

Montage n° 02 : Surfaces et interfaces

Moulié Vincent

10/06/2017

Introduction

- Définitions du titre : surfaces et interfaces sont les zones situées entre 2 phases, d'une même espèce ou d'espèces différentes. L'interface s'utilise pour décrire la zone entre 2 phases condensées ou une phase condensée et une vapeur. On réserve le terme surface pour la zone située entre une phase condensée et sa vapeur
- Objectifs : déterminer les paramètres caractéristiques des différents types d'interface; coefficients de frottement et tension superficielle

A Interface solide / solide

(intro des frottements avec le fait de marcher sans glisser sur le sol)

- Étude du coefficient de frottement statique (k) associé au couple PMMA (plexiglas) / acier

Système : plaque de plexiglas accrochée par un fil qui est lié à l'autre extrémité à une bouteille que l'on va remplir d'eau jusqu'au glissement de la plaque sur l'acier. À ce moment, on relève les masses de la plaque (m) et de la bouteille d'eau (M). On répète la manoeuvre pour différentes masses de la plaque en y ajoutant des masselottes. On détermine alors k qui est la pente de la droite $M = k * m$ (relation établie via PFS sur le système {plaque+masselotte}). On trouve $k = 0.4$ environ à comparer avec $k(\text{tab}) = 0.5$ pour ce couple de solides.

Discussion : parler en conséquence du k_2 réduit et ajouter les causes plausibles (au cas où modèle visiblement moyen...) : Ni lié au modèle, ni aux incertitudes qui ont été choisies convenablement (calibrage de la balance et pour la masse de la bouteille : ajout d'1 gramme correspondant à un ajout de 20 gouttes d'eau, au cas où le débit d'eau introduite serait trop rapide). Cependant, quelques erreurs systématiques et aléatoires peut être! Systématique : la poulie était peut être trop serrée, d'où frottements du fil sur la poulie, obligeant ainsi à remplir davantage la bouteille que nécessaire. Aléatoire : la plaque d'acier n'est jamais totalement lisse (aspérités, zones de rugosité différentes). Par ailleurs, il arrive qu'après avoir introduit de l'eau dans notre bouteille, le système soit toujours au repos mais qu'après quelques secondes, il se mette à glisser. De ce fait, la masse de la bouteille est peut être toujours surévaluée. Enfin, retour sur la plaque : phénomène d'hystérésis lié à la surface!! En effet, après avoir relevé les masses lors d'un glissement apparu, on replace le système en l'état, et même après ajout d'une masselotte supérieure (on passe de 200 à 300g par ex) à la précédente sur la plaque, le système glisse toujours...À l'image d'un chemin boueux + simple à emprunter en voiture quand des voitures l'ont déjà pris (des traces de roues s'opèrent) => chemin tout tracé! Ici idem; comme si la surface avait gardé en mémoire la trajectoire de la plaque en glissement précédente. (proposition du prof de tracer alors $M = f(m)$ en 2 temps; pour un ajout de masse (partir de petite masses et augmenter) et pour un retrait de masse, afin de montrer l'hystérésis peut être...À creuser)

Expérience qualitative de l'index qui glisse sur une règle pour montrer d'une part le k mais aussi le k_0 ; le coefficient de frottement dynamique lors du glissement cette fois ci de notre doigt, ou de notre plaque de plexiglas

- Étude du coefficient de frottement dynamique (k_0) associé au couple plexiglas/acier

Même système mais en mouvement cette fois. En appliquant alors le PFD sur le même système et en parallèle sur le système bouteille, on aboutit à une expression de $k_0 = \frac{M}{m} \cdot \frac{a}{g} (1 + \frac{M}{m})$ où a est l'accélération de la plaque de plexiglas.

Pour obtenir a , on va tracer la vitesse en fonction du temps, la vitesse étant calculée à partir des positions. Pour les obtenir, on se sert d'une caméra et du logiciel « atelier scientifique ». Après acquisition de la vidéo, et étalonnage sur l'image, on pointe les positions de la plaque pour chaque image. À la fin, extraction des données (x et t) sur Excel, calcul des vitesses et traitement en suivant. On obtient un $k_0 < k$ (toujours le cas) Ce qui explique la difficulté à pousser un meuble, difficulté réduite après glissement de celui ci.

Discussion sur le traitement : Pour obtenir des premières vitesses cohérentes, au vu du pointage imprécis pour les 1ers points (la plaque ne bougeant quasiment pas entre chaque images), jouant ainsi sur les vitesses, il est aussi possible de n'étudier que la fin du parcours de la plaque, quitte à enregistrer un mouvement sur une distance plus longue. Autre raison : visualisation parfois de turbulences (plaque n'a pas un mouvement rectiligne) après son départ jusqu'à une certaine distance à partir de laquelle elle se « stabilise ».

B Interface liquide / solide

On garde le même type de solide (un polymère, ici le téflon PTFE pour ses propriétés de mouillage partiel) et on traduit le comportement d'un liquide sur sa surface.

Expérience qualitative du mouillage avec plusieurs liquides (eau déminéralisée, glycérol et paraffine) dont une goutte est posée sur le téflon. Via un système de projection (lampe QI, condenseur, trou, téflon, lentille convergente), on vient agrandir les gouttes pour mieux les visualiser.

On introduit la formule liant la hauteur de la goutte à son angle de raccordement, où la tension superficielle du liquide intervient : $h^2 = 2\gamma \frac{1 - \cos(\theta)}{\rho g}$

Expérience qualitative montrant la tension superficielle en 2D et 3D avec respectivement le fil noué sur un cadre rigide qui tend à montrer une forme circulaire du film savonneux et la bulle en forme de sphère.

- D'où idée de retrouver la tension superficielle de l'eau à partir de ces mesures de h et de θ .

Pour cela, traitement statistique (sur 10 gouttes) et ODG retrouvé : $\gamma(tab) = 72 \text{mN/m}$. Aussi attention, au vu du système de projection, un calcul de grandissement (très précis) est à réaliser de manière à diviser les hauteurs mesurées par ce grandissement. L'angle quant à lui, reste le même.

Discussion : manip' facile et rapide à reproduire d'où ce traitement statistique. Aussi, il s'agit de réduire au maximum les erreurs provenant d'une surface plus ou moins identique (aspérités, traces de liquides, etc.). Enfin, cela permet de ne pas considérer l'erreur systématique liée à l'expérimentateur et à sa façon de déposer une goutte + ou - grosse. Car en effet, si elle est grosse, les effets de gravité peuvent intervenir et fausser cette relation. Le nombre de Bond permet de comparer ces effets avec ceux de la capillarité. Ainsi, si la longueur dite de capillarité (longueur caractéristique d'un liquide) définie par $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta\rho \cdot g}}$ est $>$ au rayon de la goutte, alors la capillarité prédomine et la formule est valide. Donc, il faut réaliser des gouttes d'eau de rayon inférieur à 2mm en toute rigueur!

C'est une considération que l'on va rencontrer de nouveau dès maintenant où l'on va redéterminer cette tension superficielle de l'eau et ainsi la comparer à la précédente et à la théorique, mais d'une façon dynamique cette fois.

C Interface fluide / fluide

- L'objectif reste donc le même.

Cependant, on va utiliser le dispositif de la cuve à ondes au sein de laquelle on va générer des ondes de surface progressives et planes de fréquence connue et réglable (par ailleurs, synchronisation avec le stroboscope => impression d'ondes stationnaires, plus facile pour les mesures de longueur d'ondes...).

Au niveau des mesures, après vérification de l'horizontalité, du nettoyage de la cuve avant remplissage et de celui ci, on va établir le grandissement de la cuve (via objet transparent placé dans la cuve et mesure sur le dépoli). Puis, mesures de λ pour différentes fréquences (de 10 à 75 Hz par pas de 5 Hz). Pour + de précision, mesurer plusieurs λ successifs (7 perso). Ensuite, sans oublier de diviser ces valeurs par le grandissement, on va s'en servir pour calculer la vitesse de l'onde pour chaque fréquence ν ($V = \lambda\nu$). On se rend compte d'une vitesse de phase non constante en fonction de ν . Donc milieu dispersif, montré de plus, par la formule de Kelvin qui nous donne l'évolution de la vitesse de propagation V des ondes de surface en fonction de la longueur d'onde λ , en tenant compte de la tension superficielle du liquide, ici l'eau toujours. $V^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \left(1 + \frac{4\pi^2\gamma}{\lambda^2\rho g}\right) \text{th}\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)$. h représente la profondeur du milieu dans lequel se propage les ondes. Une 1ère approximation peut être faite sur le th : pour s'en débarrasser, ie que $\text{th} \rightarrow 1$, il faut que l'argument soit très grand soit que $h \gg \frac{\lambda}{2\pi}$. Ainsi, une hauteur d'eau dans la cuve de l'ordre du cm est nécessaire. Ensuite, cette formule de Kelvin nous montre qu'il existe 2 portions de la courbe linéaires avec au milieu un minimum pour une $\lambda = \lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$ cette fois = 1.7 cm. Donc si $\lambda \ll \lambda_c$, régime linéaire des ondes capillaires et si $\lambda \gg \lambda_c$, régime linéaire des ondes de gravité. Ces 2 régimes sont visibles dans la formule en développant et en faisant apparaître 2 termes, chacun reflétant un régime. Or, ce qui nous intéresse, ce sont les ondes capillaires où le γ intervient. Ainsi, on peut choisir de ne traiter que les λ petits devant 1.7 cm et tracer alors $V^2 = f\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ et avoir γ via la pente.

Cependant, on peut aussi décider de tout traiter, et alors tracer $V^2 - \frac{g\lambda}{2\pi} = f\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ (ie $\lambda V^2 = f(\lambda^2)$).

Discussion sur toutes ces considérations et sur la valeur du k_{i2} red au vu des incertitudes établies cette fois discutables. Par ailleurs, qualité de l'eau aussi (ajout de savon pour limiter l'influence des aspérités => baisse du γ)

Conclusion(s)

k/k_0 et γ sont des paramètres caractéristiques des interfaces solide/solide et solide/liquide ou fluide/fluide. Importance de les connaître! Image d'une voiture où matériaux et traitements de surface sont choisis en fonction des valeurs de k/k_0 et γ trouvées (pneus, pare brise).

Bibliographie

- [1] Quaranta thermo (pour toutes les manip's)
- [2] Bup n° 852 : À propos des ondes de la cuve à ondes (pour quelques éléments comme la λ_c des ondes dans la cuve à ondes, et la compréhension de cette manip')
- [3] Gouttes, bulles, perles et ondes, Belin 2005 (pour théorie et transitions : qlq éléments)