

**Travaux Pratiques
BioPhysique
2^{ème} année S3 - Sciences de la Nature et de la Vie**

Organisation des Travaux Pratiques BioPhysique

Les travaux pratiques de BioPhysique constituent une interface entre les concepts théoriques acquis des cours magistraux et des travaux dirigés, et la compréhension des phénomènes physiques et leurs exploitations dans la vie professionnelle et sociale. Il est, par conséquent, indispensable que l'étudiant(e) porte un nouveau regard d'intéressement et de motivation sur les travaux pratiques.

Il est indispensable de bien étudier le photocopié avant les séances de TP, sans quoi, vous ne ferez ni manipulation ni compte-rendu satisfaisants.

Pour pouvoir mener à bien le travail demandé et d'en tirer le maximum de profit (enseignement et note) il est conseillé:

- *De lire attentivement la manipulation décrite dans le photocopié,*
- *De se munir du nécessaire (crayon, stylos, règle, gomme, calculatrice, feuilles millimétrés,...)*
- *D'identifier, à chaque début de manipulation les éléments de la manipulation,*
- *De savoir exactement les paramètres (sens physique et ordre de grandeur) que vous mesurez,*
- *D'effectuer vos mesures et erreurs avec le plus grand soin,*
- *De faire appel à l'enseignant sans hésitation, en cas de besoin,*
- *De ne pas manquer de se donner un temps d'arrêt après avoir terminé les mesures pour « les regarder » d'un œil critique et de décider si celles-ci sont cohérentes ou aberrantes. Dans ce dernier cas, chercher l'origine de l'erreur qui peut être instrumentale, de calcul ou de manipulation.*

En cas de blocage faites appel à l'enseignant,

De se comporter de façon simple et naturelle, de manière à faciliter la communication avec l'enseignant(e) et votre camarade étudiant (e). De réaliser proprement vos courbes en choisissant correctement les échelles et en expliquant au mieux les résultats ainsi visualisés sur les graphes.

Assiduité

La présence aux séances de TP est obligatoire. L'étudiant(e) absent(e) aura la possibilité de rattraper un seul TP raté. Le changement de groupe est interdit.

Compte rendu, examination

Le volume horaire des séances de TP est de 3 heures. · Chaque étudiant(e), ou chaque binôme, doit rendre le compte rendu (**écrit au stylo et non au crayon**) de son travail **impérativement à la fin de chacune des manipulations**)

Des **interrogations**, pourront être organisées avant chaque séance de TP pour tester les connaissances de l'étudiant(e) sur la préparation de la manipulation. Les notes correspondantes seront comptabilisées avec celles des comptes rendus et du **contrôle final**.

TP 1 - Tension superficielle

Mise en évidence de la tension superficielle et mesure de la tension superficielle

Préparation du TP

Répondre aux questions suivantes sur une feuille séparée, portant votre nom, votre prénom et le groupe TP (A remettre au début de la séance) :

1. (1 pt) Montrer par une conversion d'unités qu'une tension superficielle exprimée en mN/m a une valeur identique à celle exprimée en dyn/cm .
2. (2 pts) Lors d'une expérience de détermination de la tension superficielle d'un liquide à l'aide de la méthode de l'ascension capillaire, on a trouvé que le méthanol (à $25,0\text{ }^\circ\text{C}$) s'élève à une hauteur de $1,2\text{ cm}$ dans un capillaire dont le rayon interne est de $0,045\text{ cm}$. Calculer la tension superficielle de ce liquide en dyn/cm . (Inclure les calculs.)
3. (2 pts) Lors d'une expérience de détermination de la tension superficielle d'un liquide à l'aide de la méthode du volume de goutte, on a trouvé que $0,80\text{ ml}$ d'éthylène glycol formait (à $20\text{ }^\circ\text{C}$) 15 gouttes à la sortie d'une pipette dont le diamètre extérieur est de $0,63\text{ cm}$. Calculer la tension superficielle de ce liquide en dyn/cm . (Inclure les calculs.)

Mise en évidence de la tension superficielle

De nombreuses observations montrent que la surface d'un liquide présente certaines particularités qui semblent remettre en cause les lois de l'hydrostatique : les liquides contenus dans des capillaires ont tendances à s'élever ou s'abaisser par rapport au niveau du liquide environnant. De même, les surfaces libres des liquides sont tendues comme une membrane élastique. Effectivement, un trombone déposé délicatement sur la surface de l'eau d'un verre rempli, flotte. L'addition d'un détergent détruira ce fragile équilibre (voir observations en TP).

Ces phénomènes s'expliquent par l'existence des forces de tensions superficielles, également appelés forces capillaires.

La tension superficielle (symbole : γ ou σ) d'un liquide est une des conséquences des attractions intermoléculaires (Fig. 1). En effet, comme les molécules s'attirent entre elles, une molécule donnée possède une énergie potentielle d'autant plus basse qu'elle est entourée d'un plus grand nombre de voisines. Or, une molécule située à la surface d'un liquide possède moins de voisines qu'une autre molécule située à l'intérieur. Il s'ensuit que les molécules situées à la surface possèdent une énergie potentielle plus élevée que celles situées à l'intérieur. Ainsi, la condition de stabilité d'équilibre fait que l'énergie est la plus basse possible, donc la surface libre doit être minimale. Par conséquent, un liquide aura tendance à prendre une forme où le rapport surface/volume est le plus petit possible afin de minimiser la surface pour minimiser l'énergie, c'est-à-dire la sphère. C'est ce qui explique, par exemple, la forme des gouttes de pluie.

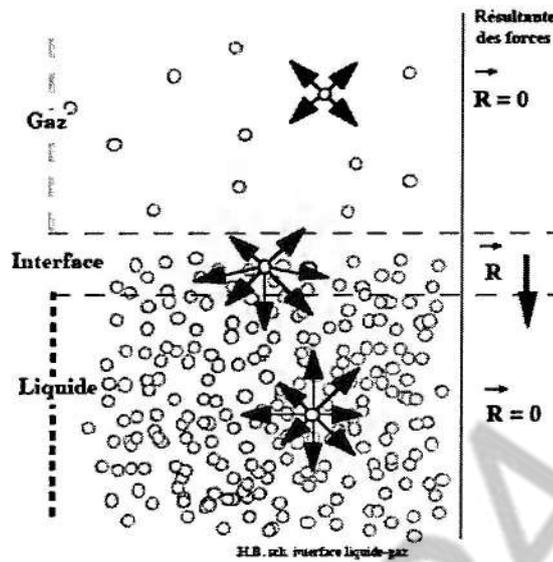


Figure 1

On peut dire, en simplifiant quelque peu, que la tension superficielle est la résistance qu'un liquide oppose à l'augmentation de sa surface. Pour être plus précis, on appelle énergie superficielle l'énergie nécessaire pour augmenter la surface d'un liquide. Si on veut amener une molécule du point A (intérieur du liquide) au point B (à la surface du liquide), on doit dépenser de l'énergie pour vaincre les forces superficielles et fournir un travail. La molécule qui vient en B va augmenter la surface de dS . L'énergie superficielle peut se mettre sous la forme :

$$dW = \gamma \cdot dS$$

$$dW = \gamma \cdot dl \cdot dx$$

Par ailleurs, le travail d'une force qui se déplace est

$$dW = F \cdot dx$$

d'où

$$\gamma = \frac{F}{dl}$$

et

$$F = \gamma \cdot dl$$

Les unités de cette énergie sont donc les J/m^2 ($\gamma = \frac{dW}{dS}$) dans le système international (SI). Comme l'énergie (le travail) est le produit d'une force par une distance ($1 J = 1 N \cdot m$), ces unités peuvent être converties en N/m ($\gamma = \frac{F}{dl}$). C'est cette force que l'on nomme la tension superficielle. Les valeurs de tension superficielles sont telles qu'il est usuel de les exprimer en mN/m , comme on peut le voir dans le tableau 1.

Dans le système (cgs), l'unité de force est la dyne (symbole : dyn) où $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$. Dans ce système, la tension superficielle a donc pour unités les dyn/cm . Ceci ne présente aucun inconvénient puisque, sachant que $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$, il est facile de convertir les dyn/cm en mN/m . De plus, lorsqu'on effectue cette conversion, on constate que la valeur numérique de la tension superficielle est la même dans les deux systèmes d'unités ($1 \text{ dyn}/\text{cm} = 1 \text{ mN}/\text{m}$).

Tableau 1. Tension superficielle des liquides étudiés à 25°C

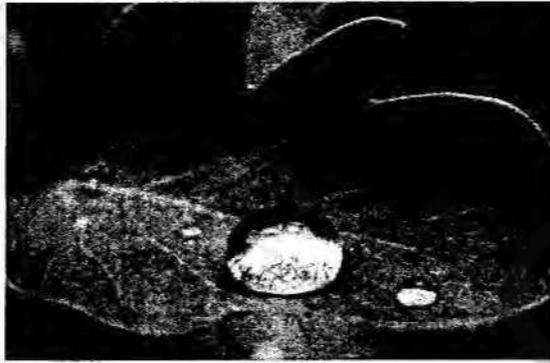
Liquide	Tension superficielle (mN/m)
Ethanol	21,97
eau	71,99
méthanol	22,07
éthylène glycol	47,99
Mercure	485,48
hexane	17,89

La tension superficielle est une force qui est formée depuis la création d'une interface qui sépare deux milieux différents. Elle est exprimée (SI) en J/m^2 et N/m ou erg/cm^2 ou encore dyn/cm . Les principales applications sont :

- Le gerris qui marche sur l'eau est une des exploitations de la tension superficielle :



- La sève qui monte dans l'arbre ;
- l'aiguille qui flotte dans l'eau ;
- Le surfactant pulmonaire : stabilisation des alvéoles (les petites alvéoles ne se vident pas et restent au sec) ;
- L'utilité du liquide vaisselle et de l'eau chaude dans une vaisselle ;
- Les bulles de savon ;
- Montée du liquide dans un papier chromatographique ;
- L'humidité qui monte le long des murs ;
- Éponge qui absorbe une encre ;
- Sucre qui absorbe du thé ou du café ;
- Liquide qui monte dans un capillaire ;
- les agents tensioactifs : Leur rôle est de diminuer la tension superficielle du liquide dans lequel on les ajoute. Il s'agit de molécules allongées et dissymétriques. Elles ont une partie hydrophile (groupe polaire ou ionique) et une partie hydrophobe (organique) ;
- Goutte sur une feuille :



Il y a plusieurs moyens pour déterminer la tension superficielle (nous citons seulement celles qui seront vues en TP):

- Par la loi de Jurin, nous pouvons calculer la tension superficielle d'un liquide placé dans un capillaire.
- Par la méthode d'arrachement, nous pouvons acquérir une valeur approchée de la tension superficielle d'un liquide.
- Par la méthode dite méthode de la goutte pendante.

Etude de quelques observations pour mettre en évidence l'existence des forces de tension superficielle :

- Forme d'une goutte ;
- Goutte qui pend sans tomber ;
- Ménisque de l'eau dans un tube à essai ;
- Trombone, aiguille qui flotte sur l'eau ;
- Poivre et goutte de détergent ;
- Fils de coton dans un anneau trempé dans une eau savonneuse.
- Bulle de savon :

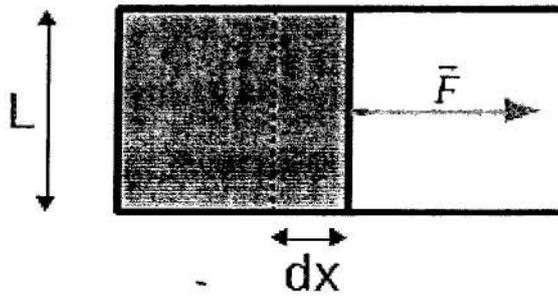


Définition

La tension superficielle est définie à partir de la force d'intensité dF agissant sur un élément de longueur dl du « film mince » de la surface de séparation liquide-gaz telle que :

$$dF = \gamma \cdot dl$$

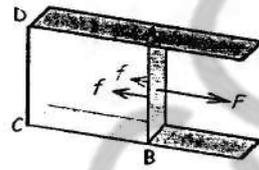
Supposons que l'on prenne un récipient contenant un fluide, à sa surface, on dispose un cadre rectangulaire composé de trois parois fixes et d'une mobile (Fig. 2). On applique ensuite une force tangentielle F à la surface pour augmenter la surface délimitée par le cadre. On constate que pour un fluide donné l'intensité de la force est directement proportionnelle à la longueur L .



$$F = \gamma \cdot L$$

Figure 2

$$F = 2\gamma L$$

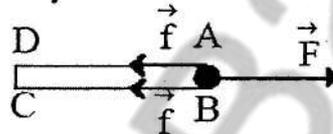


$$F = 2\gamma L$$

L'intensité de cette force peut donc s'écrire :

$$F = 2\gamma L$$

Le coefficient 2 est lié au fait que l'interface a deux cotés. γ est la tension superficielle, elle s'exprime en N/m et ne dépend que du fluide considéré. La mesure de cette force est donc un premier moyen de détermination de γ .



Remarque : Dans de nombreux cas (lames minces, anneaux, cylindres...), on sera amené à en considérer deux faces. La valeur de la force est donc $2\gamma l$ (voir plus bas l'exemple de l'anneau).

1. Mesure de la tension de surface par la méthode de l'anneau (méthode d'arrachement) : voir matériel en démonstration et video.

La méthode est dite de l'anneau (Fig. 3) ; un anneau de platine de rayon R accroché à un dynamomètre est immergé dans un liquide qui le mouille parfaitement. La mesure de la force que l'on doit vaincre pour sortir l'anneau du liquide nous permet de mesurer la tension d'interface liquide/air.

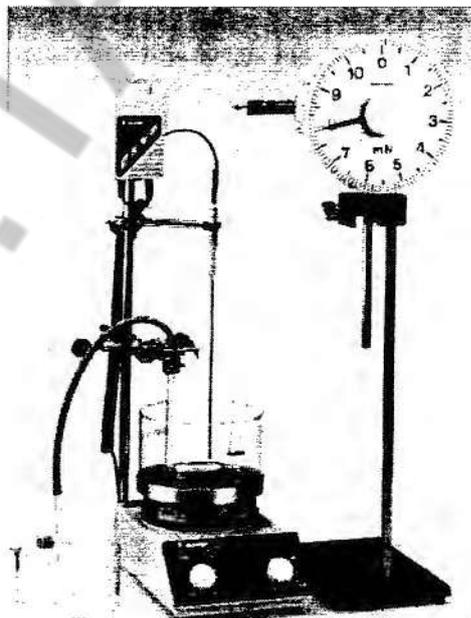


Figure 3

a. Principe de la mesure :

Dans cette méthode, on mesure la force nécessaire pour arracher un cylindre creux placé sur la surface d'un liquide. Si on exerce sur le cylindre une force verticale ascendante F' , il tend à se soulever. Il lève alors une certaine quantité d'eau qui dépend de sa forme et de sa nature ainsi que de la masse volumique et de la tension superficielle du liquide.

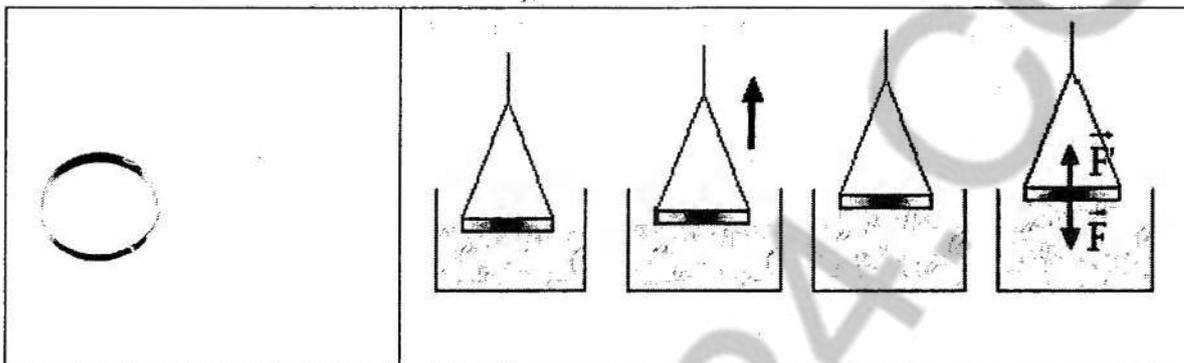


Figure 4

La résultante des forces de tension superficielle F (= périmètre(s) multiplié par γ) a pour valeur, pour un cylindre creux :

$$(2 \pi R1 + 2 \pi R2) \gamma = F$$

$R1$: rayon intérieur de l'anneau ; $R2$: rayon extérieur de l'anneau.

A l'équilibre qui précède l'arrachement, on a : La force F' exercée sur le cylindre pour le soulever (lue dans le cadran) est égale à la force de la force de tension superficielle F (qui le retient). (Le cylindre doit effleurer l'eau au moment de la mesure pour annuler la poussée d'Archimède.)

$$\gamma = \frac{F}{2 \pi R1 + 2 \pi R2}$$

Nettoyage :

- La propreté de la verrerie et de l'anneau est de la plus grande importance.
- Rincer le récipient à l'éthanol, à l'eau du robinet puis pour terminer à l'eau distillée.
- Ce nettoyage doit être effectué entre chaque mesure.

b. Mode opératoire :

- Accrocher l'anneau propre à l'extrémité inférieure du dynamomètre et fixer le manchon mobile face au zéro (anneau mouillé dans l'air)
- Remplir de liquide à analyser le cristallisoir fourni et placer le sur le support d'échantillon élévateur et suspendre le dynamomètre au-dessus du liquide.
- Monter le support d'échantillon au moyen de la vis, jusqu'à ce que l'anneau soit immergé dans le liquide d'environ 5 mm et au centre du récipient.
- Remonter le liquide jusqu'à ce que sa surface touche l'anneau qui plonge alors dans le liquide. Redescendre ensuite le plus régulièrement et lentement possible le liquide à l'aide du plateau jusqu'à la limite de l'arrachement. Notez la nouvelle force F affichée par le dynamomètre.
- Important : relever la valeur d'arrachement sur le dynamomètre, au moment où l'anneau se détache du liquide). La valeur lue représente le coefficient apparent de la tension superficielle de l'eau (du liquide).
- Effectuer les mesures d'arrachements pour 5 ou 6 fois dans chaque cas, la valeur de la

force d'arrachement F (en mN) :

- En déduire la constante de la tension superficielle γ de l'eau (Mesurer la température de l'eau).
- Effectuez des mesures de la constante de la tension superficielle γ de l'éthanol dans l'eau à différent %.

Résultats de la démonstration :

- Donner la valeur de tension superficielle pour l'eau et pour l'éthanol.
- Donner votre conclusion.

2. La méthode de l'ascension capillaire : Loi de Jurin

a. Loi de Laplace, mouillabilité

Si les attractions entre les molécules d'un liquide et un solide sont plus grandes que les attractions entre les molécules du liquide, on dit que le liquide « mouille » le solide. Dans ce cas, le liquide, lorsqu'il est mis en contact avec ce solide, cherche à augmenter la surface de contact entre lui et le solide. C'est ce qui explique la formation d'un ménisque dans un tube de verre, par exemple une burette ou un tube à essai contenant de l'eau.

Dans le cas où l'interface est courbée, il y a une différence de pression entre les pressions des différents milieux. Par exemple, dans un tube à essai, si une interface courbée se forme après avoir rajouter de l'eau, alors la pression de l'eau sera différente de celle de l'air (c'est à dire la pression atmosphérique). Par observation de la courbe du ménisque de l'interface, on peut intuitivement déduire laquelle des deux pressions est plus élevée que l'autre (ou le contraire). En effet, en reprenant notre exemple, si l'eau a une interface bombée vers le haut, alors la pression de l'eau est plus élevée que la pression atmosphérique. Au contraire, si l'eau a une interface courbée vers le bas comme une selle de cheval, alors ce sera la pression atmosphérique qui sera plus élevée.

La loi de Laplace établit une relation entre la différence de pression et la tension superficielle. Elle est énoncée ci-dessous :

A la traversée de la surface de séparation de deux fluides, la pression subit un accroissement, de la face convexe vers la face concave, égal à la tension superficielle de l'interface multipliée par la courbure moyenne :

$$\Delta P = P_i - P_e = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- P_i : pression du côté concave du ménisque ;
- P_e : pression du côté convexe du ménisque ;
- γ : la tension superficielle du liquide ;
- R : le rayon du tube capillaire.

La mouillabilité permet de décrire comment un liquide arrive à s'étaler en présence d'un autre liquide sur un solide. L'étalement du liquide dépend des milieux où se situe le solide. Un liquide posé sur un solide forme un angle qui varie selon l'étalement. L'angle de contact entre le liquide et le solide se nomme l'angle de mouillage. Cet angle de mouillage dépend de la tension superficielle.

b. Loi de Jurin : principe théorique

Si l'on plonge un capillaire (un tube dont le rayon intérieur est très petit) dans un liquide, il se formera donc un ménisque à l'intérieur de ce capillaire (Figure 5). Or, la formation de ce ménisque implique que la pression du liquide sous la surface du ménisque est inférieure à la

pression ailleurs dans le liquide. Il en résulte que le liquide monte (h) à l'intérieur du capillaire jusqu'à ce que la masse de liquide qui s'est élevé compense exactement la différence de pression. C'est la loi de Jurin :

$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos\theta}{\rho g r}$$

- h : hauteur de l'ascension capillaire ($\theta < \frac{\pi}{2}$) ou dépression capillaire ($\theta > \frac{\pi}{2}$);
- γ : coefficient de la Tension Superficielle ;
- θ : angle de mouillage ;
- ρ : masse volumique du liquide ;
- g : accélération de la pesanteur ;
- r : rayon du capillaire.

Notes :

- Si le liquide mouille parfaitement (Figure 5), $\cos\theta = 1$, alors

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r}$$

donc

$$\gamma = \frac{h\rho g r}{2}$$

- On note aussi que plus le rayon du capillaire est petit plus l'ascension capillaire est importante (Figure 5).

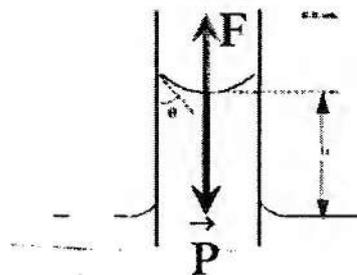
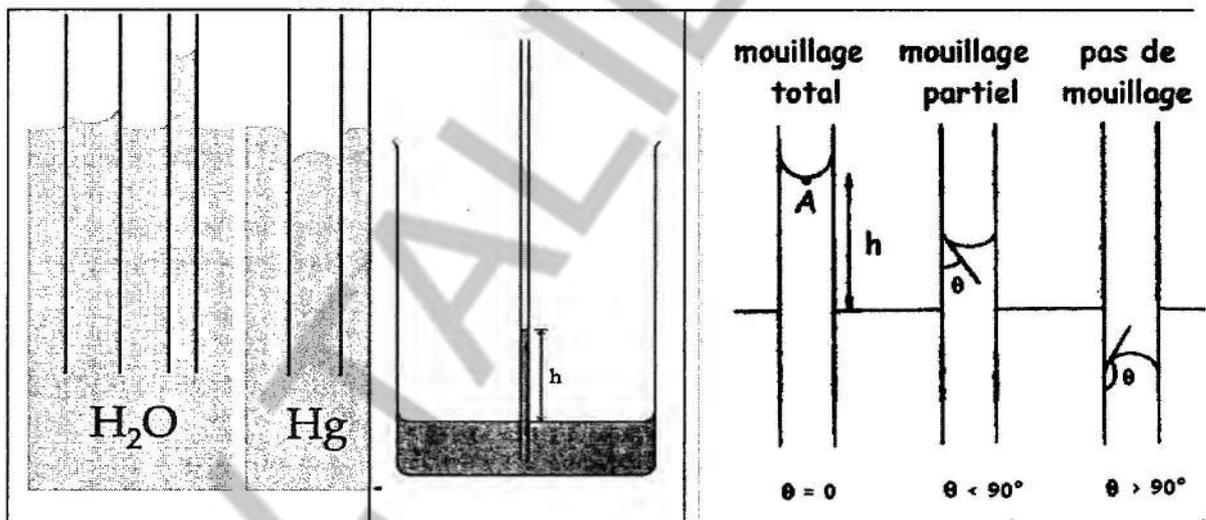


Figure 5

Bilan des forces :

L'ascension capillaire est due aux forces superficielles appliquées en tout point du contour du ménisque. La résultante F de ces forces équilibre le poids P du liquide soulevé. L'élévation du liquide dans le tube compense la différence de pression entre les deux côtés de la paroi. (Loi de Laplace). La force s'exerçant sur la ligne de raccordement entre le liquide et la paroi du tube qui entraîne le liquide vers le haut dépend de la tension superficielle, elle est égale à :

$$F = 2\pi r \gamma \cos \theta$$

où r est le rayon interne du capillaire (Fig. 5). À l'équilibre, elle est égale à la force gravitationnelle qui s'applique sur l'eau qui est montée dans le capillaire :

$$P = mg$$

Comme le capillaire est cylindrique et le volume d'un cylindre est donné par $V = \pi r^2 h$, la masse de l'eau qu'il contient est égale à $\pi r^2 h \rho$. On peut donc écrire :

$$2\pi r \gamma \cos \theta = \pi r^2 h \rho g$$

$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos \theta}{\rho g r}$$

pour $\cos \theta = 1$,

$$\gamma = \frac{1}{2} r h \rho g$$

On retrouve la loi de Jurin pour un liquide qui mouille parfaitement ($\cos \theta = 1$, c'est le cas de l'eau) :

γ : tension superficielle (dyn/cm, mN/m)

h : hauteur de l'ascension du liquide dans le capillaire (cm)

r : rayon interne du capillaire (cm)

ρ : masse volumique du liquide (g/cm^3)

g : accélération gravitationnelle (981 cm/s^2)

$$(1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/ml})$$

NB : Un capillaire étant par définition très étroit, il serait trop imprécis de déterminer son rayon interne en le mesurant directement. À la place, on y introduira de l'eau distillée et on mesurera la longueur de la partie du capillaire qui contient de l'eau de même que la masse de cette quantité d'eau. Connaissant la masse volumique de celle-ci, on calculera le volume d'eau contenue dans le capillaire. On se servira ensuite de la formule du volume d'un cylindre pour isoler r . (On peut déterminer r indépendamment de l'expérience de la TS : Faites monter l'eau dans le capillaire 4 à 5 cm, mesurer la hauteur avec précision et déterminer la masse)

b. Les liquides utilisés : - (Eau + bleu de méthylène) et Méthanol

Remarque :

- Dans cette expérience, nous déterminerons la tension superficielle de l'eau et du méthanol (CH_3OH), dont les valeurs acceptées sont présentées dans le tableau 1. **Les masses volumiques sont nécessaires aux calculs.**
- Le bleu de méthylène (BM) permet de mieux voir la montée de l'eau ;
- On utilisera le même capillaire ou pipette pasteur pour chacun des liquides étudiés dans cette expérience.

c. Procédures :

1. Verser environ 10 ml d'eau distillée dans une éprouvette propre et sèche.
2. Fixer cette éprouvette à l'aide d'une pince plate (Eviter la casse !!).
3. Descendre lentement la capillaire ou une pipette pasteur dans l'eau. Mesurer la hauteur de l'ascension de l'eau dans le capillaire (la pipette pasteur) (la valeur de h dans la figure 5) et inscrire cette valeur dans le tableau 2. Pour obtenir une lecture valable pour « h », il faut introduire la pipette pasteur au fond de l'éprouvette et la remonter lentement jusqu'à ce que l'extrémité de la pipette (capillaire) soit proche du niveau du liquide dans l'éprouvette. Ceci a pour effet de rendre la valeur de « h » reproductible. On doit répéter l'opération plusieurs fois pour être certain de noter une valeur reproductible (au moins trois fois et faites une moyenne).
4. Retirer le capillaire ; un peu d'eau restera dans le capillaire.
5. Mesurer la hauteur de la colonne d'eau contenue dans le capillaire, une fois celui-ci sorti de l'eau.

Hauteur de la colonne d'eau : h : _____

6. Tarer une balance avec un verre de montre propre et sec.
7. À l'aide d'une poire, vider complètement le contenu du capillaire (ou la pipette pasteur) dans le verre de montre. Noter la masse de l'eau.

Masse de l'eau contenue dans le capillaire : m : _____

8. Mesurer la température de l'eau dans le bécher de 50 ml : T° : _____
9. Masse volumique de l'eau à cette température : $\rho_e =$ _____
10. Masse volumique du méthanol à cette température : ρ_{meth} : _____ valeur de référence : $\rho_{meth} = 0,7810$;
11. Rayon du capillaire (ou rayon de la pipette pasteur) r : _____ (A déterminer à partir du volume d'eau dans la capillaire : $V = \pi r^2 h$)
12. Faites 5 (cinq) mesures pour chaque liquides et reporter la moyenne \pm Ecart type

Tableau 2 : Mesures de l'ascension capillaire

Liquide	Hauteur de l'ascension du liquide h (cm)		Masse de l'eau contenue dans le capillaire m (g)		masse volumique du liquide ρ (g/cm ³)	$\gamma = \frac{1}{2} r h \rho g$ (dyn/cm = mN/m)
Eau + BM (Bleu de Méthylène)		1,4		0,01		
		1,8		0,01		
		1,1		0,009		
méthanol						

3. Mesure de la tension de surface par la méthode du stalagmomètre

a. Principe de la méthode du volume de la goutte tombante

Lorsqu'un robinet n'est pas complètement fermé, il se forme des gouttes à son extrémité. L'eau ne s'écoule pas en continu : chaque goutte doit d'abord atteindre une certaine taille avant de se détacher du robinet et tomber. Il en est ainsi à cause de la tension superficielle. En effet, pour se détacher du robinet, la goutte doit se déformer d'une manière telle que sa surface augmente. Comme l'eau résiste à l'augmentation de sa surface, la goutte ne tombera que si elle a atteint une masse assez grande pour vaincre la tension superficielle. C'est donc dire que la taille maximale d'une goutte d'eau dépend de la valeur de la tension superficielle de l'eau.

On peut tirer profit de ce phénomène pour déterminer expérimentalement la tension superficielle d'un liquide. La technique consiste à laisser s'écouler, goutte à goutte et lentement, un volume connu du liquide étudié et de dénombrer les gouttes formées. En mesurant le volume de liquide qui s'est écoulé et le nombre des gouttes formées, on peut calculer le volume d'une goutte. Celui-ci dépend par ailleurs du rayon extérieur de l'orifice d'où s'écoule le liquide (voir fig. 6). L'instrument utilisé doit donc comporter une extrémité de forme cylindrique dont le rayon extérieur est facilement mesurable.

En faisant s'écouler lentement un liquide mouillant d'un tube capillaire vertical, on obtient des gouttes de masse m suivant le scénario suivant. La goutte grossit en prenant successivement les diverses formes représentées sur la figure 6 : il se forme un étranglement, puis la goutte se rompt à l'étranglement et tombe en laissant adhérer au compte-gouttes un ménisque de la forme représentée sur la figure 6-5.

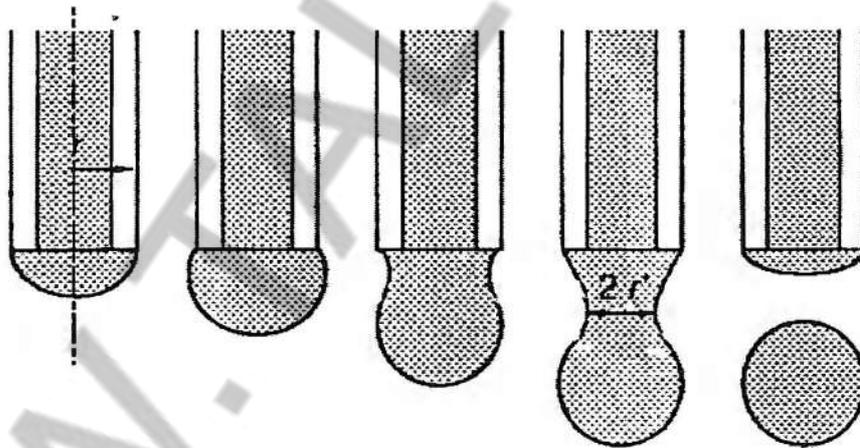


Figure 6. Formation d'une goutte à l'extrémité d'un cylindre

Le problème est ici en fait un problème dynamique, qui dépend de l'écoulement du liquide et par conséquent de sa viscosité. On ne peut obtenir des gouttes de masse constante bien définie qu'en opérant lentement pour rester toujours très près des conditions d'un équilibre statique : la durée de formation d'une goutte doit être ainsi de l'ordre d'une dizaine de secondes au moins (si la goutte se forme trop rapidement, son poids est plus grand).

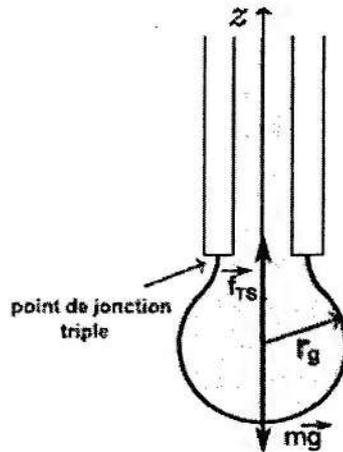


Figure 7 : Goutte en équilibre

Pour chaque goutte, on peut dire que juste avant la chute de la goutte la force F due à la tension superficielle est égale au poids P de la goutte :

$$2\pi r\gamma = mg$$

$$2\pi r\gamma = \rho Vg$$

Cette loi, qui exprime la proportionnalité de la masse m d'une goutte avec la tension superficielle γ du liquide et avec le rayon r du tube, est connue sous le nom de "loi de Tate".

En pratique, il faut appliquer un facteur géométrique de correction, F_d , qui tient compte du fait que la goutte laisse une fraction de liquide sur le tube capillaire en se détachant :

Pour simplifier, la tension superficielle sera calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\gamma = \frac{mg}{r} \times F_d$$

- où :
- γ : tension superficielle (dyn/cm)
 - m : masse de la goutte (g)
 - g : accélération gravitationnelle (981 cm/s²)
 - r : rayon extérieur de l'extrémité de l'instrument où se forme la goutte (cm)
 - F_d : fonction empirique (sans unité)

La masse de la goutte sera calculée à l'aide de la masse volumique du liquide étudié et du volume d'une goutte. Par ailleurs, F_d est une fonction déterminée empiriquement de V/r^3 (le volume d'une goutte (en cm³) divisé par le rayon en cm au cube). Pour obtenir de meilleurs résultats, il est préférable que le rapport V/r^3 soit une valeur située entre 1 et 3. L'instrument qui contiendra le liquide doit donc être choisi en conséquence. Dans cette expérience, on utilisera une pipette graduée inversée de 2 ml. Pour chaque liquide, on choisira la valeur de F_d correspondant à la valeur de V/r^3 la plus proche de celle obtenue expérimentalement. Le tableau 3 présente des valeurs de F_d .

Tableau 3. Valeurs empiriques de F_d

V/r^3 (s.u.)	F_d (s.u.)
2,995	0,261
2,637	0,262
2,341	0,264
2,093	0,265
1,706	0,266
1,424	0,265
1,211	0,264
1,124	0,263
1,048	0,262

b. Procédures

- À l'aide d'un pied à coulisse (voir fig. 4), mesurer le diamètre extérieur de l'extrémité supérieure (l'extrémité la plus large) d'une pipette de 2 ml graduée au 0,01 ml.

Diamètre de l'extrémité supérieure de la pipette de 2 ml : _____

- Insérer la pointe de cette pipette dans un tube de PCV (polychlorure de vinyle) long de 10 cm environ. Saisir le tube de PCV avec une pince de serrage.
- Réaliser le montage illustré à la figure 7 : fixer à l'envers cette pipette à la même pince que précédemment ; abaisser la pipette dans le bécher de 50 ml.

La pipette est placée à l'envers pour que l'orifice de la sortie du liquide ait un diamètre approprié

- À l'aide d'une seringue, faire monter l'eau dans la pipette jusqu'à la graduation 1,9 ml environ. Noter au tableau 4 le volume initial.

Cette manipulation est délicate. Il faut desserrer la pince avec beaucoup de précaution pour éviter que le liquide ne s'écoule trop rapidement. Il est cependant facile de recommencer aussi souvent que nécessaire pour l'obtention d'un essai satisfaisant. Il faut avoir une goutte dans une dizaine de secondes.

- En desserrant très légèrement la pince, laisser le liquide s'écouler lentement, à un rythme d'une goutte par quelques secondes ; compter les gouttes et arrêter l'écoulement lorsque le niveau de liquide s'approche de la graduation 0 sur la pipette. Noter le volume final et le nombre de gouttes dans le tableau 4.

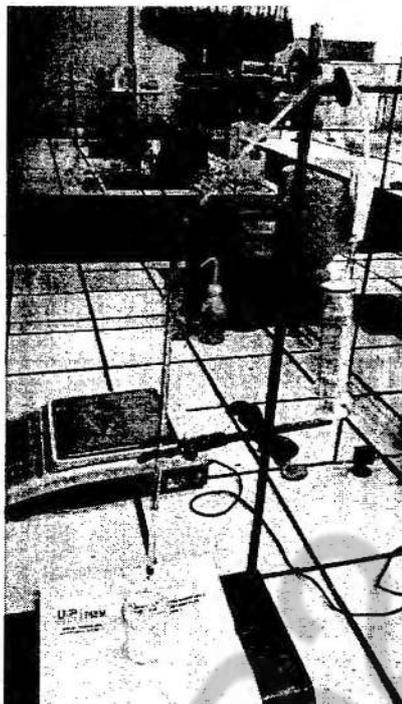


Figure 5. Montage de la méthode du stalagmomètre

Tableau 4. Mesures du volume des gouttes

Liquide	V initial	V final	Nombre de gouttes	Volume d'une goutte	F_d	γ
—	ml	ml	s.u.	cm ³	s.u.	Dyn/cm (mN/m)
eau						
méthanol						

1. Quelles sont les forces en équilibre juste avant la chute de la goutte ?
2. Au moyen d'une analyse dimensionnelle, montrer que l'on peut assimiler γ à une énergie de surface et à une force par unité de longueur.
3. Quelle est l'origine de l'existence de γ ?
4. Donner les tableaux des résultats et comparer γ pour les différents liquides étudiés ;
5. Donner une conclusion de ce travail.

TP 2 – Viscosimétrie

TP Mesure de viscosité Chute verticale d'une bille dans un liquide visqueux

Préparation du TP

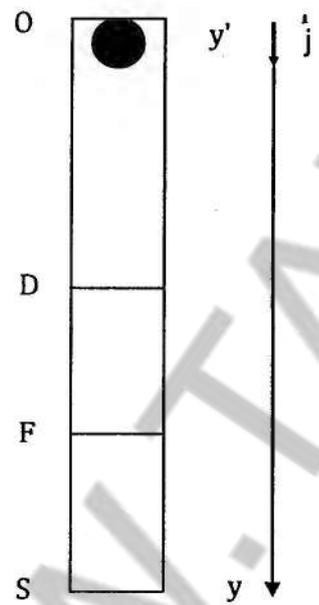
Répondre aux questions suivantes sur une feuille séparée, portant votre nom, votre prénom et le groupe TP (A remettre au début de la séance) :

Expérience et données:

On réalise l'expérience suivante :

Un long tube OS , fermé aux deux extrémités, contient du glycérol de viscosité η et une bille en acier.

Le tube est retourné à l'instant $t = 0$, la bille se trouve alors en haut du tube sans vitesse initiale puis elle tombe verticalement dans le glycérol.

	<p>Données accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$</p> <p>Tube : hauteur : $d = OS = 50 \text{ cm}$ deux traits horizontaux ont été tracés en D et F.</p> <p>Bille : masse volumique de l'acier : $\rho_s = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ rayon de la bille = 1 mm volume de la bille V</p> <p>Glycérol : masse volumique : $\rho_{gly} = 1260 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ la viscosité η s'exprime en $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (pascal \times seconde).</p>
--	---

L'étude est effectuée dans le référentiel de laboratoire supposé galiléen.

L'axe pour l'étude est l'axe $y'y$ vertical orienté vers le bas sur le schéma ci-dessus, de vecteur unitaire \vec{j} .

1. Les forces

1.1. Donner l'expression vectorielle du poids de la bille \vec{P} en fonction de ρ_s , V , g

et \vec{j} (1 point)

1.2. Donner l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède \vec{F}_A s'exerçant sur la bille en fonction de ρ_{gly} , V , g et \vec{j} (1 points)

1.3. L'intensité de la force de frottement, donnée par la loi de Stokes, a pour expression $f = k\eta Rv$; v est la valeur de la vitesse de chute de la bille, et k une constante sans dimension.

Donner l'expression vectorielle de la force de frottement \vec{f} . (1 point)

1.4. Représenter ces forces sur un schéma sans souci d'échelle. (2 points)

2. Détermination de la viscosité du glycérol, principe du viscosimètre

Au cours de la chute, la bille atteint très rapidement sa vitesse limite, notée v_{lim} . Lorsque la bille passe devant le trait D et au-delà, sa vitesse est constante. La durée de chute t_{ch} de la bille, entre les deux traits D et F qui sont distants d'une hauteur L , est mesurée.

2.1. Exprimer la vitesse de chute limite v_{lim} en fonction de t_{ch} et L . (1 point)

2.2. Écrire la relation vectorielle entre les forces s'exerçant sur la bille lorsqu'elle se trouve entre les deux traits D et F. Justifier la réponse. (2 points)

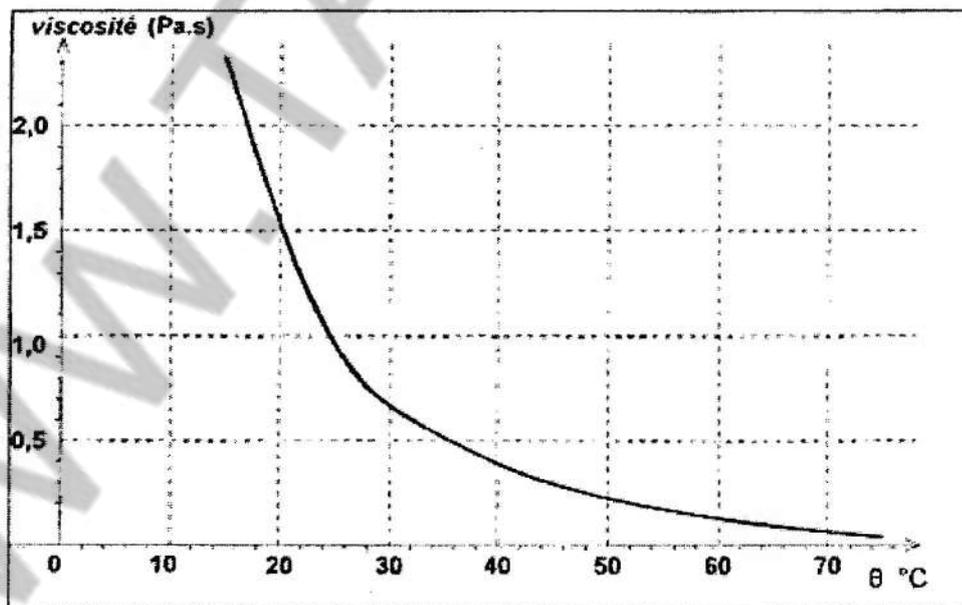
2.3. En déduire l'expression de la viscosité du glycérol η . (3 points)

2.4. Calculer la valeur de η , sachant que $L = 245$ mm et $t_{ch} = 25,6$ s. (3 points)

2.4. La courbe représentant la viscosité du glycérol en fonction de la température est donnée ci-dessous.

Déterminer graphiquement la température à laquelle l'expérience a été réalisée. (1 point)

Courbe représentant la viscosité du glycérol en fonction de la température



1. Objectifs

On se propose de déterminer le coefficient de viscosité η de la glycérine (et /ou d'un champoing). Pour cela nous mesurerons les vitesses limites atteintes par des billes en aciers de diamètres différents lors de leur chute dans le fluide. L'écoulement étant supposé laminaire, nous appliquerons la loi de Stokes qui donne accès au coefficient de viscosité du fluide connaissant la vitesse limite, le diamètre et la masse volumique de la bille ainsi que celle du fluide.

On s'intéressera dans notre étude aux seuls fluides (réels) newtoniens, et plus particulièrement aux liquides. Les fluides newtoniens reposent sur les hypothèses suivantes :

- Les propriétés du fluide sont identiques pour tous les observateurs, quels que soient les systèmes d'axes qui les transportent ;
- Le fluide est entièrement dénué d'élasticité (il n'a donc aucune "mémoire" du passé) ;
- Le fluide est homogène ;
- Le fluide est isotrope (il a les mêmes propriétés dans toutes les directions) ;
- Les contraintes sont des fonctions linéaires des taux de déformation.

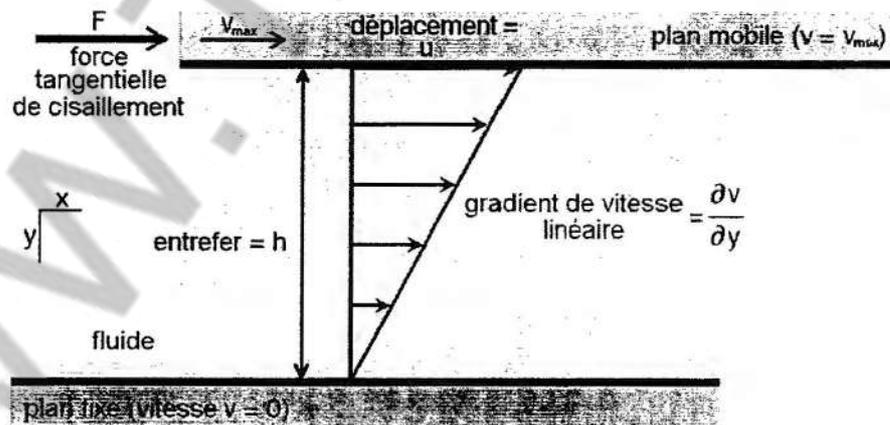
L'expérience sera réalisée sur le champoing et/ou la glycérine :

- a- L'utilisation d'un chronomètre pour mesurer la durée de chute pour que la bille parcourt la hauteur h .

2. Principe et définitions

2.1. Viscosité dynamique

La viscosité se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse. On peut donc dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide. La force de frottement peut être figurée par l'énergie nécessaire pour déplacer un objet qui frotte sur un autre. La viscosité peut donc être considérée comme le frottement interne qui résulte du glissement d'une couche de fluide sur une autre. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.



Lorsque l'on applique un taux de cisaillement constant dans le temps (= gradient de vitesse), de nombreux fluides répondent avec une contrainte $\sigma = \frac{F}{S}$ (F : Force de cisaillement tangentielle) proportionnelle au taux de cisaillement $\dot{\gamma} = \frac{\partial v}{\partial y}$.

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Le coefficient η (lire « eta ») est appelé viscosité, son unité est le pascal.seconde (Pa.s). La viscosité d'un fluide est une grandeur physique qui caractérise sa résistance à l'écoulement.

NB : Par définition la *viscosité cinématique* ν (lire « nu ») est le rapport de la viscosité dynamique par la masse volumique :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

2.2 Formule de Stokes

Georges Stokes s'est intéressé à la force de frottement qu'un écoulement visqueux produit autour d'une sphère. Il s'est placé dans le cas où l'écoulement est gouverné par la viscosité. Stokes obtient qu'une sphère de rayon r , immobile, plongée dans un liquide visqueux en écoulement permanent, ressent une force de frottement, dite force de traînée :

$$F_t = 6\pi\eta r \nu$$

où :

- ν : représente la vitesse de l'écoulement par rapport à la sphère et loin de la sphère ;
- r : rayon de la sphère ;
- η : viscosité du fluide.

Cette loi est vérifiée à condition que le régime d'écoulement soit gouverné par la viscosité. Il existe un nombre qui permet de mesurer le caractère plus ou moins visqueux de l'écoulement.

2.4 Propriétés de la viscosité :

- *Fluides newtoniens* : η est constant à température et pression constantes (toutes choses égales par ailleurs) : fluides constitués de corps purs et homogènes (eau, air...) (quand la température augmente, la viscosité diminue).
- *Fluides non newtoniens* : η varie en fonction du taux de cisaillement (gradient de vitesse entre deux couches de fluide : $\frac{dv}{dy}$). Dans certains liquides composés de mélanges complexes, il y a interactions entre les constituants qui dépendent des conditions d'écoulement.

Ex. : **sang** (non newtonien) : si $\frac{dv}{dy}$ diminue, il y a formation de rouleaux d'hématies et donc augmentation de la viscosité. Cependant, si ν est élevée (gros vaisseaux), on peut considérer que η est stable.

Fluide	Température (°C)	η (Pa.s)
Air	20	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Eau	20	10^{-3}
Sang (gros vaisseaux)	37	$2 \cdot 10^{-3}$ à $5 \cdot 10^{-3}$
Glycérine	20	1,42
Glycérine	0	8

2.5 Chute d'une bille dans un liquide :

Considérons le problème de la chute d'une bille dans un fluide au repos dans le référentiel du laboratoire. Elle est soumise à trois forces :

- son poids \vec{P} qui l'entraîne vers le bas, force constante :

$$P = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_b g$$

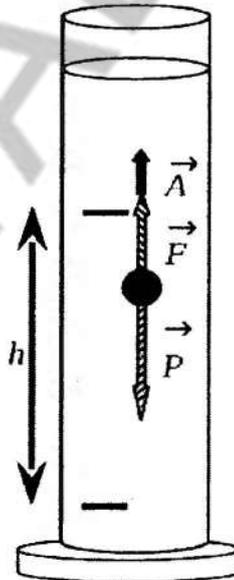
où ρ_b est la masse volumique de la bille ;

- la poussée d'Archimède \vec{F}_A : $F_A = V\rho_f g = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_f)g$, constante également, qui s'oppose à la chute, V : volume du liquide déplacé ;

- une force de frottements fluides \vec{F} , qui augmente avec la vitesse de l'objet v et qui s'oppose au mouvement : $F = 6\pi\eta r v$

où v est la vitesse de la bille. Attention cette force est opposée au vecteur vitesse. On a alors :

$$\vec{F} + \vec{F}_A + \vec{P} = m_b \vec{a}$$



Avec $a = \frac{dv}{dt}$: accélération de la bille, donc :

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_b \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_b - \rho_f)g - 6\pi\eta r v$$

Au début de la chute, le corps est sans vitesse initiale et tombe (si la poussée d'Archimède est inférieure au poids) il y a alors mouvement et apparition de la force de frottement qui augmente jusqu'à ce que la somme des trois forces s'annule :

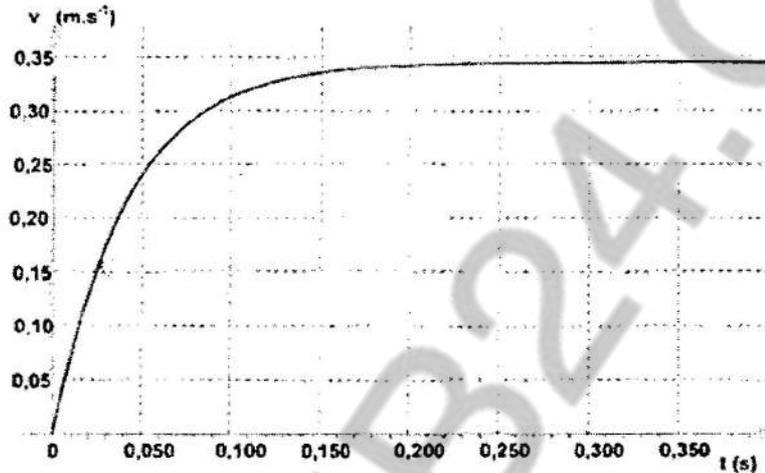


Figure 3 : Allure de la chute libre d'une bille dans de la glycérine

L'accélération est alors nulle et le corps se stabilise (chute) à vitesse constante dite vitesse limite de chute notée v_{lim} .

$$v_{lim} = \frac{2g(\rho_b - \rho_f)}{9\eta r^2}$$

Cette vitesse limite permet ainsi de remonter à la viscosité du fluide :

$$\eta = \frac{2r^2}{9v} (\rho_b - \rho_f) g$$

2.6 Régime laminaire : nombre de Reynolds et loi de Stokes

La nature de l'écoulement dépend d'un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds. Ce nombre est fonction de la vitesse limite de chute v_{lim} , d'une taille caractéristique d (diamètre) de l'objet si celui-ci est une sphère, de la masse volumique ρ_f du fluide, et de sa viscosité dynamique η . Le nombre de Reynolds Re vaut :

$$Re = \frac{v_{lim} d \rho_f}{\eta}$$

Si le nombre de Reynolds Re est faible (inférieur à 1000), l'écoulement est laminaire : ce sont les forces de viscosité qui sont prépondérantes et leur modèle est assimilé à la formule de Stokes. La force de frottements fluides est alors proportionnelle à la vitesse et au diamètre d selon la loi énoncée par Stokes.

A connaître !

- Si $Re < 2000$ → Ecoulement laminaire ;
- Si $Re > 4000$ → Ecoulement turbulent ;
- Si $2000 < Re < 4000$ → intermédiaire, mélange des 2 régimes.

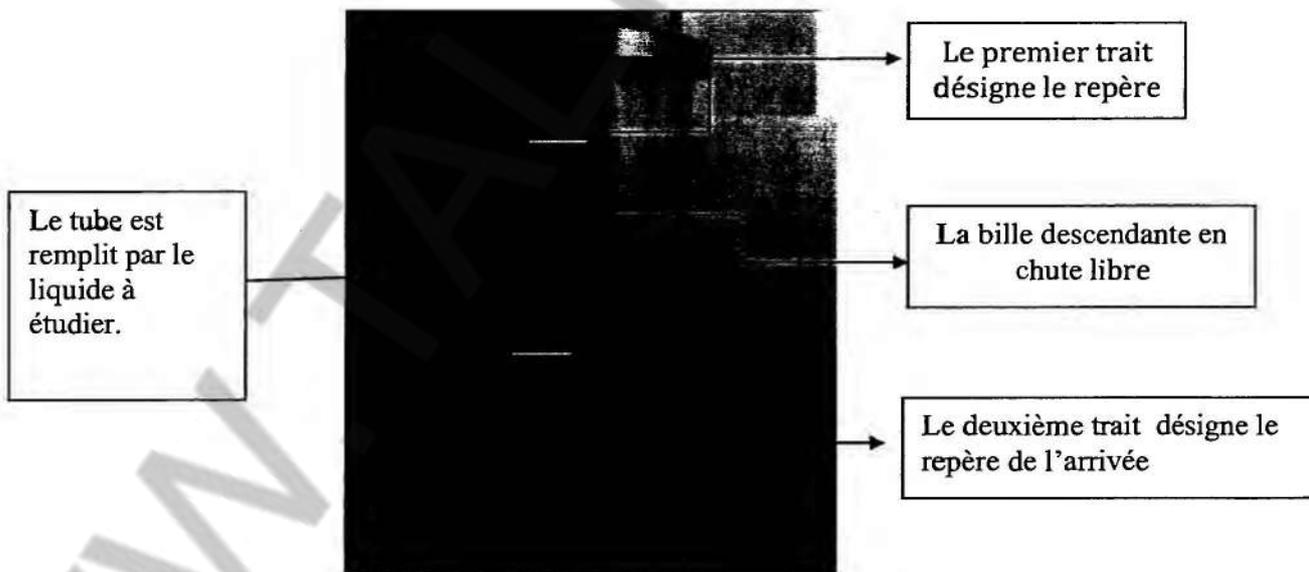
3. Manipulation

3.1. Viscosimètre à chute de bille :

Les viscosimètres à chute de bille utilisent la mesure de la vitesse limite de chute v d'une sphère de diamètre D et de masse volumique ρ_b dans un liquide de masse volumique ρ_f , suffisamment visqueux pour que cette vitesse soit faible et soit dans le domaine d'application de la loi de Stokes. En effet, la bille, tout d'abord animée d'un mouvement uniformément accéléré, est vite freinée. Quand la résistance est égale et opposée au poids, le mouvement devient rectiligne et uniforme.

Cinq mesures sont effectuées puis un temps moyen de chute est retenu. L'appareil comporte un long tube de verre vertical, rempli du liquide (pour lequel on veut mesurer la viscosité), et dans lequel on laisse tomber une bille sphérique.

Le tube est muni d'une double enveloppe transparente dans laquelle est fixé un thermomètre ; on peut ainsi réaliser des expériences à température régulée. Le tube vertical est retourné bout pour bout ; la bille se retrouvant en haut tombe à travers le liquide. Le trait repère du haut est placé de façon telle que la bille lorsqu'elle passe à son niveau a atteint sa vitesse limite de chute : son mouvement est alors rectiligne uniforme.



3.2 Partie pratique

Dans cette manipulation, nous allons mesurer la viscosité d'un champoing de commerce comme fluide et on dispose de 3 billes en acier de différents diamètres et des éprouvettes remplies de champoing :

1. Rechercher la masse volumique des 3 billes ρ_b :

- **Méthode 1 :** Vous disposez d'un pied à coulisse pour mesurer le diamètre des billes et une balance de précision pour obtenir la masse des billes. Les incertitudes seront reportées dans le tableau des résultats :

$$\rho_b = \frac{m}{V}$$

m : masse de la bille et V : volume de la bille

- **Méthode 2 Poussée d'Archimède :**
- Vous disposez d'un dynamomètre et d'un vase rempli d'eau. Pour déterminer le volume V de la bille, peser la bille (grosse bille) dans l'air m_a et ensuite dans l'eau m_e .
- Déterminez le volume de la bille en utilisant le principe de la poussée d'Archimède : « Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au **poinds** du volume de fluide déplacé ».
- **Poids apparent d'un objet :** Dans l'eau le poids d'un objet est plus faible que dans l'air puisque la poussée d'Archimède se retranche au poids réel de l'objet.
- Le volume de la bille est égal au poids du volume d'eau déplacé c'est à dire à perte de poids de la bille dans l'eau : $m_a - m_e$ (masse volumique de l'eau $\rho_e = 1 \text{ g/ml}$).

2. Rechercher la masse volumique du champoing ρ_c :

- Peser une éprouvette vide puis remplir l'éprouvette à $V_1=3$, $V_2= 4$, $V_3= 5$, $V_4=6$, $V_5=7$ (± 0.2 ou 0.3 ml (V_c). Peser chaque fois l'éprouvette + champoing pour déterminer la masse du champoing prélevé (m_c) :

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$$

3. Mesure du temps de chute (nécessaire à la détermination de la vitesse de chute) :

- Faites 5 mesures de temps de chute avec chaque bille en retournant chaque fois le dispositif $t_m \pm \Delta t$;
- Calculer la vitesse de chute :

$$v_{lim} = h/t_{chute}$$

- Mesurer la hauteur h entre les deux repaires (**aucun rapport avec la graduation, qui est volumique**) ;
- Regrouper les résultats en tableau en précisant les incertitudes.

Résultats :

Masse de l'éprouvette vide = g

	Volume (ml) ($v \pm 0.01 \text{ ml}$)	Masse fluide + masse de l'éprouvette (g)	Masse du fluide seul (g) ($m \pm 10^{-2} \text{ g}$)	Masse volumique g/cm^3
V1				
V2				
V3				
V4				
V5				

a. Masses volumiques des 3 billes 1. Utiliser un pied à coulisse pour mesurer le diamètre des billes

N° de la bille	Matière	Rayon (mm)	Volume (cm ³)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm ³)
1 (petite)	Acier				
2 (moyenne)	Acier				
3 (grande)	acier				

2. Utiliser la poussée d'Archimède pour mesurer la masse volumique des billes (Utiliser seulement la bille 3)

N° de la bille	Poids dans l'air (P _{air})	Poids dans l'eau (poids apparent)	Poids du volume d'eau déplacé	Volume de la bille	Masse volumique
3					

3.3.2. Mesure du coefficient de viscosité du champoing

a. Fluide à T = 20°C (Température de salle) Utiliser le tableau ci-dessous pour effectuer vos mesures (5 mesures par bille). Commencer les mesures au moment où la bille atteint sa vitesse limite. (graduation indiquée par l'enseignant) :

N° de la bille	Temps de chute pour chaque essai (t ± 0,01s)
1	
2	
3	

b. **Fluide à T = 40°C**

c. La viscosité dépend fortement de la température. Aussi doit-on toujours, pour conserver un sens à la mesure, préciser la température à laquelle elle a été faite. Dans un liquide, la viscosité décroît rapidement en fonction de la température suivant la loi suivante. Pour les liquides, Walther a établi une formule de type :

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^m$$

η_0 : viscosité à $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Cette mesure sera faite avec la petite bille : Mesurer le temps de chute 5 fois. Comparer avec le temps de chute de la même bille à $T = 20^\circ\text{C}$.

Travail à faire

1- Mesure du coefficient de viscosité

A l'aide des résultats trouvés expérimentalement, compléter les tableaux, calculer le coefficient de viscosité η dans chaque liquide. Donner la valeur moyenne $\bar{\eta} \pm \Delta\eta$.

2. Vérification des conditions d'écoulement laminaire

On vérifiera a posteriori que les conditions d'écoulement laminaire sont bien remplies en calculant, l'intervalle de nombres de Reynolds considérés.

3. Calculs des masses volumiques à T = 20°C et T= 40°C

Masses volumiques du champoing : ρ_c						
T= 20°C i	V_c	M_c	ρ_c	$\bar{\rho}_c = \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_c}{5}$	$\sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_c^2}{4} - \bar{\rho}_c^2$	$\bar{\rho}_c \pm \frac{\sigma_c}{\sqrt{n}} t$ n
1						
2						
3						
4						
5						
T= 40°C i	V_c	M_c	ρ_c	$\bar{\rho}_c = \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_c}{5}$	$\sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_c^2}{4} - \bar{\rho}_c^2$	$\bar{\rho}_c \pm \frac{\sigma_c}{\sqrt{n}} t$ n
1						
2						
3						
4						
5						

4. Calculs des masses volumiques des billes (voir section b ci-dessus)

5. Viscosité du champoing à T = 20°C

N° de la bille	Temps de (s)	η_i	$\bar{\eta} = \frac{\sum_{i=1}^5 \eta_i}{5}$	$\bar{\eta} \pm \frac{\sigma_\eta}{\sqrt{n}} t$
1				

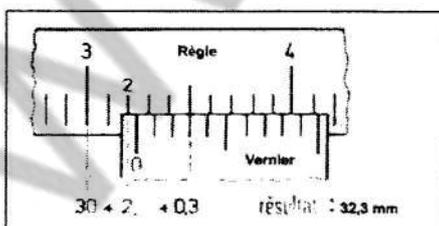
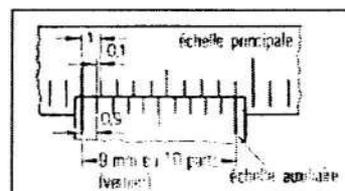
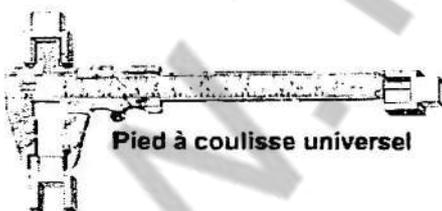
2				
3				

6. Viscosité du champoing à T = 40°C

Comparer les vitesses de chute et donner une interprétation des résultats :

Table de t

$\nu \setminus \alpha$	0.67	0.95	0.99	0.999
1	1.73	12.7	63.7	637
2	1.26	4.30	9.92	31.6
3	1.15	3.18	5.84	12.9
4	1.10	2.78	4.60	8.61
5	1.07	2.57	4.03	6.87
10	1.02	2.23	3.17	4.59
100	.972	1.98	2.63	3.39
1000	.968	1.96	2.58	3.30



Si le 0 du vernier était juste en face de la graduation 2 de la règle, la lecture serait : 32 mm (exactement)

Dans le schéma de gauche, le 0 du vernier se trouve à droite du 2 de la règle ; la mesure est donc de plus de 32 mm.

Pour avoir la mesure exacte, il suffit de regarder quelle graduation du vernier se trouve exactement en face d'une graduation de la règle, ici, c'est la graduation 3.

La mesure exacte est donc de 32,3 mm

$$30 + 2 + 0,3 = 32,3 \text{ mm}$$

TP 3 – Diffusion et Osmose

Evaluation de coefficient de diffusion dans un liquide Etude de l'osmose du globule rouge du rat

Pourquoi l'étude de la diffusion ?

C'est un moyen d'échange des molécules :

- au sein d'un même compartiment ;
- d'un compartiment à l'autre à travers une membrane.

C'est un mode de transport passif, lié à l'agitation moléculaire (thermique) au même titre que des autres types de transports (facilité ou actif). C'est aussi un phénomène perturbateur du "rangement moléculaire" (l'entropie).

Diffusion d'un soluté dans un solvant liquide

Elle intervient constamment : diffusion des métabolites, des macromolécules d'un compartiment liquidien (intra- ou extra-cellulaire) à un autre, d'une cellule à une autre, à l'intérieur du cytoplasme. Elle est à la base de techniques physico-chimiques : chromatographie, électrophorèse, ultracentrifugation à l'équilibre.

L'expérience montre que la répartition d'un soluté, introduit dans un solvant, tend à devenir homogène. Il y a donc transport de soluté depuis la région où il a été déposé jusqu'aux régions où il n'était pas distribué, donc des régions les plus concentrées vers les régions les moins concentrées, de façon à réaliser une égalité des concentrations. Cette évolution est irréversible.

Description de l'expérience

Le but de cette expérience est d'évaluer le coefficient de diffusion dans un liquide. Pour cela, on va déposer une goutte de solution de colorant dans l'eau puis mesurer le temps mis par le front de ce colorant pour diffuser à une certaine distance.

Partie théorique

La diffusion de matière est régie par les lois de la thermodynamique. Celles-ci prédisent qu'un système donné va tendre à avoir une concentration homogène de ses constituants afin de maximiser son entropie (désordre). Donc si un des constituants du système présente un gradient de concentration, il donnera par unité de surface lieu à un flux, proportionnel au gradient, tendant à rendre la concentration homogène. On a donc pour la densité du flux, J ,

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} \right) \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \right]$$

Où D représente le coefficient de diffusion [m^2/s]

En un temps dt , la quantité de matière traversant une section unitaire S est :

$$dg = D \cdot S \frac{\Delta c}{x} dt$$

Le front de colorant va alors avancer, nécessitant une diffusion de colorant proportionnelle à l'augmentation de volume de la tache, de sorte que

$$dg = a \cdot dV$$

Où dV représente l'augmentation de volume coloré et a la concentration du colorant. En égalant ces deux dernières équations, on obtient :

$$S \cdot D \frac{\Delta c}{x} dt = a \cdot dV$$

En divisant les 2 membres de l'équation par S , on obtient : avec $\frac{a \cdot dV}{S} = a \cdot dx$

et finalement
$$x \cdot dx = \frac{D \Delta c}{a} dt$$

En intégrant, on obtient

$$\frac{1}{2} x^2 = \frac{D \Delta c}{a} t$$

On peut définir un coefficient de diffusion apparent $D_{app} = \frac{2D \Delta c}{a}$

On a alors

$$x^2 = D_{app} t$$

Cette équation permet de trouver le coefficient de diffusion apparent en connaissant la position du front en fonction du temps.

Matériel nécessaire :

- 2 colorants numérotés 1 et 2
- 2 boîtes de Petri
- Deux pipettes
- Une feuille avec des cercles concentriques espacés de 0.5 cm
- Un chronomètre

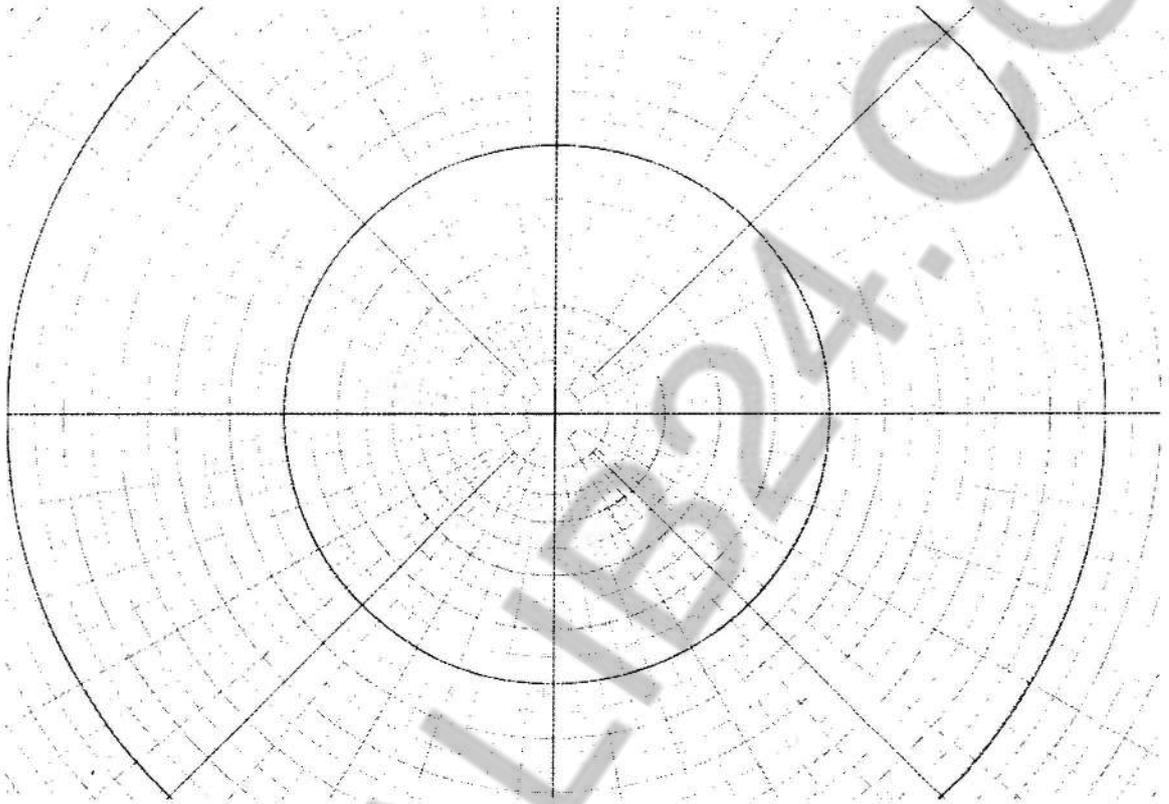
Mode opératoire

- Mettre 20 ml d'eau déminéralisée dans une boîte de Petri et la déposer au centre de la feuille où sont dessinés les cercles.
- Prélever du colorant n°1 à l'aide d'une pipette, essuyer l'extrémité sur un morceau de papier et injecter délicatement sous la surface de l'eau, au centre des cercles dans une boîte de Petri. La quantité de colorant injectée doit représenter environ les trois-quarts de la surface du premier cercle. Retirer délicatement la pipette. Placer le couvercle sur la boîte de Petri. Le colorant commence à diffuser dans l'eau. Dès que le front de couleur passe le premier cercle, enclencher le chronomètre, puis relever le temps mis par le front pour atteindre chacun des cercles suivants.
- Renouveler l'expérience avec cette fois le colorant n°2 dans la seconde boîte de Petri.

Rapport

Tracer un graphe du carré de la position du front par rapport au temps et calculer le coefficient de diffusion apparent. Que conclure sur les deux colorants ?

Papier centimétrique



OSMOSE

Définitions

Pression osmotique

La pression osmotique est la pression exercée par les particules en solution, et responsable de l'osmose.

Osmose

Mouvement d'eau à travers une membrane semi-perméable, du compartiment le moins concentré en particules en solution vers le compartiment le plus en particules en solution.

Osmolarité

L'osmolarité d'une solution est le nombre de moles de particules en solution dans 1 litre de solution. 1 osmole (osm) correspond à une mole de particules.

Molarité et molalité

La molarité est la concentration exprimée en moles par litre de solution. Une solution qui contient une mole par litre est une solution molaire. La molalité est la concentration exprimée en moles par kg d'eau. Une solution qui contient une mole par kg d'eau est une solution molale.

Osmolarité et osmolalité

L'osmolarité d'une solution est le nombre de moles de particules en solution dans 1 litre de solution. L'osmolalité est le nombre de moles de particules en solution dans 1 kg d'eau.

Rappels :

Des substances sont continuellement échangées entre les organismes vivants et leur environnement. Au niveau cellulaire, ces échanges dépendent de plusieurs propriétés de la membrane plasmique appelées perméabilité membranaire. La perméabilité membranaire dépend des propriétés de la surface membranaire et de forces motrices. La perméabilité de la membrane des cellules peut différer selon les substances et peut être modifiée selon les conditions physiologiques ou environnementales. Les forces motrices sont des forces physiques qui dépendent de la concentration d'une substance de part et d'autre de la membrane cellulaire et du potentiel électrique de la cellule. La présence de solutés non diffusibles d'un côté ou de l'autre de la membrane va créer un déséquilibre de concentration qui sera compensé par des mouvements d'eau, l'eau traversant librement la membrane plasmique.

Selon le principe de la diffusion, si un soluté est capable de franchir la membrane plasmique, il équilibrera ses concentrations de part et d'autre de la membrane. Pour observer un phénomène de diffusion du solvant (ou Osmose), il faut qu'il y ait au moins un soluté non diffusible en présence. L'osmose se produira lorsque l'osmolarité en solutés osmotiquement actifs est différente dans les deux compartiments. Le compartiment possédant la plus forte osmolarité en solutés non diffusibles est appelé le compartiment hypertonique, celui qui contient la plus faible osmolarité en espèces non diffusibles est le compartiment hypotonique. L'eau se déplacera toujours du compartiment hypotonique vers le compartiment hypertonique. Si aucune autre force ou pression n'entre en jeu, le mouvement net d'eau

s'arrêtera lorsque les deux compartiments deviennent isotoniques. La tonicité d'une solution est **toujours une valeur relative**, elle compare deux solutions l'une par rapport à l'autre et surtout, elle dépend des propriétés de perméabilité de la membrane qui sépare ces deux solutions.

Soit une membrane perméable au solvant (l'eau) et séparant deux compartiments dont l'un contient de l'eau pure et l'autre un soluté (NaCl) en solution aqueuse. L'eau peut traverser librement cette membrane et n'exerce donc pas de pression sur elle, ou exerce la même pression de part et d'autre de la membrane. La pression exercée par le soluté sur la membrane va dépendre de la perméabilité de la membrane au soluté considéré. Si la membrane est complètement imperméable au soluté, les molécules de soluté rebondissent sur la membrane en exerçant une pression. Seules les molécules d'eau passent à travers la membrane, les ions Na^+ et Cl^- sont arrêtés. Flux d'eau à travers la membrane s'arrête lorsque pressions d'eau intérieure et extérieure identique. La pression osmotique est la différence de pression à l'équilibre, des deux côtés de la paroi semi-perméable :

$$\pi = P_i - P_e = P_i(\text{NaCl}) - P_e(\text{NaCl})$$

Remarque :

- La dilatation ou la contraction de la cellule n'est pas due aux molécules d'eau mais uniquement aux molécules de NaCl.
- osmolarité = $(n/V).i.\Phi$; $\Phi = 1$ dans 2 cas
 - $i > 1$ (le soluté se dissocie en solution) $\leftrightarrow \Phi = 1$ si 100% de dissociation ;
 - $i = 1$ (le soluté ne se dissocie pas en solution) $\leftrightarrow \Phi = 1$ (pas de correction) ;
 - (NB: Φ n'est pas le pourcentage de dissociation).

La pression osmotique d'une solution est donnée par la loi de van't Hoff, dérivée de la loi sur les gaz parfaits.

$$\pi = R.T.(n/V).i.\Phi$$

R : constante des gaz parfaits

T : température

n: nombre de moles de soluté

V: volume (l'unité internationale de volume est le m³, et non le litre)

i : nombre de particules formées par dissociation du soluté

Φ (phi) : coefficient osmotique = facteur de correction

Si la membrane est complètement perméable au soluté, la pression osmotique de la solution est nulle.

A noter : La pression oncotique c'est la pression créée uniquement par des protéines macromolécules). Alors la pression oncotique est définie comme suite :

$$\pi = C_p RT$$

où C_p est la concentration en protéines.

Les globules rouges constituent un bon modèle pour suivre ces mouvements d'eau. Placés dans une solution hypotonique, leur éclatement (hémolyse) laisse seulement un fantôme membranaire et de l'hémoglobine en solution, transformant la suspension opaque de cellules en une solution rouge translucide d'hémoglobine. Placés dans une solution hypertonique, ils prennent un aspect crénelé. Ce modèle a permis de montrer que la membrane est perméable à l'eau, plus ou moins imperméable aux sels et de perméabilité variable pour les substances organiques. L'étude de la pénétration de plusieurs solutés avec des propriétés physico-chimiques différentes sera menée afin de faire le lien entre la perméabilité membranaire et les gradients de diffusion ou entre la perméabilité membranaire et la nature même de la membrane.

Notion de tonicité : basée sur le comportement d'une cellule, lorsqu'elle est immergée dans une solution.

- Pas de modification du volume de la cellule : milieux intracellulaire et extracellulaire isotoniques.
- Le volume cellulaire augmente (entrée de liquide): solution (milieu extracellulaire) hypotonique par rapport au milieu intracellulaire.
- Le volume cellulaire diminue (sortie de liquide): solution (milieu extracellulaire) hypertonique par rapport au milieu intracellulaire.

Solutions iso-osmolaires : même osmolarité, quel que soit la nature des particules.

Deux solutions, dans un même solvant, sont iso-osmotiques si elles ont le même abaissement cryoscopique ou la même pression osmotique.

Partie pratique :

Pression osmotique du globule rouge (GR) :

Les GR d'osmolarité voisine à 310 mosmol/l ont une membrane supposée semi-perméable parfaite. Plongés dans une solution aqueuse d'osmolarité ω , on observe :

- a. Aucune modification du GR si $\omega = 310$ mOsmol/l, le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée égale à la sortie: milieu isotonique ;
- b. Si $\omega < 310$ mOsmol/l, alors le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée supérieure à la sortie: milieu hypotonique. Le GR gagne de l'eau par osmose et est gonflé. On appelle ce phénomène turgescence (hydratation) ;
- c. Si $\omega > 310$ mOsmol/l, alors le flux osmotique d'eau est représenté par une entrée inférieure à la sortie : milieu hypertonique. Le GR perd de l'eau par osmose et est crénelé. On appelle ce phénomène plasmolyse (déshydratation).

En réalité, la membrane du GR est perméable à l'eau et à l'urée, elle est dite sélective. Aussi, dans l'osmolarité de la solution, on doit retrancher celle de l'urée, ce qui introduit la notion d'osmolarité osmotique efficace w_e .

$w_e = w - w_u$

semi-perméable.

Protocole

- Préparez 3 tubes à hémolyse ;
- Dans chacun des tubes ajoutez 2ml de la solution voulue : S1 = 0,9% ; S2 = 1,4% et S3 = 0,45% ;
- Ajoutez deux gouttes de la suspension de globules rouges dans chaque tube ;
- Boucher les tubes et mélangez immédiatement et doucement en inversant les tubes ;
- Laissez reposer 20 min (mettez un minuteur) ;
- Prélevez une goutte de chaque tube avec une pipette jetable et placez la sur une lame de microscope. Sous le microscope comparez la taille et la forme des cellules dans les différentes solutions.

Résultats et discussion

- Reportez vos résultats sur la feuille fournie pour cette séance ;
- Quelle est la concentration de NaCl qui produit l'hémolyse ? Expliquez ce résultat ;
- A quelle concentration les GR sont isotoniques (ne subissent pas de changement de volume) ?
- L'observation des cellules apporte-t-elle une différence dans les réponses des 2 questions précédentes ? Pourquoi ?