

MODÉLISATION DES EFFORTS

Frottement de glissement : modèle de coulomb

1 - PRÉAMBULE

Il y a 2 principaux cas de frottement : **Frottement solide** -> Quand 2 solides en contact ont un mouvement relatif _____ Traité ici
Frottement fluide -> Quand 1 corps solide est dans un milieu fluide (liquide, gazeux) _____ Non traité ici

Le frottement, toujours dissipatif d'un point de vue énergétique, trouve son siège dans la rugosité des surfaces en contact et dans leur rapport physico-chimiques.

2 - MISE EN ÉVIDENCE DU PHÉNOMÈNE DE FROTTEMENT

1 CAS DU REPOS

On isole **1** qui est soumis à 2 A.M.E. : $\vec{G}_{pes/1}$ et $\vec{F}_{0/1}$

- > Le P.F.S. est vrai et les A.M.E. sont directement opposées.
- > L'origine F de l'action de **0 / 1** est au centre de la liaison.
- > La direction en F est portée par la normale au contact.

$$\rightarrow \vec{F}_{0/1} = N_{0/1} \cdot \vec{n}$$

$$\rightarrow N_{0/1} : \text{composante uniquement normale} \rightarrow \perp \text{ au plan de contact}$$

=> Prise en compte du frottement ou pas, c'est pareil !

2 CAS DE L'ADHÉRENCE

Le solide **0** s'est incliné de α .

- > Le P.F.S. reste vrai et les A.M.E. restent directement opposées.
- > L'origine F de l'action de **0 / 1** n'est plus au centre de la liaison.
- > La direction en F s'est inclinée par rapport à la normale au contact.

$$\rightarrow \vec{F}_{0/1} = N_{0/1} \cdot \vec{n} + T_{0/1} \cdot \vec{i}$$

$$\rightarrow N_{0/1} : \text{composante normale} \rightarrow \perp \text{ au plan de contact}$$

$$\rightarrow T_{0/1} : \text{composant tangentielle} \rightarrow \text{dans le plan de contact}$$

=> Frottement : il y a déviation d'origine et inclinaison de l'A.M / normale.

3 CAS DU GLISSEMENT

L'angle α est encore plus important et il y a mouvement ! ↗

- > Le P.F.S. n'est plus vrai ! Les A.M.E. ne sont plus directement opposées.
- > L'origine F de l'action de **0 / 1** n'est plus au centre de la liaison. Il s'est déplacé pour être compatible avec la direction commune aux 2 A.M.E.
- > La direction en F n'est plus assez inclinée pour être de même direction que celle de pesanteur.

$$\rightarrow \vec{F}_{0/1} = N_{0/1} \cdot \vec{n} + T_{0/1} \cdot \vec{i}$$

$$\rightarrow N_{0/1} : \text{composante normale} (\perp) \text{ au contact}$$

$$\rightarrow T_{0/1} : \text{composant tangentielle MAXIMUM}$$

=> Frottement : décalage d'origine et inclinaison de l'A.M. mais non suffisant pour conserver l'équilibre.

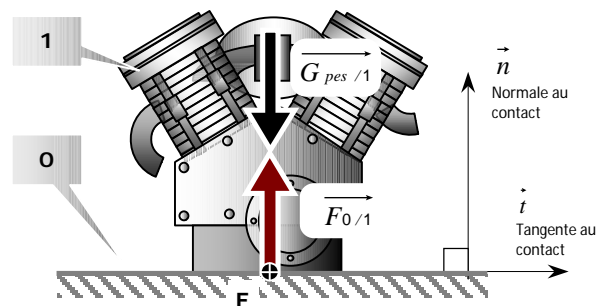
4 CAS DE L'ÉQUILIBRE STRICT

En adhérence, l'action du **0 / 1** s'est inclinée exactement de la valeur d'angle α du solide **0**.

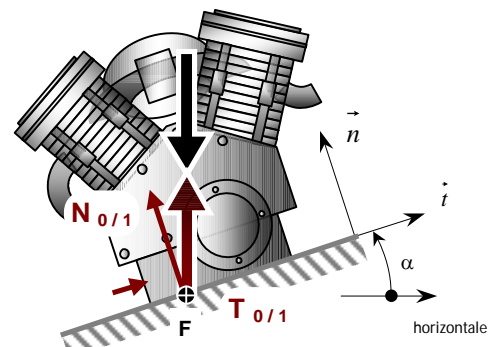
Elle ne peut s'incliner au delà d'une valeur limite φ_0 , caractéristique d'un état particulier : **l'équilibre strict**. Au delà de cet état, il y a « décrochage », survient le glissement. L'inclinaison retombe alors à la valeur φ légèrement moins importante.

Figure 1 : Solide en contact plan / plan

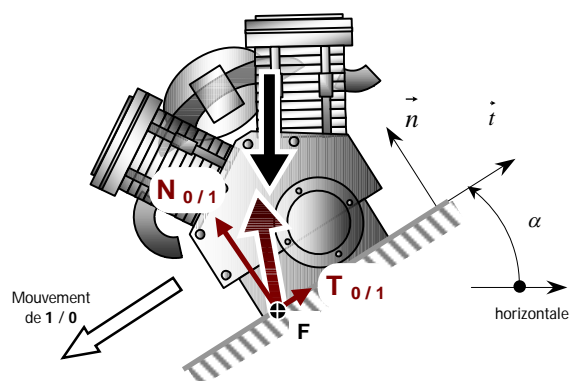
Moteur au repos (= équilibre) sur un sol horizontal



Moteur en équilibre sur un sol incliné



Moteur en déséquilibre sur un sol incliné

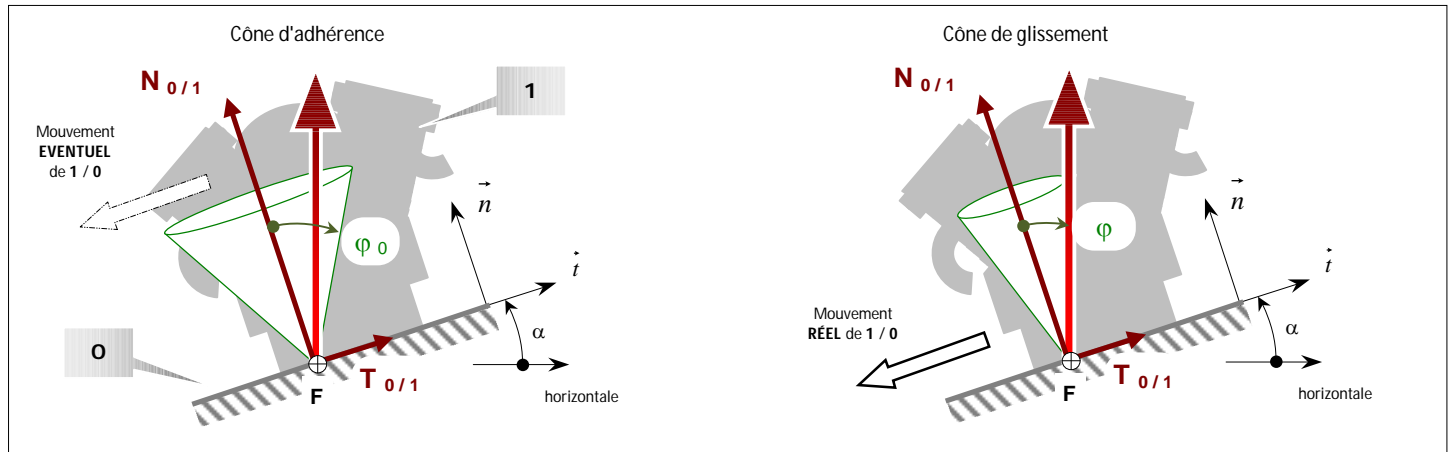


3 - MODÉLISATION DU FROTTEMENT

* Cône d'adhérence et de glissement

En considérant le frottement dans une étude d'effort (statique ou dynamique), on ne sait pas a priori avant d'avoir appliqué le P.F.S., vers quelle inclinaison ni de quelle valeur d'angle, la réaction de contact s'incline. On a donc recours à une représentation qui prend en compte toutes les possibilités : le **Cône d'adhérence** ou le **cône de glissement**.

Chaque cône représente l'inclinaison maximum / à la normale au contact. Chaque cône sera ouvert d'un demi-angle au sommet φ_0 ou φ selon le cas.



LOI DE COULOMB

La **direction** d'une **Action Mécanique** de contact s'**incline** par rapport à sa normale de façon à s'**opposer** au **mouvement** éventuel ou réel du solide isolé.

- ② Adhérence La résultante est « dans » le cône d'adhérence $\alpha \leq \varphi_0$
- ④ Equilibre strict La résultante est « sur » le cône d'adhérence $\alpha = \varphi_0$
- ③ Glissement La résultante est « sur » le cône de glissement $\alpha > \varphi_0$

Il est constaté une déviation du point origine de l'action de contact. Ce fait est vrai pour toute les liaisons impliquant une normale. Dans le cas d'une liaison surfacique (pivot, pivot glissant...), la prise en compte du frottement peut impliquer aussi son remplacement au profit d'une liaison linéique ou ponctuelle, et même par plusieurs liaison ponctuelles. Ceci apparaît car les liaisons ne sont plus parfaites et les jeux ont une incidence aussi sur leur comportement mécanique.

* Coefficient d'adhérence et de glissement

Les angles φ et φ_0 ont une valeur déterminée en fonction du couple de matériaux en présence dans le contact. Dans les recueils de mécanique, on donne plutôt un coefficient correspondant. En voici quelques valeurs classiques :

$$\mu_0 = f_0 = \tan \varphi_0 \quad \text{Coefficient d'adhérence statique.}$$

$$\mu = f = \tan \varphi \quad \text{Coefficient de glissement.}$$

Couple de matériaux	f_0 sans lubrification	f_0 avec lubrification	f sans lubrification	f avec lubrification
Acier / Acier	0,2	0,13 à 0,1	0,1 à 0,08	0,1 à 0,04
Acier / Fonte grise	0,12	0,08 à 0,1	0,1	0,08 à 0,04
Acier / Graphite	0,4		0,15	0,1 à 0,05
Acier / Nylon	0,18		0,15	0,1
Acier / P.T.F.E.(Téflon)	0,15		0,1 à 0,08	0,1 à 0,03
Acier / courroie caoutchouc	0,5			
Acier / Bronze	0,15 à 0,25	0,1 à 0,15	0,15 à 0,2	0,1 à 0,05
Pneumatique / Asphalte	f_0 route sèche 0,6 - 0,7	f_0 route mouillée 0,35 - 0,6	f_0 route verglacée 0,10	