

Table des matières

1	Compétences disciplinaire à l'issue de la LP	1
2	Messages forts de la LP	1
3	Introduction générale de la leçon	1
4	Proposition de plan 1 (fait le jour de l'oral blanc)	2
4.1	Phénomène d'interface	2
4.2	Tension de surface et pesanteur	2
5	Proposition de plan 2 (ma nouvelle proposition en mettant plus de truc sur diapo)	2
5.1	Caractérisation d'une interface	2
5.2	Compétition entre tension de surface et pesanteur	3
5.3	Observation de la tension de surface au quotidien	3
6	Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon	4
7	Bibliographie pour construire la leçon	4
8	Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique	5
9	Questions, remarques	5

1 Compétences disciplinaire à l'issue de la LP

- ▷ Comprendre ce qu'est la tension de surface et son origine
- ▷ Être capable de citer plusieurs phénomènes où elle rentre en compte
- ▷ Connaître ou savoir retrouver les lois de Laplace et de Jurin

2 Messages forts de la LP

- ▷ Une interface entre deux milieux a un coût énergétique pour le système, il cherche à minimiser sa surface.
- ▷ Dans certains contextes la tension de surface "concurrence" la pesanteur
- ▷ A une interface courbe, le milieu ayant la plus forte pression est à l'intérieur de la courbure.

3 Introduction générale de la leçon

Aujourd'hui on va parler des phénomènes capillaires = ensembles de phénomène où la tension de surface intervient. Cette dernière existe à toute interface entre deux milieux. On va parler de bulle, de ménisques, de gouttes... ([Images sur diapo](#)). On va voir que cette tension de surface explique des phénomènes qui semblent défier la pesanteur

Dans toute notre leçon on va considérer les hypothèses suivantes :

- ▷ interface entre milieux non miscibles
- ▷ pas de transfert de matière (réactions chimiques ou changement de phase)
- ▷ équilibre thermodynamique installé

4 Proposition de plan 1 (fait le jour de l'oral blanc)

4.1 Phénomène d'interface

- ▶ Qu'est ce que la tension de surface ?
- ▶ Surface externe d'une bulle
- ▶ Montée capillaire

Transition didactique : avec la montée capillaire on a vu (l'eau monte alors qu'avec la gravité on s'attend à ce qu'elle tombe), caractérisons cela

4.2 Tension de surface et pesanteur

- ▶ Longueur capillaire
- ▶ Instabilité de Rayleigh Taylor
- ▶ Étalement d'une goutte

5 Proposition de plan 2 (ma nouvelle proposition en mettant plus de truc sur diapo)

5.1 Caractérisation d'une interface

- ▶ Qu'est ce que la tension de surface ?

[schéma interface et molécules](#)

Les molécules de liquide à l'équilibre thermo se placent dans la config minimisant l'énergie libre totale. La cohésion de la matière est assurée par des liaisons attractives (VdW, hydrogènes, ...). Les molécules à la surface ont moins de ces interactions attractives car moins de voisins=> Donc déplacer une molécule vers la surface demande de l'énergie libre. cette énergie libre est proportionnelle à ce qu'on appelle la tension de surface, qui quantifie donc la différence d'énergie de cohésion entre deux milieux

$$\gamma = \left. \frac{\partial F}{\partial A} \right|_{T,V,n}$$

donc on comprend pourquoi une interface coûte de l'NRJ au système, celui ci va donc tenter de minimiser sa surface

[expé avec bulle et cadre de métal circulaire, fil](#) => le fil subit une force venant de la surface d'interface, essayons de quantifier celle ci.

Le barreau subit une force tendant à minimiser la surface. ici il y a deux interface. La force est proportionnelle à la longueur du barreau.

On le considère à l'équilibre et on cherche à augmenter la surface de dS , on doit développer δW

$$\delta W = F dl \propto L dl = dS$$

$$\delta W = 2\gamma dS$$

unité de γ est le joule par mètres carrés ($J.m^{-2}$) ou le newton par metre ($N.m^{-1}$)

Ordre de grandeur de la tension de surface de l'eau, de l'éthanol et du mercure liquide et explication via les ordre de grandeur des interaction en jeu (métallique, hydrogène, VdW...)

[en parlant d'interface courbe, il y a un contexte où on en voit une portion. Le menisque.](#)

- ▶ Surface externe d'une bulle

démo loi de Laplace (cf.[2]§1p16)

Les petites bulles sont celles qui renferment les plus grandes pressions => lorsque deux bulles coalescent, ce sont les petites qui se verse dans les grandes (comme dans la bière)

On voit que la pression à l'intérieur de la bulle est supérieure à celle atmosphérique, comme le montre la courbure de l'interface. On retiendra que la pression la plus élevée est toujours à l'intérieur de la courbure.

Transition didactique : on va voir que cette nouvelle force peut concurrencer le poids

5.2 Compétition entre tension de surface et pesanteur

► Montée capillaire

Démo loi de Jurin (cf. [2] p34)

Plus le capillaire est fin plus le liquide monte à l'intérieur. On voit donc comment la tension de surface explique un phénomène a priori rendu impossible par la seule pesanteur, *essayons de voir les conditions où un système voit cette compétition Tension de surface/Poids.*

► Longueur capillaire

Considérons une sphère de liquide, sur un support. Il y a deux énergies en jeu : celle potentielle de pesanteur et celle due à la tension de surface

$$E_{pp} = \rho V z g \propto \rho g R^4$$

$$E_{\gamma} = \gamma S \propto \gamma R^2$$

soit la longueur capillaire l_c le rayon tel que les deux énergies s'égalisent.

$$l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$$

Longueur au delà de laquelle on est en domaine gravitaire, avant c'est le domaine capillaire. Axe où on place ces domaines ou l'une ou l'autre des énergies prédominent.

OD pour l'eau $l_c = 3mm$

c'est la taille d'un ménisque ?

Transition didactique : Appliquons ce que nous venons de voir à l'eau dans pleins de contexte

5.3 Observation de la tension de surface au quotidien

► Instabilité de Rayleigh Taylor

(cf [2] p106)

Là on considère l'eau sous forme de film sous un substrat (par exemple haut d'un frigo) => elle s'agence en gouttelette régulièrement espacées
schéma au tableau

$$e = e_0 + \delta e \cos(qx)$$

avec $q = \frac{2\pi}{\lambda}$ On suppose $\delta e \ll e_0 \ll \lambda$

Il y a deux effets antagonistes : le poids tend à faire tomber l'eau donc à former les gouttes, la tension de surface tend à limiter ces gouttes.

On va chercher à déterminer la géométrie de la disposition et donc λ

Pour cela on va quantifier la différence d'énergie entre le film déformé et celui non déformé (d'épaisseur constante).

$$\Delta E = - \int \frac{1}{2} \rho g (e - e_0)^2 dx + \int \frac{1}{2} \gamma (ds - dx)$$

$$\Delta E = - \int \frac{1}{2} \rho g (\delta e \cos(qx))^2 dx + \int \frac{1}{2} \gamma \left(\frac{de}{dx}\right)^2 dx$$

via des DL (on ne fera pas tout le déroulé ici)

$$\Delta E = \frac{1}{4} \gamma \delta e^2 \lambda \left(q^2 - \frac{1}{l_c^2}\right)$$

on voit que $\Delta E < 0$ donc le système forme les gouttes si $\lambda > 2\pi l_c$

La première longueur d'onde instable (chut) est donc $2\pi l_c = 1.7cm$.

expérience avec le tube à essaie qu'on retourne $\lambda < 1.7cm$

► Instabilité de Rayleigh Plateau

(partie qu'on peut éliminer en cas de manque de temps)

Là on considère l'eau qui tombe (sortie d'un robinet). Un filet tombant d'eau se scinde en petites gouttes Ici on ne va pas faire tous les calculs mais on va comprendre qualitativement pourquoi le filet de liquide se scinde, via la minimisation des surface comme cela est fait dans la biblio ci-apres. (cf[2]\$1p.18) (biensur ce qu'il y a derrière est beaucoup plus complexe et il y a un un comportement dynamique à prendre en compte...se renseigner avant la leçon).

► épaisseur d'une goutte

Là on considère l'eau qui vient de tomber sur un substrat (elle ne s'étale pas pareil sur le carrelage, sur la table en bois ou sur une planche à découper en plastique). Pourquoi? Schéma au tableau où on modelise

la goutte par un cylindre de hauteur R et de rayon de la base R

Energie due à l'interface Gaz-Liquide de coefficient de tension de surface γ_{GL} :

$$E_{GL} = \gamma_{GL}(\pi R^2 + 2\pi R h) \approx \gamma_{GL}\pi R^2$$

Energie due à l'interface Gaz-Substrat de coefficient de tension de surface γ_{GS} :

$$E_{GS} = \gamma_{GS}(-\pi R^2 + S_{substrat}) = -\gamma_{GS}\pi R^2 + cste$$

Energie due à l'interface Substrat-Liquide de coefficient de tension de surface γ_{SL} :

$$E_{SL} = \gamma_{SL}\pi R^2$$

Energie de pesanteur :

$$E_{pp} = \pi R^2 \rho h g \frac{h}{2}$$

on fait $\frac{dE_{tot}}{dt}|_{h_{eq}}$ donc on trouve

$$h_{eq} = \sqrt{\frac{-2s}{\rho g}} \text{ avec } s = \gamma_{GL} + \gamma_{SL} + \gamma_{GS} \text{ le paramètre d'étalement}$$

On note que le paramètre s'exprime comme :

$$s = \gamma_{substratsec} - \gamma_{substratmouillé}$$

On remarque que h_{eq} n'est défini que si on a $s > 0$ on dit alors que le mouillage est total, et cela dépend des affinités liquide/substrat.

Si ce n'est pas le cas, on dit que le mouillage est partiel...ouverture.

6 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

- ▷ Quand la goutte est sur une substrat, parfois elle ne s'étale pas : mouillage partiel => l'angle que fait la goutte avec le substrat peut être mise en équation.=> Young-Dupré
- ▷ Manières de mesurer cette tension de surface en métrologie (méthode par arrachement, de la goutte pendante, de la goutte tournante, stalagmométrie)
- ▷ impact sur des phénomènes prorogatifs =>ondes gravito-capillaires

7 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ [1]Liquides : solutions, dispersions, émulsions, gels *Bernard Cabane et Sylvie Hénon*.
Surtout pour leur définition de la tension de surface (la première approche du phénomène au chap. 9) et la relation avec l'enthalpie libre G (chap 16)
- ▷ [2]LA BIBLE POUR CETTE LECON : Gouttes, bulles, perles et ondes *Pierre-Gilles de Gennes, Françoise Brochard-wyart, David Quéré*
- ▷ [3] bouquins d'Arnaud pour les expériences (arrachement, ondes gravito-capillaires,etc...)

8 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

- ▷ Au moment où on explique que le système minimise la surface d'interface : *Plonger un cube évidé en métal (il y a juste les arêtes) ou le cercle de métal avec le fil au milieu (on perce la bulle d'un côté du fil) dans l'eau savonneuse* => le film d'eau savonneuse minimise la surface
- ▷ Après l'explication de Rayleigh Taylor : *petit tube à essais rempli d'eau, on le retourne à l'aide d'une feuille, on bouge doucement la feuille l'eau ne s'échappe pas*. Le diamètre du tube est plus faible que la longueur instable minimale.. l'eau ne s'échappe pas.. attention tout de même, il y a un écart à la modélisation du cours : là il y a une hauteur d'eau au dessus donc l'épaisseur n'est pas négligeable, donc on irait pas jusqu'à diamètre= première longueur d'onde instable sans que l'eau tombe.

9 Questions, remarques

- ▷ **Cette leçon se fait vraiment en L2, en prépa ? si oui en quelle filière ?**
Elle peut apparaître en classe préparatoire, en PC et via plutôt l'aspect expérimental : notamment mise en évidence des phénomènes capillaires, ondes gravitocapillaires, balance d'arrachement. Ce n'est donc pas une partie de leçon théorique mais plutôt un TP/ cours avec des manip ou cours introductif avant TP.
- ▷ **Ni a t il des interfaces qu'avec l'air ? et Qu'est ce qu'une interface ?**
Il y a des phénomènes capillaires à toute interface. Il s'agit d'une surface entre deux phases. Donc une interface est une surface, une région de l'espace infiniment fine, ou les grandeurs physico chimiques varie brusquement
- ▷ **Il peut être intéressant dans l'intro de mettre les images fortes dans l'ordre du plan et pas n'importe qu'elle image de goutte...faire gaffe aux questions qui arrivent**
- ▷ **Attention dans la def thermodynamique la surface est notée A et apres S.. cohérence**
- ▷ **la tension de surface peut être négative ?** Ce serait le cas pour un milieu où il serait favorable de maximiser sa surface donc de se scinder tout le temps.. pas physique donc pas possible, par contre γ est nulle au point triple
- ▷ **Attention ne pas dire "avec les mains" mais "loi d'échelle"**
- ▷ **A chaque fois qu'on parle d'une tension de surface il faut toujours parler des deux milieux qui forment l'interface ... elle dépend des deux milieux**
- ▷ **De quoi dépend la tension de surface ?**
Dépend de la température, des deux espèces en jeux, de la présence d'impuretés ou de tensio actifs.
- ▷ **Comment s'appelle le phénomène selon lequel les petites bulles se versent dans les grandes ?**
Le mûrissement d'Oswald.
- ▷ **Quel nombre adimensionné utilise t on pour quantifier la compétition gravité et tension de surface ?**
Le nombre de Bond.
- ▷ **On aurait aussi pu faire cette leçon autour des larmes de vin, sur lesquelles on peut observer beaucoup de phénomènes cités ici (instabilité, capillarité...**
- ▷ **Que se passe t il si la taille du capillaire est plus petite que la hauteur d'eau qu'il pourrait avoir si il était infini. ?**
Le ménisque s'inverse pour compenser le différentiel de pression du à ce casage" de tout le liquide en si peu de place.
- ▷ **Connais tu d'autres instabilités ?**
Rayleigh Bénard => convection naturelle/Marangoni=> larmes de vin