TDM2 – Forces de contact - Lois du frottement solide

Capacités exigibles	Ch M2	Ex 1-2	Ex 3-12	*TP*
Contact entre deux solides. Aspects microscopiques. **Lois de Coulomb du frottement de glissement dans le seul cas d'un solide en translation.** 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. *Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement.* Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, simuler une situation mécanique dans laquelle intervient au moins un changement de mode de glissement.	•	•	•	•
Aspect énergétique. Effectuer un bilan énergétique.	•	•		

0 Exercices classiques vus en cours :

E.2.b : Equilibre ou glissement d'un solide sur un plan incliné
E.2.c : Lancement vers le haut d'un solide sur un plan incliné
F.2 : Expression de la puissance totale des forces de contact entre deux solides en translation

1 ✎ Distance d'arrêt *(type « résolution de problème »)*

Commenter cet extrait du code de la route, valeurs numériques à l'appui :

À 90 $km.h^{-1}$, sur une route sèche, on parcourt avant de s'arrêter : 25m pendant la seconde de réaction et 54m pendant le freinage ; la distance d'arrêt est 79m.

On donne le coefficient de frottement statique entre un pneu et la route : $f_{pneu/asphalte} \simeq 0.6$.

2 Descente à ski

Un skieur de masse m descend une piste faisant un angle α avec l'horizontale. L'air exerce une force de frottement de la forme $\vec{F} = -\lambda\vec{v}$ où λ est un coefficient constant positif et $\vec{v}$ la vitesse du skieur. La neige exerce sur le skieur un frottement solide de coefficient dynamique f. On choisit comme origine de l'axe Ox la position initiale du skieur que l'on suppose partir avec une vitesse nulle et on note Oy la normale à la piste. On prend $m = 80\,\text{kg}$, $\alpha = 45°$ et $\lambda = 10\,\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Déterminer la réaction normale exercée par la neige sur le skieur.
2. Montrer que le skieur atteint une vitesse limite v_l. Calculer v_l (le record du monde de vitesse en ski est d'environ $250\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$).
3. Déterminer la vitesse du skieur au cours du temps.
4. Calculer l'instant t_1 où le skieur atteint une vitesse égale à $v_l/2$.
5. À la date t_1, le skieur chute. On néglige alors la résistance de l'air mais le coefficient de frottement avec le sol est multiplié par 100. Calculer la distance parcourue par le skieur dans cette position avant de s'arrêter.

__Donnée__ : $f = 0{,}05$

3 Positionnement d'une échelle

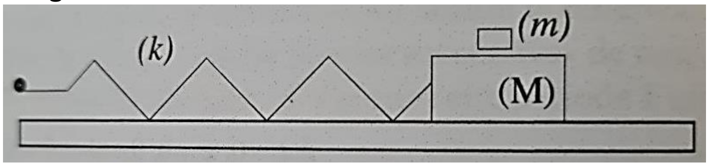
Une échelle est posée contre un mur vertical, son autre extrémité reposant sur le sol horizontal. Il n'y a pas de frottement entre l'échelle et le mur, le coefficient de frottement entre l'échelle et le sol est f.

Quelles conditions l'utilisateur doit-il respecter, s'il veut éviter que l'échelle glisse sur le sol ?

On négligera la masse de l'échelle devant celle de l'utilisateur et supposera que l'utilisateur reste vertical quand il grimpe à l'échelle.

4 ✎ Rodéo horizontal

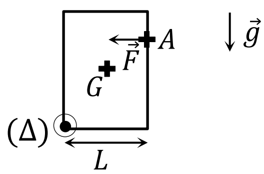
Un petit cube de masse m est posé sur le dessus d'un chariot parallélépipédique de masse M qui glisse sans frottement sur une table horizontale. Le chariot est relié à une paroi par un ressort de constante de raideur k, et il a un mouvement rectiligne.



➲ Déterminer l'amplitude maximale du mouvement en dessous de laquelle le cube ne glisse pas. On notera µ le coefficient de frottement cube/chariot.

5 Condition de basculement d'un meuble

On modélise un meuble de masse m par un parallélépipède rectangle de hauteur H et de largeur L. On note G son centre d'inertie. On néglige ici toute possibilité de glissement du meuble sur le sol. Un déménageur exerce en un point A, à une hauteur h du sol, une force de poussée de norme F et normale à une face verticale du meuble. On précise que les points A et G appartiennent au même plan vertical (cf figure).



➲ Montrer que h doit être supérieur à h_{min} pour que le meuble puisse basculer autour de l'axe horizontal (Δ). *Vous déterminerez l'expression de* h_{min}.

6 ✎ Entraînement d'un carton par un tapis roulant

A l'instant $t = 0$, on pose un carton de masse m sur un tapis roulant qui défile à la vitesse U constante sur un plan incliné d'un angle α pour le monter à l'étage d'un entrepôt. Le coefficient de frottement entre le tapis et le carton est $f > tan\alpha$.

1. Exprimer la vitesse de glissement du carton sur le tapis. Justifier qu'il y a glissement au moins au départ et préciser le sens du glissement.
2. Déterminer le mouvement tant qu'il y a glissement. En déduire la date t_1 où le glissement cesse.
3. Quel est le mouvement ultérieur du carton ?

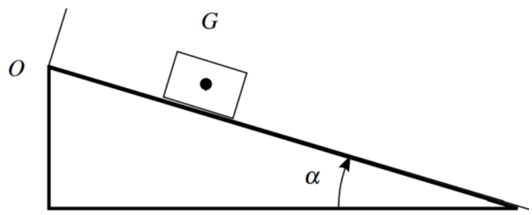
7 Distinction des coefficients de frottement statique et dynamique : retour sur l'expérience 1 du ChM2

On reprend l'étude menée dans le ChM2 :

On dispose d'un plan incliné S_1 dont on peut faire l'angle α par rapport à l'horizontale.

On dépose un solide S_2, parallélépipédique de masse m sur le plan incliné S_1, sans vitesse initiale.

On notera f_s (resp^t f_d) le coefficient de frottement statique (resp^t dynamique) que l'on distinguera dans cette étude.



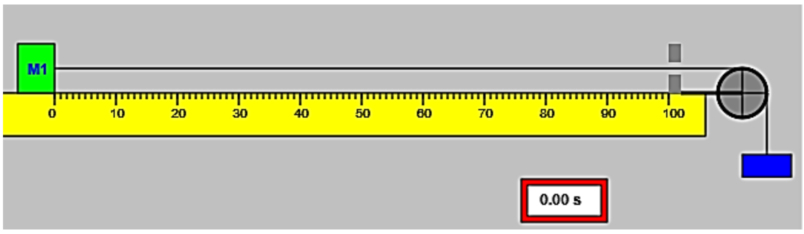
On constate que pour un solide et un plan donnés deux comportements différents sont possibles :

- (1) S_2 reste en équilibre là où on l'a posé ;
- (2) S_2 se met à glisser vers le bas le long de la direction de plus grande pente.

1) Déterminer les intervalles d'angle α tels qu'on observe le comportement (1) ou le comportement (2).
2) On dépose S_2 sur S_1 initialement horizontal et on augmente progressivement l'angle α. A partir de quel angle, S_2 se met-il à glisser ?

8 ✎ Mesure des coefficients de frottement statique et dynamique

Un solide S_1 de masse M_1 est placé sur un plan horizontal. On note f_s le coefficient de frottement statique entre le solide et le plan et f_d le coefficient de frottement dynamique. Le solide S_1 est relié, par l'intermédiaire d'un fil inextensible sans masse et d'une poulie idéale, à un solide S_2 de masse M_2.
On augmente progressivement M_2 jusqu'au moment où le solide S_1 commence à bouger.

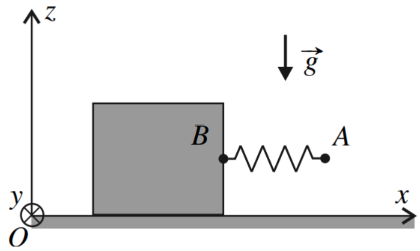


1) Montrer qu'on peut déterminer expérimentalement le coefficient de frottement statique f_s en connaissant la masse $M_{2,lim}$ qui permet de mettre le solide S_1 en mouvement.
2) Pour $M_2 > M_{2,lim}$, montrer que l'accélération du solide S_1 est une constante et qu'en la mesurant expérimentalement, on peut déterminer le coefficient de frottement dynamique f_d.
Cf *http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/meca/frotte2.html*

9 ✎ Mouvement « stick-slip »

On s'intéresse ici au mouvement saccadé d'un solide qui peut soit adhérer (« stick ») soit glisser (« slip ») sur son support. Le phénomène de « stick-slip » a pour origine le fait que les coefficients de frottement statique et dynamique diffèrent. Il génère des vibrations responsables du grincement des portes, du crissement des craies sur le tableau mais aussi du son d'un violon et du chant des verres.

On s'intéresse à un dispositif simple mettant en évidence ce phénomène :
Un bloc de masse m est posé sur une table horizontale. Le contact entre la table et le bloc est caractérisé par un coefficient de frottement statique f_s et un coefficient de frottement dynamique f_d.
Un ressort de longueur à vide L_0 et de constante de raideur k est relié au bloc au point B.
Initialement, le bloc est immobile et le ressort est au repos et on a $x_A(0) = 0$.
A partir de l'instant $t = 0$, on tire sur l'extrémité libre du ressort A de manière à la déplacer avec une vitesse constante $\vec{u} = u\overrightarrow{u_x}$ ($u > 0$). On note $x_A(t)$ et $x_B(t)$ les abscisses des deux extrémités du ressort.

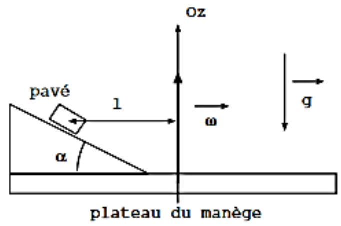


www.youtube.com/watch?v=4kY-v6mq8lA

1. Déterminer l'expression de $x_A(t)$.
2. Déterminer l'équation différentielle portant sur $x_B(t)$ qu'il y ait glissement ou non. Déterminer la composante normale de la réaction exercée par la table sur le bloc.
3. On considère une phase pendant laquelle le bloc est fixe. Pendant cette phase, donner l'expression de la composante tangentielle de la réaction exercée par la table sur le bloc en fonction de k, L_0, $x_A(t)$ et $x_B(t)$. Qu'imposent les lois de Coulomb pendant cette phase ?
4. On considère une phase pendant laquelle le bloc glisse sur la table (étant donné le déplacement imposé du point A, le bloc glisse selon $+\overrightarrow{u_x}$). D'après les lois de Coulomb, donner l'expression de la composante tangentielle de la réaction exercée par la table sur le bloc pendant cette phase en fonction de m, g et f_d. Quelle condition portant sur $\dot{x_B}$ doit être vérifiée pendant cette phase ?
5. On simule numériquement le mouvement à l'aide du programme disponible sur Cahier de Prépa. Compléter le programme et commenter le résultat de la simulation en testant l'influence des différents paramètres.

10 Equilibre dans un référentiel tournant

Un plan incliné d'angle $\alpha = 30^0$ par rapport à l'horizontale est placé sur un plateau en rotation à la vitesse angulaire ω. Un pavé est posé sur le plan incliné et le coefficient de frottement statique est $f = 0,25$. Le pavé est à l'équilibre sur le plan incliné à une distance $l = 40\ cm$ de l'axe de rotation.



On définit $\mathcal{R}(0, \vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z})$ le référentiel lié au sol et $\mathcal{R}'(0, \vec{e'_x}, \vec{e'_y}, \vec{e_z})$ le référentiel mobile dans lequel le pavé est à l'équilibre.

➲ Déterminer la (ou les) conditions sur la vitesse angulaire pour que le pavé soit effectivement en équilibre sur le plan incliné.

11 Usure des rails *(type « résolution de problème »)*

Sur les lignes TGV entre le nord et le sud de la France (par exemple entre Lyon et Avignon), on constate une usure plus importante sur le rail de droite (dans le sens de la marche du train).

➲ Proposer une modélisation permettant de rendre compte de cette observation.

12 Oscillateur de Timochenko

Deux cylindres parallèles, de même rayon R, dont les axes fixes et horizontaux sont disposés à la distance $l > 2R$ l'un de l'autre dans un même plan horizontal, sont animés d'un mouvement de rotation uniforme à la même vitesse angulaire ω en sens inverse l'un de l'autre (cf. figure 12).
Une planche homogène, de masse m, de faible épaisseur, de grande longueur, glisse sur les deux cylindres avec le même coefficient de frottement f. On appelle x la position du centre d'inertie de la planche repérée par rapport à l'origine O du repère.
On désigne par $g = 9,8\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ l'accélération de la pesanteur. On donne aussi $f = 0,5$, $m = 1\,\mathrm{kg}$, $l = 5\,\mathrm{m}$, $R\omega = 1\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

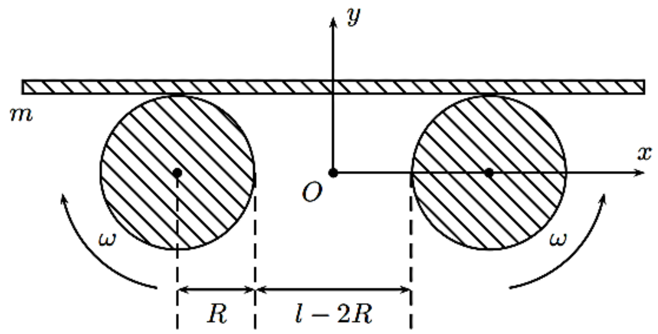


FIGURE 12 – Oscillateur de Timochenko

➲ Montrer que la plaque oscille horizontalement et déterminer la période des oscillations.

Vidéo de l'expérience cf www.youtube.com/watch?v=WnAWSjMlTVo

Données :

Soit R le référentiel terrestre, on introduit R^*, le référentiel barycentrique de la planche : R^* est le référentiel en translation par rapport à R dans lequel le centre d'inertie G de la planche est fixe.
On introduit (Oz) axe horizontal orthogonal au plan (Oxy).
Si on étudie la planche dans R^*, les moments des forces d'inertie par rapport à (Gz) sont nuls.