

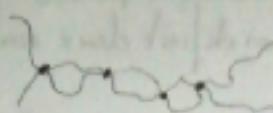
2- Modélisation du contact solide

→ pourquoi frottement? → regarder échelle micro

2-1-Approche microscopique: Milieu granulaire, Andreotti + BFR. Toute la mécanique.

→ surface faite d'asymétries (rugosité) → contact réel sur surface plus petite que surface contact apparente

→ montrer schéma



→ les solides ne se pénètrent pas car interactions électrostatiques repulsives
les frottements. (+ rugosité)

⇒ forces intervenant dépendant du degré de polissage, de propreté et des déformations locales

↳ informations impossibles d'accès

+ impossible de décrire interaction de tous les atomes

↳ pas de méthode de résolution à l'heure actuelle.

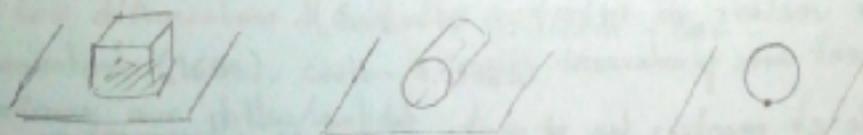
⇒ Regarde comment on peut décrire solide à l'échelle macro. On appelle surface de contact la surface de contact apparente.

2-2-Approche macroscopique Brebeuf + BFR toute la mécanique + Pérez mécanique

→ il s'agit de déterminer des grandeurs accessibles par l'opérateur.

→ on peut distinguer 3 types de contacts entre solides.

→ montrer schémas.



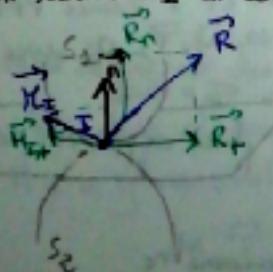
→ surface, linéaire et ponctuel

→ solide en contact = il existe au moins un point de contact.

→ il y a déformation surface → contact ponctuel entière rigueur (et linéaire) n'existe pas

→ dans le cas simple on peut se ramener contact ponctuel (point contact assimillé à surface)

→ soit un solide S_2 en contact ponctuel avec un solide S_1 dans sa surface



→ on définit le plan tangent qui permet de décomposer R et

les actions mécaniques exercées par le solide (S_1) sur le solide (S_2) sont représentées au point I de contact (par un bâton) et par une résultante de force \vec{R} et un moment \vec{M}_I

→ on définit le plan tangent qui permet de décomposer \vec{R} et

\vec{M}_I en composante normale et tangentielle

on a: $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$ et $\vec{M}_I = M_{I,n} + M_{I,t}$

et on note par la suite $\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$, $\vec{R}_n = \vec{N}$, $\vec{R}_t = \vec{T}$

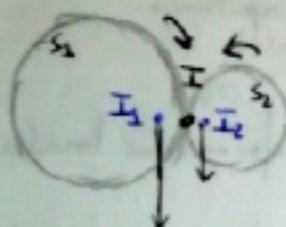
→ on remarque que pour contact rigoureusement ponctuel (entre pour toute la lesson) il y a que résultant moment au point I et $M_I(\vec{R})=0$ (car origine \vec{R} en I)
(pas trouvé facile par l'ancien limite de l'approximation).

↓ Dans le cas de solides en contact nous définissons de nouvelles grandeurs cinématiques

1-3- Cinématique des solides en contact: Péres mécanique p. 332

→ le point géométrique de contact I étant donné, on définit deux autres points.

→ projeter schéma (Péres p. 277)



→ le point I_1 du solide S_1 qui coïncide avec I à l'instant t

les vitesses des points I_1 et I_2 sont non nulles et a priori différentes

on définit une nouvelle grandeur:

vitesse de glissement, \vec{v}_g , de S_1 sur S_2 la vitesse de I_1 par rapport à S_2

$$\Rightarrow \vec{v}_g = \vec{v}_{I_1} / S_2$$

$$\Rightarrow \vec{v}_g = \vec{v}_{I_2} / R + \vec{\omega}_R / I_2 \Leftrightarrow \vec{v}_g = \vec{v}_{I_2} / R - \vec{v}_{I_1} / R$$

→ il y a glissement quand $\vec{v}_g \neq 0$

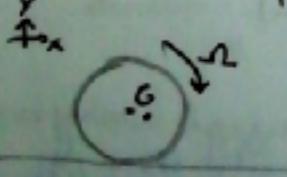
(on peut de même définir vecteur de rotation relative)

↳ il peut avoir roulement avec glissement

→ prend craie sur table et montrer les 2 modes (i.e. avec glissement ou non)

1-4-Bilan et conclusion:

Pour résumé idées prenons exemple roue: on cherche mot entre de masse



→ travaille ED : - à équilibre: inconnues \vec{N} et \vec{T} , avec PFD OK
- sans glissement: inconnues \vec{N} , \vec{T} , $\vec{\omega}$ avec PFD et L_{ZK} OK $\Rightarrow v_0 = R\omega$

- avec glissement on peut plus exprimer rotation avec vitesse

⇒ il nous faut autre équation, pour relier \vec{T} autres paramètre

↓ on a abordé la difficulté de l'expression de cette composante, la théorie étant donc (pour le moment) impuissante il nous reste l'expérience.

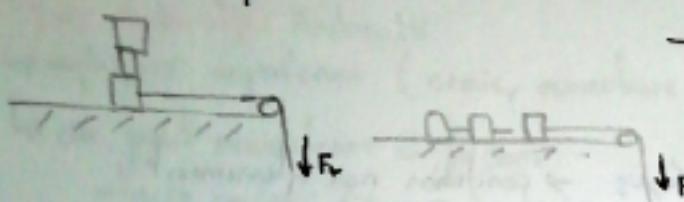
2 - Loi phénoménologique du frottement solide:

→ question qui date du XV^e siècle

2-1- Expérience de Leonardo da Vinci: Andreotti: milieux granulaire.

(à voir en TP si on peut monter un truc \Rightarrow rend la partie moins bâbâ et donc + dynamique)

→ De Vinci expérience:



→ exerce une force de traction sur masses identiques mais soit l'une sur l'autre ou l'une après l'autre.

→ on regarde quelle force exercée pour mettre en mouvement.

→ expériences permettent de conclure que:

(i) la force F_T est identique dans les deux configurations $\Rightarrow F_T$ ne dépend pas de la surface de contact

(ii) F_T dépend linéairement du poids (la force normale)

(iii) la force F_T une fois la mise en mouvement inférieure à F_T pour mettre en mouvement.

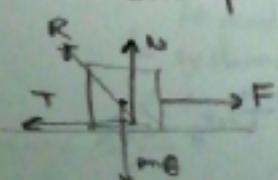
↓ Ces observations ont permis 200 ans plus tard à Amontons et Coulomb d'énoncer les lois de la friction entre deux solides.

2-2- Lois d'Amontons et Coulomb: Andreotti + BHf

→ (Amontons 1699), Coulomb (1785)

→ expériences sur partiel/solide

→ schéma BHf p. 358



$$\vec{F} + \vec{T} = 0 \text{ donc c'est } \vec{T} \text{ qui s'oppose au mouvt.}$$

→ expériences d'agent des lois encore utilisées:

(i) il n'y a pas glissement si $\|\vec{T}\| \leq \mu_s \|\vec{N}\|$ μ_s : coefficient frottement statique [$\mu_s = 0.5$]

(ii) si il y a glissement: $\|\vec{T}\| = \mu_d \|\vec{N}\|$ μ_d : coefficient frottement dynamique

$$\Rightarrow \vec{T} = -\mu_d \|\vec{N}\| \frac{\vec{v}_g}{\|\vec{v}_g\|}$$

→ μ_s, μ_d ne dépendent que nature et état corps en contact $\mu_s > \mu_d$

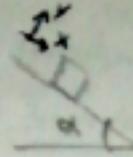
→ Où G

Mettions en perspective ces lois à travers l'expérience du plan incliné:

2-3- Solide sur un plan incliné! Péce + BHF

Manipulation

- montrer l'hystérésie
- montrer μ_s, μ_d



on augmente l'angle \rightarrow mis en mot
→ on diminue angle \rightarrow t.p. mot.

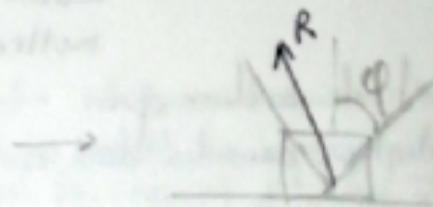
$$\text{on a: } T + mg \sin\alpha = 0$$

$$N - mg \cos\alpha = 0$$

$$\Rightarrow T \leq \mu_s N \Leftrightarrow \frac{T}{N} \leq \mu_s \Leftrightarrow \tan\alpha \leq \mu_s \rightarrow \text{condition non glissement}$$

→ on définit cône de frottement:

$$\text{on pose } \tan\phi = \mu_s \Leftrightarrow \tan\alpha \leq \tan\phi \\ \Leftrightarrow \alpha \leq \phi$$



\Rightarrow pas glissement tant que R reste dans cône (ϕ, \vec{N})

→ effet d'arc boutement.

→ comme $\mu_d < \mu_s \Rightarrow \phi_d < \phi_s$ no cône plus petit en dynamique \Rightarrow effet hystérésie.

Frottement important pris en compte rendement système ... quel conséquence frottement sur énergie du système?

2-4- Aspect énergétique:

→ reprend les deux solides S_1 et S_2

→ puissance reçue par S_1 : $P_1 = \vec{R} \cdot \vec{\omega}_{I_2/R}$

→ ————— S_2 : $P_2 = -\vec{R} \cdot \vec{\omega}_{I_2/R} \Rightarrow P_{\text{tot}} = \vec{R} \cdot \vec{\omega}_g = \vec{T} \cdot \vec{\omega}_g < 0$

\Rightarrow puissance dissipée = 0 si $T=0$ \rightsquigarrow

si $T \neq 0$ $\vec{\omega}_g = 0 \Rightarrow$ on peut ne pas avoir de puissance dissipée avec \vec{T} (\Rightarrow pas glissement)

↓ On a le cadre de notre théorie nos conséquences?

3 - Application:

(pas là on se fait plaisir et on gagne son temps)
y'a plein de truc : mesure coef frottement
oscillations amorties
voiture

→ regardons phénomènes du stick-slip (i.e de la craie)

3-1 - Stick-slip: Andretti

→ expliquer expérience (craie, couvercle porc, sommier/éch.)

↳ on peut modéliser 2 façons:

- tapis roulant ($T = \mu_d F_N$)

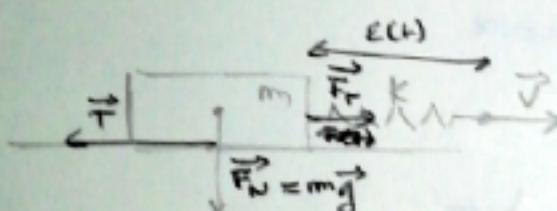
- un ressort force rappel

→ patin relié ressort raideur K

→ $t=0$ ressort au repos, patin $x=0$

→ on tire ressort à vitesse V

$$\Rightarrow \ddot{x}(t) = V - x(t)$$



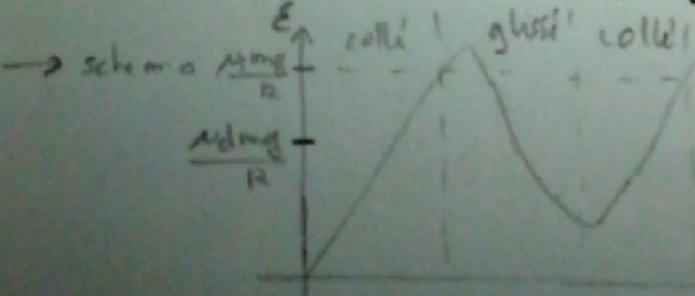
→ de ce que l'on sait: ① patin à l'arrêt et ne glisse pas tant que $F_r < \mu_s F_N$
une valeur critique $T = \mu_s F_N$

$$\approx \text{au repos } \dot{x} = 0$$

② si patin glisse alors $T = \mu_d F_N$

$$\Rightarrow m\ddot{x} = Kx - \mu_d F_N \Leftrightarrow \ddot{x} + \frac{K}{m}x = \frac{\mu_d F_N}{m}$$

→ oscillation de x fréquence $\sqrt{\frac{K}{m}}$ autour de $\frac{\mu_d F_N}{K}$
Le pendant oscillation patin va repasser par une vitesse nulle et
le système se retrouve étape 1



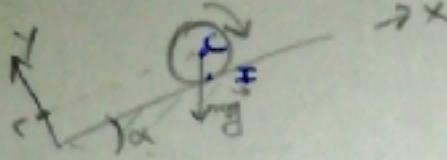
$\Rightarrow \text{rôle} = \text{succession collé / glissé}$

↳ non linéaire

→ violon, tremblement de Terre ..

3-2-Roue motrice Perez p.338

- on veut glisser sans rouler
- étudier condition roulement sans glissement vitesse constante sur gare.



couple moteur: $\vec{H}_c = -M_m \vec{e}_z$
forces: \vec{R} et $mg\vec{j}$

→ PFD vitesse constante $\Rightarrow \vec{\omega} = mg\vec{i} + \vec{R}$

$$TMC \Rightarrow \frac{d\vec{H}_c}{dt} = \vec{M}_I + \vec{H}_c + \vec{R} \times \vec{C}\vec{I}$$

on projete: $\vec{\omega} = -mg \sin \alpha \vec{i} + \vec{T}$

$$\vec{\omega} = -mg \cos \alpha \vec{k}$$

$$\therefore \vec{\omega} = \vec{M}_{I,z} + \vec{C}\vec{I} - \vec{H}_m$$

condition non glissement:

$$T \leq \mu_s N \Leftrightarrow \frac{|H_m - M_{I,z}|}{r} \approx \frac{H_m}{r} \leq \mu_s mg \cos \alpha$$

→ bitume-caoutchouc $\mu_s \approx 0,6$ OK

acier acier $\mu_s \approx 0,2 \rightarrow$ problème pour train

→ on peut augmenter $m \rightarrow$ c'est ce qui est fait train montagne.

→ ou couple plus faible mais \Rightarrow vitesse plus faible

→ si temps, autre exos "cool"

↳ modèle frottement contact dans du sile , dans partie z à fin → donne "interprétation" loi Coulomb avec rugosité (BNF p. 362)

↳ la marche à pied Perez p.338.