

## LP n° 10 : Phénomènes interfaciaux impliquant les fluides.

### NIVEAU : LICENCE

Il y a beaucoup de chose à ce sujet dans le Dunod de PC mais très peu apparaissent effectivement au programme de prépa, d'où la nécessité de se placer niveau licence.

#### PRÉREQUIS :

- Description des fluides en mouvement
- Actions de contact dans un fluide en mouvement
- Interactions moléculaires
- Mécanique

#### PLAN :

1. Tension superficielle
2. Lois d'équilibre d'interfaces
3. Phénomènes dynamiques

#### BIBLIOGRAPHIE :

- [29] *Gouttes, bulles, perles et ondes*. P.-G. de Gennes et coll.
- [41] *Hydrodynamique physique*, Guyon-Hulin-Petit.
- [49] *Why is surface tension a force parallel to the interface*, A. Marchand et coll.
- [71] *Physique PC/PC\**. Tout-en-un, Dunod (2014)
- Cours de M. Rabaud à la prépa Agreg

#### IDÉES À FAIRE PASSER :

Les phénomènes interfaciaux impliquant les fluides nécessitent une description microscopique rigoureuse pour être correctement compris. Pour autant, une fois modélisée l'énergie de surface et la force parallèle via le coefficient usuel  $\gamma$ , la démonstration et la compréhension de nombreux résultats devient accessible.

**Introduction :** Les interfaces entre deux fluides sont des objets très communs, notamment liquide / gaz par exemple pour ce qui est du plus commun, eau / air. deux types de comportement selon les quantités mises en jeu : gouttes, ou bulles; et ondes (typiquement vagues). Comment décrire ces phénomènes? Quelles sont les grandeurs physiques importantes en jeu?

## 1 Tension de surface

Expérience : Cadre métallique avec une barre au milieu : on fait des films de savon de chaque côté et on en perce un : la barre se rétracte complètement de l'autre côté. Autre point de vue : on tient la barre et on fait un film d'un côté seulement. Quand on lâche la barre elle part : on exerçait une force pour lutter contre l'action du film!

### 1.1 Définition thermodynamique

Voir [49], p. 1 - Définition de  $\gamma$  à partir de l'énergie libre : coefficient de tension superficielle ou tension de surface. Dimension, unité, valeurs usuelles. Bien préciser que  $\gamma$  dépend des deux matériaux constituant l'interface!

Interpréter en disant que les fluides ont intérêt à minimiser les surfaces défavorables. Démontrer la loi d'Young-Dupré par un raisonnement énergétique dès cette étape, cf. [49], p. 2.

### 1.2 Force associée à la tension de surface

On peut invoquer le principe des travaux virtuels pour faire la transition mais c'est peut être un peu lourd pour pas grand chose.

Voir [49], pp. 4-5 (II.B.2.) - On commence par expliquer pourquoi il ne peut exister de force qu'attractive en considérant l'équilibre d'une particule fluide : loi de la surface elle est à l'équilibre par isotropie (les forces attractive et répulsive ne se compensent pas, mais les forces attractives dans toutes les directions se compensent entre elles, et idem pour les forces répulsives). Proche de la surface, on a rompu la symétrie haut/bas de sorte que l'équilibre vertical de la particule implique que les forces verticales attractive et répulsive se compensent. En revanche, dans le plan parallèle à la surface la symétrie n'est pas brisée de sorte que l'équilibre est conservé quoiqu'il arrive, notamment que les forces répulsives et attractives dans ce plan se compensent ou non. Ainsi, la force est nécessairement parallèle à l'interface, et résultera de la non compensation de forces attractives et répulsives.

L'intensité de la force résulte du fait qu'on constate expérimentalement que l'attraction est plus forte que la répulsion. La suite du raisonnement est attachée à la figure 7, p. 5.

### 1.3 Facteurs influençant $\gamma$

Température : [41], p.53 pour les valeurs de variations relative de  $\gamma$  avec  $T$  puis [41], p.54 pour loi (à ne pas donner) et applications (à donner).

Surfactants : [41], p.54. et/ou [29], p. 171.

---

**Transition :** Comment se manifeste cette tension de surface dans les problèmes d'hydrodynamique? Quelle importance a-t-elle dans l'établissement des équilibres?

---

## 2 Lois d'équilibre d'interfaces

### 2.1 Phénomène de mouillage

Voir [29], p. 24 - Définir le paramètre d'étalement et les deux types de mouillage. Dans le cas du mouillage partiel on connaît la forme de la goutte via la loi d'Young-Dupré déjà démontrée en I.

**Expérience :** On peut projeter deux gouttes d'eau sur des matériaux différents (typiquement verre et téflon) pour voir l'angle changer.

Que se passe-t-il si la goutte est de plus en plus grosse? Intuiter le phénomène un peu avec les mains, décrire la forme que doit avoir la goutte au final et introduire la longueur capillaire comme dans [29], p. 40 - Le profil exact importe peu!

### 2.2 Une méthode de mesure de la tension de surface

Selon le temps, on peut faire ici l'interprétation de la force exercée par un fluide sur une plaque verticale tirée vers le haut et expliquer le principe de la balance d'arrachement. Eventuellement faire la manip... :)

**Expérience :** Faire une mesure de  $\gamma$  avec la balance d'arrachement. On peut en profiter pour mettre en évidence expérimentalement l'influence de l'imureté de l'eau (au cours du temps) et des surfactants.

### 2.3 Discontinuité de la pression et montée capillaire

Démontrer la loi de Laplace, in [29], p. 16 et [71], p. 319. Appliquer éventuellement à l'adhésion capillaire ([29], p. 17). Observation historique de la montée capillaire, importance notamment en biologie + éventuellement la manip :

**Expérience :** On fait l'expérience associée et idéalement on relève les points pour trouver la tendance en  $1/R$ .

[71], p. 321 - Calcul de la variation d'énergie pour une variation d'altitude  $dz$ . Équilibre atteint lorsque cette variation n'est plus positive i.e.  $dE/dz = 0$ . On peut remarquer que c'est une bonne méthode pour mesurer la tension superficielle!

Autre chose : quelle force tire le liquide vers le haut? Analyse en terme de force in [29], p. 53.

---

**Transition :** Les phénomènes interfaciaux à l'équilibre sont donc assez bien décrits par les outils que nous avons développés en première partie. La description se complique si on prend en plus en compte un écoulement macroscopique du fluide.

---

## 3 Phénomènes interfaciaux en régime dynamique

### 3.1 Ménisque dynamique

Voir le modèle de Landau-Levich-Derjaguin, in [29], p. 112. A décrire brièvement et résoudre en loi d'échelle.

### 3.2 Propagation d'ondes à l'interface entre deux fluides

[41], à partir de la page 328 et polycopié de M. Rabaud L3 à partir de la page 69.

**Relation de dispersion**

Voir [41], p. 330 et poly de M. Rabaud, pp. 72-73. Milieux dispersif.

**Expérience :** Montrer les ondes de surfaces dans la cuve à onde. On peut avoir relever la relation de dispersion en préparation.

**Cas limites**

Décrire l'influence de la gravité versus capillarité en comparant les termes sous la racine. Montrer que la grandeur qui fait le lien entre les deux est la longueur capillaire. Distinguer les cas de la houle et du déferlement. cf. Poly de Rabaud L3, p. 74.

On peut faire remarquer que la longueur capillaire garde son rôle de séparatrice entre les domaines capillaire et de gravité en statique : si on prend une goutte, sa taille et sa forme vont être régies par la capillarité si elle est petite (goutte sphérique) et plutôt par la gravité (flaque) si elle est grosse.

---

**Conclusion :** Les phénomènes interfaciaux impliquant les fluides sont multiples et divers. Ils ont l'avantage d'être assez simplement interprétables une fois bien comprises les énergie et force associées à la tension de superficielle. Cela dit, les aspects dynamiques font rapidement apparaître des phénomènes compliqués, notamment d'hystérésis dû au mouillage.

**BONUS :**

- 
- Dans [29] il y a beaucoup d'application un peu différentes des trucs habituel et pas forcément très compliquées... Notamment, pour la partie dynamique, j'aime beaucoup le traitement du solide tiré de l'eau à vitesse constante où l'on s'intéresse à l'épaisseur du film qui reste attaché. On peut aussi profiter de cette leçon pour répondre à des questions légitimes sur les ménisques etc...
  - Inutile de préciser que j'ai signalé la présence de manip dès que c'était possible d'en faire dans cette leçon mais il va falloir choisir!

