

**T.P. 2 EVALUATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DE LA TAILLE D'UNE MOLECULE- Version complétée**

**EXPERIENCE HISTORIQUE DE BENJAMIN FRANKLIN (1706 -1790)**

...Examinons ce qui se passe lorsqu'on ajoute à l'eau une petite quantité de « surfactant ». (Un surfactant est la substance active des détergents et des lessives). (On peut considérer qu'une molécule d'huile entre dans cette catégorie). Les molécules de surfactant sont des objets assez extraordinaires. Ce sont des molécules plutôt petites (1 à 2 nanomètres de long) possédant deux propriétés violemment antagonistes.

...Une des extrémités de la molécule est fortement **hydrophile** : nous l'appellerons la 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 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'une contre l'autre comme les pingouins d'une rookerie, les molécules de surfactants peuvent alors créer 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 recouverte, c'est l'idéal. Les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire. **C'est une monocouche...**

Benjamin Franklin, il y a 200 ans, a apporté une solution simple pour mesurer cette épaisseur. Cet homme de grande culture s'intéressa 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, lui, fait l'expérience suivante : il va au bord d'un étang près de Londres et verse, doucement, **une cuillerée d'huile d'olive (environ 5 cm<sup>3</sup>) 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 2000 m<sup>2</sup>**.

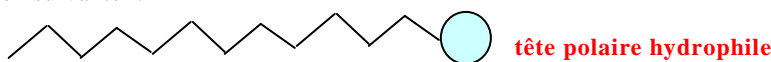
Cette expérience, porte en elle-même un résultat considérable qui ne sera pas exploité par Franklin, mais réalisée à une échelle réduite par Lord Rayleigh cent ans plus tard.

**Elle permet de déterminer l'ordre de grandeur de la taille des molécules d'huile.** Si l'on divise le volume d'huile par la surface d'étalement, on trouve la hauteur du film : (en gros) la taille des molécules d'huile ... qui s'avère être de l'ordre du nanomètre.

Texte adapté du livre "Les objets fragiles" de Pierre Gilles de Gennes: « L'esprit Benjamin Franklin ».

**I. ANALYSE DU TEXTE :**

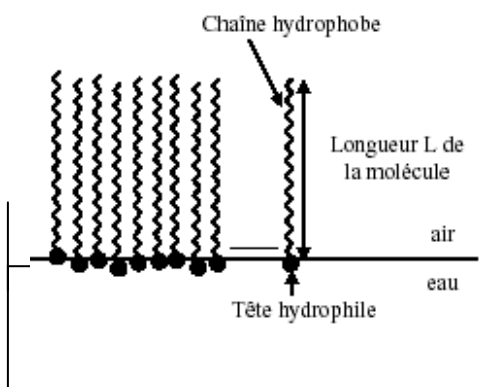
**1) Les molécules de surfactant :** Une molécule de surfactant : molécule d'huile peut être schématisée de la façon suivante :



**chaîne carbonée hydrophobe**

**La partie hydrophile est dans l'eau. La partie hydrophobe va éviter l'eau.**

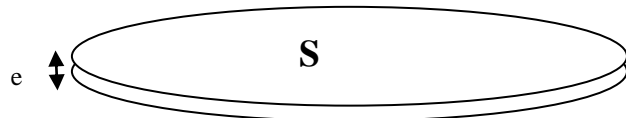
**Question 1 :** ➤ Représenter quelques molécules de surfactant à la surface de l'eau. Indiquer les passages du texte qui justifient cette représentation.



- tête polaire immergée avec délice dans l'eau
- la chaîne hydrophobe peut se sécher à l'air libre.
- en se serrant l'un contre l'autre.

**Questions 2 :** ➤ Quelles grandeurs faut-il mesurer pour déterminer l'épaisseur e du film d'huile, si on fait l'hypothèse que la pellicule est cylindrique ?

➤ Donner la relation entre le volume V du film d'huile déposé à la surface de l'eau, la surface S de l'huile sur l'eau et l'épaisseur e du film d'huile.



➤ Pourquoi est-il intéressant que les molécules ne forment qu'une seule couche (monocouche) ?  
**L'épaisseur de la couche est alors égale à la longueur moléculaire.**

**Questions 3 :**

Calculer la longueur L de la molécule en m puis en nm à partir des données du texte.

$$L = \frac{V}{S} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^3} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2,5 \text{ nm.}$$

## II. ELABORATION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL A PARTIR DES DONNEES DU TEXTE :

### 1) Expérience : Etalement d'une goutte d'huile à la surface d'un plan d'eau :

Vous allez réaliser l'expérience de Franklin en classe.

Lorsque vous déposerez une goutte d'huile à la surface de l'eau, les molécules formeront une couche d'huile régulière : la partie hydrophile est dans l'eau, alors que la partie hydrophobe reste dans l'air. L'épaisseur de la tache d'huile correspond à la longueur d'une molécule d'huile.

- Remplir un cristalliseur d'eau. Attendre que la surface se stabilise et saupoudrer délicatement une très fine et uniforme couche de talc à la surface de l'eau à l'aide d'une passoire (le talc ne doit pas constituer un réseau compact mais couvrir toute la surface de l'eau).
- Faire tomber délicatement une seule goutte du mélange (huile dans un solvant : l'éthanol) contenant l'huile au centre du cristalliseur. Le solvant est très volatil.

Question 4 : Observer le mouvement du talc et interpréter.

. Le talc s'écarte et se referme après évaporation du solvant (l'éthanol étant très volatil).

- Reproduire sur la plaque transparente les contours de la tache d'huile formée à la surface de l'eau **sur une plaque en verre** que vous poserez sur le cristalliseur.
- Retirer la plaque, la recouvrir d'une feuille de papier et reproduire la figure par transparence.

### 2) Exploitation : détermination de l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule :

#### a) Détermination du volume d'une goutte :

A l'aide d'un compte-goutte, introduire 2,0 mL du mélange d'huile dans l'éprouvette en comptant le nombre de gouttes.

Question 5 : En déduire le volume  $V_{goutte}$  d'une goutte de mélange.

On remplit goutte à goutte l'éprouvette jusqu'à atteindre la graduation 2,0 mL. On compte 100 gouttes.

Donc 100 gouttes occupent un volume de 2,0 mL ; 1 goutte a donc un volume de 0,02 mL.

#### b) Détermination du volume d'huile contenu dans la goutte de mélange déposé :

Le mélange contenant l'huile a été contenu en diluant 7 gouttes d'huile pure dans 500 mL d'éthanol.

Question 6 : Calculer le volume d'huile contenu dans les 500 mL de mélange, puis le volume d'huile contenu dans une goutte de ce mélange. Donnée : le volume d'une goutte est 0,02 mL.

7 gouttes soit  $7 \times 0,02 = 0,14$  mL d'huile sont contenues dans 500 mL.

Or 0,020 mL correspond à 1 goutte, soit 500 mL contient  $\frac{500}{0,02} = 25\ 000$  gouttes.

Donc 0,14 mL d'huile sont contenues dans 500 mL qui contient 25 000 gouttes.

25 000 gouttes de mélange correspond à 0,14 mL d'huile

donc 1 goutte contient x mL d'huile. On a  $x = \frac{0,14 \times 1}{25000}$  mL d'huile soit  $5,6 \cdot 10^{-6}$  mL d'huile =  $5,6 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>3</sup>

Volume V d'huile versé au centre du cristalliseur :  $V = 5,6 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>3</sup> =  $5,6 \cdot 10^{-12}$  m<sup>3</sup> d'huile.  
(1 cm<sup>3</sup> = 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>).

#### c) Détermination de la surface de la tache d'huile.

Reproduire les contours de la taches sur une feuille à petits carreaux.

Question 7 : Evaluer la surface S de la tache en comptant le nombre de carreaux. Exprimer S en cm<sup>2</sup> et en m<sup>2</sup>.  
 $50 < S < 100$  cm<sup>2</sup>. Ex : on compte 200 carreaux (chaque carreau a 0,5 cm de côté). La surface d'un carreau est  $0,5 \times 0,5 = 0,25$  cm<sup>2</sup>. Les 200 carreaux ont une surface de  $200 \times 0,25 = 50$  cm<sup>2</sup> =  $50 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> =  $5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>.  
(1 cm<sup>2</sup> = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>).

Donc la surface occupée par la goutte versée dans le cristalliseur est  $S = 5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>.

#### d) Détermination de l'épaisseur de la tache d'huile :

Question 8 : A partir de la surface de la tache et du volume d'huile correspondant, déterminer l'épaisseur e de la couche d'huile.

En déduire l'ordre de grandeur en m de la longueur d'une molécule d'huile.

$e = \frac{V}{S} = \frac{5,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,1 \times 10^{-9} \text{ m}$ . Ordre de grandeur  $1 \times 10^{-9} \text{ m} \approx 1 \text{ nm}$ .

L'ordre de grandeur de la taille d'une molécule est le nanomètre.

Question 9 : Comparer ce résultat avec le résultat obtenu dans de l'expérience de Franklin. Conclure.

Franklin :  $e \approx 2,5 \text{ nm}$  soit ordre de grandeur 1 nm.

Bonne correspondance entre l'expérience de Franklin et l'expérience faite au laboratoire.

**L'ordre de grandeur de la taille d'une molécule est bien le nanomètre.**

**T.P. 2 EVALUATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DE LA TAILLE D'UNE MOLECULE**

**EXPERIENCE HISTORIQUE DE BENJAMIN FRANKLIN (1706 -1790)**

...Examinons ce qui se passe lorsqu'on ajoute à l'eau une petite quantité de « surfactant ». (Un surfactant est la substance active des détergents et des lessives). (On peut considérer qu'une molécule d'huile entre dans cette catégorie). Les molécules de surfactant sont des objets assez extraordinaires. Ce sont des molécules plutôt petites (1 à 2 nanomètres de long) possédant deux propriétés violemment antagonistes.

...Une des extrémités de la molécule est fortement **hydrophile** : nous l'appellerons la 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 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'une contre l'autre comme les pingouins d'une rookerie, les molécules de surfactants peuvent alors créer 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 recouverte, c'est l'idéal. Les molécules forment une couche bien régulière dont l'épaisseur est égale à une longueur moléculaire. **C'est une monocouche...**

Benjamin Franklin, il y a 200 ans, a apporté une solution simple pour mesurer cette épaisseur. Cet homme de grande culture s'intéressa 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, lui, fait l'expérience suivante : il va au bord d'un étang près de Londres et verse, doucement, **une cuillerée d'huile d'olive (environ 5 cm<sup>3</sup>) 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 2000 m<sup>2</sup>**.

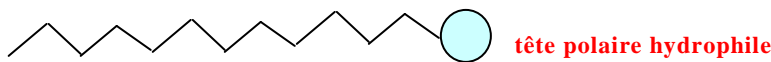
Cette expérience, porte en elle-même un résultat considérable qui ne sera pas exploité par Franklin, mais réalisée à une échelle réduite par Lord Rayleigh cent ans plus tard.

**Elle permet de déterminer l'ordre de grandeur de la taille des molécules d'huile.** Si l'on divise le volume d'huile par la surface d'étalement, on trouve la hauteur du film : (en gros) la taille des molécules d'huile ... qui s'avère être de l'ordre du nanomètre.

Texte adapté du livre "Les objets fragiles" de Pierre Gilles de Gennes: « L'esprit Benjamin Franklin ».

**I. ANALYSE DU TEXTE :**

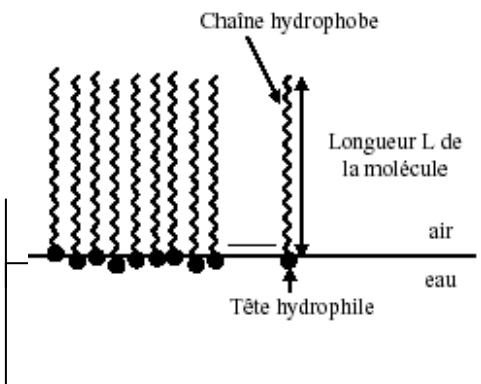
**1) Les molécules de surfactant :** Une molécule de surfactant : molécule d'huile peut être schématisée de la façon suivante :



**chaîne carbonée hydrophobe**

**La partie hydrophile est dans l'eau. La partie hydrophobe va éviter l'eau.**

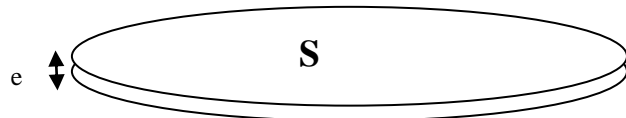
**Question 1 :** ➤ Représenter quelques molécules de surfactant à la surface de l'eau. Indiquer les passages du texte qui justifient cette représentation.



- tête polaire immergée avec délice dans l'eau
- la chaîne hydrophobe peut se sécher à l'air libre.
- en se serrant l'un contre l'autre.

**Questions 2 :** ➤ Quelles grandeurs faut-il mesurer pour déterminer l'épaisseur  $e$  du film d'huile, si on fait l'hypothèse que la pellicule est cylindrique ?

• Donner la relation entre le volume  $V$  du film d'huile déposé à la surface de l'eau, la surface  $S$  de l'huile sur l'eau et l'épaisseur  $e$  du film d'huile.



• Pourquoi est-il intéressant que les molécules ne forment qu'une seule couche (monocouche) ?

**Questions 3 :**

Calculer la longueur  $L$  de la molécule en **m** puis en **nm** à partir des données du texte.

## **II. ELABORATION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL A PARTIR DES DONNEES DU TEXTE :**

### **1) Expérience : Etalement d'une goutte d'huile à la surface d'un plan d'eau :**

Vous allez réaliser l'expérience de Franklin en classe.

Lorsque vous déposerez une goutte d'huile à la surface de l'eau, les molécules formeront une couche d'huile régulière : la partie hydrophile est dans l'eau, alors que la partie hydrophobe reste dans l'air. L'épaisseur de la tache d'huile correspond à la longueur d'une molécule d'huile.

- Remplir un cristalliseur d'eau. Attendre que la surface se stabilise et saupoudrer délicatement une très fine et uniforme couche de talc à la surface de l'eau à l'aide d'une passoire (le talc ne doit pas constituer un réseau compact mais couvrir toute la surface de l'eau).
- Faire tomber délicatement une seule goutte du mélange (huile dans un solvant : l'éthanol) contenant l'huile au centre du cristalliseur. Le solvant est très volatil.

Question 4 : Observer le mouvement du talc et interpréter.

- Reproduire sur la plaque transparente les contours de la tache d'huile formée à la surface de l'eau **sur une plaque en verre** que vous poserez sur le cristalliseur.
- Retirer la plaque, la recouvrir d'une feuille de papier et reproduire la figure par transparence.

### **2) Exploitation : détermination de l'ordre de grandeur de la taille d'une molécule :**

#### **a) Détermination du volume d'une goutte :**

A l'aide d'un compte-goutte, introduire 2,0 mL du mélange d'huile dans l'éprouvette en comptant le nombre de gouttes.

Question 5 : En déduire le volume  $V_{goutte}$  d'une goutte de mélange.

#### **b) Détermination du volume d'huile contenu dans la goutte de mélange déposé :**

Le mélange contenant l'huile a été contenu en diluant 7 gouttes d'huile pure dans 500 mL d'éthanol.

Question 6 : Calculer le volume d'huile contenu dans les 500 mL de mélange, puis le volume d'huile contenu dans une goutte de ce mélange. Donnée : le volume d'une goutte est 0,02 mL.

#### **c) Détermination de la surface de la tache d'huile.**

Reproduire les contours de la tache sur une feuille à petits carreaux.

Question 7 : Evaluer la surface  $S$  de la tache en comptant le nombre de carreaux. Exprimer  $S$  en  $\text{cm}^2$  et en  $\text{m}^2$ .

#### **d) Détermination de l'épaisseur de la tache d'huile :**

Question 8 : A partir de la surface de la tache et du volume d'huile correspondant, déterminer l'épaisseur  $e$  de la couche d'huile.

En déduire l'ordre de grandeur en m de la longueur d'une molécule d'huile.

Question 9 : Comparer ce résultat avec le résultat obtenu dans de l'expérience de Franklin. Conclure.