

TP - Mesure de la taille d'une molécule par la méthode de Franklin

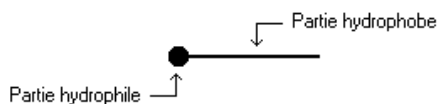
I. Principe de la mesure

« Examinons ce qu'il se passe lorsqu'on ajoute à l'eau une petite quantité de « surfactant » (on peut considérer qu'une molécule d'huile entre dans cette catégorie). Les molécules de surfactant sont des objets assez extraordinaires ; elles sont plutôt petites et possèdent deux propriétés violemment antagonistes. Une des extrémités de la molécule est fortement hydrophile, nous l'appellerons « tête polaire » de la molécule. Le reste de la molécule est résolument hydrophobe c'est une chaîne « aliphatique » formée d'atomes de carbone et d'hydrogène. Si je plonge une telle molécule, seule dans l'eau, elle devient très « malheureuse ». Sa partie hydrophobe ne songe qu'à fuir l'eau qu'elle exècre. Aidée par l'agitation thermique, elle parvient à la surface. La situation, sans être idéale est déjà meilleure. La tête polaire (hydrophile) peut rester immergée avec délice dans l'eau. La chaîne hydrophobe peut se sécher à l'air. En se serrant l'une contre l'autre comme les pingouins d'une rookerie, les molécules de surfactant peuvent alors créer une situation presque parfaite : tête dans l'eau, chaîne à l'air presque perpendiculaire à la surface. Les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire. C'est une monocouche...

Depuis les Grecs, on sait qu'un film d'huile, répandu sur la mer, tend à calmer les vagues. Franklin lui, fait l'expérience suivante : il va au bord d'un étang (à Clapham, près de Londres) et verse, doucement, une goutte d'huile d'olive sur l'étang. L'huile s'étale, la « peau » de l'eau est devenue comme rigide, c'est ce phénomène qui permet à Franklin d'évaluer assez bien la surface du film d'huile, elle est d'environ 100 m^2 ! »

Texte adapté du livre de PG de Gennes : Les objets fragiles

- Après voir rappelé qui est Pierre-Gilles de Gennes (en quelques phrases), expliquer ce que signifient les termes "hydrophile" et "hydrophobe".
- On représente une molécule d'huile de la manière suivante :



Représenter quelques molécules d'huile disposées à la surface de l'eau conformément à la description qu'en fait l'auteur.

- Si l'on connaît le volume d'huile versée et la surface de la tache obtenue, comment en déduire la taille d'une molécule d'huile ?

II. Protocole expérimental

Nous allons appliquer ce que l'on vient de voir, afin de mesurer la taille d'une molécule d'acide oléique. Nous disposons d'une solution d'acide oléique dilué dans de l'éther de pétrole. Il y a dans cette solution 1 volume d'acide oléique pour 1000 volumes. L'éther de pétrole est une substance très volatile : à température ambiante ce liquide s'évapore immédiatement.

1) Mesure du volume d'une goutte.

- Verser à l'aide d'un compte-gouttes 2 mL de la solution, en comptant les gouttes.
- En déduire le volume V_{goutte} d'une goutte (en cm^3).
- Sachant que la fraction volumique d'acide oléique dans la solution est de 1 pour 1000, en déduire le volume V d'acide oléique versé quand on verse une goutte de la solution.
- S'entraîner à ne faire tomber qu'une goutte à la fois du compte-gouttes.

2) Manipulation

- Remplir la bassine d'eau.
- Saupoudrer la surface de l'eau de talc à l'aide d'une passoire. Il ne faut en mettre ni trop, ni trop peu, et éviter les agglomérats...Le talc doit former une très fine pellicule sur l'eau.
- Laisser tomber une goutte de solution à la surface de l'eau, à l'aide du compte-gouttes.
- Tracer, sur la plaque de verre, le contour de la tache formée dans le talc.
- En se plaçant à la lumière, tracer par transparence le contour de la tache sur une feuille de papier millimétré.
- Déterminer un moyen de mesurer la surface S de la tache (en cm^2) en utilisant une balance. Effectuer la mesure.

3) Exploitation des résultats

- Calculer l'épaisseur e de la tache, en déduire la taille d'une molécule d'acide oléique.
- La longueur réelle de cette molécule, donnée par des mesures effectuées en laboratoire, est de 2,4 nm. Calculer l'erreur relative de la mesure effectuée.

Mesure de la taille d'une molécule par la méthode de Franklin

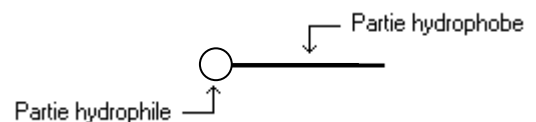
- Correction -

Le but de cette séance de travaux pratiques est de déterminer la longueur d'une molécule d'acide oléique (ou stéarique), substance huileuse. Cette molécule, formée de quelques atomes dont la taille est de l'ordre de 10^{-10} m, est impossible à mesurer à l'aide d'un instrument classique (règle, par exemple). Nous allons utiliser une astuce consistant à déposer une petite quantité d'acide oléique à la surface de l'eau. L'acide se répartira de manière à former une tâche dont nous mesurerons la surface. Connaissant le volume de la couche d'acide, nous pourrons en déduire son épaisseur. Cette dernière nous permettra de conclure quant à la taille d'une molécule, en raison de la structure particulière de la couche d'acide oléique.

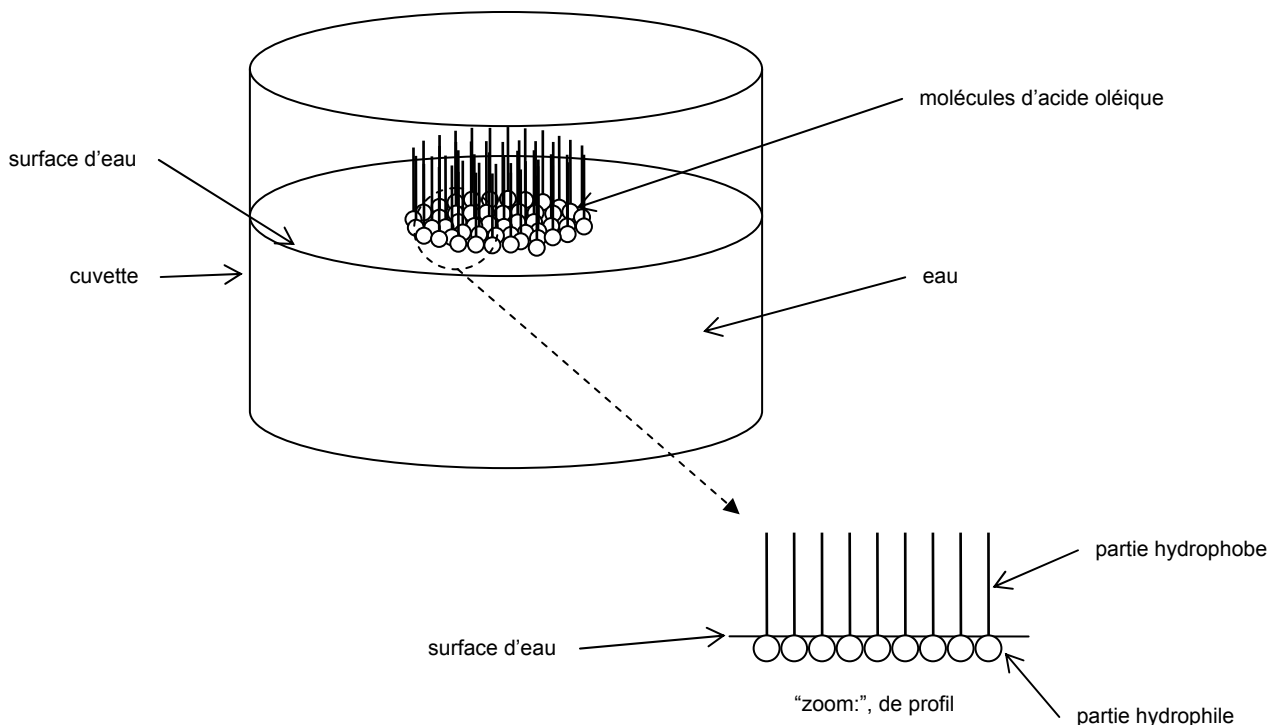
I Principe de la mesure

Pierre-Gilles de Gennes, célèbre physicien français qui obtint le Prix Nobel de physique en 1991, l'écrit dans son livre « Les objets fragiles » : des molécules d'huile mélangées à l'eau se répartissent en surface, et, si elles ne sont pas trop nombreuses, adoptent une configuration très particulière.

Une molécule d'acide oléique possède deux parties : une partie hydrophile, qui « aime » l'eau (c'est-à-dire qui va se lier à elle d'une certaine façon) et une partie hydrophobe, qui « n'aime pas » l'eau (elle ne peut se lier à l'eau d'aucune façon).



A la surface de l'eau, les molécules d'acide oléique vont se répartir de la manière suivante (les molécules d'huile « flottent », à la manière des nappes de pétrole à la surface de l'océan lors d'une marée noire) :

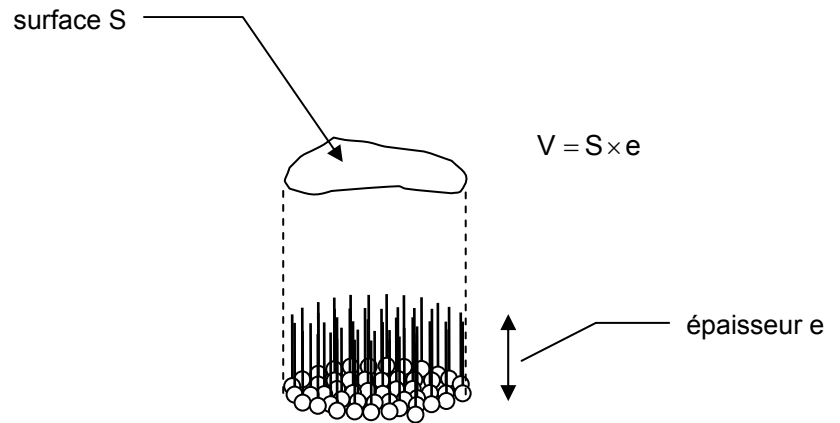


Informations complémentaires : *Pierre-Gilles de Gennes est un physicien français, Prix Nobel de Physique 1991, pour la découverte que des méthodes développées pour étudier des phénomènes d'ordre dans les systèmes simples peuvent être généralisées à des formes plus complexes*

de matière, en particulier aux "cristaux liquides" et aux polymères liquides. Ses travaux ont généré de très nombreuses études relevant tant de la physique et de la physico-chimie fondamentale que des sciences appliquées.

Si l'on connaît le volume V d'huile répartie à la surface de l'eau, et que l'on parvient à mesurer la surface S de la couche d'huile, il sera possible d'en déduire son épaisseur, c'est-à-dire la longueur d'une molécule d'huile !

Notre objectif est maintenant de mesurer V et S , afin d'en déduire l'épaisseur e .



Nous utiliserons une solution d'acide oléique dilué 1000 fois.

Soit V_{goutte} le volume de la goutte de la solution que nous déposerons à la surface de l'eau. Le volume d'acide oléique contenu dans cette goutte est $V = \frac{V_{\text{goutte}}}{1000}$.

Afin de mesurer V_{goutte} , nous versons $1,0 \text{ cm}^3$ (c'est-à-dire 1,0 millilitre) de solution dans un bécher, en comptant le nombre de gouttes correspondant.

$1,0 \text{ cm}^3$ de la solution correspond à 43 gouttes. Le volume d'une goutte est donc $V_{\text{goutte}} = \frac{1}{43} \text{ cm}^3$.

Le volume d'acide oléique contenu dans cette goutte est donc $V = \frac{V_{\text{goutte}}}{1000} = \frac{1}{43 \times 1000} \text{ cm}^3$.

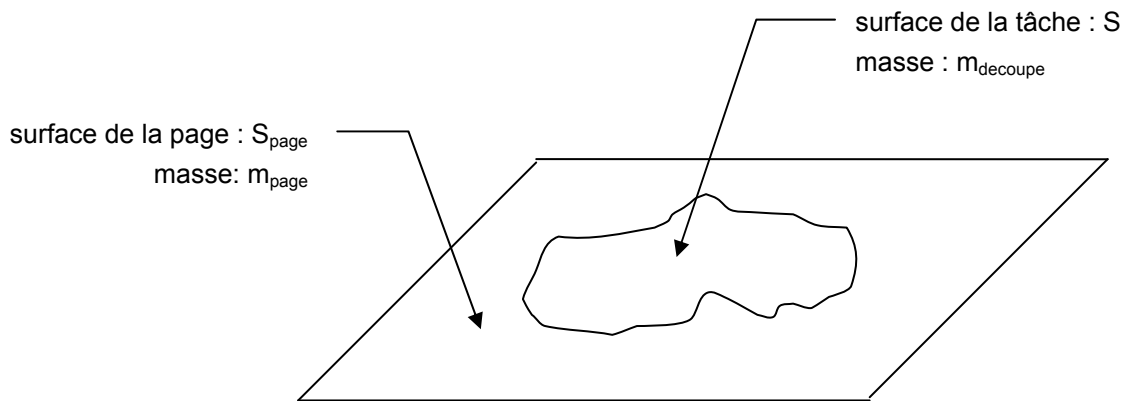
II Protocole expérimental

- On dépose une goutte de la solution à la surface d'une bassine d'eau recouverte de talc. Le talc permet de visualiser la couche d'huile car, lorsque l'on verse la goutte à la surface de l'eau, le talc s'écarte et ainsi la forme de la tâche devient visible.

Il est important de distribuer le talc à la surface de l'eau à l'aide d'une passoire, afin d'éviter les agrégats. Le talc doit former une très fine pellicule sur l'eau.

- Une fois la couche de talc prête, on laisse tomber une goutte de solution à la surface de l'eau.
- On trace sur une plaque de verre, le contour de la tache d'huile formée dans le talc. Puis on dessine, par transparence, le contour de la tache sur une feuille de papier.
- On mesure la masse de la page de papier en utilisant une balance. La masse de la page entière est $m_{\text{page}} = 5,05 \text{ g}$. Puis l'on découpe la forme de la tâche et l'on pèse celle-ci. Sa masse est $m_{\text{decoupe}} = 0,88 \text{ g}$.

Cela nous permet de mesurer la surface de la tâche, car la masse de papier est proportionnelle à sa surface.



La surface de la tâche est donc telle que $S = \frac{m_{\text{decoupe}}}{m_{\text{page}}} \times S_{\text{page}}$

La surface de la page, qui possède un format A₄, est $S_{\text{page}} = 21 \text{ cm} \times 29,7 \text{ cm}$

Application numérique : $S = \frac{0,85}{5,05} \times 21 \times 29,7 = 1,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$

Par ailleurs, on sait que l'on a $V = \frac{1}{43 \times 1000} \text{ cm}^3$

Et la relation entre V , S et e est $V = S \times e$. On en déduit $e = \frac{V}{S}$.

Calcul de e : On a $e = V = \frac{1}{43 \times 1000} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$.

L'épaisseur de la tâche est donc de $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$, c'est-à-dire $2,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, c'est-à-dire 2,3 nm.

On évalue donc à 2,3 nm la longueur d'une molécule d'acide oléique.

La longueur réelle de cette molécule, donnée par des mesures effectuées en laboratoire, est de 2,4 nm.

L'erreur relative de notre mesure est donc $\frac{2,3 - 2,2}{2,2} \times 100 = 5 \%$, ce qui est plutôt satisfaisant.

En conclusion, nous avons vu lors de cette séance comment mesurer la longueur d'une molécule. Mesurer la molécule avec une règle de quelques nanomètres de précision est naturellement impossible. Mais en utilisant une mesure indirecte comme celle mise en œuvre, on a pu accéder à une valeur qui paraissait hors de portée. C'est le cas de la plupart des mesures au niveau atomique : la mesure des grandeurs à cette échelle s'effectue de façon indirecte, et c'est avec de l'astuce et de la rigueur que l'on peut explorer proprement... l'infiniment petit !