

Ch M2 : Lois du frottement solide (poly à trous)

I. Introduction

1) Nature des actions de contact

Les actions de contact sont les actions qu'exercent l'un sur l'autre deux solides dont les surfaces sont en contact.

Exemples : action de la route sur le pneu dont une composante l'empêche de déraiper, action des plaquettes de frein...

Ces actions résultent des interactions entre les atomes des surfaces de contact des deux solides. Elles dépendent de l'état des deux surfaces : état de propreté, rugosité, présence d'une couche d'oxyde sur une surface métallique... Le problème est trop complexe pour établir des lois théoriques.

Les actions de contact sont donc des actions mécaniques inconnues.

Elles seront déterminées à partir des théorèmes de la mécanique et de lois phénoménologiques : **les lois de Coulomb relatives au frottement.**

2) Expérience

Voir la vidéo <https://youtu.be/3miOIZKKYHs>

II. Lois de Coulomb pour le frottement de glissement

CE : *Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.*

1) Modélisation et vitesse de glissement

Modèle :

Solide S, support S_0

Hypothèses : il existe un plan commun tangent Π entre S et S_0

Référentiels :

R référentiel du laboratoire (absolu)

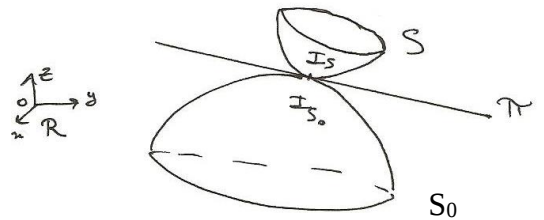
R_{S_0} référentiel lié au support S_0 (relatif)

Points de contact :

I_S = point du solide S qui à l'instant t assure le contact

I_{S_0} = point du support S_0 qui à l'instant t assure le contact

I_{S_0} est le point coïncidant de I_S dans R_{S_0}



Définition des composantes normale et tangentielle de la réaction du support : $\overrightarrow{R_{S_0 \rightarrow S}} = \vec{N} + \vec{T}$

où $\vec{T}$ est la réaction tangentielle ou force de frottement de glissement

et $\vec{N}$ est la réaction normale

Définition de la vitesse de glissement :

On appelle vitesse de glissement de S par rapport à S_0

Autre expression :

Par la loi de composition des vitesses :

Or la vitesse d'entraînement est la vitesse du point coïncident :

D'où $\vec{v}_g(S/S_0) =$

Remarque sur la direction de la vitesse de glissement :

$\vec{v}_g$ est

Si elle avait une composante normale à Π à l'instant t , alors à $t+dt$ le solide S se serait décollé de S_0 .

Limitations du programme au seul cas d'un solide en translation par rapport au support :

- Cas d'un solide immobile par rapport au support, on parle de non-glissement

Dans ce cas la vitesse de glissement est $\vec{v}_g(S/S_0) =$

- Cas d'un solide en translation par rapport au support, on parle de glissement

Dans ce cas la vitesse de glissement de S par rapport à S_0 est

$$\vec{v}_g(S/S_0) =$$

2) Loi de Coulomb pour la composante normale

La composante normale s'oppose à la pénétration de S dans S_0 . Elle est donc dirigée de S_0 vers S , suivant la normale sortant du support.

L'annulation de la composante normale est

Si sa norme est inconnue. Il faut écrire les théorèmes de la mécanique pour la trouver.

3) Loi de Coulomb pour la composante tangentielle dans le cas du glissement

Hypothèse :

Direction :

Sens :

Norme :

En résumé : où f_d est le

4) Loi de Coulomb pour la composante tangentielle dans le cas du non-glissement

Hypothèse :

Direction et sens :

Norme : où f_s est le

5) Les coefficients de frottement

Les coefficients de frottement dépendent du couple de matériaux constituant les deux solides.

Ils ne dépendent ni de l'aire de la surface de contact, ni de la valeur de la composante normale.

surfaces en contact	f_s	f_d
pneus en bon état sur route sèche	0,90	0,80
pneus usés sur route humide	0,10 à 0,20	0,05 à 0,12

Le coefficient de frottement statique est légèrement supérieur au coefficient de frottement dynamique. La différence est faible, souvent on les confond.

Application concrète : pour mettre en mouvement une lourde caisse, il faut exercer une force plus grande que pour la maintenir à vitesse constante lorsque le mouvement est initié.

6) Cas d'un contact sans frottement (ou contact parfait)

C'est le cas où

Alors $\vec{T} =$

Ne pas confondre sans frottement et sans glissement !

Exemple :

III. Exemple de résolution d'un problème avec frottement solide

CE : Utiliser les lois de Coulomb dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage.
Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

1) Méthode

- Faire d'abord l'hypothèse de non-glissement ou de glissement dans une direction et un sens précis.
- Appliquer les lois de la mécanique et les lois de Coulomb dans cette hypothèse :
 - Si on a supposé le non-glissement
 - Si on a supposé le glissement

En déduire les équations du mouvement.

- Validation de l'hypothèse :
 - Si on a supposé le non-glissement, vérifier que :
 - Si on a supposé le glissement, vérifier que
- La fin de la phase de non-glissement se produit lorsque
La fin de la phase de glissement se produit lorsque
- Si les hypothèses ne sont plus vérifiées à partir d'un certain temps, il faut étudier de même la phase suivante.

2) Exemple : glissement sur un plan incliné

Un palet (de masse m), est posé sans vitesse initiale au point O sur un plan incliné faisant un angle α par rapport à l'horizontale. Le coefficient de frottement entre le support et le palet est noté f .

- a) A quelle condition le palet reste-t-il en équilibre ?
- b) On suppose que le palet glisse sur le support. Quelle est son accélération ? Décrire son mouvement.
- c) Même question si le palet est lancé vers le haut avec une vitesse initiale v_0 .

3) Application à la mesure d'un coefficient de frottement

CE : Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement.

Voir la vidéo <https://youtu.be/3miOIZKKYHs>

IV Aspects énergétiques

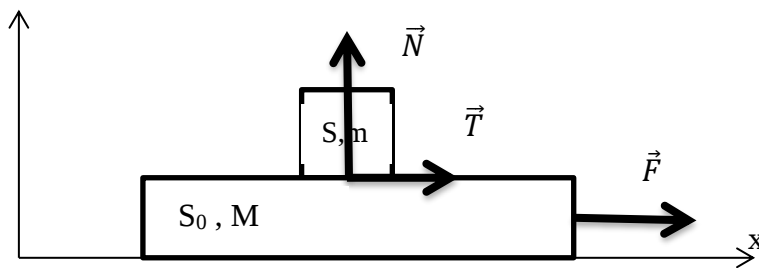
CE : Effectuer un bilan énergétique.

1) Puissance de la force de contact s'exerçant sur un solide

Dans le référentiel lié au support le travail de la force de frottement $\vec{T}$ est toujours négatif ou nul (c'est une force de freinage). Exemple du plan incliné.

$$P_{\text{contact}}/R_{S0} =$$

Mais ce n'est pas toujours le cas dans le référentiel absolu. Exemple :



Considérons un cube S de masse m , posé sur une planche S_0 posée sur le sol horizontal. Un opérateur exerce une force horizontale constante $\vec{F}$ sur la planche pour la mettre en mouvement. La planche se déplace sans frottement sur le sol. Le cube ne glisse pas sur la planche.

Trouver le signe de la puissance de la force de frottement exercée par la planche sur le cube dans le référentiel lié au sol.

2) Puissance totale des forces de contact entre deux solides

Définition :

$P_{\text{contact}} = P_{S \rightarrow S_0} + P_{S_0 \rightarrow S}$ c'est la puissance totale de la force exercée par S sur S_0 et de la force exercée par S_0 sur S.

Expression :

$\mathbf{P}_{\text{contact}} =$

Démo dans le cas où S et S_0 sont en translation de vitesses $\vec{v}$ et $\vec{v}_0$ dans le référentiel d'étude R :

Conséquences :

- Si S ne glisse pas sur S_0 , ou s'il n'y a pas de frottement, la puissance totale des actions de contact est nulle (dans tout référentiel).
- S'il y a glissement et frottement, cette puissance totale est négative.