

TP séances 7 et 8

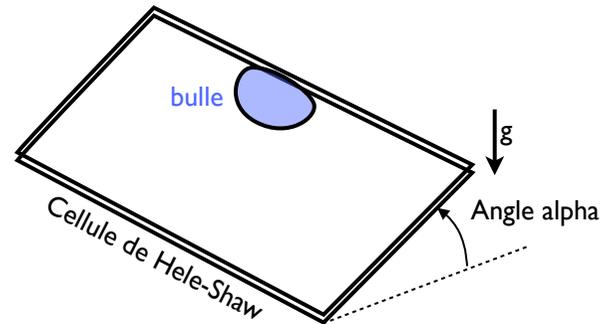
Forme d'une bulle: gravité et tension de surface

Une bulle ou une goutte c'est un peu comme un ballon de baudruche: l'interface est sous tension de manière analogue à la membrane étirée du ballon.
Tension de surface: dimension M/T^2 .

Lorsqu'une goutte est posée sur un support, la tension de surface tend à rendre la bulle sphérique alors que la gravité tend à écraser la bulle. Les paramètres d'une bulle sont la tension de surface (qui ne dépend que du liquide choisi) le volume de la bulle, et l'intensité de la gravité.

Avec la cellule de Hele-Shaw (dans l'entrefer entre deux plaques de verres), vous pouvez faire varier le volume de la bulle (avec deux seringues), et l'intensité de la gravité (en inclinant la cellule). Montrez que la bulle ne change pas de forme lorsque le nombre sans dimension du problème ne change pas: on peut augmenter le volume de la bulle sans changer sa forme à condition que l'on réduise la gravité comme il faut.

Pour décrire la forme de la bulle quantitativement, on peut par exemple mesurer le rapport d'aspect de la bulle (hauteur/largeur).



Matériel: deux seringues,
cellule de Helle-Shaw
d'entrefer 2mm)

Fig1: trois gouttes du même liquide mais de volumes différents. Pour une petite goutte, la forme est sphérique (une perle) parce que la tension de surface gagne sur le poids, alors que pour une grosse goutte, la forme est écrasée parce que le poids gagne sur la tension de surface)

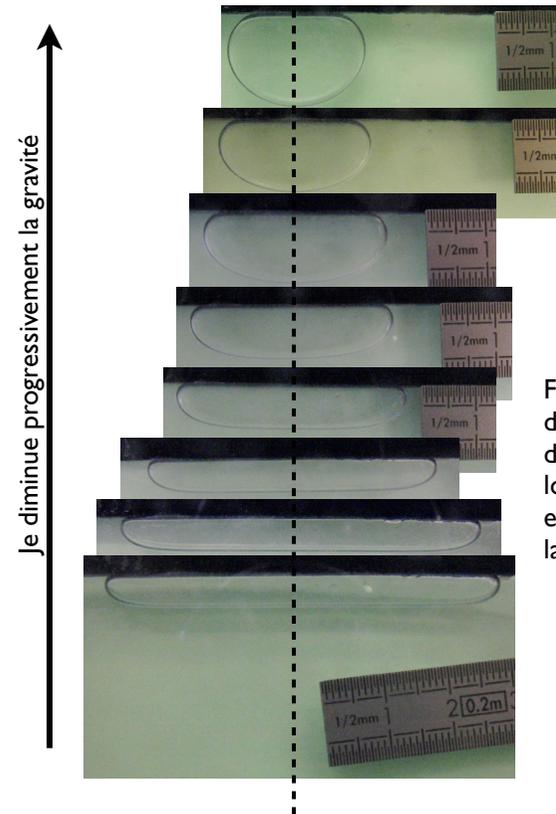
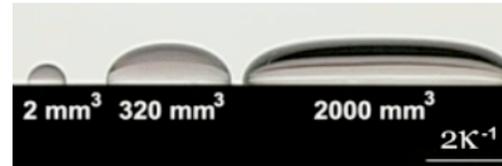


Fig2: Variation de la forme d'une bulle coincée entre deux plaques de verre, lorsque je fais varier l'angle entre le plan des plaques et la verticale.

Dans le compte-rendu:

- **Vue d'ensemble:** une photo d'ensemble de votre manipe
- **Paramètres:** La liste des paramètres physiques pertinents et ceux que vous allez faire varier
- **Dans la boîte:** des montages ImageJ qui montrent ce qui se passe et comment ça varie en fonction des paramètres que vous faites varier
- **Dimensions:** Les étapes de votre analyse dim (nombres sans dim...), et la loi de puissance
- **Expé/théo:** Un graphique comparant mesures et théorie avec plusieurs valeurs du préfacteur
- **Interprétation:** Un paragraphe décrivant la physique: à quel archétype se rapporte votre phénomène, quelles sont les forces en jeu.

TP séances 7 et 8

Surpression dans une bulle de savon

Une bulle ou une goutte c'est un peu comme un ballon de baudruche: l'interface est sous tension de manière analogue à la membrane étirée du ballon.
Tension de surface: dimension M/T^2 .

Si on appelle «sigma» la tension de surface, alors la pression dans une bulle de savon est $P_{atm} + 4 \cdot \sigma / R$ ou R est le rayon de la bulle: la pression dans la bulle est plus élevée que la pression atmosphérique, de manière analogue à un ballon de baudruche.

Pour de l'eau, la tension de surface est $72 \cdot 10^{-3}$ joule par mètre carré, pour de l'éthanol 22 mJ/m^2 .

1) Mesurer la surpression dans une bulle de savon en tenant cette bulle au bout d'une paille, et en trempant l'autre bout de la paille dans un bain liquide (éthanol, densité 0.79). Montrez comment la surpression varie avec le rayon de la bulle.

2) On étudie maintenant la vidange de la bulle à travers la paille ouverte en son autre bout: la surpression induit un écoulement de la bulle vers l'extérieur. On suppose que c'est la viscosité qui ralentit l'écoulement (écoulement de poiseuille dans le tube).

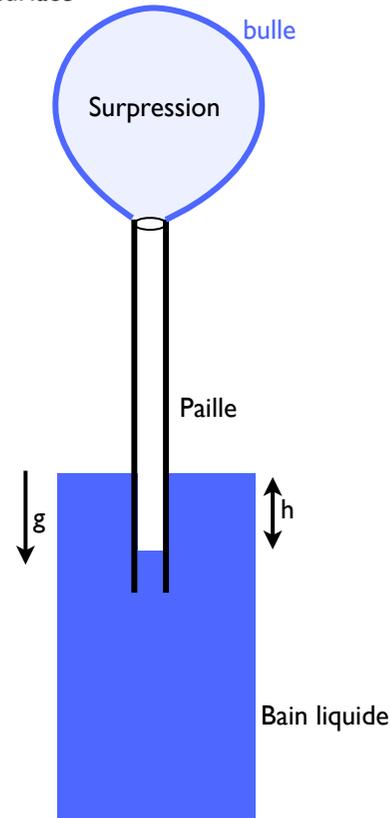
Filmez, caractérisez l'évolution du rayon et testez si l'on peut décrire cette évolution par une loi de puissance du type:

$$R(t) = (R_0^{1/\alpha} - a \cdot t)^\alpha$$

(t le temps depuis l'ouverture de la paille, R_0 le rayon initial, α la loi de puissance et a un paramètre qui dépend de la résistance à l'écoulement dans la paille).

Montrez comment a dépend de la longueur de la paille (expérience et analyse dimensionnelle).

Cas statique: vérification de la loi de surpression et mesure de la tension de surface



Matériel:
Liquide à bulles, tube à essai, éthanol, pailles en plastique

Dans le compte-rendu:

- **Vue d'ensemble:** une photo d'ensemble de votre manipe
- **Paramètres:** La liste des paramètres physiques pertinents et ceux que vous allez faire varier
- **Dans la boîte:** des montages ImageJ qui montrent ce qui se passe et comment ça varie en fonction des paramètres que vous faites varier
- **Dimensions:** Les étapes de votre analyse dim (nombres sans dim...), et la loi de puissance
- **Expé/théo:** Un graphique comparant mesures et théorie avec plusieurs valeurs du préfacteur
- **Interprétation:** Un paragraphe décrivant la physique: à quel archétype se rapporte votre phénomène, quelles sont les forces en jeu.

Cas dynamique: une bulle en train de se vidanger à travers le conduit cylindrique allongé de la paille



LABULLEDE TAYLOR

Les bulles de taille suffisamment importante, comme les bulles de plongeurs par exemple, adoptent spontanément une forme de calotte sphérique.

La détermination de la vitesse de remontée de ces bulles est *a priori* formidablement complexe car la forme des bulles est adaptable en fonction de la vitesse.

Mais pour autant, comme la forme s'adapte, elle devient donc une *mesure* de la vitesse de remontée. G.I. Taylor a été le premier à le réaliser et à proposer une détermination de la vitesse en 1950.



G.I. Taylor et un étudiant

Au cours de ce TP, vous observerez et analyserez la remontée de bulles de Taylor. Retournez un béccher contenant de l'air dans un aquarium rempli d'eau pour produire des bulles de Taylor. Quelles sont les paramètres pertinents dans ce problème ? Quelles courbes allez-vous tracer ? La forme des bulles est-elle bien une portion de sphère ? Comment la vitesse de remontée dépend-elle du rayon R ? Estimez le nombre de Reynolds ainsi que le coefficient de traînée.

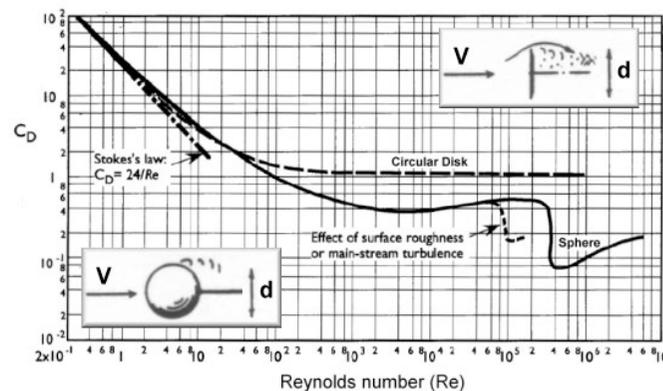
Matériel: aquarium, bechers, seringues



Bulles de plongeurs
(cliché Melissa Fiene)

Dans le compte-rendu:

- **Vue d'ensemble:** une photo d'ensemble de votre manip
- **Paramètres:** La liste des paramètres physiques pertinents et ceux que vous allez faire varier
- **Dans la boîte:** des montages ImageJ qui montrent ce qui se passe et comment ça varie en fonction des paramètres que vous faites varier
- **Dimensions:** Les étapes de votre analyse dimensionnelle
- **Expé/théo:** Un graphique comparant mesures et théorie
- **Interprétation:** Comment la forme de la bulle évolue-t-elle avec la vitesse ? Quelles sont les forces en jeu ? Comment le coefficient de traînée se compare-t-il à un objet rigide équivalent ? Quel est le rôle de la viscosité ?



Coefficients de traînée
d'objets rigides
(disques et sphères)

Bibliographie

R. M. Davies and G. Taylor. The mechanics of large bubbles rising through extended liquids and through liquids in tubes. *Proc. R. Soc. London A*, 200(1062):375–390, 1950.

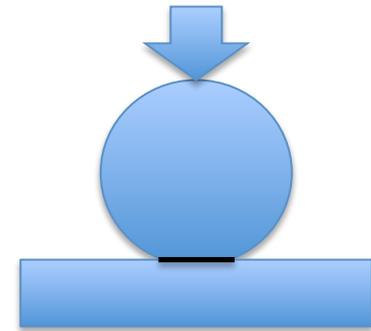
Contact de Hertz

Une sphère en contact avec un plan s'écrase contre le plan sous son propre poids ou sous l'effet de la charge qui lui est imposée : la surface de contact sphère –plan augmente avec la charge.

Du point de vue de la mécanique des solides déformables, c'est un problème complexe à formuler : la déformation de la sphère dépend de la répartition des contraintes exercées par le plan sur la sphère le long de leur surface de contact, qui elles-mêmes dépendent de la surface de contact sphère-plan, qui varie énormément avec la charge : les conditions aux limites imposées à la sphère déformée dépendent considérablement de sa déformation : problème de déformation fortement non-linéaire.

Avant tout calcul, une étude en lois d'échelle du phénomène et une analyse dimensionnelle vont donc vous permettre de débroussailler l'affaire.

Vous allez étudier expérimentalement comment l'aire de la surface de contact sphère-plan varie avec la charge, son rayon initial, son module d'Young, ...



Matériel : des balles déformables de dureté et de rayons variables, un plan en plexiglas (pour voir par transparence la surface de contact), des Lego, des masses, du fil.

Dans le compte-rendu:

- Vue d'ensemble: une photo d'ensemble de votre manipe
- Paramètres: La liste des paramètres physiques pertinents et ceux que vous faites varier
- une analyse dimensionnelle du problème (paramètres pertinents, loi d'échelle)
- des graphiques présentant vos mesures, accompagnés d'un très court commentaire.

Pour aller quelque part ou plus loin ou se perdre : Landau, *Elasticité*, ou B. Audoly et Y. Pomeau, B. Audoly and Y. Pomeau, *Elasticity and Geometry*, Oxford University Press (2010).

Frottement solide

Deux solides en contact sont susceptibles d'exercer des forces de frottement, que les deux surfaces solides en contact glissent ou ne glissent pas l'une par rapport à l'autre. Le but de ce TP est de mettre en évidence l'existence du frottement, en absence de glissement (frottement statique) et en présence de glissement (frottement dynamique).

Plus précisément, on définit le coefficient de frottement comme le rapport entre la composante tangentielle de la force exercée par une surface solide sur l'autre et sa composante normale :

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

Le coefficient de frottement dynamique se mesure donc en présence de glissement, tandis que le coefficient de frottement statique se définit comme la valeur maximale de F_t/F_n en absence de glissement (c'est-à-dire à la valeur de ce rapport au déclenchement du glissement).

Que valent ces deux coefficients ? Les comparer.

Comment le coefficient de frottement dynamique dépend-il de la vitesse de glissement ?

Comment le coefficient de frottement statique dépend-il du temps de contact entre les deux surfaces préalable à l'imposition de la force tangentielle ?

Matériel : un patin, du papier Bristol qui servira de surfaces de contact, des masses, un plan incliné, une poulie.

En déclenchant le glissement d'un patin le long d'un plan incliné, vous mesurerez l'angle du plan incliné auquel vous observez le déclenchement du glissement, la vitesse de glissement



Dans le compte-rendu:

- Vue d'ensemble: une photo d'ensemble de votre manipe
- Paramètres: La liste des paramètres physiques pertinents et ceux que vous allez faire varier
- une brève analyse physique de votre expérience (forces, vitesse, ...), une analyse dimensionnelle si c'est pertinent
- des graphiques présentant vos mesures, accompagnés d'un très court commentaire.

Pour aller quelque part ou plus loin : F. Heslot et al., *Creep, stick-slip, and dry-friction dynamics : experiments and a heuristic model*, Physical Review E vol. 49 p. 4973 (1994) : disponible depuis le site de la BUPMC ou sur demande en échange d'un sourire

Trans Avalanche

La prédiction de la dynamique d'une avalanche de roches, de l'effondrement des graines dans un silo ou des écoulements biologiques mettent souvent en jeu des matériaux granulaires qui ont la particularité de se comporter comme des «solides» et de s'écouler comme des «fluides» (Le sable, le gravier, les roches, les céréales)

Un modèle réduit d'avalanche, par exemple un tas de graines ou de billes, comme le montre la Figure peut nous renseigner sur la dynamique du système.

Questions pour vous guider

Quels sont les paramètres importants du problème?

Par exemple, quelle sera l'extension maximale du tas L_∞ à la fin du processus?

Existe-t-il une loi d'échelle pour L_∞ ?

Etudiez le système pour des rapport d'aspects (H_0/l_0) différents. (H_0 et l_0 étant l'hauteur et la longueur du tas à l'état initial)

Un temps caractéristique T ? Le comparer par rapport à la chute libre.

Etudier l'angle du tas à la fin de l'écoulement et le comparer à l'angle «statique» (essayer de faire un tas de graines à la main)



Matériel:
maquette, graines, appareil photo,

Références :

P.-Y. Lagrée L. Staron S. Popinet (2011): «The granular column collapse as a continuum: validity of a Navier-Stokes model with a $\mu(I)$ -rheology», Journal of Fluid Mechanics,

E. Lajeunesse et al. (2005) «Granular slumping on a horizontal surface», Phys. of Fluids (17)