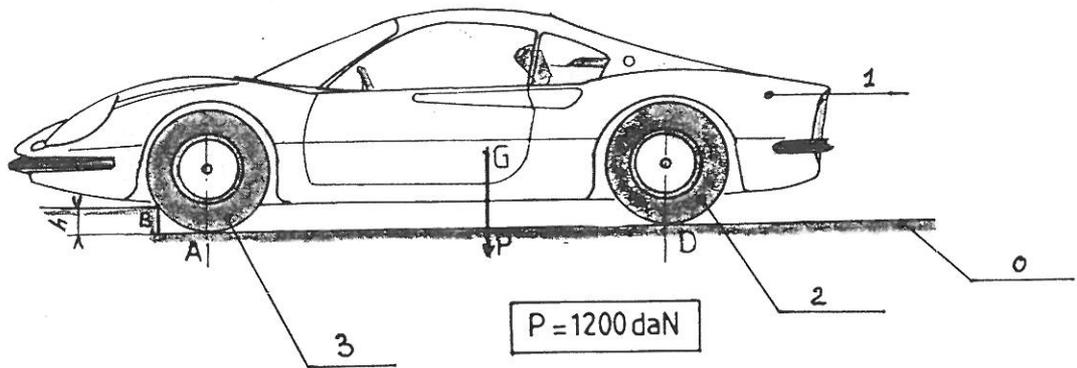
a dépend de nombreux paramètres : élasticité des matériaux, rayon de la roue, vitesse de déplacement, rugosité des surfaces, etc.

Valeur de a pour :

- élastomère sur bitume : 3 à 15
- pneu sur bitume : 20 à 30

**EXERCICE**

La voiture proposée est en équilibre dans la position indiquée, roues avant décollées du sol (pas de contact en A) et sont en contact en B avec un trottoir de hauteur h. Les frottements en B et D sont caractérisés par  $f_B = f_D = 0,6$ . P (1 200 daN) schématise le poids du véhicule. Les roues arrière sont motrices et les roues avant porteuses. La voiture peut-elle monter sur le trottoir sans élan ? (prendre une hauteur de trottoir de 5 mm sur le dessin)



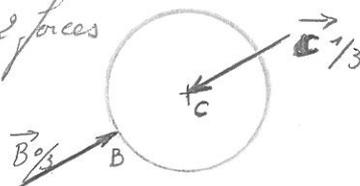
Résolution :

Isolons les roues avant ③

Les roues sont soumises à l'action de 2 forces égales et opposées

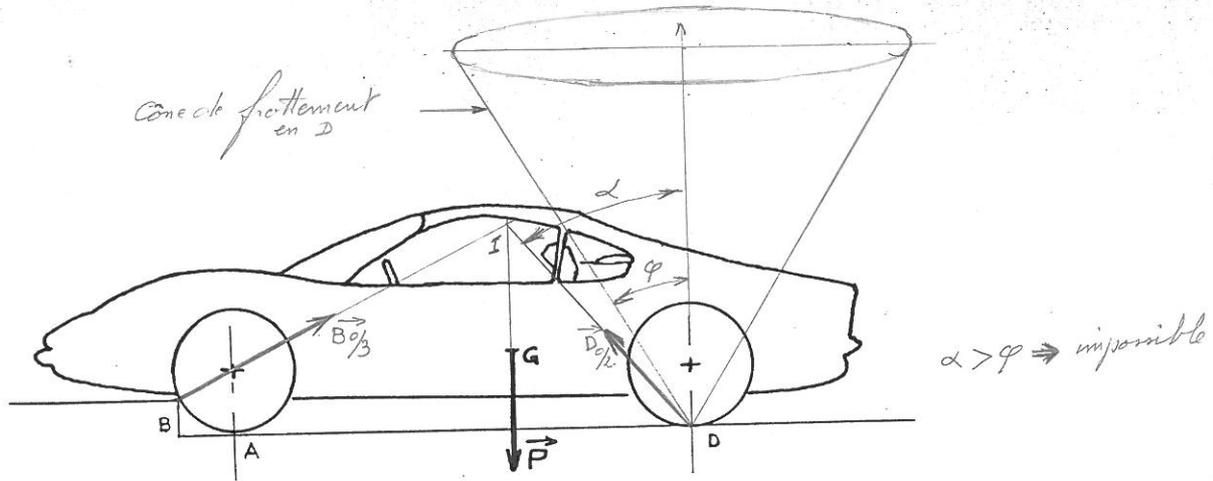
$$\vec{B}_{o/3} = -\vec{C}_{1/3}$$

(C) Axe de la roue -



## Isolons l'ensemble du véhicule (1+2+3)

Le véhicule est soumis à l'action de 3 forces concourantes au point I  
(I est à l'intersection de  $\vec{P}$  et  $B\vec{O}_3$ )

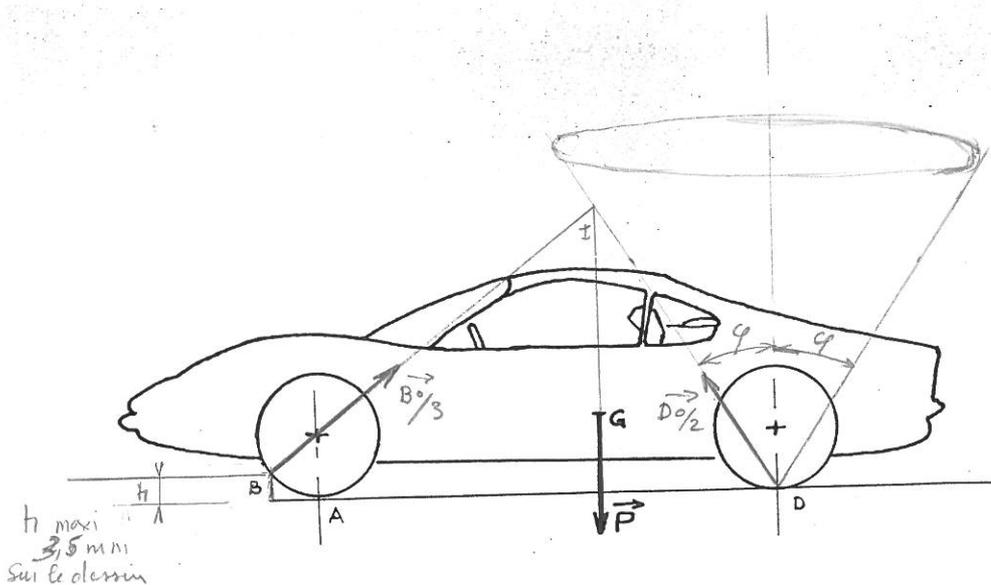


Pour la configuration donnée, l'équilibre du véhicule impose que  $D\vec{O}_2$  passe par I, ce qui n'est pas le cas.

$\alpha > \varphi$ , donc le véhicule ne montera pas le trottoir et les roues arrière vont patiner en D sur le sol

## Recherche de la hauteur maxi (h) que le véhicule peut monter

Elle est obtenue lorsque les roues arrière sont à la limite de l'adhérence et de glissement,  $D\vec{O}_2$  est situé sur le cône de frottement.



## Cas des roues avant motrices

Les roues arrières sont porteuses donc  $\vec{D}_{0/2}$  est vertical.  
(Route horizontale) donc  $\parallel$  à  $\vec{P}$ . Pour que le véhicule soit  
en équilibre on a 3 forces  $\parallel$

La voiture ne pourra monter le trottoir que si  $\angle B = \varphi$

