



Mesurer de petites dimensions : Franklin et la mesure indirecte de la taille d'une molécule



But de la manipulation :

- Réaliser une mesure indirecte d'objets inaccessibles.
- Évaluer la taille d'une molécule.

I. Un texte de Pierre Gilles de GENNES

« L'esprit Benjamin Franklin »

(...) Examinons ce qui se passe lorsqu'on ajoute à l'eau une petite quantité de « surfactant ». (Un surfactant est la substance active des détergents ou des lessives). Les molécules de surfactant sont des objets assez extraordinaires. Ce sont des molécules plutôt petites (un à deux nanomètres de long) possédant deux propriétés violemment antagonistes. Des molécules schizophrènes... 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 », un enchaînement de 12 à 20 groupes $-CH_2$; un petit morceau de polyéthylène.

Si je plonge une telle molécule, seule, dans l'eau, elle devient très « malheureuse ». Sa chaîne aliphatique 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 peut rester immergée avec délice dans l'eau. La chaîne hydrophobe peut se sécher à l'air. En se serrant l'un contre l'autre comme des pingouins d'une rookerie, les surfactants peuvent alors réaliser une situation presque parfaite : tête dans l'eau, chaîne à l'air presque perpendiculaire à la surface. Lorsque toute la surface libre de l'eau est couverte, c'est l'idéal. Les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire. C'est une monocouche.

Je demande parfois à un étudiant : « Comment mesurer cette épaisseur ? ». S'il est près de la fin de ses études, il a entendu parler de ces merveilleuses machines dont disposent maintenant les physiciens, générateurs de rayons X, pile à neutrons... Réfléchissant un peu, il proposera d'utiliser par exemple les rayons X (...)

Heureusement, Benjamin Franklin a, il y a deux cents ans, apporté une solution plus simple. Nous avons tous entendu parler de Franklin, au moins comme l'inventeur du paratonnerre. Il fut aussi l'ambassadeur des jeunes Etats-Unis en France sous Louis XVI. C'est un homme de grande culture et de grande passion. Il s'intéressa à toutes les expériences que l'on faisait alors dans les « cabinets de physique » de ce siècle des Lumières, et notamment aux effets de l'huile sur l'eau. Depuis les Grecs, on sait qu'un film d'huile, répandu sur la mer, tend à calmer les vagues. Franklin va au bord d'un étang (à Clap Ham près de Londres) et verse, doucement, une cuillerée d'huile d'olive sur l'étang (les molécules d'huile sont assez semblables à celles que j'ai décrites). L'huile s'étale, mais l'aspect optique de la surface ne change pas (...) Franklin arrive tout de même à reconnaître les régions qui sont recouvertes : en l'absence d'huile, la brise créait des vaguelettes sur l'étang ; en présence d'huile, on ne voit plus de rides, la surface est lisse. La peau de l'eau est devenue rigide ! Grâce à ce test, Franklin peut estimer assez bien la surface du film d'huile. Elle est énorme : de l'ordre de 100 m^2 .

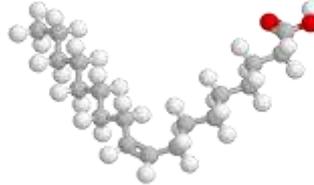


Cette expérience porte en elle-même un résultat considérable qui ne sera pas exploité par Franklin, mais seulement cent ans plus tard par Lord Rayleigh. Si on divise le volume d'huile par la surface d'étalement, on trouve la hauteur du film qui s'avère être de l'ordre du nanomètre : cette hauteur, c'est (en gros) *la taille des molécules d'huile*. Voilà l'expérience simple à laquelle nos étudiants doivent penser en premier ! Et tout l'art de cette expérience, c'est le don d'observation, l'astuce pour identifier les régions couvertes. Cet exemple me paraît très important. C'est ce que j'appelle « *l'esprit Franklin* » d'une expérience...

« *Les objets fragiles* » P.G de Gennes, J. Badoz Librairie Pion

II. Expérience de Franklin

Il s'agit donc d'évaluer l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule d'acide oléique.



Sa mise en œuvre :

Vis-à-vis de l'eau, les molécules d'acide oléique $C_{17}H_{33}CO_2H$ ont un comportement semblable à celui décrit dans le texte :



- Le cristalliseur est rempli d'eau tiède.
- L'acide oléique est dilué mille fois dans l'éther de pétrole.
- Laissez tomber une seule goutte d'acide dilué sur la surface de l'eau recouverte de talc.

- ⇒ Pourquoi a-t-on dilué mille fois l'acide ?
- ⇒ Quel est le rôle du talc ?

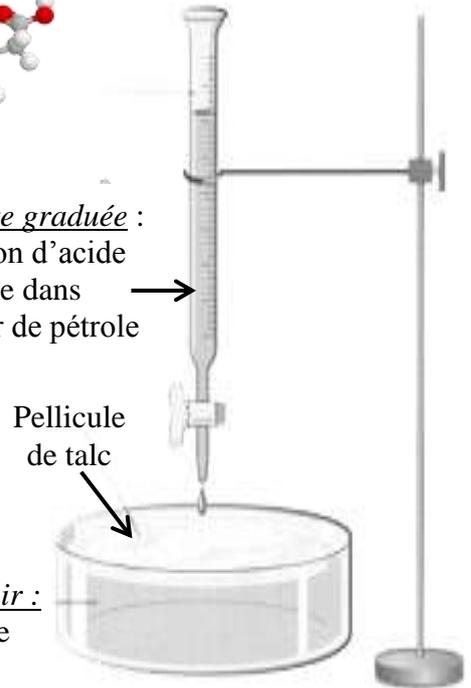
- Évaluer la surface S de la couche d'acide oléique.

- ⇒ Peut-on mesurer facilement le volume d'une goutte ?
- ⇒ Comment rendre cette mesure précise ?
- ⇒ Calculer le volume V d'acide oléique pur contenu dans une goutte.
- ⇒ Calculer l'épaisseur « e » d'un film d'acide oléique.

Burette graduée :
solution d'acide oléique dans l'éther de pétrole

Pellicule de talc

Cristalliseur :
eau tiède



Son exploitation :

Exprimer l'ordre de grandeur de la longueur de la molécule avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les conditions de l'expérience.

