

# L'expérience de Benjamin Franklin... Et Rayleigh, Pockels, Devaux, et Langmuir

Rémi Metzdorff

15 novembre 2020

## Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1 Les origines</b>	<b>2</b>
<b>2 Analyse de l'expérience en seconde</b>	<b>3</b>
2.1 Dans le programme . . . . .	3
2.2 L'activité . . . . .	3
2.3 Analyse a priori . . . . .	3
2.4 Analyse a posteriori . . . . .	3
<b>3 Réalisation expérimentale</b>	<b>3</b>
<b>Conclusion</b>	<b>3</b>
<b>Références</b>	<b>4</b>
<b>A Document élève</b>	<b>5</b>
<b>B Suite</b>	<b>8</b>

# Introduction

## 1 Les origines

[Fra73], Correspondance entre Franklin et Brownrigg. L'expérience légendaire mais lui s'en cogne de la l'épaisseur de la couche d'huile. Il remarque simplement que ça calme les vagues et que l'huile s'étend beaucoup.

[Ray90], Measurements of the amount of oil necessary in order to check the motions of camphor upon water. Il mesure la masse d'huile nécessaire pour arrêter le mouvement de camphre sur un grand bac d'eau et en déduit l'épaisseur du film correspondant.

[Poc91], Surface Tension. Diverses expériences sur la tension de surface dans une lettre envoyée à Rayleigh. Surface normale : la tension de surface ne dépend pas de l'aire de la surface d'eau dans son dispositif. Surface anormale : a tension de surface dépend fortement de l'aire. Courant de solution. Solubilité de surface très élevée.

[Ray92] : Experiments upon surface-films. On comprend pourquoi ils utilisent le camphre comme indicateur de la tension de surface. Il est dit que lorsque le camphre ne bouge plus, la tension de surface est en dessous de 0,72 fois celle de l'eau.

[Poc94] : On the Spreading of Oil upon Water. Elle décrit très bien ce qu'il se passe si on ajoute de l'huile sur une surface saturée, même si cela semble déjà bien connu ([Ray92]).

[Ray99] : Investigations in capillarity. Reproduction des expériences de Pockels ([Poc91]), mesure de la tension de surface d'une eau contaminé avec de l'huile avec un tensiomètre à plaque de Wilhelmy. Discussion sur l'état normal et l'état anormal de la surface. Évoque la nécessité d'utiliser la notion de molécule pour expliquer la transition. Discrétisation des valeurs de tension superficielle suivant le nombre de couches monomoléculaires. Il suppose une couche monomoléculaire et en déduit le diamètre d'une molécule d'huile : 1 nm.

[Dev04] : Comparaison de l'épaisseur critique des lames très minces avec le diamètre théorique des molécules. Tout est dans le titre, il semblerai qu'il soit le premier à comparer la hauteur du film avec la taille théorique des molécules. Celle-ci est fournie grâce aux travaux de Nernst qui se base sur des considérations thermodynamiques (théorie cinétique des gaz : libre parcours moyen des molécules, section efficace) pour calculer les grandeurs moléculaires.

1913 : Marcelin, Epaisseur des couches très minces à la surface de l'eau, Diplôme d'études sup., Paris (1913), Ann. de Phys. (1913). Texte non trouvé

[Lan17] : The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids. En plus d'une revue très claire des apports de Rayleigh, Pockels, Devaux et Marcelin, il évoque les raisons qui poussent le film d'huile à s'étendre et discute l'orientation des molécules d'huile à la surface de l'eau. Ses considération théoriques sur les propriétés hydrophiles du groupement carboxyle (et de la double liaison) et hydrophobe des chaines carbonées sont suivies d'expériences permettant de déterminer à la fois la longueur des molécules d'huiles (l'épaisseur du film d'huile) et leur diamètre (en estimant la surface occupée par chaque molécule connaissant le nombre de molécule déposé). Il tord aussi le coup aux hypothèses de film bi-moléculaire proposés par Rayleigh et Marcelin en invoquant la notamment souplesse des chaines carbonées.

[Bio11] : Fabricating Highly Organized Nanoparticle Thin Films. Aujourd'hui, le procédé de déposition Langmuir-Blodgett permet d'obtenir des film mono ou multicouche de composés variés.

Composé	$P_{\text{sat}}^{20^\circ\text{C}}$ (mbar)	Toxicité
Éther diéthylique	586	H224, H302, H336
Cyclohexane	127	H225, H304, H315, H336, H410
Benzène	100	H225, H304, H315, H319, H340, H350, H372
Acétate d'éthyle	100	H225, H319, H336
Éthanol	58	H225
Essence de térébenthine	5,35	H226, H302, H304, H312, H315, H317, H319, ...

TABLE 1 – Éther diéthylique : trop inflammable. Cyclohexane : trop toxique. Benzène : trop toxique. Acétate d'éthyle : il faut vérifier que ça fonctionne. Éthanol : soluble dans l'eau, a priori huile non soluble dedans, seulement l'acide oléique. Essence de térébenthine : peu volatil et toxique.

## 2 Analyse de l'expérience en seconde

### 2.1 Dans le programme

### 2.2 L'activité

### 2.3 Analyse a priori

### 2.4 Analyse a posteriori

## 3 Réalisation expérimentale

Difficile d'avoir une couche mono-moléculaire. Il faut :

- soit un grand étang ;
- soit une très petite quantité d'huile : il faut la dissoudre dans un solvant volatil.

Historiquement, c'est le benzène (appelé benzine à l'époque) mais ça va pas trop toxique. Dans les protocoles plus modernes, on utilise de l'essence de térébenthine mais ça va pas c'est trop peu volatil et toxique. Il faudrait essayer l'acétate d'éthyle : aussi volatil que le benzène mais beaucoup moins toxique.

## Conclusion

## Références

- [Bio11] Biolin Scientific. "Fabricating Highly Organized Nanoparticle Thin Films." Technical report (2011).
- [Dev04] Devaux, H. "Comparaison de l'épaisseur critique des lames très minces avec le diamètre théorique des molécules." In "Procès verbal des séances de la Société des Sciences Physiques et Naturelles," (1904).
- [Fra73] Franklin, B. "Of the stilling of waves by means of oil." (1773).
- [Lan17] Langmuir, I. "The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids." *Journal of the American Chemical Society*, **468** (1917).
- [Poc91] Pockels, A. "Surface Tension." (1891).
- [Poc94] Pockels, A. "On the Spreading of Oil upon Water." *Nature* (1894).
- [Ray90] Rayleigh, L. "Measurements of the amount of oil necessary in order to check the motions of camphor upon water." *Proceedings of the Royal Society of London*, **47** (286-291), 364 (1890). URL <http://dx.doi.org/10.1098/rspl.1889.0099>.
- [Ray92] Rayleigh, L. "Experiments upon surface-films." *Philosophical Magazine*, **33**, 363 (1892).
- [Ray99] Rayleigh, L. "Investigations in capillarity." *Philosophical Magazine*, **48**, 321 (1899).

## A Document élève

## Mesurer une molécule

### Objectif

En vous appuyant sur l'expérience historique de Benjamin Franklin décrite ci-dessous, vous devrez répondre à la question :

**Quelle est la taille d'une molécule d'huile ?**

### L'expérience historique de Benjamin Franklin

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, Benjamin Franklin se promène au bord de l'étang de Clapham en Angleterre, et décide de verser un peu d'huile dans l'eau. Il observe alors qu'une tache se forme à la surface et s'étend rapidement jusqu'à couvrir presque un quart de la surface du plan d'eau.

Il faudra attendre 1890 pour que Lord John Rayleigh reprenne cette expérience et en déduise la taille des molécules d'huile.



L'étang agité un jour venteux.



La tache d'huile forme une étendue lisse.

#### Document : extrait d'une lettre de Benjamin Franklin à la Royal Society (1774)

Texte original :

« At length at Clapham where there is, on the common, a large pond, which I observed to be one day very rough with the wind, I fetched out a cruet of oil, and dropped a little of it on the water. I saw it spread itself with surprising swiftness upon the surface. The oil, though not more than a teaspoonful, produced an instant calm over a space several yards square, which spread amazingly and extended itself gradually until it reached the leese, making all that quarter of the pond, perhaps half an acre, as smooth as a looking glass. »

Traduction :

Enfin à Clapham où il y a, sur la commune, un grand étang que j'observai agité un jour de grand vent, je cherchai une burette d'huile et en laissai tomber un peu sur l'eau. Je la vis se répandre sur la surface avec une rapidité surprenante. L'huile, bien que moins d'une cuillère à café, produisit un calme immédiat sur une surface de plusieurs mètres carrés, qui se propagea incroyablement et s'étendit progressivement jusqu'à la côte rendant ce quart de l'étang, peut-être 2000 m<sup>2</sup>, aussi lisse qu'un miroir.

## Aide

Vous vous mettez dans la peau de Lord John Rayleigh et exploitez l'expérience de Benjamin Franklin pour répondre à la question. Comme tout scientifique qui se respecte, Lord Rayleigh répond à la question en respectant les principales étapes de la **démarche scientifique** :

1. **Hypothèse.** Donnez votre hypothèse et justifiez-la : « Je pense que ... car ... ».
2. **Protocole.** Mettre en place un protocole pour valider (ou invalider !) votre hypothèse :
  - écrire en quelques lignes ce qu'a fait Benjamin Franklin ;
  - établir une liste du matériel, comme si vous vouliez reproduire l'expérience ;
  - réaliser l'expérience : cette fois, c'est Benjamin Franklin qui l'a faite ;
  - indiquer les observations utiles : schéma et observations (à l'aide du schéma narratif par exemple) ;
  - relever les mesures utiles, d'après les observations de Benjamin Franklin ;
  - faire les calculs nécessaires.
3. **Conclusion.** Pour terminer le compte-rendu :
  - donner les conclusions en reprenant ce qui a été trouvé dans le protocole ;
  - dire si les conclusions sont en accord avec votre hypothèse ;
  - répondre à la question posée !

## Donnée

$$1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3$$

## Évaluation

L'évaluation de votre travail se fera sur la base des compétences mobilisées pour répondre à la question posée. Vous pouvez vérifier que vous remplissez les différents critères en vous reportant à la grille ci-dessous.

Compétences	Aptitudes à vérifier	Suis-je capable de ... ?
APP	Me servir correctement des ressources disponibles (doc, énoncé, ...) Choisir les informations qui me seront utiles Faire un schéma de l'expérience Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées	
ANA-RAI	Faire une hypothèse, la justifier Justifier le protocole choisi Donner des conclusions à l'activité	
REA	Réaliser correctement les calculs analytiques et/ou numériques	
VAL	Dire si mes résultats sont en accord avec ceux attendus Avoir un regard critique sur mes résultats	
COM	Rendre compte de façon écrite ou orale Utiliser un vocabulaire et des modes de représentation adaptés	
RCO	Restituer ses connaissances	

## B Suite