

LP n° 10 Titre : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

Présentée par : Olivier Ky Thiêp CHOFRUT-PHAN

Rapport écrit par : JB Bourjade

Correcteur : Marc Rabaud

Date : 10/12/2018

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Physique tout en un PC/PC*		Dunod	
Gouttes, perles, bulles	P-G De Gennes		
Cours de Marc Rabaud			

Plan détaillé

I Notion de tension superficielle

1) Mise en évidence

Expérience tubes capillaires et vidéo de film mince sur l'ISS (en apesanteur)
La couche de fluide tend à minimiser sa surface

2) Modélisation énergétique (3mn20)

Energie potentielle de tension superficielle minimisée $dE_p = \gamma dA$

3) Interprétation microscopique (5mn30)

Potentiel de Lennard-Jones
A l'intérieur vs à la surface
Calcul d'énergie et ordres de grandeurs

II Lois statiques des interface (13mn30)

1) Conditions de Young Dupré

Goutte sur une surface, angle de mouillage

2) Loi de Laplace (20mn)

A partir de la bulle d'air dans l'eau

3) Loi de Jurin (26mn10)

Retour sur l'expérience introductive (tubes capillaires), exploitée en préparation

III Dynamique des ondes capillaires (32mn)

1) Hypothèses

Ondes de surface, faibles déformations, écoulement irrotationnel et incompressible, profondeur infinie

2) Calculs sur transparents

A partir d'Euler
Relation de dispersion avec terme de gravité et terme capillaire
Cas de la cuve à ondes : effet capillaire dominant, on peut remonter à γ

3) Ondes capillaires (38mn30)

Longueur capillaire

Niveau choisi pour la leçon : CPGE -> plutôt mettre L3

Pré-requis :

Théorème de l'énergie mécanique
Statique et dynamique des fluides

Questions posées par l'enseignant

Loi de Jurin :

quel γ obtenu dans l'expérience ? (28 à la place de 22) Effet de la température ? (décroissance car la distance intermoléculaire augmente avec l'agitation thermique)
Limite de la loi en terme du rayon ? Pourquoi ? (le ménisque s'aplatit si rayon trop grand)
Qu'est ce qui ne sera plus vrai ? (le calcul de la courbure)
Pour un tube très très fin est ce que ça peut monter jusqu'à l'infini ? (Non car ça va s'évaporer à cause de la pression hydrostatique) Taille max pour éthanol ? (En OG 10m)

Expliquer la loi de Young Dupré avec les forces

Loi de Young Dupré => force du solide (supposée) verticale

Autres méthodes de mesure de γ (arrachement, étude des gouttes (nombre ou forme)

Expliquer pourquoi dans certains cas gouttes restent accrochées sur une pente inclinée (pas la même forme devant et derrière)

Pourquoi tension de surface de l'eau beaucoup plus forte que l'alcool ? (Liaisons moléculaires plus fortes)

Pourquoi mettre du savon ? (Diminue tension de surface car se mettent à la surface)

Tension interfaciale entre 2 liquides d'un point de vue microscopique ?

En quoi la montée capillaire minimise énergie de surface ? (ethanol/verre vs air/verre)

Réexpliquer le $\cos(\theta)$ dans le schéma de Young Dupré durant la variation de surface

Cas où $\theta \rightarrow 0$ ou même non défini (étalement total, conditions sur les γ , huile par exemple)

Quand est-ce que ça s'arrête ? (Quand l'épaisseur de la couche devient tellement faible que les deux interfaces « se voient », ordre de grandeur de l'expérience de Franklin, quelques couches moléculaires)

Pourquoi les petites bulles fusionnent dans les grandes (minimise surface)

Pourquoi château de sable ont besoin d'être humide mais pas trop ? (l'eau entre deux grains de sable à une interface courbe avec l'air crée une dépression dans le liquide d'où l'effet liant. S'il y a trop d'eau, la courbure est moins forte ou même inversée, moins ou pas de dépression. Pour l'anecdote, en séchant des billes de verre, la force peut être suffisamment forte pour réduire en poudre le verre)

Dans un diagramme PV, où s'annule la tension superficielle ? (au point critique, les deux phases sont miscibles donc $\gamma = 0$)

Pourquoi on ne peut pas faire des films d'eau sans savon ? (Possible pour quelques ménisques, plus grand, il faut du savon car la membrane de savon (plane) est élastique dans son plan due à la diminution de la concentration superficielle de savon (élasticité de Gibbs). Pas d'élasticité dans le plan dans une membrane d'eau pure)

Qu'est ce qui définit la taille des bulles de champagne ? (Rayon critique pour éviter dissolution des bulles)

Bulles plus grandes à plus haute altitude ?

Forme des grosses gouttes ? A partir de quand sont-elles déformées ? (Critère de Bond, surpression causée par la gravité / surpression causée par la capillarité)

Ordre de grandeur de la longueur capillaire

Commentaires donnés par l'enseignant

Plutôt mettre niveau L3 vu les limites du programme, ondes de surfaces nécessaires pour avoir un phénomène dynamique

Pour la manip avec les tubes capillaires mettre un Boy pour mieux présenter la montée du liquide.

La vidéo de l'ISS était de l'artillerie lourde pour juste montrer la minimisation de l'énergie

Possible de parler en énergie ou en forces. Mais pas faire 100% en énergie. En particulier forces pour l'explication microscopique, pour expliquer force de tension (qui compense différence de pression et etc, pour compenser poids)

Valeur tabulée de γ de l'eau (72) nécessite de l'eau très pure et des conditions draconiennes. Avec de l'eau du robinet et de la verrerie pas très propre plutôt vers 60

Besoin de très peu de savon car presque toutes les molécules vont en surface et donc leur concentration en surface est importante

Eau savonneuse lave mieux car ça va remplir plus l'espace entre les saletés et la paroi ou la fibre

Angles de mouillage macroscopique (c'est plus compliqué microscopiquement)

Murissement des bulles : lorsqu'une petite bulle est sur une grosse bulle, son gaz diffuse dans la grande à travers leurs membranes et elle finit par s'effondrer sans que la membrane éclate)

Coalescence : La membrane éclate

Serviettes séchées rêches car les poils ont été collés par les forces capillaires durant le séchage.

Pour éviter ce problème, il faut aller au-delà du point critique

Rayon des bulles dû à la nucléation autour où dans les impuretés. Un verre parfaitement propre ne créerait pas de bulles sur ses parois.

Partie réservée au correcteur

Avis sur le plan présenté

Plan peu structuré mais l'essentiel a été présenté. A mon avis quand même il faut parler de la force capillaire (pas uniquement de l'énergie de surface)

Concepts clés de la leçon

- Origine microscopique (énergie de cohésion entre molécules d'une phase dense).
- Saut de pression de Laplace
- Minimisation de surface
- Mouillage

Concepts secondaires mais intéressants

- Effet de la température

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

- Cuve à vague, génération d'ondes capillaires. Illustration de la vitesse minimum de phase en déplaçant un obstacle à vitesse constante.

Points délicats dans la leçon

- Faire comprendre avec de bons arguments que la tension de surface est une force tangente à l'interface (et pas perpendiculaire).
- Origine microscopique de la localisation de la force à la surface.

Bibliographie conseillée

Why is surface tension a force parallel to the interface?, A. Marchand, J. H. Weijs, J. H. Snoeijer, and B. Andreotti, American Journal of Physics, 79(10) :999-1008, 2011.