

## Résumé

6 expériences de physique chimie sur le thème de la vie dans l'espace :

- 1- Balance inertielle : Comment les astronautes se pèsent-ils dans l'ISS ?
- 2- Quels sont les effets de l'impesanteur sur le corps de astronautes, et notamment sur leur squelette ?
- 3- Les phénomènes aux interfaces qui deviennent prépondérants sous microgravité : mouillabilité, capillarité, tension superficielle
- 4- Ta tasse en 0g : Comment les astronautes boivent-ils leur café dans l'ISS
- 5- Impesanteur VS pesanteur : Capillarité comparée (eau/shampoing), l'absence de poussée d'Archimède, sphère d'eau dans la bouteille avec enduit hydrophobe.
- 6- Bille + ressort : Inertie et énergie mécanique

## Détail des expériences

On abandonne la sédimentation et la miscibilité

On abandonne l'exp6 = les mousses.

### EXPERIENCE 1 : COMMENT LES ASTRONAUTES SE PESENT-ILS DANS L'ISS ?

#### 🕒 How to measure an unknown mass thanks to a balance that works in microgravity ?

***Etant donné que les balances habituelles utilisent la gravité pour le résultat, nous nous sommes demandé comment les astronautes se pesaient : tous les mois, ils grimpent sur une drôle de machine, une balance inertielle ! Nous avons donc fabriqué une balance inertielle qui mobilise la notion d'inertie d'un solide pour mesurer sa masse m.***

**Principe :**

**On réalise d'abord au laboratoire une courbe d'étalonnage** en utilisant des masses connues et en déterminant, pour chacune d'elles, la période T des oscillations.

En effet, le carré de la période T d'oscillations s'exprime en fonction de la masse m du solide.

Si on trace la courbe  $T^2 = f(m)$ , on obtient donc une droite d'étalonnage d'équation  $T^2 = a.m + b$ , a et b étant des constantes.

Il suffira donc de reporter sur cette courbe d'étalonnage le carré  $T^2$  de la période d'oscillations relatives au solide inconnu (= astronaute) pour déterminer sa masse  $m_s$ .

Cette période sera relevée sous gravité ( $T_s$ ), sous microgravité ( $T_{0s}$ ) et si on le peut sous hypergravité à 1,8 g ( $T_{+s}$ )

**Montage réalisé, également utilisé dans l'airbus zero g mais avec d'autres matériaux :**

Nous avons commencé par fabriquer une balance inertielle comme indiqué sur un site de la NASA.

Nous avons bien noté les matériaux autorisés par Novespace et le CNES dans l'airbus 0g. (pas de bois, notamment, nous prendrions donc des blocs de polycarbonate comme conseillé si nous étions sélectionnés).

**Manipulation préliminaire au lycée :**

On place différents solides de référence, de masse  $m$ , sur sur notre balance, dans la petite boîte.

On chronomètre à chaque fois la durée totale  $\Delta t$  nécessaire pour faire 10 oscillations ( $T = \Delta t / 10$ ).

On trace ensuite la droite  $T^2$  (en  $s^2$ ) en fonction de la masse (en g) des solides de référence utilisés.

On place enfin la pièce de 1 euro sur la balance. On obtient la période  $T_S$ .

### Manipulation dans l'airbus zero g :

On réaliserait les mêmes mesures de la période d'oscillation pour notre objet, sous gravité et sous microgravité (voire sous 1,8 g) mais on filmerait les oscillations pour plus de précision. En utilisant la courbe d'étalonnage, on détermine graphiquement la masse  $m_s$  correspondant aux périodes  $T_s$ ,  $T_{0s}$  (voire  $T+s$ )

### Résultats :

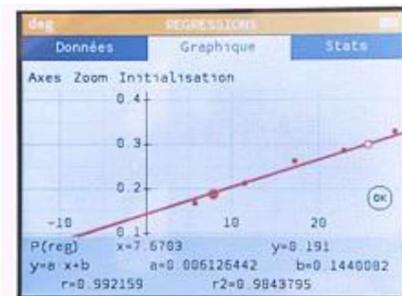
On obtient la relation :

$T^2 = 0,00613.m + 0,144$  (avec coeff. de corrélation  $r^2 = 0,99$  donc bonne régression linéaire)

Sous la gravité terrestre, on trouve :  $T_{2s} = 0,191 \text{ s}^2$

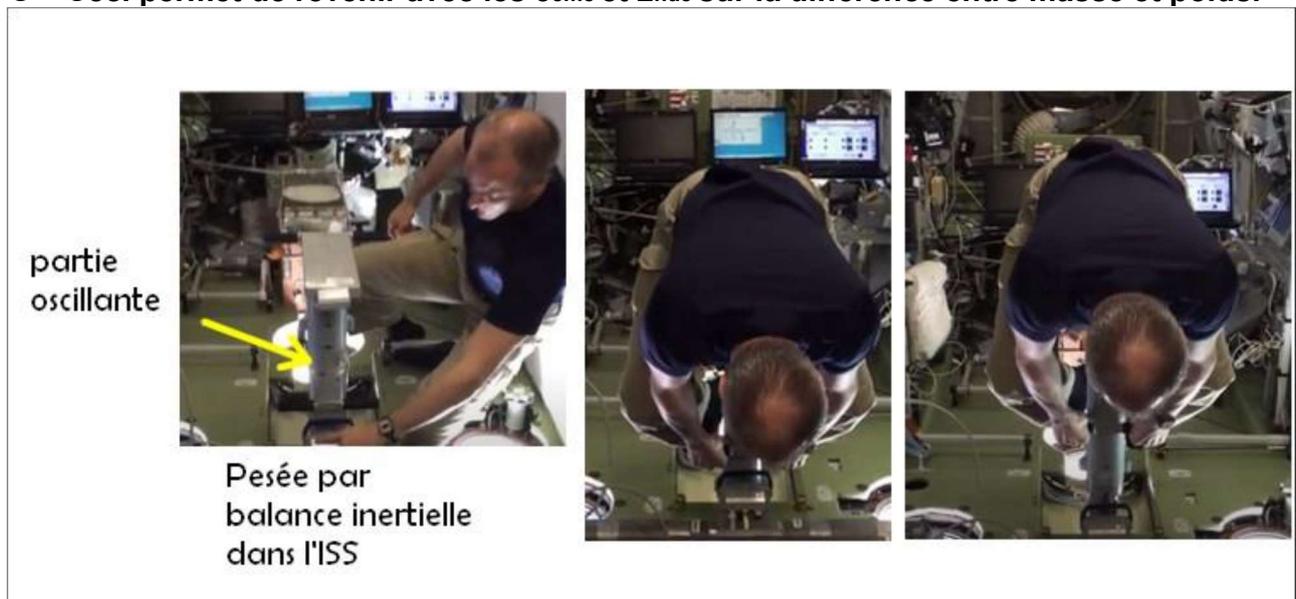
et donc  $m_s = 7,7 \text{ g}$

La masse réelle de la pièce de 1 euro est de 7,5 g soit une erreur relative de 2,6 % environ.



**Prévisions sous microgravité :** La période  $T$  ne dépend pas de la valeur de la gravité  $g$ , donc on devrait trouver la même période et donc la même masse  $m_s$  pour notre solide.

☉ Ceci permet de revenir avec les 3<sup>ème</sup> et 2<sup>nde</sup> sur la différence entre masse et poids.



Images d'après une video de l'agence spatiale canadienne

## EXPERIENCE 2 : POURQUOI LES ASTRONAUTES GAGNENT-ILS QUELQUES CM EN IMPESANTEUR ?

☉ Astronauts on the ISS are known to grow up to 3 % taller because of their stay in microgravity.

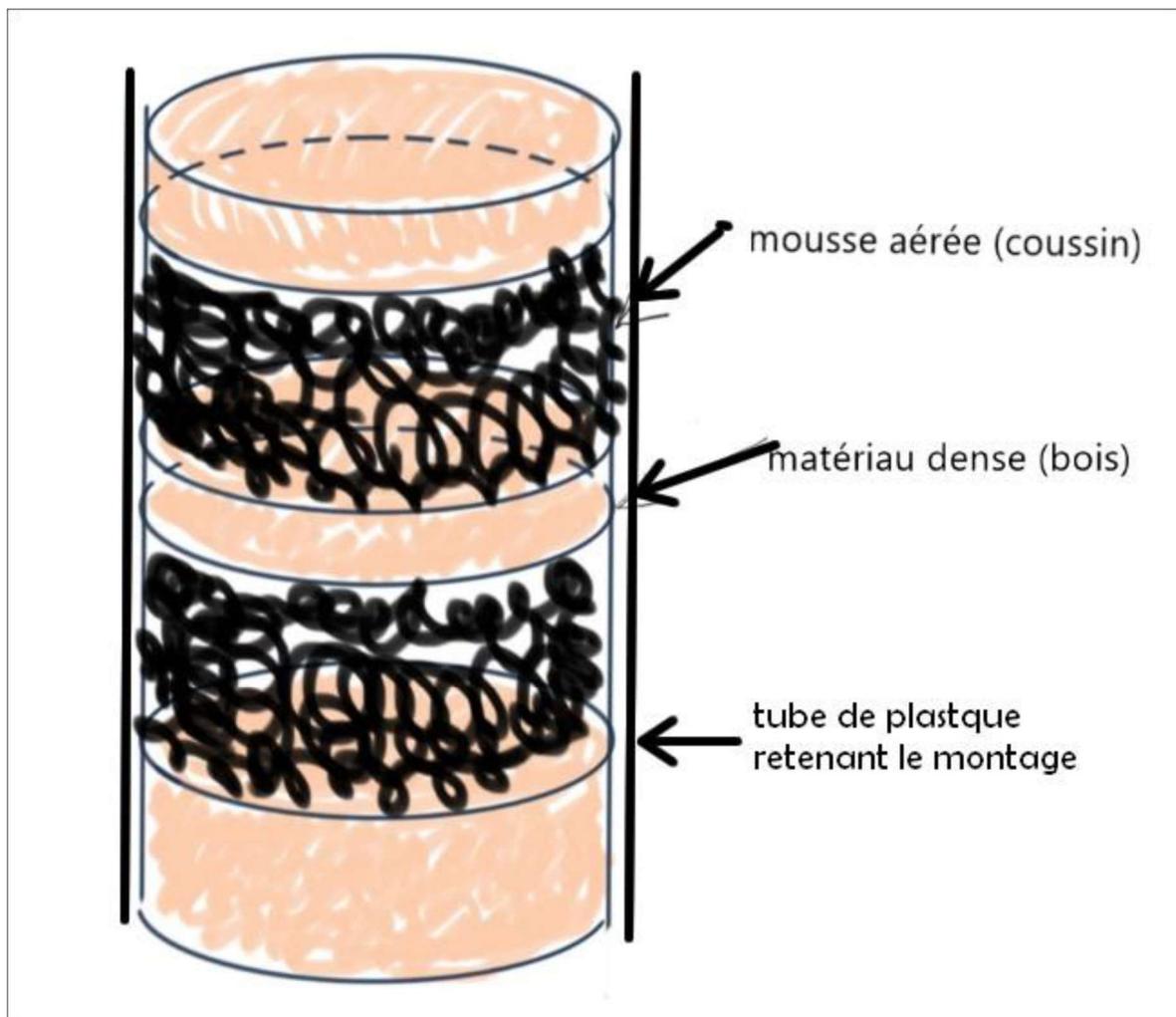
*Récemment, lors d'une interview sur France Inter des astronautes de l'ISS, ces derniers ont évoqué des maux de dos, expliquant que « En impesanteur, faute de se tenir debout, la colonne vertébrale n'est plus aussi rigide. Les disques intervertébraux se dilatent (...) ce qui explique que les astronautes prennent quelques centimètres dans l'espace, qu'ils perdent rapidement après leur retour. »*

### Protocole :

Pour cette deuxième expérience, le squelette de la colonne vertébrale (alternance vertèbres et tissu spongieux) est simulé par un empilement mousse de coussin/morceaux de bois plus lourds, le tout étant placé dans un montage permettant à l'ensemble de translater verticalement sans être détruit.

On mesure alors la longueur  $L_T$  de notre squelette dans son ensemble, sous gravité 1g.

On place ensuite le squelette sous microgravité et on mesure de nouveau la longueur  $L_0$  de l'ensemble. Il nous faudra sans doute filmer car la différence sera peut-être peu sensible sur 22s.



### Prévisions sous microgravité :

Les forces s'exerçant sur le système { squelette } dans son ensemble sont :

- Le poids du système, force exercée par le centre de la Terre sur le squelette

### La réaction du support

Les deux forces se compensent lorsque le squelette est en équilibre, sur Terre.

Ce sera le cas sous 1,8 g mais il se tassera.

Par contre, seule la réaction du support sera exercée sous microgravité, et sans doute, si nous lui donnons une petite impulsion, le montage translatera verticalement vers le haut.

Nous pensons que, libérés de la pesanteur, les mousses prendront plus de place en volume, ce qui augmentera la longueur du squelette  $L_0 > L_T$ .

⑨ **Conclusion** : La Terre exerce sur notre squelette une force de pesanteur, ce qui le tasse. Mais si cette force

ne se fait plus sentir, l'ensemble devrait se détendre : les tissus spongieux intervertébraux se dilatent, le squelette s'étire ce qui explique en partie les maux de dos dont se plaignent les astronautes de l'ISS et le fait qu'ils grandissent de quelques centimètres lors de leurs missions



### EXPERIENCE 3 : LES INTERFACES SOUS INFLUENCE

🕒 **About an incredible patent to drink coffee on the ISS without waiting for the drink to float and get to the mouth !**

***C'est en voyant une video du site Science@NASA sur l'incroyable tasse permettant aux astronautes de boire leur « ISSpresso » comme sur Terre, odeur comprise, que nous est venue l'idée des expériences suivantes ! L'objectif de cette manipulation est de mettre en évidence le principe de la « tasse 0g » pensée d'abord sur l'ISS, par l'astronaute Don Pettit, puis conçue sur Terre par Mark Weislogel, professeur à l'Université de Portland.***

***Bien que cette mystérieuse tasse soit ouverte, le liquide ne se met pas sous forme sphérique du fait de la forme particulière de celle-ci.***

Mais avant d'en arriver à cette « zero-G coffee cup », les astronautes ont travaillé sur le comportement des fluides en microgravité, et notamment sur les phénomènes aux interfaces : mouillabilité, capillarité, tension superficielle.

Nous avons donc commencé par faire quelques manipulations sur ces sujets.

🕒 **Une expérience regroupant les résultats pour les 3 phénomènes sera faite sous microgravité, différente de celles décrites ci-dessous.**

🕒 **Devant les 3<sup>ème</sup> et 2<sup>nde</sup>, nous introduirons ces 3 notions par des expériences ludiques et qu'ils pourront reproduire.**

## **LE PHÉNOMÈNE DE MOUILLABILITÉ**

🕒 **Wetting is the ability of liquids to form interfaces with solid surfaces.**

= aptitude de la surface d'un matériau de se laisser mouiller par un liquide, permettant à ce dernier de s'étaler sur la plus grande surface possible.

**Protocole – expériences préliminaires sous 1g :**

Nous avons étalé sur plusieurs surfaces (plastique, métal, verre...) des gouttes d'eau et de shampoing. L'angle de contact entre la surface solide et la surface bombée de la goutte nous permet de conclure qualitativement sur la mouillabilité des matériaux par rapport aux liquides utilisés.

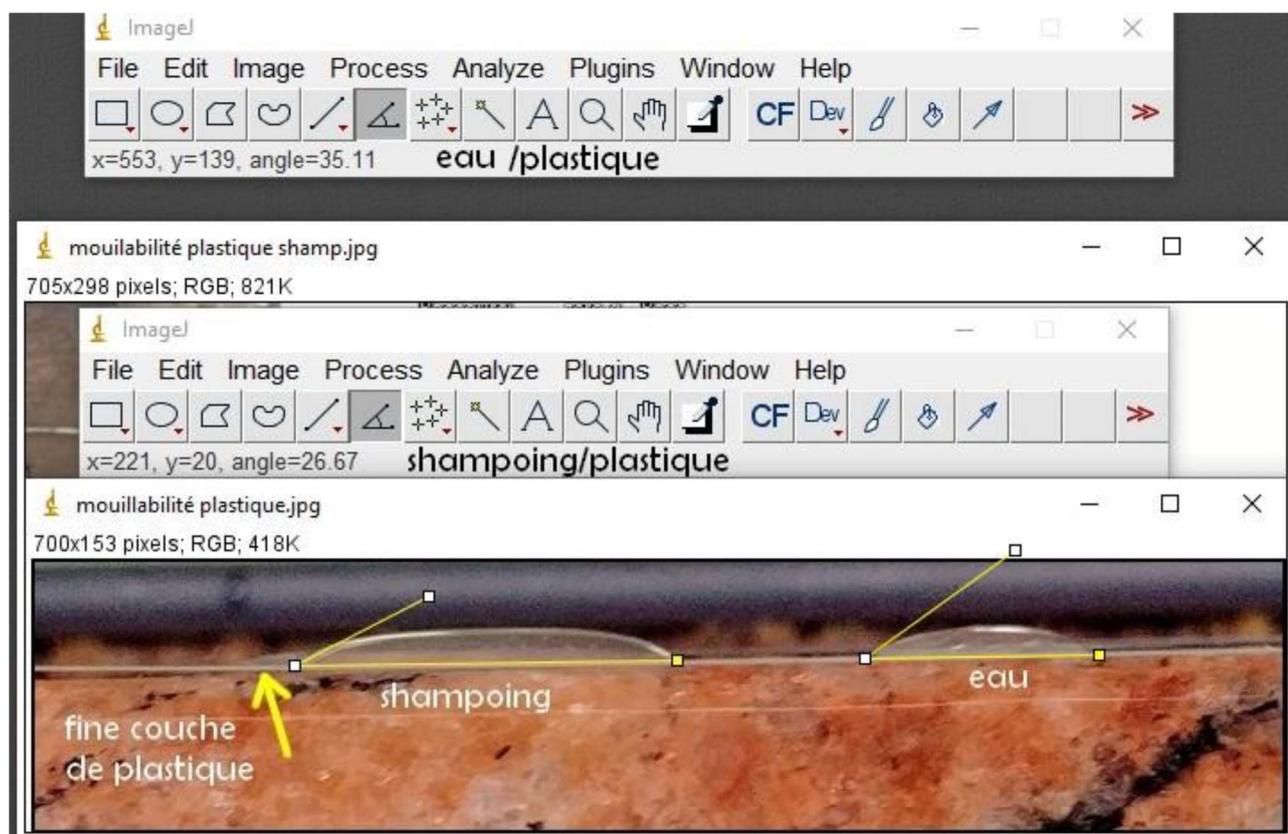
**Exp.1 :** Nous avons déposé une goutte de shampoing et une d'eau sur une fine couche de plastique et nous avons pris une photo en mode macro.

Grâce au logiciel ImageJ, nous avons tracé les angles de contact (entre les demi-droites jaunes) et obtenu leur mesure, ce qui nous sera utile ensuite.

Nous constatons que l'angle de contact est plus important pour la goutte d'eau car la goutte d'eau se « referme » sur elle-même davantage que celle du shampoing, qui s'étale. Cela montre que la mouillabilité du plastique utilisé est plus grande avec le shampoing.

**Remarque :** nous avons placé une goutte d'eau sur du plastique recouvert de cire : la goutte est plus ronde, la mouillabilité de la surface avec l'eau diminue fortement, ce qui montre que la cire rend la surface plus hydrophobe.

Cela nous sera utile pour la suite.



**Exp.2 :** Nous avons fait les mêmes observations avec des gouttes d'eau et de shampooing déposées sur une surface en verre.

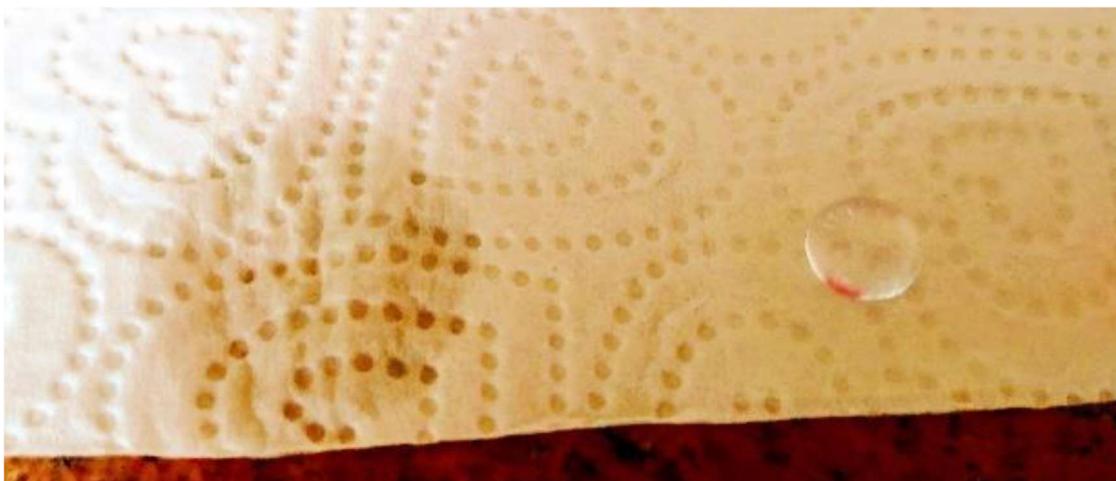
Nous constatons que cette fois, la goutte d'eau s'étale largement, tandis que la goutte de shampooing reste concave, avec un angle de contact  $\theta$  compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$ . Cela montre que le verre a une mouillabilité avec l'eau plus importante que le plastique. Ce résultat explique les formes du ménisque dans des tubes en verre ou en plastique, comme nous le verrons dans les expériences sur la tension superficielle.

**remarque :** certains matériaux totalement mouillables par l'eau sont hydrophiles : on observe une goutte d'eau sur du papier absorbant et sur du plastique : l'angle de contact n'est pas le même, il est nul pour le papier absorbant ce qui en fait un matériau très hydrophile. (ce qui est le but puisqu'on l'utilise justement pour son affinité avec l'eau).

### Prévisions sous microgravité :

La mouillabilité est donc dépendante de la surface solide et du liquide en contact. Pour l'eau, plus l'angle de contact est élevé, plus la surface est hydrophobe et la goutte d'eau prend une forme de plus en plus sphérique.

⊗ **A priori, sans la pesanteur, la mouillabilité diminue sous 0g, l'angle de contact augmente, les gouttes se referment sur elles-mêmes jusqu'à se transformer en sphères, ce que nous espérons observer.**



## LE PHENOMENE DE CAPILLARITE

⊗ **Capillarity is the rise or depression of a liquid in a small passage such as a tube of small cross-sectional area**

= capacité de certains liquides à monter naturellement, malgré la force de gravité, le long de tubes très fins plongés dans ces liquides, d'autant plus haut que les tubes sont fins.

### Protocole – expériences préliminaires sous 1g :

**Exp. 1 :** Nous avons placé de l'eau et du shampoing dans deux erlenmeyers bouchés ; un tube assez fin plonge dans le liquide. Les tubes sont en verre, matériau pour lequel nous avons vu que la mouillabilité est plus importante avec l'eau.

Nous constatons que les deux liquides montent rapidement dans les tubes, à des hauteurs différentes dans un premier temps, puis à la même hauteur au bout de quelques minutes lorsqu'on agit (agitateur magnétique).



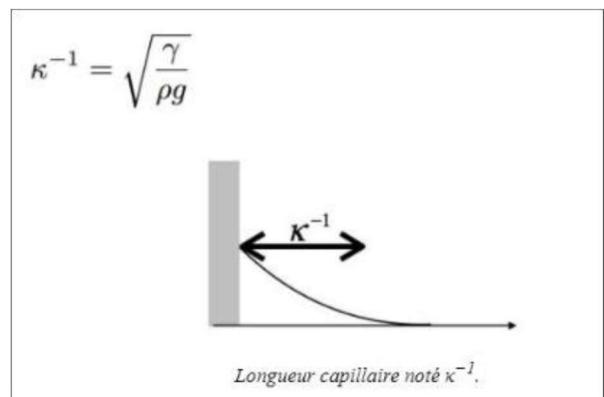
**Méthode de calcul de la hauteur h d'ascension capillaire :**

L'ascension capillaire du liquide dans le tube fin est due aux forces de tension superficielle appliquées sur tout le périmètre de raccordement du ménisque : la résultante  $F = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \gamma \cdot \cos\theta$  de ces forces de tension superficielles compense le poids  $P = m \cdot g = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \mu \cdot g$  ( $\mu$  = masse volumique du liquide) du liquide soulevé.

On peut donc écrire :  $\pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \mu \cdot g = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \gamma \cdot \cos\theta$

Soit  $R \cdot h \cdot \mu \cdot g = 2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta$

$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos\theta}{R \cdot \mu \cdot g}$



**Application numérique** : a vu précédemment, pour la mouillabilité, que l'eau s'étale sur le verre donc l'angle de contact vaut  $0^\circ$ .

Au labo, à  $21^\circ\text{C}$ , la tension superficielle sera de  $\gamma = 72,6 \text{ mN.m}^{-1}$ .

Dans un tube fin de  $5,0 \text{ mm}$  de diamètre, la hauteur atteinte sera de :

$$h = 2 * 72,6 \cdot 10^{-3} - 30,0025 * 1000 \cdot 9,81 = 5,9 \text{ mm}$$

Ce n'est pas tout à fait la valeur que nous avons observée, l'eau est montée à environ  $5 \text{ mm}$  : peut-être parce-que cette relation de Jurin n'est valable que dans certaines conditions sur le rayon  $R$  du tube (comparée à la longueur capillaire  $\kappa^{-1}$ )

En effet, il faut que le rayon  $R$  soit plus petit la longueur capillaire.

Or dans notre cas, ce sont des valeurs très proches, ce qui fausse la relation donnée par la loi de Jurin.

Ici :  $R = 2,5 \text{ mm}$  et  $\kappa^{-1} = 0,0027 \text{ m}$  soit  $2,7 \text{ mm}$ . Donc les deux grandeurs sont presque identiques d'où l'erreur.

Sous microgravité, la formule n'est plus utilisable ( $g = 10^{-2} \text{ m.s}^{-2}$ ).

**Exp.2** : Entre deux lames de microscope en verre reliées par un élastique, nous avons introduit un clou pour écarter les lames sur un seul côté. Nous avons ensuite placé ce dispositif dans une boîte de petri contenant de l'eau colorée (colorant alimentaire).

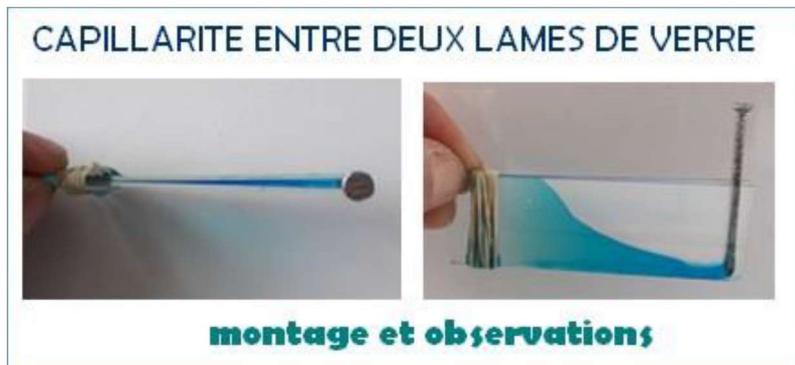
Nous constatons que l'eau ne monte que le long de la jointure entre les deux lames, c'est-à-dire du côté où les lames sont le plus rapprochées. Cette observation nous sera utile pour la tasse  $0g$ .

**Prévisions sous microgravité :**

⊙ Tout d'abord, sans la pesanteur, les liquides vont monter plus haut par capillarité, pour des tubes de même diamètre. Par ailleurs, pour des tubes de diamètre différent, plus le tube sera fin, plus le liquide montera.

⑨ Entre deux surfaces sécantes, le liquide montera par capillarité du côté où les surfaces se rejoignent, ce que nous verrons dans la « tasse 0g ».

*Remarque* : lorsque les liquides migrent verticalement dans les tubes fins, un ménisque peut être observé selon la mouillabilité : nous verrons que la forme plus ou moins convexe des ménisques dépend aussi de la tension superficielle aux interfaces, liquide/air et solide/liquide notamment. Nous allons donc étudier maintenant le phénomène de tension superficielle.



## PHENOMENE DE TENSION SUPERFICIELLE

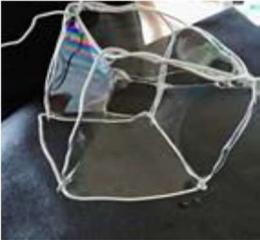
⑨ The cohesive forces between liquid molecules are responsible for the phenomenon known as surface tension.

= D'après le site Unisciel, la surface libre d'un liquide est comme une membrane tendue caractérisée par une tension de surface, ou tension superficielle, qui s'oppose aux déformations de la surface libre (et l'empêche donc de prendre une forme sphérique par exemple).

La tension superficielle est très importante et a des répercussions sur beaucoup de phénomènes, comme la forme des gouttes et des bulles, la capillarité et les ménisques, la capacité de certains insectes à marcher sur l'eau, la formation des mousses, les processus de collage (adhésion des encres et colles sur une surface donnée...)



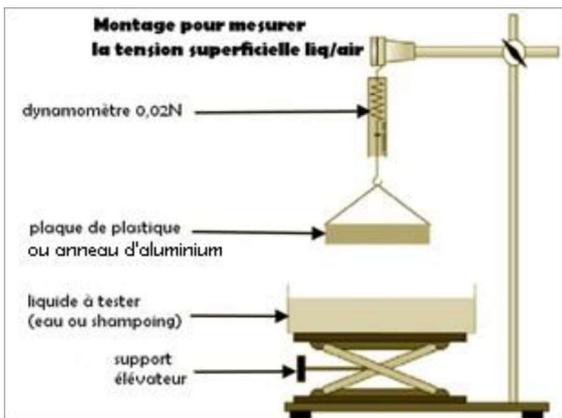
*Remarque* : Lors des échanges futurs sur notre projet évoqués en introduction (et même si nous ne sommes pas sélectionnées), nous présenterons aux 3<sup>ème</sup> et 2<sup>nde</sup> des expériences ludiques qui mettent en évidence la tension superficielle : l'expérience du fil de coton dans de l'eau dans laquelle on ajoute un peu de savon liquide, celle du petit bateau à encoche dans les mêmes conditions, et celles assez spectaculaires qui consistent à tremper des formes géométriques dans de l'eau savonneuse (nous avons réalisé avec du métal souple un cube, une catenoïde). Nous ne ferons pas ces expériences dans l'airbus car ce serait compliqué, nous montrerons la tension superficielle dans l'expérience commune avec la mouillabilité et la capillarité.



### Protocole- expériences préliminaires sous 1g :

Nous avons voulu mesurer expérimentalement la tension superficielle  $\gamma_{\text{liquide/air}}$  et pour cela, nous avons utilisé le montage suivant :

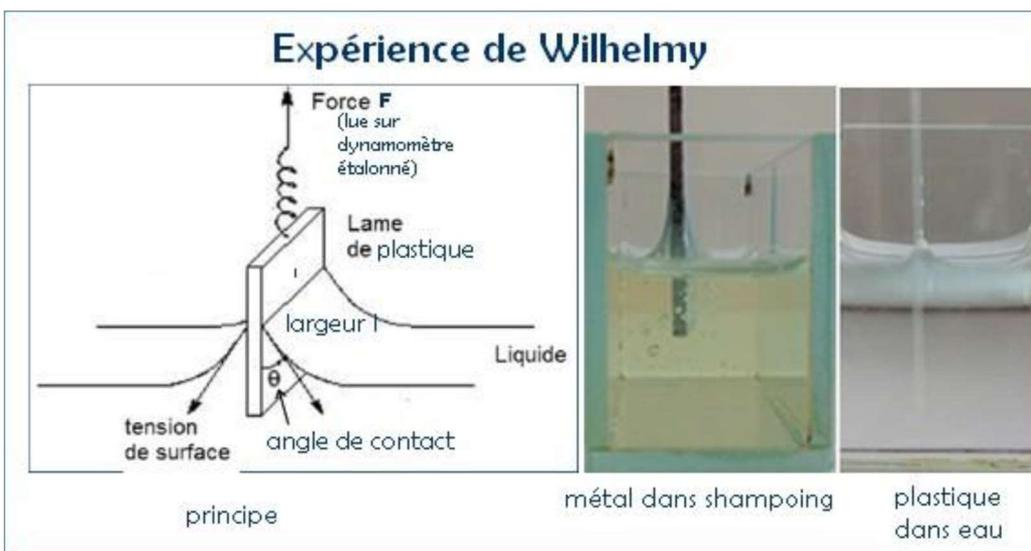
le dynamomètre est étalonné à zéro lorsque la plaque de plastique (méthode de Wilhelmy) ou l'anneau d'aluminium (anneau de Noüy) est hors de l'eau donc son poids  $P$  n'est plus pris en compte lors de la lecture.

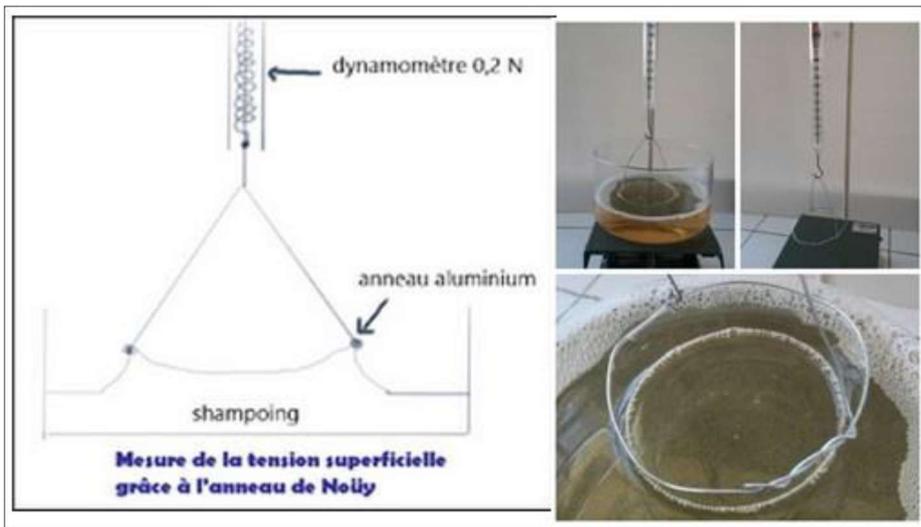


Dans les deux cas le principe est le même : on mesure la force  $F$  à exercer sur la plaque ou l'anneau pour provoquer l'arrachement du liquide par lequel ils sont mouillés.

**Cette force est lue sur le dynamomètre (= tensiomètre) directement.**

Cette manipulation a été un peu délicate à mettre en oeuvre car il n'était pas facile de descendre la cuve de manière fluide !





### Résultats :

Nous avons cependant réussi à obtenir des résultats corrects (Température du labo = 21°C) :

Méthode de Wilhelmy	Méthode de Noüy
<p>Avec l'eau : <math>\gamma_{\text{eau/air}} = 71,1 \text{ mN.m}^{-1}</math> (meilleure valeur)</p> <p>Avec le shampoing : <math>\gamma_{\text{shamp/air}} = 82,0 \text{ mN.m}^{-1}</math></p> <p>Le résultat avec l'eau est proche des données (eau à 20°C : <math>72,8 \text{ mN.m}^{-1}</math>).</p> <p>Quant au shampoing, comme la mouillabilité avec ce plastique était plus grande, il nous a paru normal d'obtenir une valeur plus élevée. Le résultat est cohérent à défaut d'avoir une valeur de référence.</p>	<p>Pour l'eau savonneuse : <math>\gamma_{\text{eau savon/air}} = 20,5 \text{ mN.m}^{-1}</math></p> <p>Valeur plus faible que la valeur de référence (environ 22 à 25 <math>\text{mN.m}^{-1}</math>) mais du même ordre de grandeur donc cohérente, étant donné que la tension superficielle eau/air diminue lorsqu'on ajoute du liquide vaisselle (savon).</p>

### Méthode de Wilhelmy - calculs :

La valeur de la tension étant donnée par une formule dépendant de l'angle de contact, nous avons mesuré celui-ci à partir d'une photo en macro de la goutte sur le plastique utilisé pour l'expérience. L'angle est mesuré grâce au logiciel ImageJ. Nous avons pris deux valeurs :

○ Pour l'eau avec ce plastique : angle de contact  $\Theta = 43,03^\circ$  et  $\Theta = 41,97^\circ$

○ La valeur lue sur le dynamomètre au moment où la plaque de plastique quitte l'eau est :  $F = 0,004 \text{ N}$

○ Le périmètre de la partie immergée de la plaque de plastique est

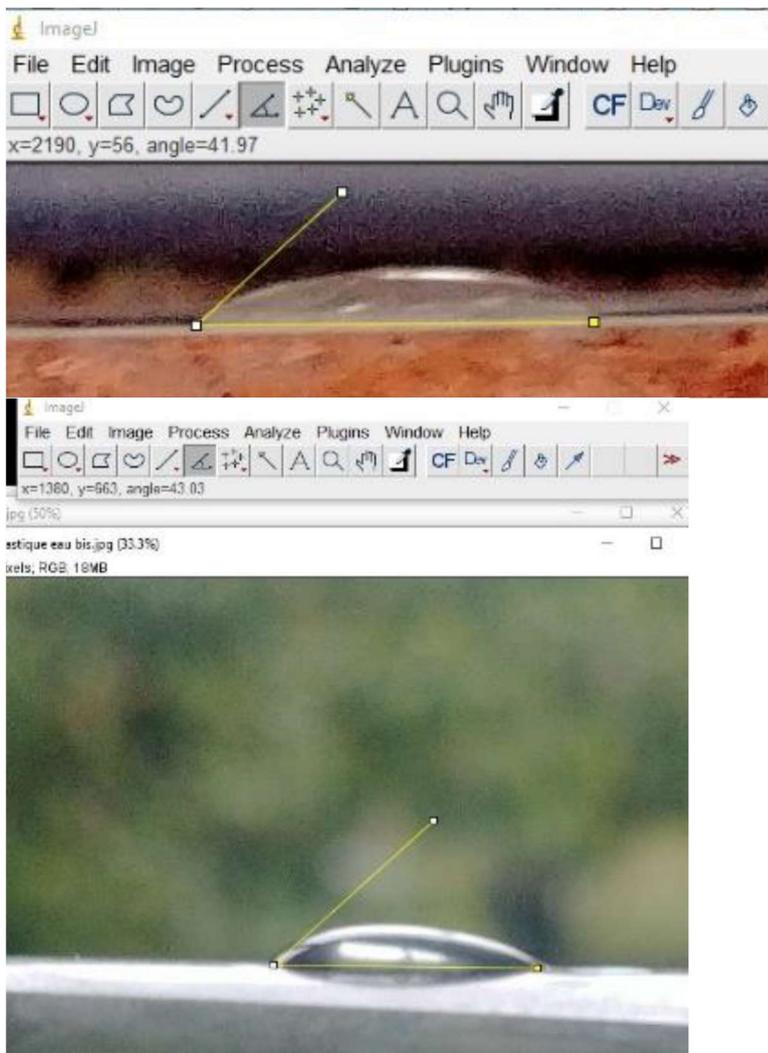
$$2.l = 2 \times 0,0385 \text{ m}$$

○ A l'équilibre, à la sortie de l'eau, la force  $F$  lue sur le dynamomètre compense la résultante des forces de tension superficielle  $\gamma_{\text{eau/air}}$  donc :  $F = 2.l. \gamma_{\text{eau/air}} \cdot \cos\Theta$

$$\gamma_{\text{eau/air}} = \frac{F}{2.l \cdot \cos\Theta}$$

On trouve donc deux valeurs :  $71,1 \text{ mN.m}^{-1}$  et  $69,9 \text{ mN.m}^{-1}$  soit une moyenne de  $70,5 \text{ mN.m}^{-1}$

Soit environ 3% d'erreur, ce qui reste raisonnable compte tenu du manque de précision des photos prises, puis du repérage de l'angle, et de sa mesure.



### Méthode de Noüy - Calculs :

On lit sur le dynamomètre que la valeur de la force d'intensité maximale permettant d'arracher l'anneau du film d'eau savonneuse est de :  $F = 0,018\text{N}$ .

Cette intensité est donnée par la relation :  $F = 2 \cdot \pi \cdot (r_{\text{ext}} + r_{\text{int}}) \cdot \gamma$  avec  $r_{\text{ext}}$  et  $r_{\text{int}}$  les rayons intérieur et extérieur de l'anneau, soit 7,0 cm et 7,1 cm.

La tension superficielle  $\gamma_{\text{eau savon/air}}$  est donc :  $\gamma_{\text{eau savon/air}} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot (r_{\text{ext}} + r_{\text{int}})} = \frac{0,0182}{2 \cdot \pi \cdot 0,0141} = 20,3 \text{ mN.m}^{-1}$

La valeur de référence à 20°C est d'environ 25 mN.m<sup>-1</sup>, donc notre résultat est cohérent (malgré une erreur relative de 19% !)

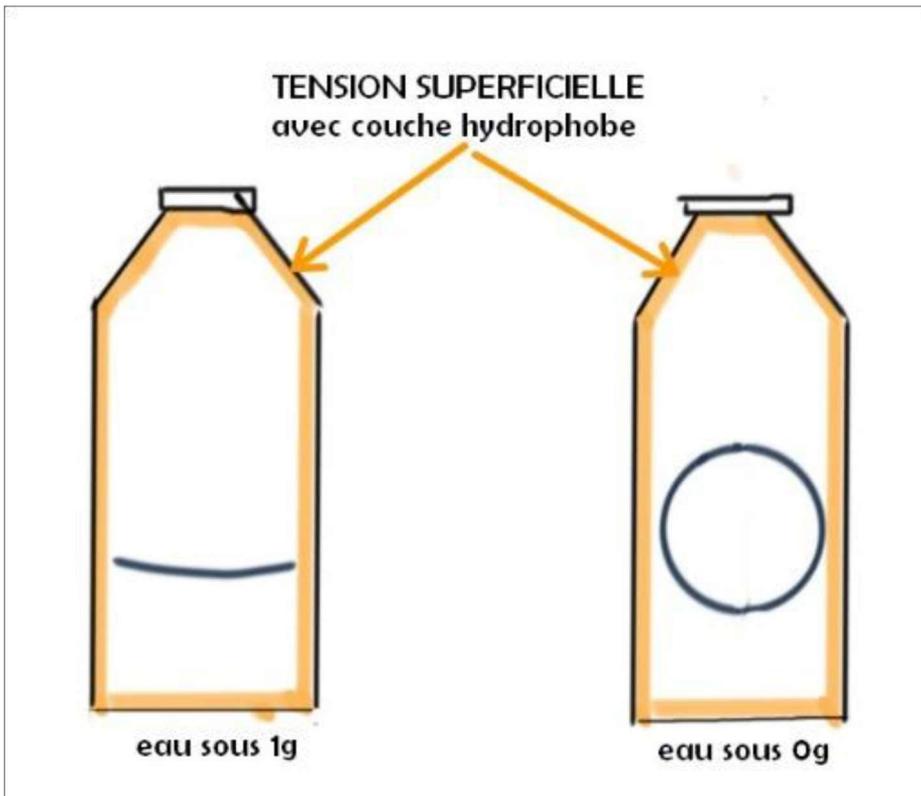
### Expériences prévues sous 0g :

Sous microgravité, les hauteurs de déplacement capillaires vont être plus grandes, les ménisques plus prononcés car les tensions superficielles seront plus élevées.

🕒 **Pour résumer ces 3 phénomènes, nous ferons les expériences suivantes dans l'airbus 0g :**

🕒 De l'eau dans une bouteille dont l'intérieur sera enduit de matière hydrophobe : ainsi, l'eau ne pourra pas monter par capillarité le long des parois, la mouillabilité étant nulle, et c'est donc la tension superficielle à la surface de l'eau qui prédominera : nous espérons que cela mènera à la formation d'une belle sphère d'eau dans la bouteille !

Remarque : nous avons utilisé du fluide teflon (non concluant car il se mélangera à l'eau sous 0g), de la cire (concluant mais pas assez transparente) ; nous pensons donc essayer avec un déperlant pour pare-brise de voiture.

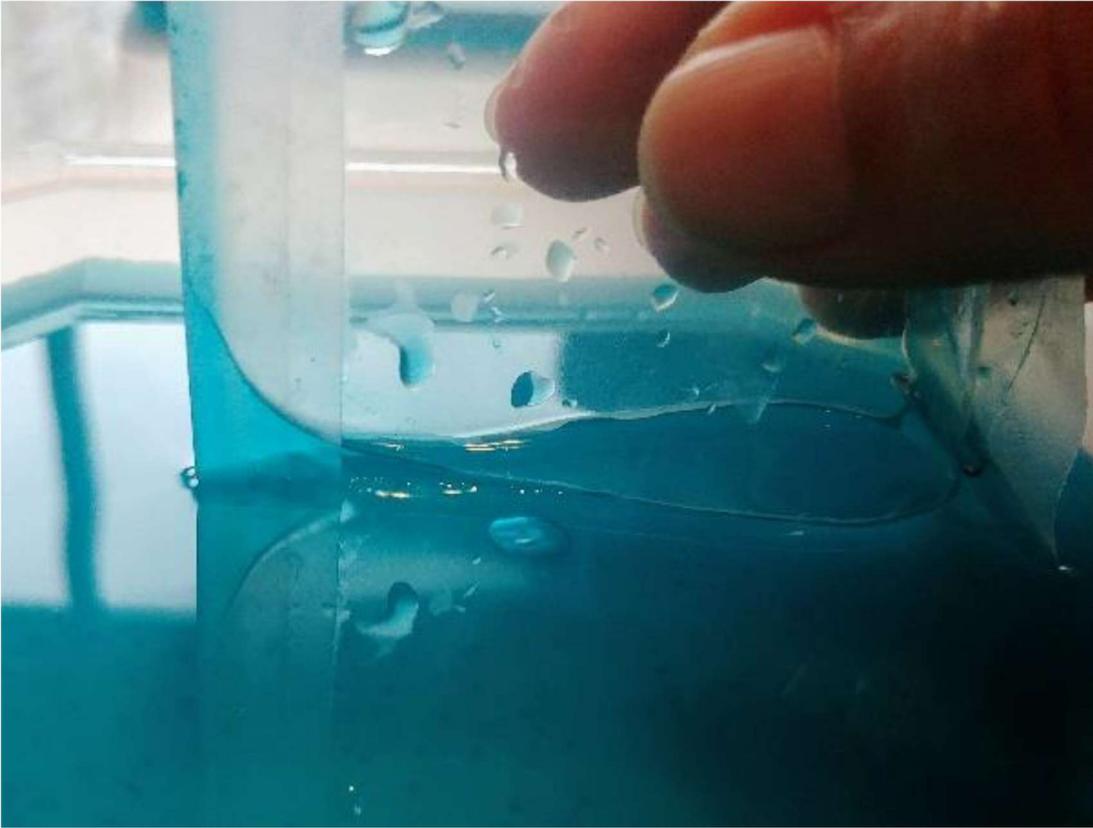


#### EXPERIENCE 4 : A ZERO-G COFFEE CUP, WHAT ELSE ?

🕒 And here it is, THE « Zero-g coffee cup » that has impressed us so much !

*Pour illustrer les phénomènes de mouillabilité, de capillarité et de tension superficielle, nous avons choisi d'essayer « d'imiter » le prototype de tasse zero g de l'astronaute Don Pettit.*





*Figure 1 : capillarité dans le prototype « maison »*



Figure 2 : prototype "maison" inspiré de celui de Don Pettit

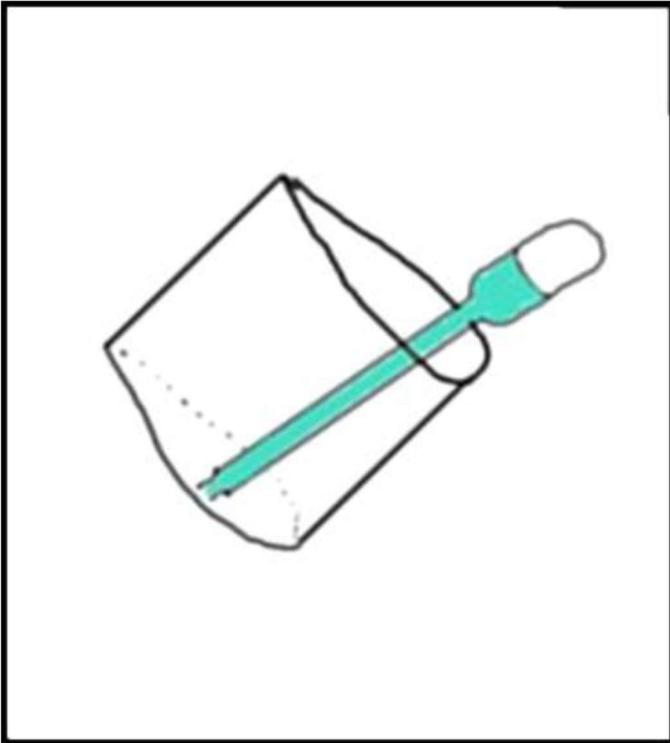
**Protocole sous 1g et observations :**

Nous avons utilisé du plastique pour refaire la « zero g coffee cup » de Don Pettit, mais nous ne lui avons pas mis de fond afin de montrer la capillarité dans cette tasse :

Comme pour les deux lames de verre écartées d'un côté par un clou, nous observons que le liquide (eau colorée) monte plus facilement du côté de la jointure, c'est-à-dire du côté où l'angle est très petit et les deux côtés de la tasse les plus rapprochés (distance entre eux faible).

**Protocole sous 0g :**

Nous réutiliserions notre prototype « maison » mais cette fois en lui ajoutant un fond, comme pour celui de Don Pettit. L'idée est de pencher la tasse et d'envoyer à l'aide d'une pipette plastique placée contre la paroi du fond, de l'eau colorée. Cette dernière devrait monter le long de la partie la plus mince de la tasse, pour arriver aux lèvres des astronautes !



Peut-être placerons-nous un récipient cylindrique fermé à côté de notre « tasse », dans lequel nous placerons de l'eau colorée au tiers de sa hauteur : sous 0g, l'eau colorée devrait monter sur les parois, et la surface libre se creuser au centre, pour former une surface convexe, mais on s'attend à ce que l'eau ne puisse atteindre les bords lorsque nous pencherons le récipient.



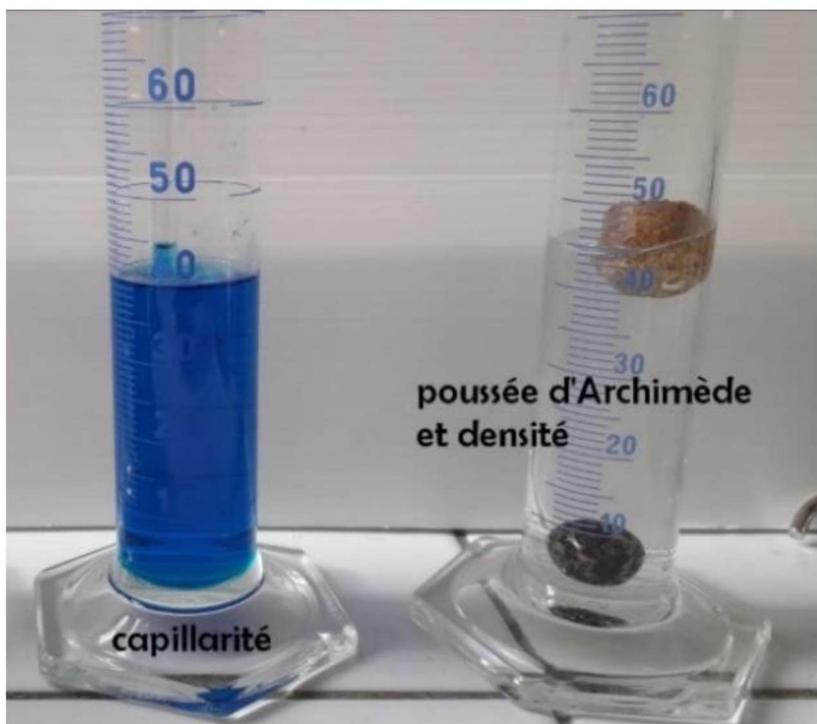
⊙ Cela mettrait en évidence que la forme de la tasse, avec son côté plus fin, est importante dans le déplacement du liquide vers la bouche de l'astronaute !

#### EXPERIENCE 5 : PESANTEUR VS IMPESANTEUR

***Certains phénomènes et/ou forces disparaissent sous microgravité et d'autres, dont les effets étaient plus discrets sur Terre, deviennent prépondérants.***

La poussée d'Archimède est la force exercée sur un solide immergé partiellement ou totalement : elle est décrite comme égale au poids du volume de liquide déplacé par l'immersion du solide.

Mais sans gravité, l'existence de cette force disparaît : il n'y a alors plus de notion de « plus lourd » ou « plus léger » : nous devrions donc observer des objets plus ou moins denses (caillou, bille d'acier, bouchon de liège) immobiles et au même niveau dans un volume d'eau.



(les éprouvettes seraient fermées sans l'airbus 0g ou remplacées par des petites bouteilles en plastique).

#### EXPERIENCE 6 : INERTIE ET ENERGIE MECANIQUE (BILLE PROPULSEE PAR UN RESSORT)

***Cette expérience a donc été faite sur l'airbus 0g en 2019 mais n'avait pas été concluante, selon M. JF Dovergne qui l'avait réalisée avec son groupe. Il nous a proposé de la reprendre pour la personnaliser et tenter de l'améliorer. Nous espérons que nos deux contributions vont permettre d'avoir de bons résultats que nos deux lycées pourraient exploiter dans un projet commun.***

On désire exploiter la relation entre les différentes énergies en mécanique (Energie cinétique  $E_c$ , potentielle de pesanteur  $E_{pp}$ , potentielle élastique  $E_{pe}$  et énergie mécanique  $E_m$ )

#### **Principe et protocole :**

Un ressort de raideur «  $k$  » connue est comprimé mécaniquement et va propulser une bille. Les frottements sont négligés. Le mouvement de la bille est confiné dans un tube transparent placé au-dessus du montage {bille + ressort}. Si nous sommes sélectionnées, ce tube sera plus long et fermé.

La compression du ressort sera faite avec 3 valeurs d'élongation ( $x$ ).

Nous filmerons le mouvement de la bille pour plus de facilité d'exploitation, car les durées de déplacement de la bille seront proches ou inférieures à 1s. Nous pourrons ensuite exploiter la vidéo à l'aide d'un logiciel de pointage (atelier scientifique) et en déduire la vitesse expérimentale de la bille  $v_{exp}$  pour les 3 valeurs de l'allongement  $x$ .

Nos observations porteront sur :

- Le mouvement de la bille, qui devrait être rectiligne uniforme sous 0g.
- La vitesse de la bille sous microgravité : nous la calculerons grâce aux mesures faites avec la vidéo, et nous la comparerons à la valeur théorique  $v_{théor}$ .

#### **Calculs – valeur théorique :**

En effet, lorsque la bille est libérée, elle possède une énergie potentielle,  $mg + \frac{1}{2} kx^2$  ( $x$  étant l'allongement du ressort lorsqu'il propulse la bille) qui se transforme en énergie cinétique  $\frac{1}{2} mv^2$ , l'énergie mécanique se conservant en l'absence de frottements.

$$Mg + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{soit } v^2 = kx^2 + 2g$$

Sous microgravité, l'énergie potentielle de pesanteur n'existe plus et donc on a simplement :

$$\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{Soit } v^2 = kx^2/m$$

La masse de la bille étant connue ( $m$ ), on en déduit la vitesse de la bille :  $v_{\text{théor}} = \sqrt{k/m} \cdot x$  pour différentes valeurs de l'allongement  $x$ . (calculs ici avec le montage 2) ci-dessous)

position bloqueur	allongement (m)	vitesse (m.s-1)	
3	0,014	0,35	v3
4	0,023	0,57	v4
5	0,027	0,67	v5

avec $k = 5 \text{ N.m}^{-1}$ et longueur à vide 4,0 cm
masse de la bille rose : $m^{\circ} = 8,21 \text{ g}$

### Prévisions des résultats sous microgravité :

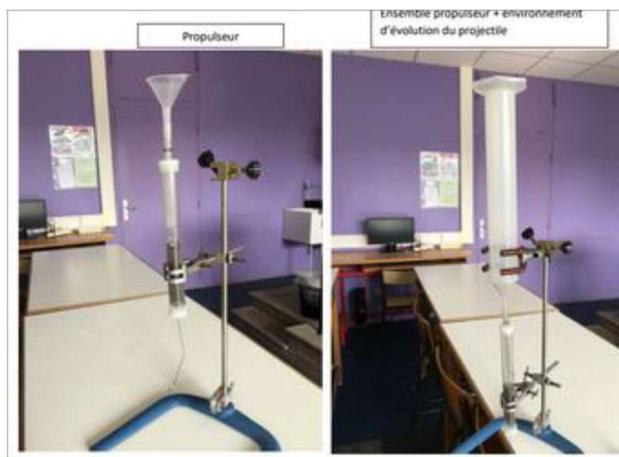
La trajectoire devrait rester rectiligne et la vitesse de la bille devrait être constante et identique à celle sur Terre puisqu'elle ne dépend que de l'allongement, de la masse de la bille et de la constante de raideur du ressort

Grâce aux films réalisés, on pourra déterminer cette vitesse expérimentale  $v_{\text{exp}}$  pour différentes valeurs de l'allongement  $x$ , et la comparer aux valeurs de  $v_{\text{théor}}$ .

**Si l'expérience est concluante, on pourrait partager les résultats avec M.JF Dovergne, du lycée « parrain » Camille Desmoulins (59), afin de les exploiter dans un projet commun.**

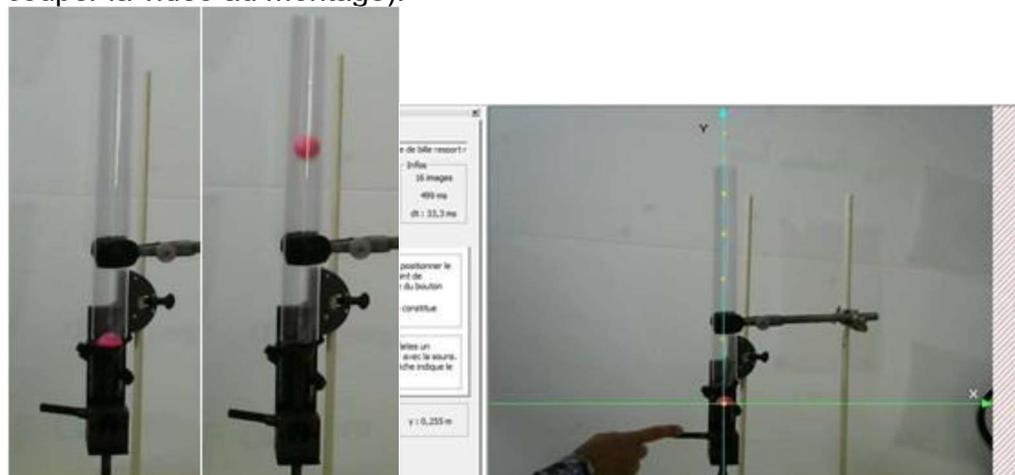
**En effet, cette expérience a déjà été réalisée avec le montage {bille + ressort} de la figure 1, par M. Dovergne, nous avons décidé avec lui de plusieurs changements possibles :**

1) M.Dovergne propose d'associer à l'ancien montage un électro-aimant qui permettrait de mieux maîtriser les mouvements parasites de la bille qu'il avait rencontrés avec son groupe en 2019.



### Nous souhaitons de notre côté essayer deux systèmes de propulsion :

2) le premier, type « flipper » avec récupération de la bille de manière manuelle : c'est un peu le même problème qu'en 2019, la bille ne va pas redescendre tout de suite, mais elle va au moins être contenue dans le tube car il a quasiment le même diamètre que la bille. Par ailleurs, cela ne gêne pas l'acquisition du mouvement initial ascendant. (nous pouvons couper la vidéo au montage).



**Fig.2 : mouvement rectiligne décéléré sous 1g**

3) le second, basé sur le principe du « propulseur gaussien », avec billes métalliques et aimants, avec récupération de la bille manuellement (tige aimantée) ou à l'aide d'aimants en neodyme placés au sommet de l'éprouvette : nous avons vérifié que ces aimants n'influaient pas sur le mouvement de la bille en métal (sauf sur les 2 derniers cm). L'avantage des aimants neodyme, c'est que cela supprimerait les mouvements parasites de la bille après son ascension, elle serait retenue en haut de l'éprouvette, mais on n'aurait qu'une possibilité de lancement.



② Nous avons testé le système 2) au laboratoire, c'est le plus facile à utiliser sous microgravité malgré les mouvements parasites ; et grâce au tube, la bille est contenue. Mais cela n'enlève pas les mouvements parasites du montage initial.

③ Le montage 3) est intéressant, notamment parce que pour l'instant c'est le seul qui permettrait de limiter les mouvements parasites, et surtout, dans le cadre du partage avec les 3<sup>ème</sup> et 2<sup>nde</sup>, on peut leur montrer le « canon de Gauss » qui est assez spectaculaire ! Nous l'avons testé, il fonctionne mal, la bille ne monte pas assez haut et la video est difficilement exploitable. Nous l'avons pour l'instant abandonné, nous verrons pour l'améliorer si nous sommes sélectionnées.

④ Nous n'avons pu tester le montage 1) car nous n'avons pas encore reçu l'électroaimant.

Dans tous les cas, il nous faudra un montage avec video pour l'acquisition.

### Réinvestissement des résultats :

La bille a un mouvement rectiligne décéléré sous 1g et a priori rectiligne uniforme sous 0g, et nous pourrions faire à chaque fois, grâce au logiciel atelier scientifique, la trajectoire de la bille.

Notre professeure de physique, Mme Fanouillère, pourra utiliser ces trajectoires ou directement les videos et les données (temps, distance parcourue) comme exercice pratique l'an prochain en 1<sup>ère</sup>, et nous en terminale spé physique : cela permettra de reparler du projet Parabole et de partir d'exemples concrets réalisés par nous-mêmes.

**Remarque : la hauteur du montage 2) est adaptée au châssis ouvert de NOVSPACE, si l'allongement est bien choisi.**