

Titre : LPM1: Contact entre deux solides, frottements

Présentée par : Moulin Damien

Rapport écrit par : Mestre ELOïse

Correcteur : Zegers Robin

Date : 07/11/2019

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Mécanique 2	Bertin, Faroux, Renault		
Tout-en-un MP.MP* [ancien programme]		Dunod	2004
Tout de la mécanique, Cours et exercices corrigés	Bocquet, Faroux, Renault	Dunod	2002
Mécanique 7ème édition	Pérez		
Physique Spé MP*, MP, PT*	Gié, Sarman, Olivier, More	Tec&Doc	2000
Le portrait de phase des oscillateurs, BUP n°744	H.Gié et J.P.Sarmant		
Les milieux granulaires, entre fluide et solide,	B.Andreotti et al	EDP Science	2011

Plan détaillé

Niveau de la leçon : CPGE

Prérequis : Mécanique du solide, Oscillateur harmonique amorti, Forces de Van der Waals

Intro : L'omniprésence des frottements a longtemps conduit à ce qu'ils ne soient pas considérés comme des interactions mais comme des caractéristiques fondamentales de la nature. Ainsi, dans la physique aristotélicienne, on considérait que les objets ne pouvaient maintenir leur mouvement que si une force continuait à s'exercer sur eux. L'observation des mouvements astrophysiques, pour lesquels l'influence des frottements est négligeable, amène à la remise en cause de cette physique et à l'établissement de la mécanique newtonienne.

Nous nous plaçons dans toute la suite de la leçon dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

I-Description des actions

1) Cinématique du contact (5min30)

Soient deux solides : une boule S_1 et le sol S_2 .

Le contact entre ces deux solides est supposé ponctuel au point I . Cette approximation est dans l'absolu fautive car un contact ponctuel impliquerait une pression infinie en un point, il y aurait donc une zone d'écrasement.

I a une trajectoire tangente à la surface.

I_1 appartient à S_1 et est confondu avec I pour tout t .

I_2 appartient à S_2 et est confondu avec I pour tout t .

Définissons la vitesse de glissement :

$$\vec{v}_{g/R}(S_1/S_2) \equiv \vec{v}_R(I_1) - \vec{v}_R(I_2)$$

Remarques:

- Cette vitesse de glissement ne dépend pas du référentiel :

$$\vec{v}_{g/R'}(S_1/S_2) \equiv \vec{v}_{R'}(I_1) - \vec{v}_{R'}(I_2) \equiv \vec{v}_{S_2}(I_1) + \vec{v}_{R'}(I_2) + \vec{\Omega} \wedge \vec{I_1 I_2} - \vec{v}_{R'}(I_2) \equiv \vec{v}_{S_2}(I_1)$$

$$\text{car } \vec{I_1 I_2} = \vec{0}$$

- Condition de non glissement : $\vec{v}_{g/R}(S_1/S_2) = \vec{0}$

2) Représentation des actions de contact (7 min)

#Slide[1]

On peut définir un plan tangent au contact entre deux solides et ainsi définir les actions de frottement :

- Réaction normale** : S'oppose à l'interpénétration des deux solides : $\vec{R}_N \cdot \vec{n}_{1 \rightarrow 2} \geq 0$
- Réaction tangentielle** : S'oppose au glissement : $\vec{R}_T \cdot \vec{v}_{g/R}(S_1/S_2) \leq 0$ et $\vec{R}_T \cdot \vec{n}_{1 \rightarrow 2} = 0$
- Moment de pivotement** : S'oppose au pivotement (la balle du basketteur qu'il fait tourner sur son doigt fini par s'arrêter)
- Moment de roulement** : S'oppose au roulement (une balle qui roule finira par s'arrêter même sans frottement fluide)

Nous étudierons dans toute la suite du cours seulement des cas où il n'y a pas de moments de frottement.

Questions posées par l'enseignant

Q° : Refaire la démo sur le fait que la vitesse de glissement ne dépend pas du référentiel.

Q° : Le coefficient de frottement dépend de quoi alors ?

R : #Slide [2] De bcp de choses ... du matériaux, de la température ...

Q° : Dépend-il de la vitesse une fois en mouvement ? Connaissez-vous le système de freinage d'urgence ABS ?

R : Le coefficient de frottement dépend de la vitesse de glissement.

Dans la plupart des cas μ_d diminue quand la vitesse de frottement augmente.

Pour les frottements caoutchouc-bitume μ_d augmente pour des petites vitesses de glissement puis diminue lorsque la vitesse de glissement augmente.

Il existe donc une plage de vitesse de glissement où $\mu_d \geq \mu_s$.

L'ABS est un système qui empêche de bloquer les roues tout en les bloquant un peu, $\mu_d \geq \mu_s$ et

le freinage est plus efficace. Le coefficient de glissement est $g = \frac{V - R\omega}{V} \sim 10\% - 20\%$ pour la plupart des voitures.

Q° : Comment convaincre les étudiants que $\mu_d \leq \mu_s$ dans la plupart des cas ?

R : Phénomène du « collé-glissé » (« stick and slip »), lorsque l'on pousse un meuble il faut beaucoup de force pour le mettre en mouvement puis beaucoup moins lorsqu'il bouge.

Q° : Les aspérités jouent un rôle dans les frottements ? Est-ce que polir la surface à l'extrême éliminerait les frottements ?

R : Lorsque c'est extrêmement poli, une couche d'atome fait face à une autre couche : force de Van der Waals prédominant et il devient presque impossible de décoller les deux solides.

Q° : Comment mesurer la surface réelle de contact entre les deux solides ?

R :

- Milieu transparent : on étudie la réfraction des rayons
- Milieu conducteur : on envoie un courant et on étudie la différence de potentiel

Q° : Comment peut-on comprendre la lubrification ?

R : Le fluide se glisse dans les aspérités entre les deux solides, la pression du fluide soulève les

Commentaires donnés par l'enseignant

Très bonne leçon, plan raisonnable. Il faut préciser plus clairement que les coefficients de frottement sont sans dimension et dépendent très peu de la vitesse de glissement en général. Vous n'êtes pas tombé dans le piège de la rugosité c'est bien .

A propos de l'approche microscopique :

$R_N = P \cdot A_{ir}$ où P est la contrainte normale entre les deux surfaces.

Hypothèse : La contrainte P est plastique

$$F = \frac{R_N}{A_{ir}} = cst$$

$R_T = a \cdot A_{ir}$ où a est la contrainte de cisaillement.

$a < a^* \Rightarrow$ adhésion

$a = a^* \Rightarrow$ rupture \Rightarrow glissement

$$a = \frac{R_T}{A_{ir}} = \frac{R_T P}{R_N} < a^*$$

Donc $R_T < \frac{a^*}{P} N$ non glissement

$$R_T = \frac{a^*}{P} N \quad \text{glissement}$$

$$\text{et } \frac{a^*}{P} = \mu$$

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Très bonne leçon.

Bon plan, contenu maîtrisé.

Même si elle pouvait être poussée un peu plus loin, j'ai particulièrement apprécié la discussion des aspects microscopiques.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Fondamentales:

Point de contact, Vitesse de glissement.

Actions de contact.

Lois de Coulomb, coefficients de frottement statique et dynamique, cône de frottement.

Aire réelle de contact. Doit figurer dans la discussion des aspects microscopiques. Elle est aisément introduite avec la notion de rugosité des surfaces en contact.

Secondaires:

Collé-glissé (source de nombreux exemples d'application des frottements solides dans la vie courante. Application intéressante aux séismes, cf. réf. dans la bibliographie conseillée.)

Hystérésis mécanique.

Délicats:

Aspects microscopiques doivent être suffisamment compris pour éviter les contre-sens

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Pavé sur un plan incliné.

Règle de Sommerfeld.

Expérience de Timochenko ?

Bibliographie conseillée

Christopher H. Scholz, Earthquakes and friction laws, NATURE, Vol. 391, Jan. 1998.

