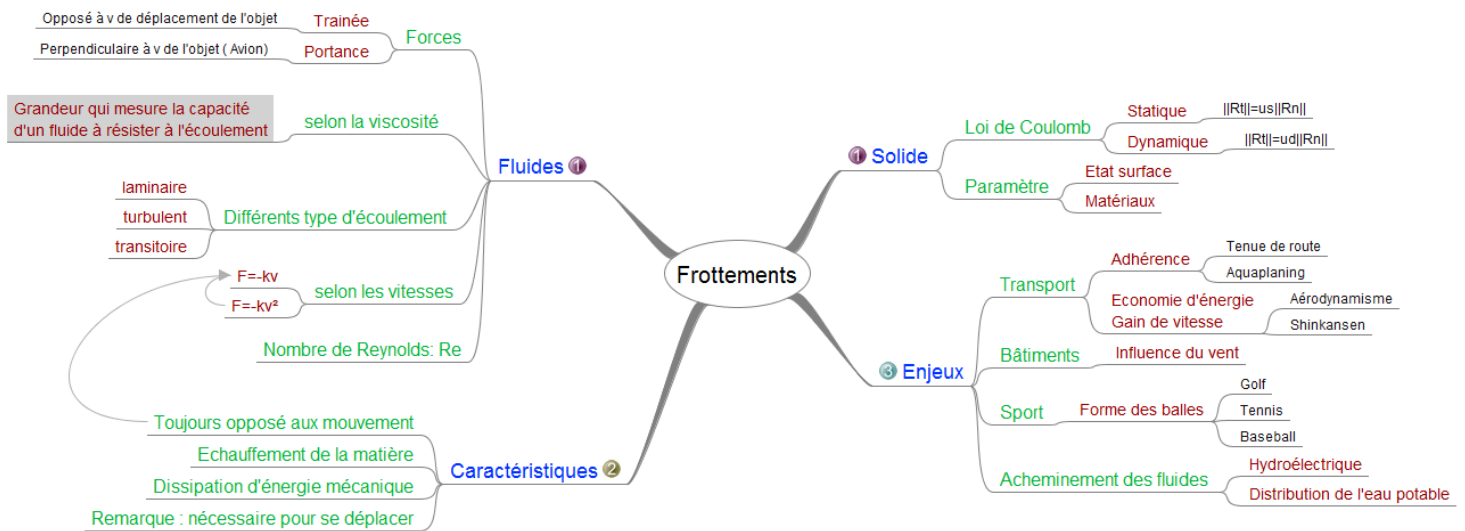


20-L-Frottements

Intro : Carte Mentale



Deux types de frottements (commencer par les solides et enchaîner par les fluides)

Caractéristique

Enjeux

Péda : TS

En 2nd : on parle un peu de frottement lors de l'introduction au principe d'inertie. Pour comprendre pourquoi ça s'arrête.

1^{ère} S : Frottement dans l'énergie pour dire que ça se dissipe et se transforme en chaleur.

TS : Travail du frottement

Mesure du temps et oscillateur, amortissement	trottement
Travail d'une force. Force conservative ; énergie potentielle.	<i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence :</i> - les différents paramètres influençant la période d'un oscillateur mécanique ; - son amortissement.
Forces non conservatives : exemple des frottements.	Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).
Énergie mécanique.	Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique. Dissipation d'énergie.	Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel.
	<i>Pratiquer une démarche expérimentale pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur.</i> Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de la seconde

Travail du poids et travail des forces électrique fait juste avant

- Pré-requis :
- Définition de W
 - type de W (moteur $W > 0$ et résistant $W < 0$)
 - action mécanique

- modélisation par des forces

Objectif : Etablir, Exploiter, Expliciter.

Déroulement de la séance sur 2H avec une première partie activité et une 2nd partie modélisation.

I - Activité : Un travail non négligeable

Situation déclenchant Expérience : je lance une brosse sur la table

Expérience de pensée (comme Einstein et Galilée).

Je distribue des brouillons aux élèves et ils répondent sur un brouillon sinon ils n'osent pas répondre.

Comment faire déplacer cette même brosse sur une longueur plus longue ?

On s'attend à ce que les élèves proposent d'équiper la table avec un coussin d'air ou de mouiller la table pour qu'elle glisse davantage, certains vont peut-être proposer d'enlever l'air.

Etude du mouvement d'un palet de hockey (Doc modifié Bordas p 186)

Un solide en mouvement sur un support ou dans un fluide (gaz ou liquide) subit de la part de celui-ci une action mécanique qui s'oppose à son mouvement. Cette action peut être modélisée par une force de même direction que le vecteur vitesse, mais de sens contraire. Cette force est nommée force de frottement de glissement pour un support solide ou force de frottement fluide pour un fluide. Elle est notée $\vec{f}$.

Au hockey sur glace par exemple, le palet (un disque de caoutchouc) lancé sur la patinoire glacée finit par s'arrêter en raison de l'action mécanique de la glace. La valeur de la force de frottement de glissement qui modélise cette action est indépendante de la vitesse du palet, mais dépend de l'état de la piste. Quelques heures avant le coup d'envoi d'un match, la préparation technique de la patinoire consiste à « refaire » la glace à l'aide d'une surfaceuse. Le passage de ce véhicule permet de lisser la piste afin de réduire le travail produit par les forces de frottement.



1. Quelles sont les actions mécaniques qui s'appliquent au palet ?
2. Représenter les forces.
3. Exprimer le travail $W_{AB}(\vec{f})$ pour un déplacement direct de A en B puis de B en A après avoir rebondi sur C.

Le faire au tableau :

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = f \cdot d \cdot \cos \alpha < 0$$

$$W_{BA}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{BA} = f \cdot d \cdot \cos \alpha < 0$$

L'idée est de montrer aux élèves que même si le vecteur déplacement est inversé le travail W est toujours résistant ($W < 0$)

II Modélisation du saut du skysurfers (Doc modifié Bordas p 186)



Fig. 1 Des skysurfers en chute dans l'air.

Le sky surf (Fig. 1) constitue un autre exemple. Dans ce sport, le parachutiste debout sur sa planche est en chute verticale dans l'air. Pour un saut à 4 000 m d'altitude, et après une phase d'accélération, le travail résistant produit par les forces de frottement fluide, qui modélisent l'action mécanique de l'air sur le skysurfer, conduit à un mouvement uniforme. Le sportif dispose alors d'environ 50 s de chute « libre », à près de 200 km · h⁻¹. Cette durée lui permet de réaliser des figures, qui peuvent être filmées, avant d'ouvrir son parachute.

Donnée:

- Rayon de la bille
- $\rho_{\text{glycérol}}$

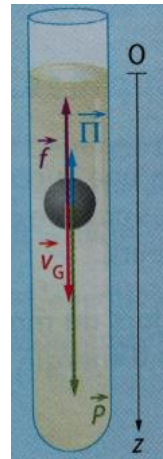
- *masse de la bille*
- Expression de la poussée d'archimède (Facultatif au cas où il s'en rappelle pas)

But : Calculer le travail des forces de frottements

Demander aux élèves de modéliser la chute du skieur à l'aide du matériel suivant :

- Epruvette graduée
- Glycérol
- bille de rayon R
- webcam
- ordinateur avec logiciel d'acquisition
- Ecran blanc
- Règle graduée
- Chronomètre

Expliquer aux élèves pourquoi on utilise du glycérol à la place de l'air et une bille à la place du skieur. On n'a pas 300 m pour atteindre le moment de la chute « libre »



2 types de solution attendue : (Je ne comprends pas bien Demander à Damien)

- je filme après avoir gradué le tube et je mesure la vitesse avec les graduations du tube et le chronomètre.
- Je filme et j'analyse la vidéo par chronophotographie.

Ce n'est pas facile pour les élèves et si ça n'a jamais été fait avant il ne faut pas le faire car ça va prendre trop de temps.

On reprend le document sur la partie où le travail est rectiligne uniforme

On demande aux élèves de calculer le travail des forces extérieures sur la portion AB où la vitesse est constante

$$W_{AB}(\vec{\Sigma f}_{ext}) = 0 \text{ car sur cette portion } (\vec{\Sigma f}_{ext}) = 0$$

Donc les élèves doivent calculer le travail du poids : $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = m \cdot g(z_B - z_A)$

le travail de la poussée d'archimède : $W_{AB}(\vec{\pi}) = \vec{\pi} \cdot \vec{AB} = -\rho_{glycérol} \cdot V_b \cdot g(z_B - z_A)$

Le travail des forces de frottement : $W_{AB}(\vec{f}) = ?$

Solution :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -W_{AB}(\vec{P}) - W_{AB}(\vec{\pi})$$

$$W_{AB}(\vec{f}) = -m \cdot g(z_B - z_A) + \rho_{glycérol} \cdot V_b \cdot g(z_B - z_A)$$

Ils font l'application numérique afin de vérifier en leur donnant l'expression de la force de frottement :

- force de frottement Formule de Stokes pour les vitesses faibles : $\vec{f} = -6\pi\eta R \vec{V}_b$

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = -6\pi\eta R v_b (z_B - z_A)$$

Conclusion sur le travail d'une force de frottement ...

Prolongement avec un exercice à faire à la maison :

- Saut de Félix Baugartner à plus de 39km d'altitude
- Animation Sonic, poids forces conservative
- Dissiper = disparaître pour les élèves

Post Bac Frottement fluide (force de trainée)

La transition est toute faite avec le cas de la bille dans le glycérol. L'idée de cette partie post bac est de d'essayer de savoir pourquoi on a utilisé la formule de Stokes pour exprimer la force de frottement.

J'intègre PC-PC* p 307 + vidéo Taillet mécanique épisode 4

1. Régime laminaire et turbulent.

Considérons un objet qui se déplace dans un fluide à la vitesse $\vec{V}$

Dessiner les 2 régimes et expliquer que ça dépend de la vitesse : Apparition d'une force de trainée opposée à la vitesse.



Régime Laminaire

vitesse faible : frottement visqueux
(Formule de Stokes) $\vec{f} = -6\pi\eta R\vec{v}$
avec η le coef de viscosité dynamique



Régime turbulent

vitesse forte : $\vec{f} = -\frac{1}{2}C_x\rho_f\pi R^2v^2\vec{u}$
avec $\vec{u}$ vecteur unitaire dirigé suivant v
 C_x Coefficient de trainée
 S : Section du corps (m^2)

η le coef de viscosité dynamique qui s'exprime en Poiseuille (Pl ou Pa.s)

Quelques ordres de grandeur

$\eta_{\text{eau}} = 1,793 \times 10^{-3}$

$\eta_{\text{air}} = 1,71 \times 10^{-5}$

$\eta_{\text{miel}} = 10^1$

$\eta_{\text{bitume}} = 10^8$

2. Viscosité dynamique (pas le temps d'en parler peut-être)

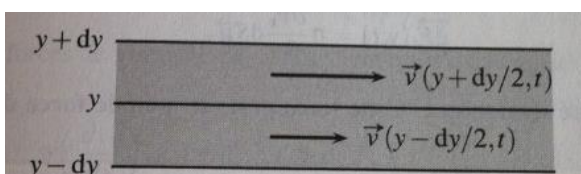


Figure 9.4 – Deux couches de fluide superposées.

La force qu'une couche de fluide exerce sur une couche adjacente dépend de la différence de leurs vitesses (deux couches de même vitesse ne « frottent » pas l'une sur l'autre)

(Dans la démo on fait un Développement limité :

$$v_x\left(y + \frac{dy}{2}, t\right) = v_x(y) + \frac{\partial v_x}{\partial y} \frac{dy}{2}$$

La différence des vitesses des deux couches est :

$$\vec{v}(y + dy/2, t) - \vec{v}(y - dy/2, t) = (v_x(y + dy/2, t) - v_x(y - dy/2, t)) \vec{u}_x \simeq \frac{\partial v_x}{\partial y} dy \vec{u}_x,$$

au premier ordre en dy. Pour un cisaillement peu important, on peut écrire que la force que la couche de fluide supérieure exerce sur la couche de fluide inférieure est proportionnelle à la différence de leurs vitesses. Pour une surface de contact dS, on écrit :

$$d\vec{F}_v(y, t) = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} dS \vec{u}_x. \quad (9.5)$$

Cette relation phénoménologique a été établie pour la 1^{ère} fois par Newton : et elle caractérise les fluides Newtonien

3. Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

avec : ρ : La masse volumique du fluide d : diamètre de la bille et η le coef de viscosité dynamique

Expliquer que suivant la valeur du nombre de Reynolds on va avoir un

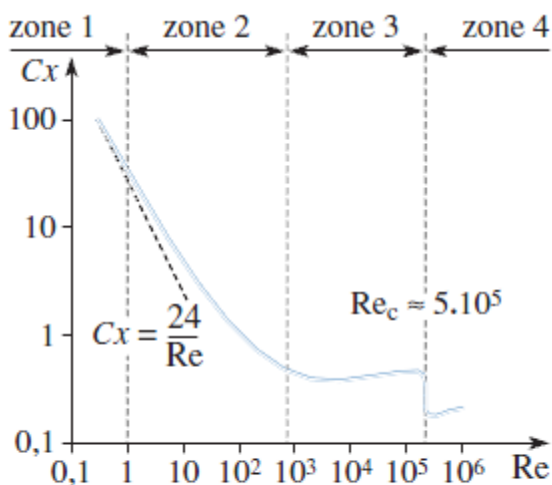
Si $Re < 1$: Ecoulement laminaire

Si $Re > 2000$: Ecoulement turbulent.

4. Représentation graphique

Dire qu'on aurait très bien pu représenter la force de trainée en fonction de la vitesse, mais c'est pas très adapté car ça dépend vachement de η .

D'après la formule : $f = -\frac{1}{2} C_x \rho \pi R^2 v^2$ on peut exprimer soit $C_x = \frac{2f}{\rho \pi R^2 v^2} = \frac{8f}{\rho \pi D^2 v^2}$



Doc. 13. Coefficient de trainée $C_x(Re)$ pour une sphère lisse.

Donc maintenant on peut dire que pour des faibles nombres de Re $\vec{f} = -k\vec{v}$ donc $C_x = \frac{2f}{\rho \pi R^2 v^2} = \frac{K'}{v}$ donc le C_x décroît en $1/v$ et comme en abscisse on a $Re = av$ (avec a une constante) on retrouve la décroissance en $1/x$

Et pour de fort nombre de Re on a $f = -\frac{1}{2} C_x \rho_f \pi R^2 v^2$ donc $C_x = \text{cste}$

Et en zone 4 on est dans la zone de la crise de trainée (découvert par Eiffel) et qui explique pourquoi on a fait des avéoles sur les balles de golfs (pour qu'elle aille plus loin)

Application : Calculer le Re de la bille dans le cas du TP avec les TS et valider le fait qu'on est dans un régime laminaire.

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

Remarque : Il y'a une autre manière plus complexe de parler de la courbe (en utilisant une échelle logarithmique)

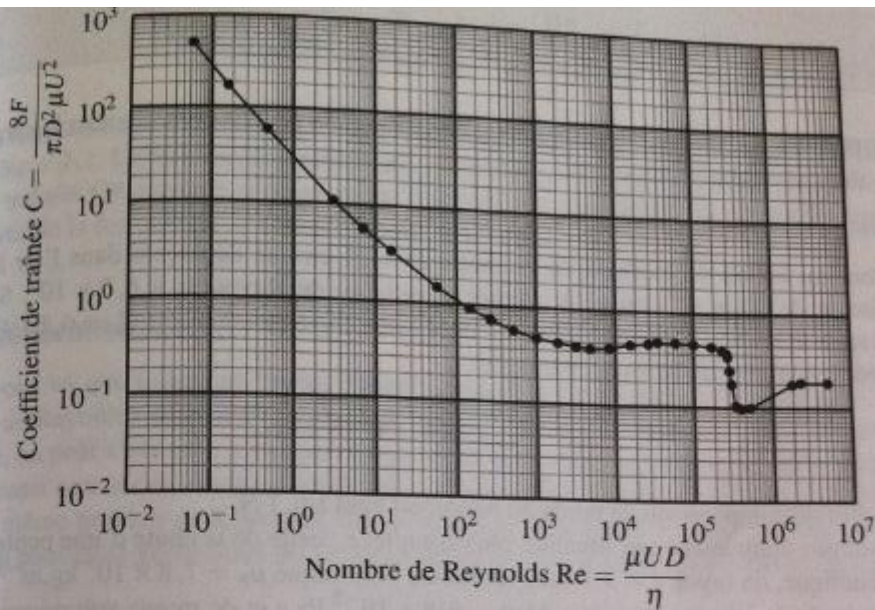


Figure 9.11 – Coefficient de traînée C_x d'une sphère en fonction du nombre de Reynolds.

À faible nombre de Reynolds : pour $Re < 1$, on observe une dépendance linéaire de C_x en fonction de Re en échelle logarithmique : c'est la signature d'une loi de puissance de la forme $C_x = A Re^\alpha$. En effet, en prenant le logarithme, il vient : $\log C_x = \alpha \log Re + \log A$. La pente de la droite donne la valeur de la puissance α . En analysant le graphe de la figure 9.11, on trouve : $C_x = 24 Re^{-1}$. La force de traînée s'en déduit : $\vec{F} = \frac{1}{2} \frac{24}{Re} \mu \frac{\pi D^2}{4} \vec{U}$, soit : $\vec{F} = 6\pi\eta R \vec{U}$, où R est le rayon de la sphère. Dans le référentiel où le fluide est immobile à l'infini, la sphère se déplace à la vitesse $\vec{V} = -\vec{U}$. L'expression de la force de traînée que le fluide exerce sur la sphère s'écrit aussi sous la forme suivante :

$$\vec{F} = -6\pi\eta R \vec{V}. \quad (9.18)$$

Conclusion générale sur les frottements : Rencontre dans la vie de tous les jours et dans les nouvelles technologies ailes ionisées des avions.

Peut-être parler des superfluides (non visqueux) avec vidéo de l'hélium qui traverse le verre.

Question :

- 1) Pas de frottement lorsqu'il y a roulement ?
- 2) et la roue du TGV ?
- 3) Le fait d'avoir une brosse avec des roues qu'est ce que cela permet de gagner ?
- 4) Expliquer la courbe $C_x=f(Re)$.

- 5) Sur la première partie comment passer du C_x en $/Re$?
- 6) Question sur le développement limité à la 2^{ème} partie
- 7) Comment passer de $\frac{dV_x}{dy} dx$ à $dF_v = \eta \frac{dV_x}{dy} dS$
- 8) Que vont faire les élèves qui ne vont pas utiliser la chronophotographie ? Ceux qui mesurent dès le départ vont avoir une vitesse moyenne
- 9) Quelle est la différence entre le mouvement de la chute de la bille et celle du parachutiste ?
- 10) Si on calcule le Re de la bille ? **écoulement laminaire alors que pour le parachutiste $Re > 2000$ donc on va avoir un écoulement turbulent. Il faut également prendre en compte la poussée d'Archimède**
- 11) Frottement d'un point de vue microscopique ?
Moins de force de van der Waals
- 12) Vous avez dit « avec les frottements il y'a souvent perte » pouvez-vous expliquer ? **(il faudrait plutôt dire dissipation d'énergie sous une autre forme)**

