

Olympiades de Physique 2019-2020



FLANC Chloé, FOURDIN Rémi, HURTREZ Claire, MILLE Clara, SAILLY Alice

Encadré par Olivier BURIDANT et Didier SORET

Résumé

Dans un premier temps nous nous consacrons à la synthèse de savons et à l'extraction de saponines dans des plantes communes.

Dans un second temps, nous montrons que les demi-bulles, posées sur un support plan horizontal, peuvent être assimilées à des demi-sphères lorsqu'elles sont petites (moins de 10 cm). Nous montrons que des bulles plus grosses (40 cm) sont aplaties sous l'effet de la pesanteur.

Pour terminer, l'étude de la durée de vie de bulles montre que plus elles sont petites plus elles vivent longtemps. L'ajout de solutions sucrées permet d'allonger le temps de vie sans toutefois changer l'ordre des choses. Par contre lorsque l'évaporation est bloquée par une boîte, la durée de vie est très significativement allongée.

Actuellement nous envisageons de mesurer la vitesse de rupture d'une bulle.

Table des matières

Résumé.....**Erreur ! Signet non défini.**

INTRODUCTION4

I. CRÉATION DE LA BULLE5

A. Étude de la saponaire, herbe qui fait des bulles5

B. Extraction de la saponine à partir de marrons7

C. Fabrication de savons8

⇒ *Méthode classique* :8

⇒ *Méthode TS₂*9

II. PHYSIQUE DES BULLES.....10

A. Tension superficielle10

B. Interférence et iridescence12

C. Profil d'une demi-bulle13

D. Réalisation de solutions d'eau savonneuse16

D. Durée de vie de différentes bulles.17

CONCLUSION19

REMERCIEMENTS20

INTRODUCTION

Les bulles de savon ont toujours fasciné, les enfants mais aussi les plus grands ! Par exemple, de nombreux peintres ont réalisé des œuvres sur le thème des bulles comme le peintre français Manet qui a peint en 1867, le tableau : « les bulles de savon ».



Mais qu'est ce qu'une bulle ?

Une bulle est constituée d'une fine pellicule d'eau maintenue entre deux couches de savon. Lorsqu'une bulle éclate, il y a un amincissement du film d'eau car l'eau redescend à la base de la bulle. Comme il ne reste plus que les molécules de savon, la bulle éclate.

Quelles sont les propriétés des bulles ?

- -Elles s'assemblent toujours de la même manière : elles forment des angles égaux qui valent 120° .
- Elles forment une sphère car c'est une forme qui utilise le moins d'énergie et qui est la plus stable.
- Une bulle cherche toujours à occuper le moins de place possible ce qui est dû à la tension superficielle.

Nous allons vous présenter les bulles de savon comme vous ne les avez jamais vu en vous expliquant dans une première partie la fabrication d'un produit essentiel pour la formation des bulles : du savon ! Puis dans une deuxième partie nous vous montrerons que les bulles ne sont pas qu'une activité ludique puisqu'elles regroupent de nombreuses notions de physique !

I. CRÉATION DE LA BULLE

A. Étude de la saponaire, herbe qui fait des bulles

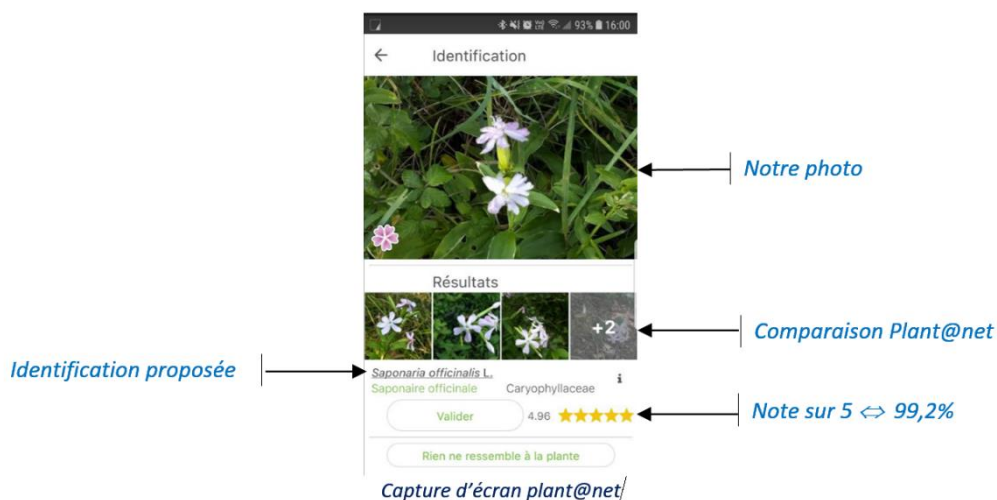
La saponaire aussi appelée herbe à savon ou savonnaire, *Saponaria officinalis* en latin (sapo = savon), est une plante qui fait partie de la famille des caryophyllacées. C'est une plante vivace et sa tige mesure entre 40 et 80 cm. Chaque fleur est composée de 5 pétales de couleurs variant entre le blanc et le rose. On peut la trouver dans les milieux humides, sur le bord des talus ou des rivières par exemple. Elle pousse dans un sol rocheux, sableux. Cette plante fleurit de juin à septembre.

La saponaire est composée essentiellement de saponine. La saponine est une molécule naturellement produite par diverses plantes (les marrons), animaux, ... La saponine permet de faire mousser les solutions et peut servir également de détergent. Sa toxicité est plus ou moins importante selon la concentration de saponine présente dans la plante. Elle permet aux plantes qui la produisent de se protéger contre les maladies et les insectes.

La saponaire citée depuis Hippocrate (médecin Grec, 450 avant J.C.) et par Pline l'Ancien, dont on extrait la saponine arrive jusqu'à nous à travers des utilisations du quotidien et nous fait bénéficier de ses bienfaits :

- diurétique, qui améliore le fonctionnement des reins.
- dépurative, qui aide à l'élimination des déchets.
- expectorante, qui dégage les voies respiratoires.
- vermifuge, antiparasites.
- maladies de peaux : acné, zona, eczéma.
- utilisée pour la lessive, pour nettoyer la peau ou entretenir le cuir chevelu.

Nous avons déjà entendu parler de la saponaire, c'est une plante qui produit des savons. Nous en discutons régulièrement entre nous, avec nos camarades, nos professeurs ... lorsque nous parlions de notre sujet d'olympiades. C'était l'anecdote, ... jusqu'au jour où notre CPE, M. BEAURAIN et M. CLÉMENT, professeur de physique, nous dirent « On connaît cette plante, il y en a dans les dunes d'Ecault », le soir même nous étions dans les dunes à l'endroit précisé. L'application Plant@net est formelle, il y a 99,2% de chance que cette plante soit une saponaire.



Après avoir vérifié qu'il ne s'agissait pas d'une plante protégée, nous avons récolté quelques spécimens après avoir pris soin de ressemer une partie des graines.



Le sol dans lequel pousse une saponaire



Apparence d'une fleur de saponaire.



Voici les graines de saponaires que nous avons ensuite fait germer dans des tubes à eau.



Mélange de gravier, de sable et de compost dans lesquels nous avons planté les graines.

Deux plants ont survécu à la transplantation pendant quelque temps, avant de faner car c'est une espèce caduque qui ne garde que ses parties souterraines l'hiver. Nous avons cependant récolté un grand nombre de feuilles et de tiges séchées, en quantité insuffisante pour faire une extraction quantitative de la saponine. Cependant nous en avons assez pour pouvoir obtenir des solutions moussantes en suivant la méthode décrite par Pline, on fait infuser quelques minutes dans de l'eau chaude. Cela permet d'obtenir des bulles. Après cette déception, nous avons continué à chercher des savons d'origine végétale, pour garder une dimension développement durable aussi à notre projet. Un jour dans un article en anglais, un mot inconnu a attiré notre attention : « Chestnut tree » (chest poitrine, nut noix, tree arbre), il s'agit du marronnier d'inde. Cette fois nous avons du stock, car notre lycée en est entouré et mi-octobre la saison où ils tombent.

B. Extraction de la saponine à partir de marrons

Notre démarche expérimentale pour extraire de la saponine à partir de marrons a donc été la suivante : Un premier essai nous a vite fasciné. Nous avons donc récolté tous les marrons qui étaient aux abords immédiats du lycée.



Photo de quelques marrons que nous avons récolté

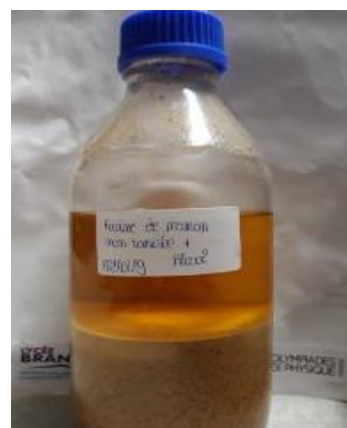
Faute de protocole pour en extraire la saponine, nous avons choisi de l'extraire avec de l'éthanol, car elle y est plus soluble. Nous avons choisi d'en garder une partie puis de nous lancer dans une corvée d'épluchage de 2h30 pour 2,215 kg de marron brut. Nous les avons ensuite haché finement puis étalé les 1885 g de purée pour sécher à l'air une semaine. Nous les avons ensuite réduits en poudre très fine à l'aide d'un hachoir.



Obtention de la poudre de marron.

Les 527 g poudre de marron ont été mis à macérer dans 500 mL d'éthanol à 95% à la température ambiante pendant 4 semaines en agitant deux fois par jour.

Nous avons ensuite filtré sur laine de verre pour perdre le moins possible de liquide. Nous avons recueilli 320 mL d'une solution jaune que nous avons choisi de concentrer sous vide. Au final nous obtenons 23,56 g d'un concentré marron, nous avons au final 4,4% d'extract sec. Un premier test montre qu'il est très moussant.



Macération alcoolique des marrons



Obtention de la saponine

C. Fabrication de savons

Le savon est un mélange de soude, extrait du sel et d'huiles végétales. Au niveau des proportions, il y a environ 25% de soude et 75% d'huiles végétales. Il existe plusieurs types d'huiles végétales tels que l'huile de palme, l'huile d'arachide, l'huile de coco ou encore l'huile de sésame.

Une molécule de savon est constituée de deux parties :

- une tête hydrophile : elle adore l'eau donc se mélange avec l'eau.
- une queue hydrophobe : elle déteste l'eau donc ne se mélange pas avec l'eau.

Marseille est la capitale du savon depuis le XIII^e s. C'est la région du savon par excellence, en partie car toutes les matières premières du savon se trouvent dans la région : les oliviers en Provence et le sel de Camargue. Le savon reste longtemps un produit de « luxe », il n'y a donc pas beaucoup de personne qui en achète. Cependant, la consommation devient de plus en plus courante à partir du XVII^e s. Le savon de Marseille est produit dans le monde entier notamment en Chine et en Turquie.

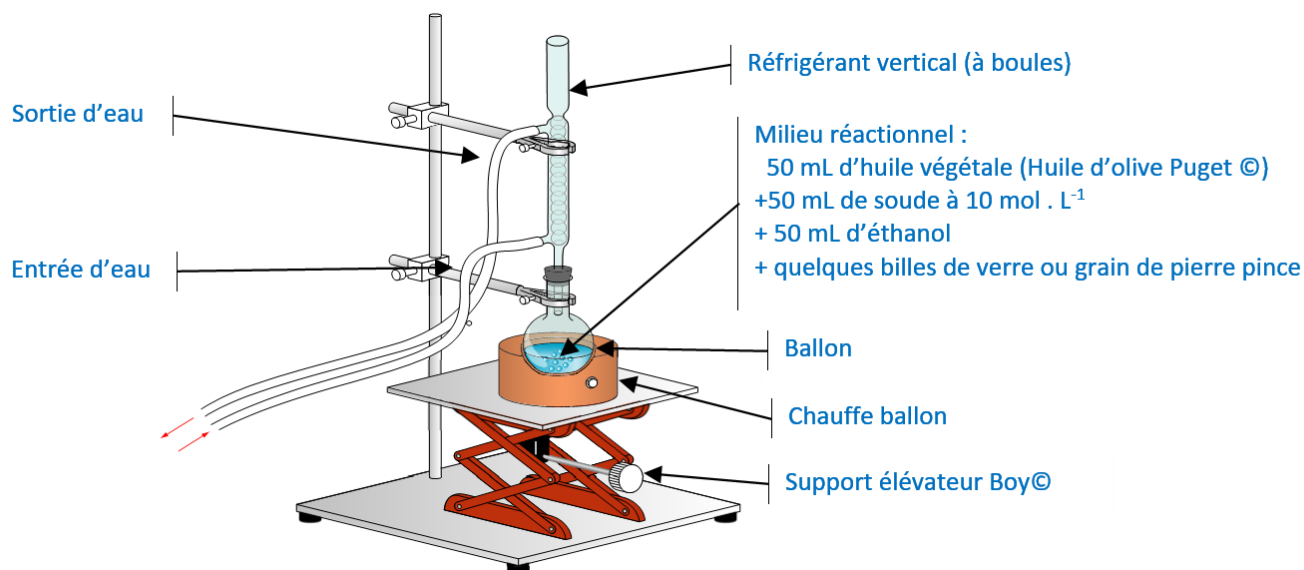
Pendant l'Antiquité, on mélangeait des cendres et de la graisse animale pour fabriquer du savon. Ce mélange cuit pendant 10 jours à plus de 100 degrés. Pendant ces 10 jours se produit la saponification : on obtient du savon et de la glycérine non transformée.

Après repos, il faut laver plusieurs fois la pâte pour qu'elle soit débarrassée de la soude qui ne s'est pas transformée en savon car elle est mauvaise pour la santé. Au bout de 2 jours, le savon devient solide. On peut donc le couper et le laisser reposer trois semaines pour qu'il soit bien sec et solide.

Les savons sont obtenus par saponification des corps gras, nous l'avons réalisée par deux méthodes.

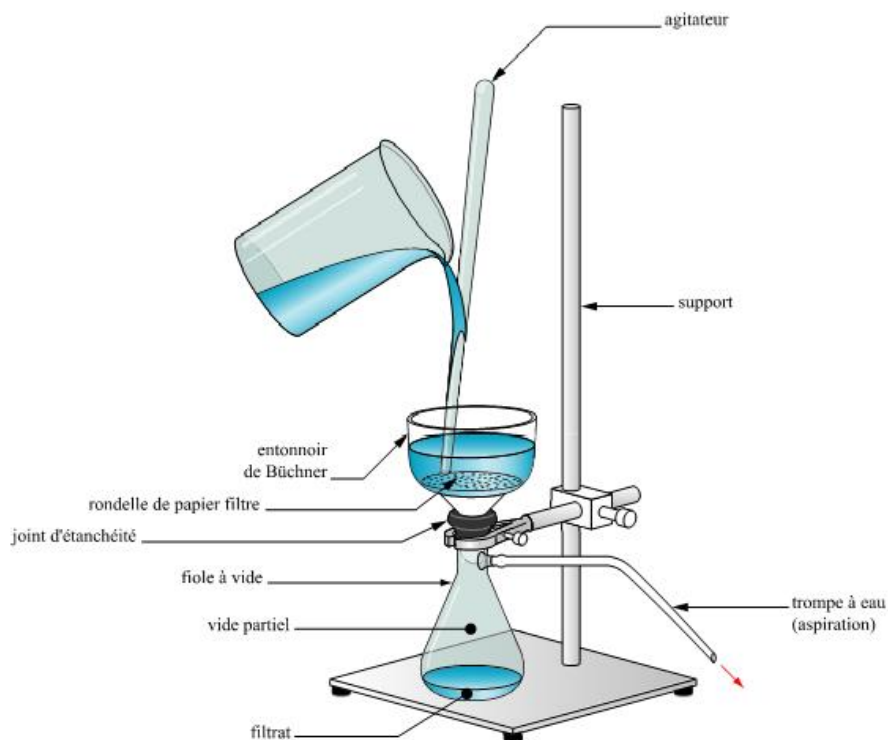
⇒ *Méthode classique :*

Elle est réalisée dans un montage à reflux.



On maintient une ébullition douce et régulière 20 minutes. Le savon est obtenu dans le ballon. Le milieu réactionnel est ensuite transvasé dans un grand bœcher de 1 L contenant 750 mL d'une solution de chlorure de sodium saturée. Le savon précipite, il se sépare de la phase aqueuse et flotte c'est le relargage.

Le savon est récupéré par filtration sous pression réduite ou filtration Büchner.



Le savon est récupéré sur le papier filtre puis mis à sécher une semaine. Celui-ci n'est pas pur, il contient encore de la soude et d'autre impureté. Une semaine plus tard nous l'avons donc râpé, à l'aide d'une râpe à fromage, puis lavé dans une solution saturée de chlorure de sodium, les impuretés y sont solubles mais pas le savon. Après 15 minutes, sur agitation magnétique nous l'avons de nouveau filtré puis mis à sécher jusqu'au mercredi suivant. Nous avons effectué cette opération de lavage 3 fois, puis après un dernier séchage nous l'avons broyé finement, pour avoir un savon facile à dissoudre.

⇒ *Méthode TS₂*

Nous l'appelons ainsi car nous n'avons trouvé aucune référence, sur internet ou dans un livre, en dehors des photocopiés de TP de notre classe. Il s'agit simplement de mettre dans un bécher le mélange réactionnel, puis de le mettre sous agitation magnétique vive pendant 20 min, le mélange prend en masse. On le laisse sécher puis on procède aux lavages.

II. PHYSIQUE DES BULLES

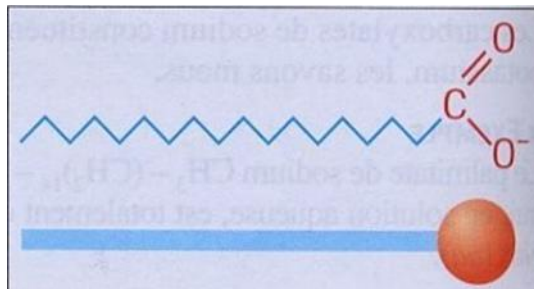
A. Tension superficielle

La tension superficielle est aussi appelée tension de surface.

Pour parler de tension superficielle, nous devons parler de la création d'interfaces. Une interface est une surface de contact entre deux milieux différents. La création d'une interface consomme de l'énergie qui peut se calculer en multipliant l'aire de la surface par la tension superficielle. Cette énergie s'exprime en J/m^2 mais peut aussi s'exprimer sous forme de force par unité de longueur en N/m .

La tension superficielle est une force qui apparaît lorsque l'interface est créée et disparaît quand l'interface n'existe plus. Dans un liquide, il existe des forces d'attraction, aussi appelées forces de Van der Waals et des forces de répulsion nommées forces électrostatique.

Des tensioactifs, aussi appelés agents de surface sont des composés qui vont être capable de diminuer la tension superficielle entre deux surfaces. Ils ont deux parties de polarité différentes : une lipophile qui est apolaire puisqu'elle aime les corps gras et une hydrophile qui est polaire avec l'eau.



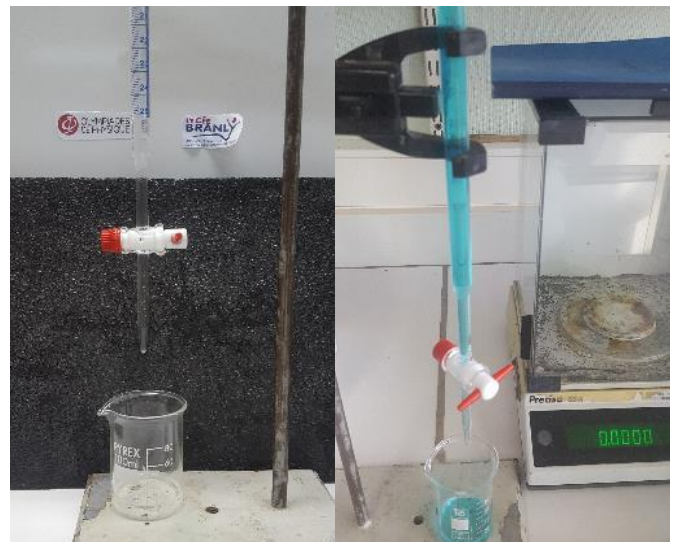
Représentation d'une molécule de savon : En bleu nous pouvons voir la partie apolaire et en rouge la partie polaire.

Nous avons mesuré la tension superficielle en utilisant la méthode du TATE, loi qui permet de calculer la masse d'une goutte.

Voici le montage pour réaliser la méthode du TATE. La photo de gauche présente une burette remplie d'eau et celle de droite est remplie de notre solution.

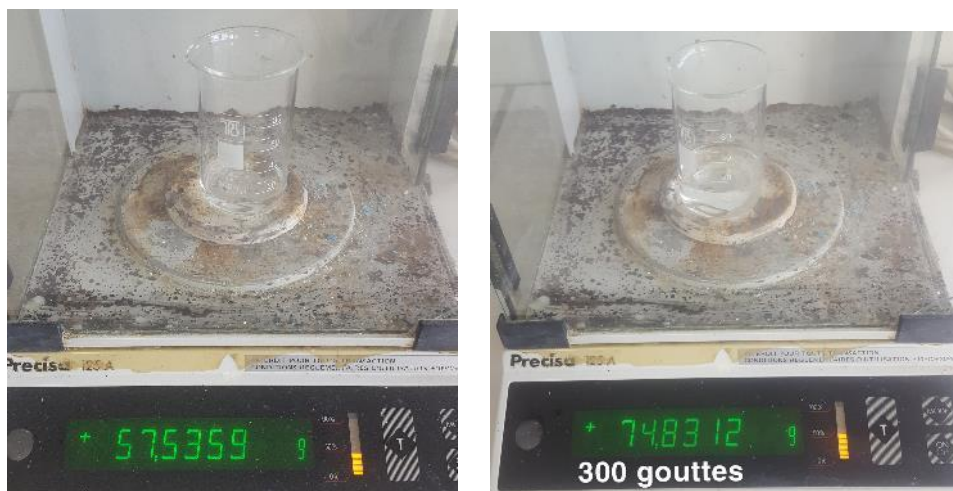
Nous avons d'abord compté les gouttes d'eau :
Avant de commencer, nous avons pesé la masse d'un bécher avec un fond d'eau qui vaut 57,5359 g.

Avec 100 gouttes, le bécher pèse 63,2327 g.
Avec 200 gouttes, le bécher pèse 68,9987 g.
Avec 300 gouttes, le bécher pèse 74,8312 g.



Nous avons ensuite soustrait ces masses à la masse « vide » du bécher puis divisé ces résultats par le nombre de gouttes contenues dans le bécher.

Nous trouvons une moyenne de 57,651 mg pour une goutte d'eau.



Pesées du bécher avant et après ajout de 300 gouttes d'eau

Nous avons ensuite compté les gouttes de la solution qui contient de l'eau distillée, du Dreft © et du glycérol :

Le bécher contenant un peu de solution pèse 62,5292 g.

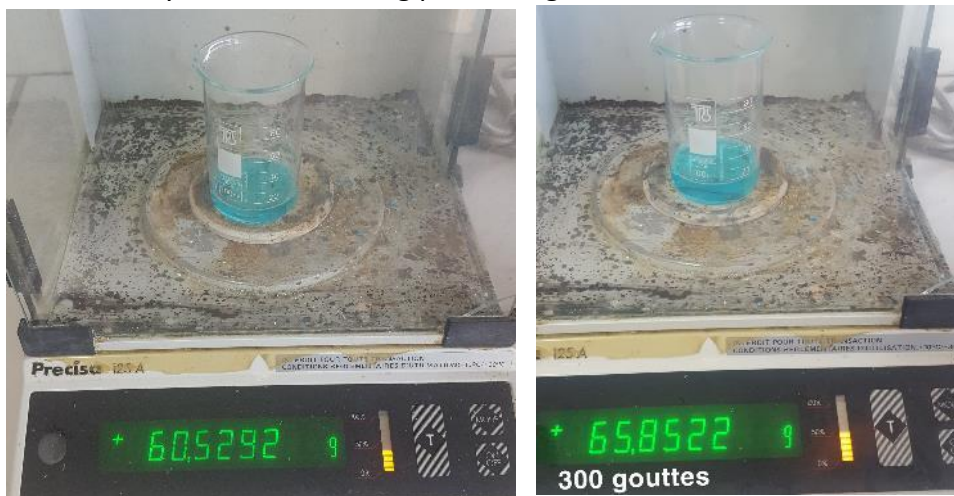
Avec 100 gouttes, le bécher pèse 62,1167g.

Avec 200 gouttes, le bécher pèse 63,7042g.

Avec 300 gouttes, le bécher pèse 65,8522g.

Nous avons comme pour l'eau soustrait ces masses à la masse « vide » du bécher puis divisé ces résultats par le nombre de gouttes contenues dans le bécher.

Nous trouvons une moyenne de 17,74 mg pour une goutte de solution.



Pesées du bécher avant et après ajout de 300 gouttes de solution de Dreft ©

Puisque nous connaissons la masse d'une goutte de cette solution, nous pouvons maintenant calculer la tension superficielle de cette solution grâce à la formule suivante :

$$\gamma_{\text{liquide mesuré-air}} = \frac{\gamma_{\text{liquide référence-air}} \cdot m_{\text{goutte liquide mesuré}}}{m_{\text{goutte liquide référence}}}$$

Les écritures en verts concernent l'eau. Nous savons que l'eau à une tension superficielle de 73,14 N.m⁻¹ et qu'une goutte d'eau pèse 57,651 mg soit 0,057651 g. Une goutte de notre solution pèse 17,74 mg soit 0,01774 g. Nous pouvons donc calculer la tension superficielle de notre solution :

$$\gamma_{\text{Dreft-air}} = \frac{73,14 \cdot 10^{-3} \times 0,01774}{0,057651} = 22,5 \cdot 10^{-3} = 22,5 \text{ mN.m}^{-1}$$

Nous pouvons donc dire que la tension superficielle de notre solution est très inférieure à celle de l'eau.

Lorsque l'on dépose une goutte d'eau sur une table, celle-ci ne se déforme pas et ne s'étale pas. Si nous mettons une goutte de notre solution dans la goutte d'eau, elle va s'étaler. Ceci est dû notamment aux phases hydrophiles et hydrophobes du savon contenu dans notre solution.

Nous avons procédé de la même manière avec différentes solutions, voici les résultats :

Solutions	Tension superficielle en mN.m ⁻¹
Dreft + glycérol + eau (2/1/6)	22,5
Dreft + sirop d'agave + eau (2/1/6)	24,3
Dreft + sirop de riz + eau (2/1/6)	23,2
Dreft + eau (2/7)	20,6
Saponine de marron à 1%	27,3
Saponine de saponaire à 5 % (de feuille broyée)	35,3
Savon fabriqué 1% dans l'eau	29,5

Nous pouvons dire, qu'au erreur d'expérience près, nos solutions de Dreft © ont la même la même tension superficielle, les sirops ne semblent pas la perturber.

Pour le Dreft © pur elle est plus faible, mais pas énormément.

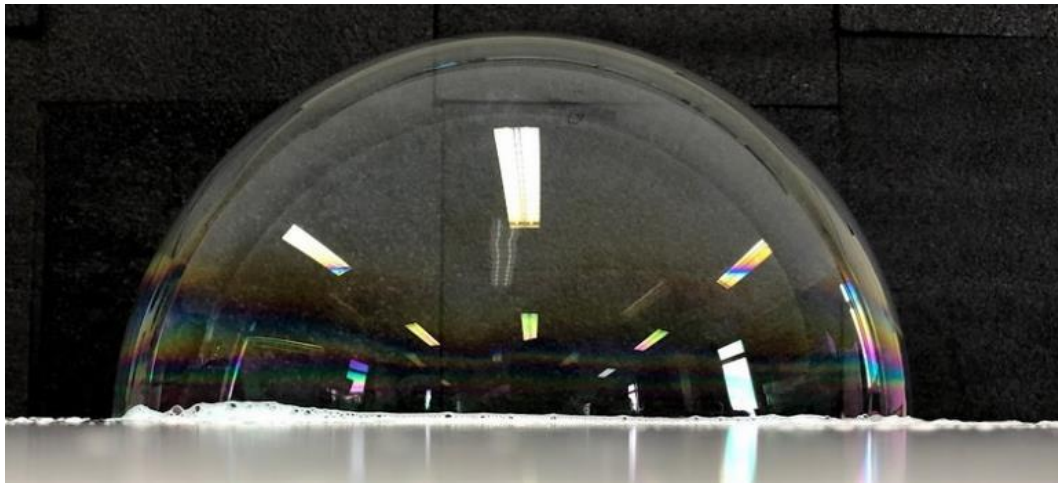
Nos saponines et savon ont de tensions superficielles du même ordre de grandeurs.

B. Interférence et iridescence

A la surface de la bulle, nous pouvons constater l'apparition de plusieurs couleurs différentes.

Nous pouvons expliquer ce phénomène optique par le fait que selon l'angle sous lequel nous regardons la bulle ou simplement par rapport à l'intensité de l'éclairage les couleurs seront différentes. Ces différentes couleurs résultent également d'une interférence entre le rayon lumineux qui s'est réfléchi sur la pellicule de savon et celui qui en est ressorti après avoir fait un ou plusieurs allers et retours à l'intérieur de cette pellicule. Ce phénomène est nommé iridescence ou goniochromisme (qui vient du grec gonio : angle et chroma: couleur).

Lorsque des « iridescences » noires apparaissent, la bulle est sur le point d'éclater.



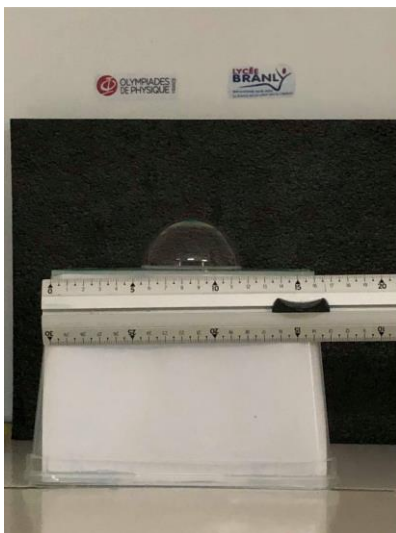
Nous voyons bien sur cette photo qu'il y a présence de couleurs diverses au niveau de la base de la bulle comme le jaune, le rose, le bleu,...

C. Profil d'une demi-bulle

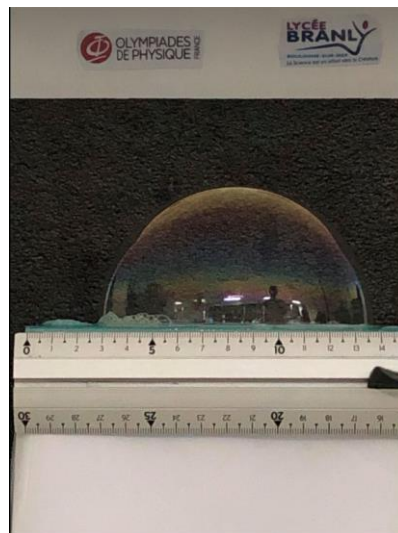
Nous nous sommes demandés si les demi-bulles étaient sphériques. Pour cela nous avons pris des photos avec nos téléphones portable en prenant soin :

- De la prendre de loin pour éviter les erreurs de parallaxe
- D'avoir l'objectif au niveau du support.

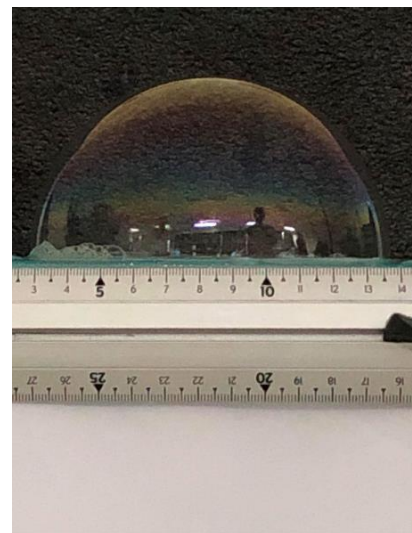
Nous avons négligé un paramètre certains téléphone font des photos qu'eux seuls peuvent lire, ce problème fut vite réglé.



Positionnement



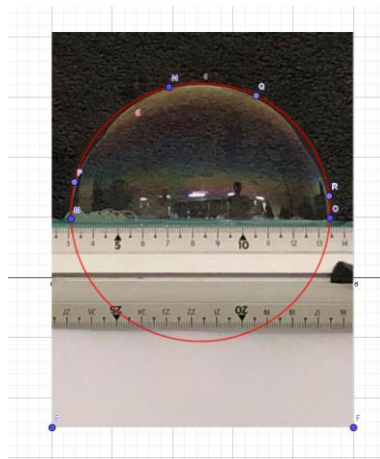
Zoom



Centrage

La règle graduée donne l'échelle

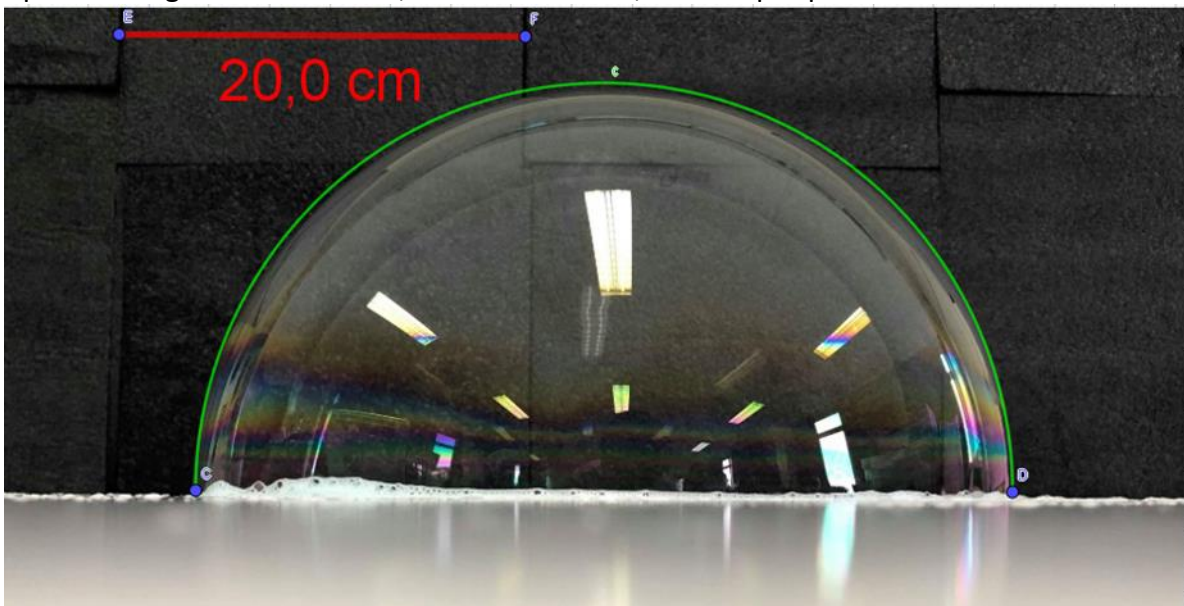
Pour vérifier la sphéricité notre première idée a été d'utiliser notre logiciel de construction en géométrie : Géogébra. Après avoir insérer une photo, on demande au logiciel de construire un cercle passant par trois point choisis sur la périphérie de la bulle.



Copie d'écran Géogebra

A priori pour cette petite bulles 10,5 cm de diamètre la bulle est une demi-sphère.

Mais pour cette grosse bulle de 40,0 cm de diamètre, ce n'est pas pareil.

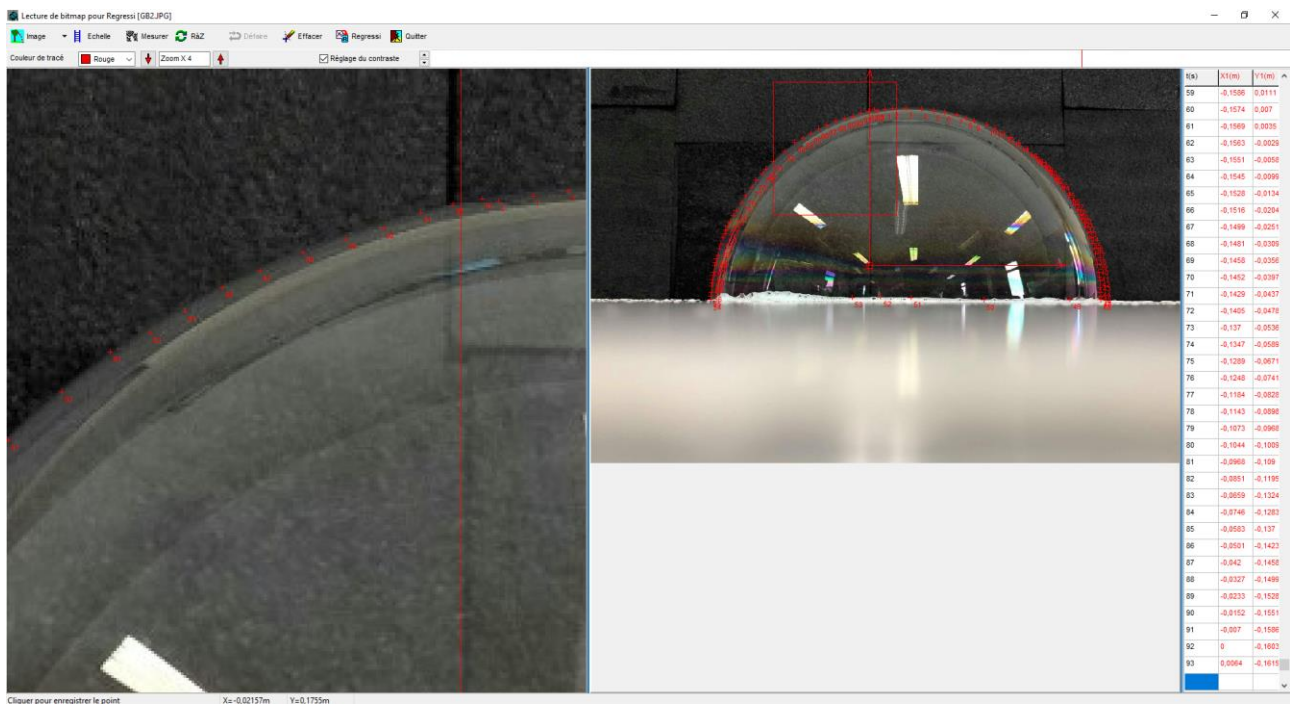


Cette fois la bulle s'écarte de l'arc de cercle.

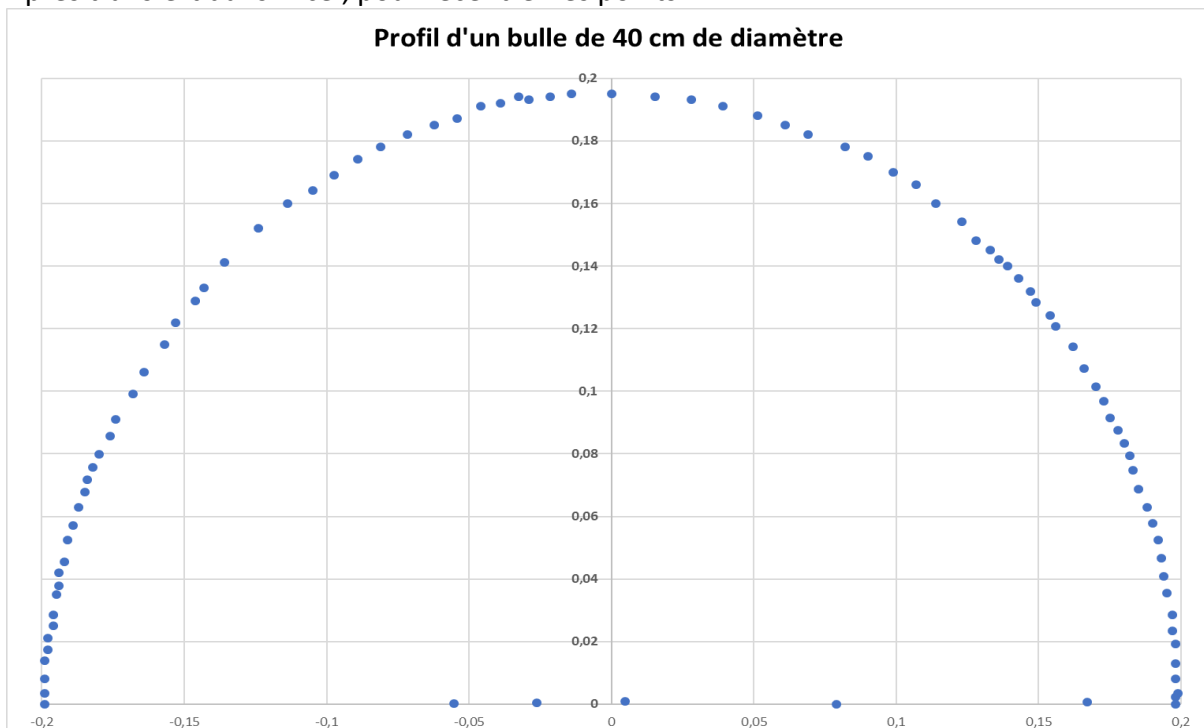
En zoomant, on voit très bien cet écart.



Cet écart pouvant être lié à la construction dans Géogébra nous avons décidé de relever le pourtour de la demi-bulle à l'aide du logiciel de pointage Regavi / Régressi



Après transfert dans Excel, pour recentrer les points.



Nous pouvons dire que cette demi-bulle n'a pas un profil qui est sphérique.
Les grosses bulles semblent s'aplatir sous l'effet de leur poids

D. Réalisation de solutions d'eau savonneuse

Nous avons réaliser plusieurs solutions d'eau savonneuse.

Remarque : plus le temps de repos d'une solution sera long, mieux les bulles se réaliseront puisqu'il y a de l'alcool contenu dans le savon et il est préférable que celui-ci soit absorbé pour réaliser des bulles.

L'une des recettes les plus classiques est de mélanger un volume de savon pour 4 volumes d'eau.

Nous avons ensuite réalisé une solution pour faire des bulles « géantes » en mélangeant :

- 2 volumes d'eau distillée,
- 2 volumes de Dreft
- 1 volume de glycérol.

Nous avons enfin réalisé une solution pour faire des bulles qui ont une durée de vie plus longue en mélangeant

- 6 volumes d'eau,
- 2 volumes de Dreft
- 1 volume de sirop de riz.

Nous avons fait la même solution en remplaçant la dose de sirop de riz par une dose de sirop d'agave. Le sirop de maïs et le sirop d'agave forment un lien avec l'hydrogène de l'eau ce qui va retarder l'évaporation de l'eau et donc prolonger la durée de vie des bulles.

Grâce à ces solutions, nous avons pu effectuer différentes mesures :

-la masse volumique :

Elle est de $0,966 \text{ g.cm}^{-3}$ pour l'eau à la température de l'expérience.

Nous l'avons mesuré pour le sirop de riz et pour le sirop d'agave.

Celle pour le sirop de riz est $1,392 \text{ g.cm}^{-3}$ et celle du sirop d'agave est $1,381 \text{ g.cm}^{-3}$.



Les sirops utilisés

-le taux de sucre :

Nous avons mesuré ce taux pour toutes les solutions d'eau savonneuse que nous avons fabriqué grâce à un réfractomètre. Nous avons d'abord mesuré le taux de sucre dans chacune des substances que nous avons utilisé dans nos solutions :

Pour le sirop d'agave et le sirop de riz il est de 80% (le sirop nous affirme qu'il est fortement sucré...). Celles avec le sirop de riz d'une part et le sirop d'agave d'autre part ont un taux plus bas, environ 20%. Le glycérol aurait donc un plus fort taux de sucre que les sirops de riz et d'agave ?



Photos d'un réfractomètre à main

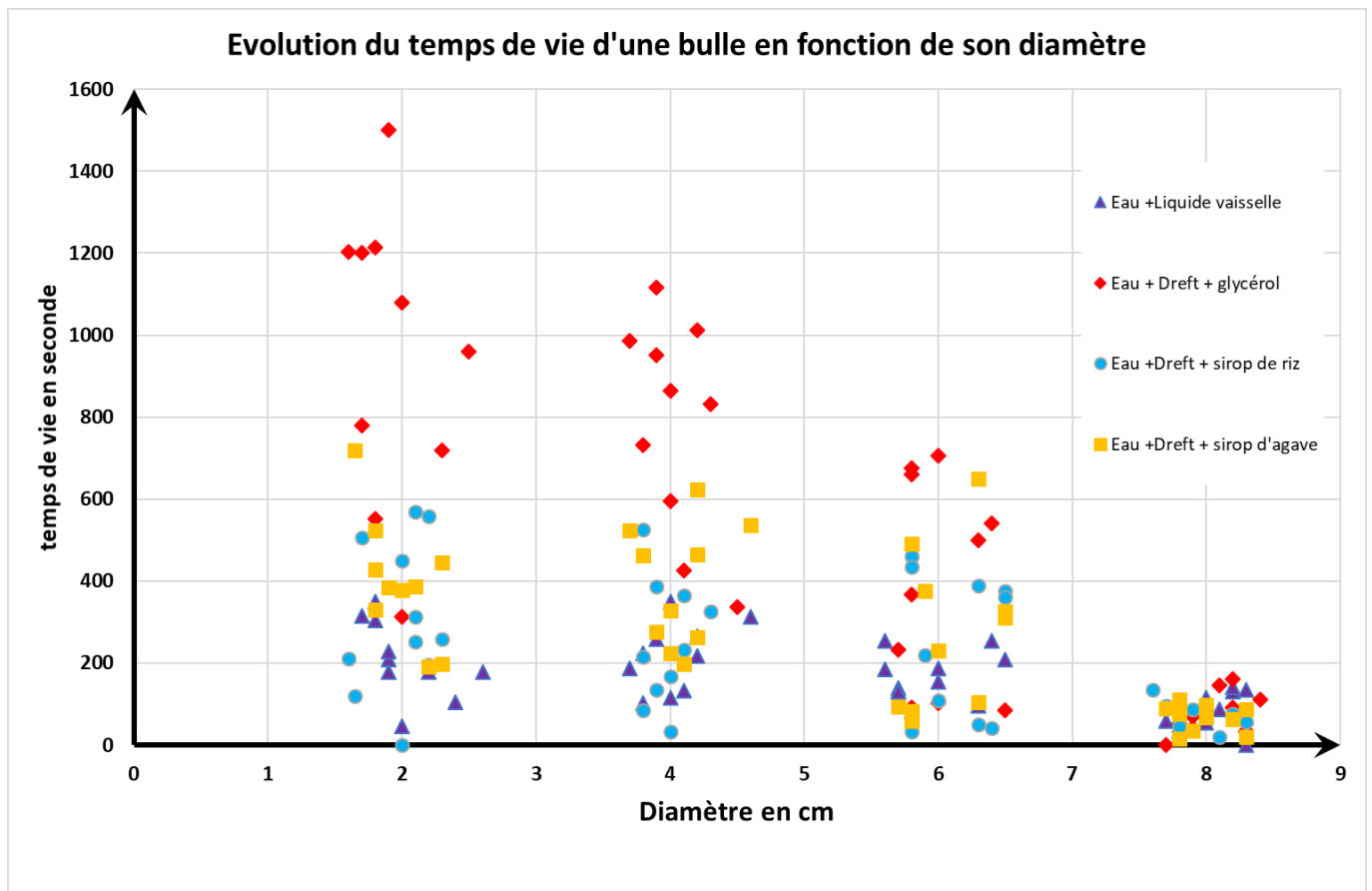
Grâce aux solutions, nous avons pu réaliser des bulles de différents diamètres puis mesuré la pression contenue dans ces bulles grâce à un pression-mètre. Nous pouvons conclure, à la suite de cette expérience que la pression à l'intérieur d'une bulle ne change pas en fonction de sa taille.

D. Durée de vie de différentes bulles.

Une bulle éclate pour une raison spécifique :

L'eau se déplace vers les bords, la paroi devient donc de plus en plus fine et finie par éclater.

Nous avons mesuré le temps de vie de plusieurs bulles. Avec chacune des 4 solutions (**vues précédemment**) nous avons réalisé 40 bulles : 10 d'environ 2, 4, 6 et 8 cm. Nous avons mesuré le temps entre la libération de la bulle et son éclatement.



Ce tableau représente 49315 s, soit près de 14h d'observation

Nous remarquons immédiatement, que la taille de la bulle est un paramètre important dans sa durée de vie, Une petite bulle vit plus longtemps qu'une bulle de plus grand diamètre. Faute de temps nous n'avons pu collecter assez de mesures pour pouvoir établir un modèle mathématique.

D'après notre expérience, on remarque que les bulles formées avec les solutions contenant du sirop de riz et du sirop d'agave ainsi que celle contenant seulement de l'eau et du liquide vaisselle ont une durée de vie moins longues que celles formées avec une solution contenant du glycérol. Notre hypothèse étant que les bulles durent plus longtemps avec du sirop de riz et du sirop d'agave n'est donc pas vérifiée mais l'est avec le glycérol !

Nous avons ensuite réalisé des bulles dans une boîte fermée et nous avons pu constater que quel que soit la solution d'eau savonneuse utilisée pour réaliser cette bulle, sa durée de vie est nettement plus importante qu'une bulle réalisée par exemple sur une table puisque sa durée de vie se compte en heures ! Nous pouvons justifier ce phénomène par le fait que dans une boîte fermée, l'eau contenue dans la bulle ne peut pas s'évaporer.

Nous n'avons pas trouvé de dispositif qui nous permette de suivre mesurer exactement les durées de bulles enfermées. La vidéo est une idée séduisante mais elle génère très rapidement des fichiers importants pour une seule mesure.

CONCLUSION

Pour conclure, nous pouvons dire que les bulles semblent, au premier regard, « un jeu d'enfant », un phénomène banal auquel nous prêtons peu d'attention. C'est pour cette raison que nous avons cherché à expliquer leur origine, leur formation, leur durée de vie, les raisons pour lesquelles elles éclatent, ... En réalité, les bulles renferment beaucoup de notions de physique, en tout cas, plus qu'on ne le pense.

Nous avons extrait des savons de plantes communes, puis effectué des synthèses classiques de terminale. Les espèces obtenues diminuent la tension superficielle de l'eau et permettent la formation de bulles. Nous les avons mesurées, elles sont du même ordre de grandeur.

Nous nous sommes intéressés à la forme de bulles posées, nous avons pu montrer que lorsqu'elles sont centimétriques, elles sont hémisphériques, alors que lorsqu'elles sont décimétriques elles ne le sont plus sous l'effet de la pesanteur.

Nous nous sommes également intéressés à la durée de vie d'une bulle. Les mesures montrent que les bulles petites vivent plus longtemps que les bulles de tailles importantes. L'ajout de solution sucrée permet de prolonger la vie éphémère du film de savon. Nous n'avons, faute de temps, pu établir de modèle mathématique. Une autre méthode pour limiter l'évaporation est d'enfermer les bulles, la durée de vie est alors multipliée par 100, 1000 voire plus.

Pourquoi tenons-nous tant à faire des grosses bulles qui durent longtemps ? Hé bien, par ce qu'alors nous pourrions espérer mesurer la vitesse de rupture du film. Elle est très rapide mais si on a une bulle géante, on peut espérer pouvoir mesurer quelque chose, du moins un ordre de grandeur.



La Souffleuse de savon, 1748, Jean Daullé

REMERCIEMENTS

Nous remercions nos professeurs encadrants, M. BURIDANT et M. SORET qui ont participé à nos démarches expérimentales. Nous remercions également les laborantines de notre lycée qui nous ont consacré du temps. Nous devons aussi remercier nos proches qui nous ont soutenu et accompagné à leur manière pour permettre l'avancement de ce projet. En participant aux Olympiades nous avons pu élargir nos connaissances et nous n'oublierons jamais cette expérience.