

# BULLASTIQUE

“ Les bulles c'est fantastique, c'est bullastique ! ”

*Comment créer des bulles à durée de vie infinie ?*

GAMBIER ROSE  
ADORNI Thomas

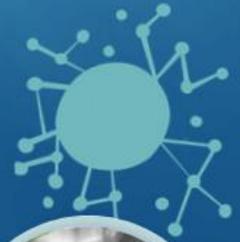
BLAEVOET Lylian  
MOREEL Nicolas



LYCEE DES FLANDRES HAZEBROUCK



# TEAM BULLASTIQUE



**NICOLAS**

Scientifique dans l'âme.



**ROSE**

Scientifique dans l'âme  
bis



**THOMAS**

Scientifique dans l'ame  
ter



**LYLIAN**

Scientifique dans l'âme  
quater

06:10:14:17:42  
Date Heure Minute Secondes  
© 2020-2021 06:10:14:17:42

Quand nous avons rejoint l'atelier scientifique en classe de première, le but était de faire de la physique. En discutant, entre nous de l'opportunité de passer le BAFA, nous avons cité les différentes activités à mettre en œuvre dans ce cadre. C'est dans ces conditions que nous avons parlé de bulles pour la première fois. Leur caractère éphémère nous a interpellé et c'est ainsi que nous avons démarré notre travail sur l'augmentation de leur durée de vie.

## Partie 1 : Description Bulle d'eau

### I. Mise en évidence et définition



Pour la science 545

L'étonnement et la satisfaction restent les mêmes lorsque nous observons des bulles et ce quel que soit l'âge de l'observateur.

Ces objets de forme sphérique ont tendance à se laisser porter par le vent et à prendre une succession de couleurs vives très impressionnantes.

Pour les réaliser, il est possible de se contenter de très peu de choses. En effet, il suffit d'un peu d'eau, d'un peu de savon et d'un support circulaire. En injectant de l'air à travers un film d'eau et de savon, on fait naître cet objet si particulier. De l'air est ainsi emprisonné à l'intérieur d'un mince film d'eau savonneuse.

Pour définir simplement une bulle, il suffit de considérer qu'il s'agit d'un film d'eau dans l'air.

A ce stade de nos observations se sont posées de nombreuses questions :

Pourquoi les bulles sont toujours sphériques ?

Pourquoi sont-elles colorées ?

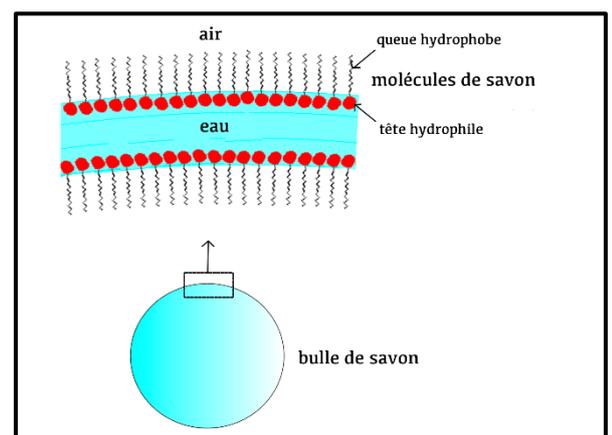
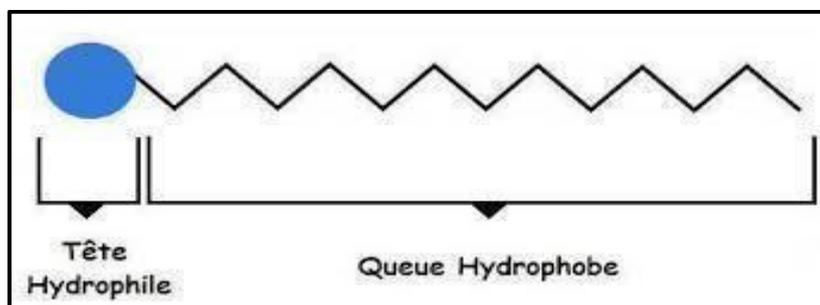
Pourquoi ces couleurs varient au cours du temps ?

Pourquoi sont-elles éphémères ?

Est-il possible de créer une bulle à durée de vie infinie ?

### II. Structure

Les bulles de savon sont constituées d'eau et de savon. Le savon est une molécule possédant deux parties aux propriétés très différentes : une partie hydrophile et une partie hydrophobe.



Les têtes hydrophiles fortement polarisées se placent à travers les molécules d'eau alors que les chaînes carbonées (queue hydrophobe) apolaires, restent dans l'air. Les molécules de savon permettent de maintenir le film d'eau au milieu de l'air.

Quand on essaie de former une bulle sans prendre de savon, c'est quasiment impossible, et même si elle se forme, sa durée de vie est très faible.

### III. Forme d'une bulle

Pour comprendre la forme des bulles, il est nécessaire de mettre en évidence des phénomènes particuliers liés à la surface des liquides. En effet, nous pouvons considérer qu'un mince film d'eau aura les mêmes propriétés qu'une surface d'eau. Nous nous sommes intéressés aux propriétés de la surface de l'eau.

#### 1. Mise en évidence : Expériences

Trombone sur l'eau : Il est possible avec un peu de précision et de délicatesse de poser un trombone à la surface de l'eau.



En observant la situation, on se rend compte que le trombone ne pénètre pas dans l'eau, il se pose sur la surface en la déformant mais sans la pénétrer. La situation nous fait penser à la toile d'un trampoline qui se déforme sous l'effet de notre poids. Ici c'est la surface de l'eau qui se déforme et qui retient notre trombone : les molécules présentes en surface forment une « sorte » de peau qui retient le trombone.

Nous nous sommes demandés si la force exercée par l'eau pouvait retenir des objets plus lourds qu'un trombone. En effet, cette force vient compenser le poids du trombone qui reste faible vu la masse qu'il possède ( $P \vec{=} m \times \vec{g}$ ). Nous avons choisi d'essayer avec des objets plus lourds comme des pièces de monnaie, mais il devient vite délicat de les déposer à la surface sans la rompre. Par contre, en plaçant un verre d'eau retourné sur une grille, nous avons pu retenir l'eau du verre. En effet, la contribution de chaque petite surface permet de retenir un verre d'eau complet et donc une masse bien plus importante. Cette force n'est donc pas négligeable.

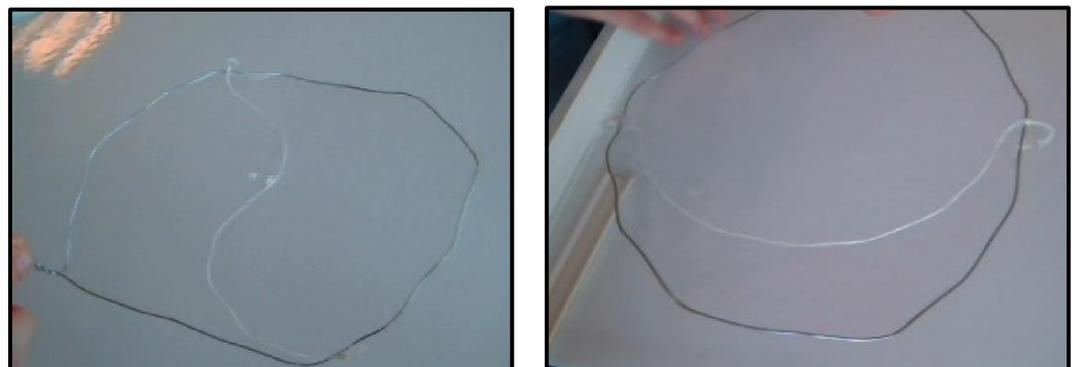


Cette force porte le nom de **tension superficielle**.

#### 2. Caractérisation : direction et sens

Expérience 1 : On réalise un film de savon sur un cadre métallique coupé par un fil de nylon et on casse le film situé d'un côté du fil. En effet, le film de savon correspond quasiment à une surface d'eau emprisonnée dans l'air.

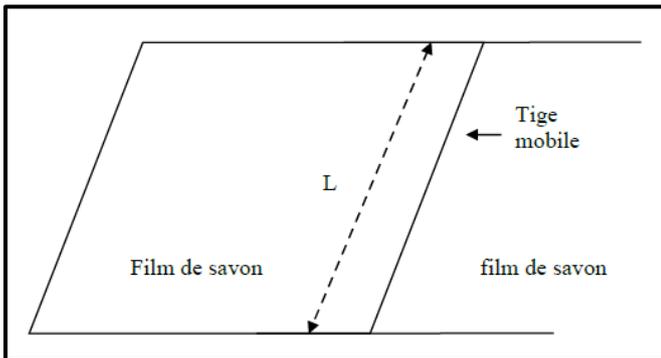
Quand le film casse le fil de nylon se tend vers le film restant. La force exercée sur le fil de nylon tend à minimiser la surface du film.



Une boucle de fil à coudre est posée sur un film de savon. Quand on perce le centre de la boucle, celle-ci prend la forme d'un cercle. Cette observation est en accord avec la minimisation des surfaces réalisées par la force de tension superficielle.



Expérience 2 : Pour définir la force de tension superficielle en termes de points d'application, de direction, de sens et d'intensité, nous avons imaginé le dispositif suivant :



Lorsque nous brisons une lame de savon, la tige se met en mouvement dans la direction de l'autre film.

La force de tension superficielle est orientée de manière à minimiser la surface de contact entre le film et l'air.



**Conclusion : Le force de tension superficielle s'oriente toujours pour minimiser la surface de contact entre le liquide et le milieu extérieur**

### 3. Expression de la force de tension superficielle

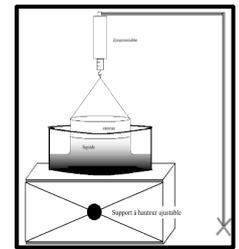
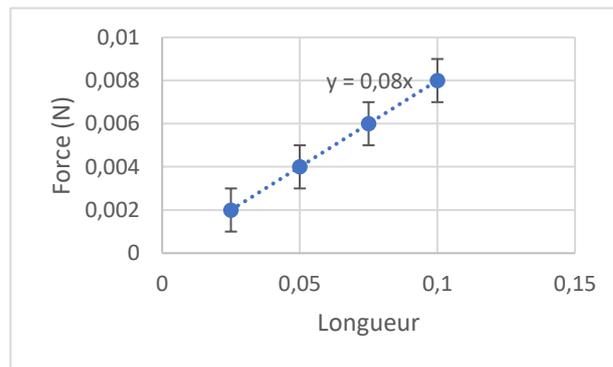
Pour déterminer les paramètres influençant l'intensité de la force, nous avons utilisé le montage ci-contre :

La lame métallique est soumise à la force de tension superficielle qui est mesurée à l'aide d'un dynamomètre. On réalise l'équilibre pour différentes longueurs de lame au contact du film de savon et on mesure la valeur de la tension superficielle au moment où le film rompt.



On remarque que plus la longueur  $L$  est grande, plus la force de tension superficielle est grande.

Longueur (m)	Force mesurée (N)
0,100	0,008
0,075	0,006
0,050	0,004
0,025	0,002

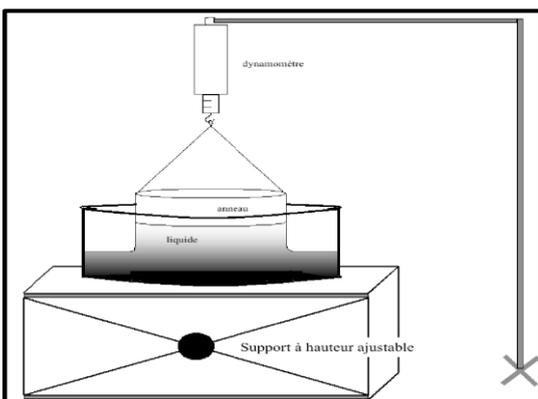


La force de tension de surface est proportionnelle à la longueur de contact entre la lame et le liquide :  $F = \gamma \times L$  avec  $F$  en N,  $L$  en m et  $\gamma$  le coefficient de tension superficielle en N/m.

C'est cette grandeur qui permet de comparer les propriétés de tension surfacique des liquides.

#### 4. Mesure de coefficient de tension superficielle pour l'eau et l'eau savonneuse

Nous avons voulu déterminer la valeur du coefficient de tension superficielle pour de l'eau et de l'eau savonneuse à différentes proportions de savon :



Volume de savon pour 100mL de mélange (mL)	F(N)	$\gamma$ (N/m)
0	0,014	0,074
1	0,007	0,037
5	0,006	0,032
10	0,005	0,026
15	0,005	0,026
20	0,005	0,026
30	0,005	0,026
40	0,005	0,026
50	0,005	0,026
100	0,005	0,026

On place un anneau suspendu à un dynamomètre au-dessus d'un cristallisoir contenant le liquide dont on cherche le coefficient de tension superficielle. On relève la valeur de la graduation du dynamomètre avant contact ( $V_d$ ) puis on élève le cristallisoir jusqu'à ce que l'anneau entre en contact avec ce liquide. On le redescend jusqu'à la rupture du film qui se crée sur le bord de l'anneau. On relève la valeur maximale pour laquelle l'anneau et le liquide sont encore en contact ( $V_a$ ).

Pour le premier mélange, on a  $V_d = 0,063\text{N}$  et  $V_a = 0,049\text{N}$ . La différence des graduations du dynamomètre permet d'avoir la force de tension superficielle en N.  $f = V_a - V_d = 0,063 - 0,049 = 0,014\text{N}$  avec une erreur égale à  $0,001\text{N}$  sur la mesure. Pour obtenir le coefficient de tension superficielle, nous avons divisé le résultat par la longueur de l'anneau. On a réalisé la même chose avec les différents mélanges.

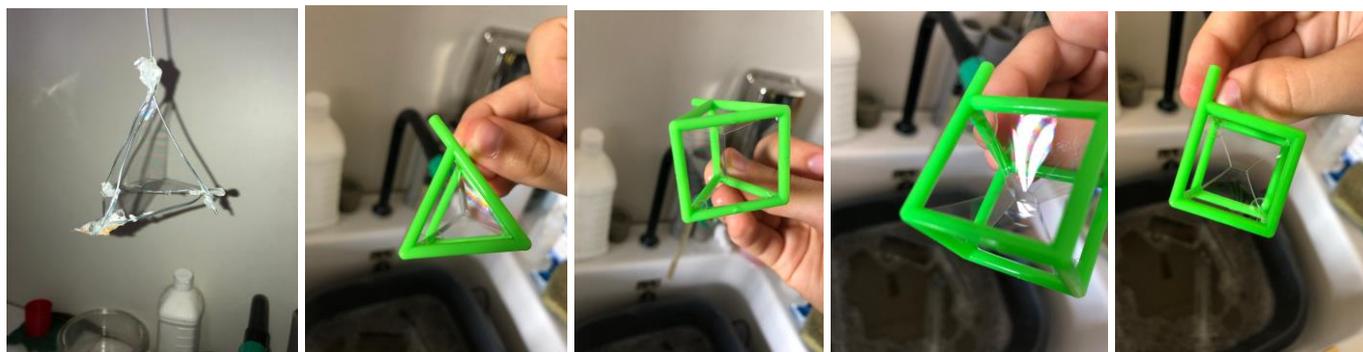
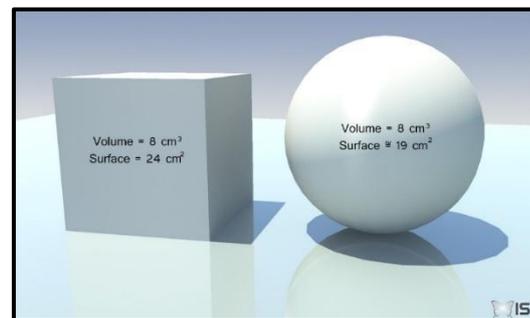
Ces mesures nous montrent que la tension de surface est plus faible avec du savon qu'avec de l'eau. La proportion de savon n'a que peu d'influence, en effet à partir d'une certaine quantité, le coefficient reste constant. Ceci explique qu'il est quasi impossible de former une bulle avec de l'eau pure. Celle-ci meurt presque instantanément. L'ajout de surfactant permet de maintenir l'eau sous forme de film.

## 5. Conclusion

Les bulles vont toutes avoir des formes sphériques car la tension de surface s'exerce pour minimiser les surfaces de contact. En effet, pour envelopper un volume donné, la surface la plus faible est la sphère. Il faut cependant que la force ne soit pas trop importante pour éviter la rupture du film, ce qui peut se faire à l'aide de tensioactif.

Une bulle « de savon » est constituée d'un film d'eau enfermé dans des molécules de savon. Sa forme est liée à la tension superficielle, qui tend à minimiser la surface libre des liquides avec l'air extérieur.

Nous avons ensuite réalisé des bulles à l'aide de différents supports, d'abord avec un système « fait maison » à l'aide de fil de fer et d'un pistolet à colle puis de jouets en plastique.



Ces bulles restent éphémères car le film d'eau finit par se rompre.

Quels sont donc les paramètres qui agissent sur la durée de vie des bulles ?

## Partie 2 : Augmenter la durée de vie d'une bulle

Nous nous sommes fixés l'objectif d'augmenter la durée de vie de nos bulles. Dans un premier temps, nous avons cherché à comprendre pourquoi une bulle finissait par éclater. Nous avons tenté de jouer sur ces paramètres pour augmenter leur durée de vie.

### I. Premières hypothèses

#### - Composition du film

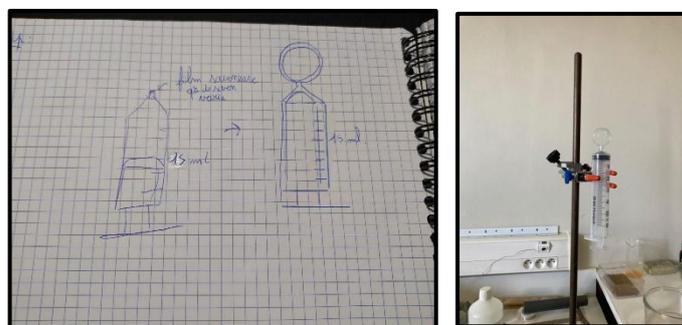
Nous avons d'abord supposé naturellement que la composition du film en savon jouait sur sa durée de vie. On pensait que, plus on met de savon, plus la bulle tient longtemps. Nous avons décidé de réaliser des bulles de compositions différentes en savon pour obtenir une bulle plus "résistante".

#### - Volume de la bulle

D'autre part, il nous semblait également naturel que plus le volume de la bulle est important, plus son temps de vie est court. Cette hypothèse semblait très simple à tester.

### II. Montage expérimental

Pour nos expérimentations, nous avons commencé par choisir de mesurer des durées de vie en fonction des paramètres à étudier. Nos premiers essais de production de bulles nous ont vite montré que les conditions de réalisation de la bulle étaient très importantes pour les mesures, et nous avons le souhait de n'étudier qu'un paramètre à la fois. Il fallait trouver le moyen de réaliser une bulle de manière à ce que sa production soit toujours réalisée dans les mêmes conditions. Nous avons réalisé trois dispositifs.

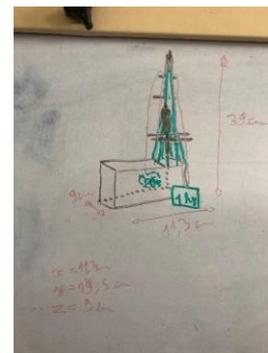
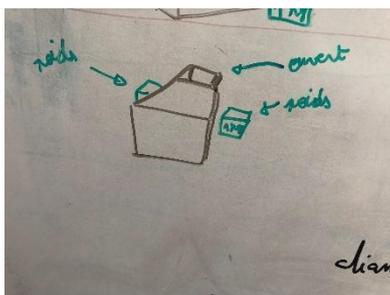
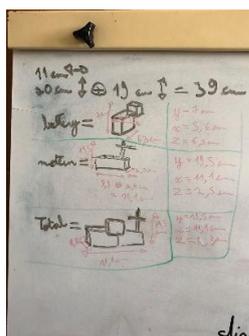
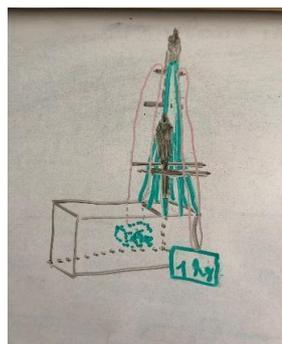


Pour le premier dispositif, nous avons choisi de réaliser nos bulles sur des seringues qui étaient maintenues à la verticale. Ainsi, il est possible d'ajouter un volume précis d'air par la seringue au préalable "trempée" dans une solution et maintenue par une potence qui tient en équilibre. Ce dispositif est manuel et provoque des imperfections, notamment au niveau de la vitesse de l'introduction de l'air. Nous avons testé le système en réalisant un très grand nombre de bulles pour vérifier le caractère reproductible de notre choix.

Nous avons aussi expérimenté d'autres dispositifs. Un deuxième dispositif devait nous permettre de réaliser des demi-bulles en surface. Dans un récipient rempli d'une préparation d'eau savonneuse, nous avons placé sous la surface du mélange l'extrémité du tube, maintenu par une demi-sphère attachée par une ventouse. Ce dispositif est plus stable mais reste imprécis car il est difficile d'utilisation notamment dans le placement du tube sous la surface du mélange.



Enfin, un troisième dispositif de formation de bulle de savon a été réalisé. L'idée était de pouvoir toujours former les bulles de la même manière en injectant l'air à vitesse constante. Nous avons utilisé un moteur électrique de récupération et un actionneur mécanique, le tout installé sur une ossature en Légo. En activant le moteur électrique à l'aide d'une télécommande qui permet d'ajuster la vitesse, on fait tourner un axe lié à l'actionneur qui pousse le piston. Une seringue est attachée au bout du piston ce qui lorsque le moteur fonctionne, fait avancer le piston qui pousse celui de la seringue. Pour avoir les volumes d'air dans la bulle, la seringue peut être attachée à différentes hauteurs de l'armature, qui tient l'ensemble du dispositif en équilibre. Ce dispositif étant automatique, il devait donc être plus précis (car à vitesse constante) mais reste difficile d'utilisation car bien souvent nous ne parvenons pas à appuyer sur le piston de la seringue dans l'axe.



À ce stade, nous avons dû choisir un mode de production de nos bulles et nous avons décidé de rester sur le premier dispositif qui, malgré ses défauts, présente une grande maniabilité.

Nous avons aussi testé de projeter les bulles sur un écran pour gagner en luminosité et observer avec une meilleure précision les volumes des bulles.



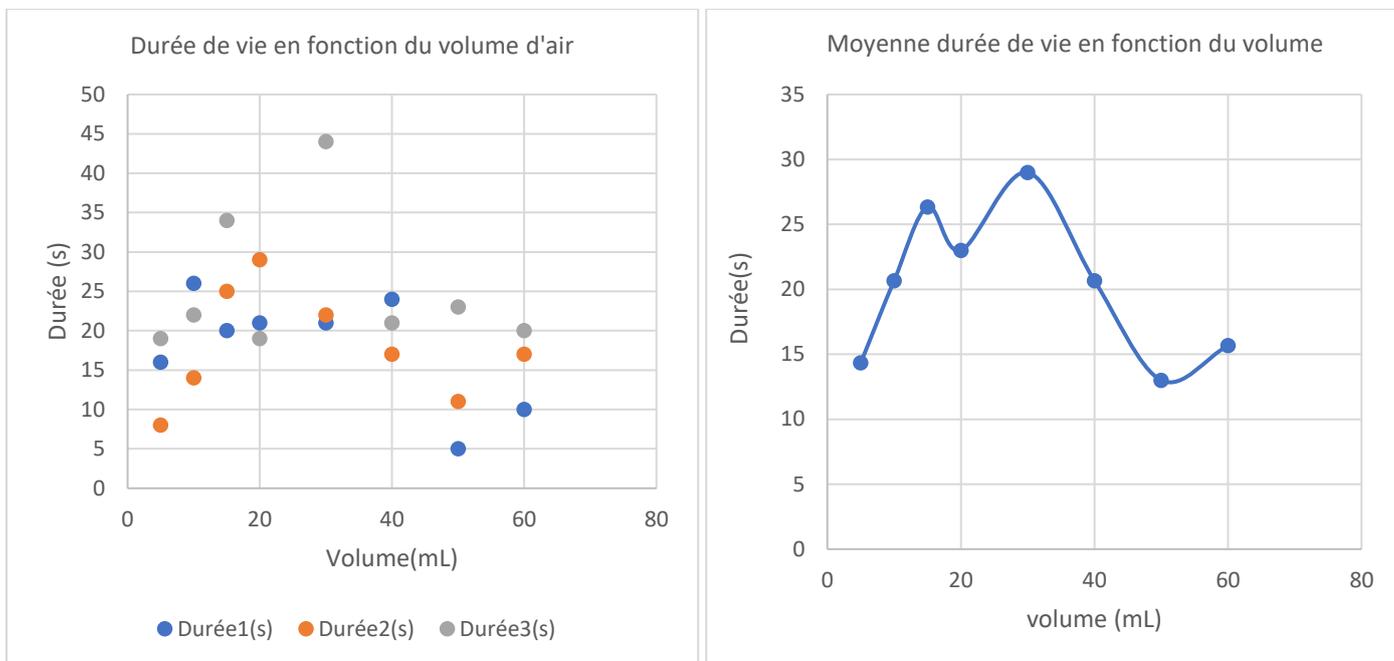
### III. Etude du volume d'air

Dans un premier temps, nous avons essayé de changer le volume d'air contenu dans la bulle afin de déterminer le volume d'air optimal pour la durée de vie de la bulle. Nous avons donc mesuré la durée de vie de la bulle en fonction du volume d'air. Nous l'avons fait varier de 5 ml d'air à 60 mL (le volume maximum de notre seringue) et nous avons chronométré son temps de vie.



**Tableau de mesures**

Volume (mL)	Durée1 (s)	Durée2 (s)	Durée3 (s)	Moyenne
5	16	8	19	14
10	26	14	22	21
15	20	25	34	26
20	21	29	19	23
30	21	22	44	29
40	24	17	21	21
50	5	11	23	13
60	10	17	20	16



**Conclusion :** Quand le volume d'air augmente, la durée de vie diminue. Pour des volumes très grands, on voit même que la bulle se déforme. En effet, quand elle est trop lourde, les effets de la gravité deviennent trop importants.

#### IV. Etude de la composition du mélange en savon

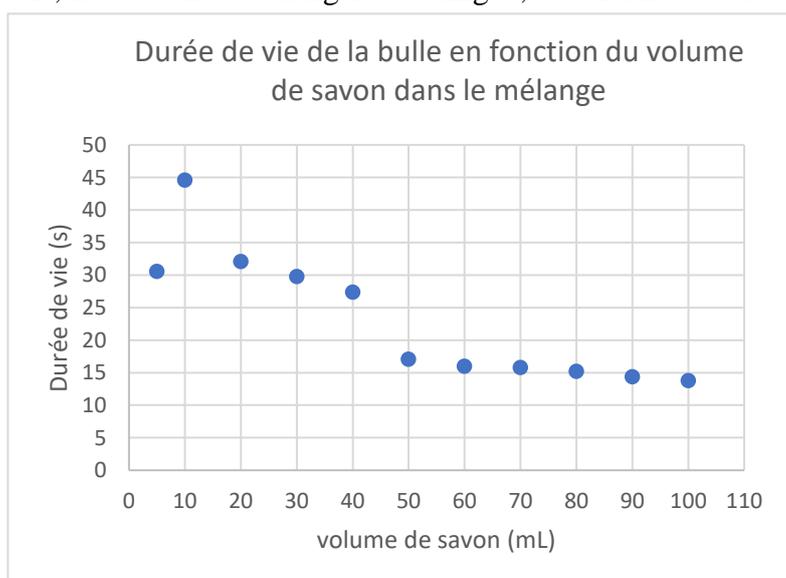
Est-ce que les bulles ont un temps de vie plus long en changeant leur composition ?

En effet, les bulles sont constituées de savon, d'eau et d'une certaine quantité d'air.

Afin d'étudier ce phénomène, on décide de fixer un volume d'air et de préparer le mélange en se basant sur un volume total de 100mL en changeant la quantité de savon.

**Solution :** 100ml (complété à 100ml avec l'eau) **Air :** 15 mL **Savon :** 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100mL

Durant la manipulation, nous nous sommes rendu compte qu'il était préférable pour des raisons techniques de baisser l'air à 15 ml alors qu'au départ nous avons souhaité réaliser des bulles plus volumineuses. Pour cela, nous avons dû changer de seringue, et voici nos résultats :

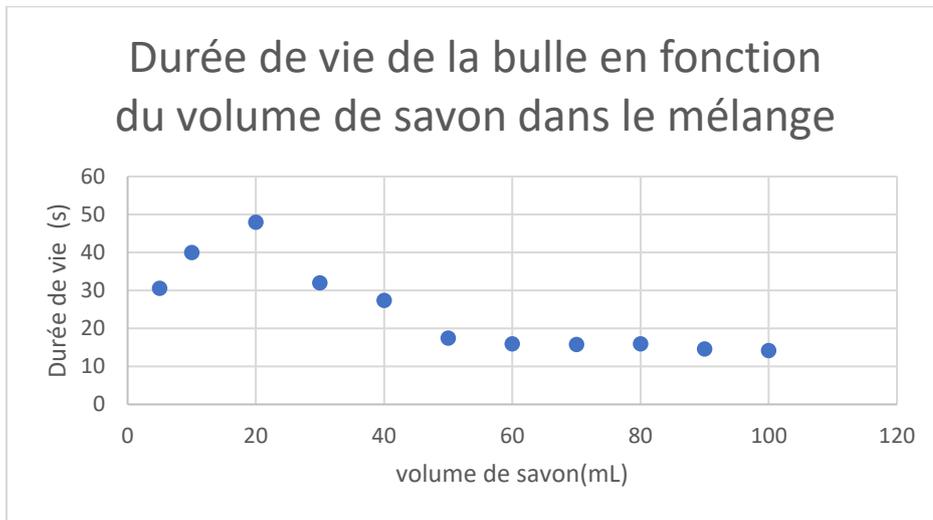


Volume de savon (mL)	Moyenne des Durées de vie (s)
5	30,6
10	44,6
20	32,1
30	29,8
40	27,4
50	17,1
60	16
70	15,8
80	15,2
90	14,4
100	13,8

**Observation :** La distribution de points passe par un maximum à 10 mL de savon et une baisse significative après 40 ml.

**Conclusion :** On en conclut que la durée de vie semble optimisée pour une solution à 10% en volume de savon. On remarque même qu'au-delà de 40% la quantité de savon n'a plus d'impact sur le temps de vie.

Nous avons recommencé plusieurs fois les mesures et nous avons retrouvé des valeurs similaires le même jour, mais les mesures réalisées à d'autres moments donnaient des résultats qui optimisaient la durée de vie sur des pourcentages différents mais avec une variation globale similaire.



Volume de savon (mL)	Moyenne des Durées de vie (s)
5	30,6
10	40
20	48
30	32
40	27,4
50	17,5
60	16
70	15,8
80	16
90	14,6
100	14,2

Après avoir éliminé un essai qui correspondait à l'utilisation d'un savon d'une autre marque, nous nous sommes interrogés sur ce qui pouvait modifier nos mesures sans que nous l'ayons perçu. Après quelques heures de recherche, nous avons rencontré dans notre établissement, Mr Aymeric Roux qui a réalisé son doctorat à l'IEMN de Lille en travaillant sur les bulles et les antibulles. Ce dernier nous a mis sur la voie de l'hygrométrie. En effet, ce taux varie en fonction des jours et peut venir modifier nos conditions expérimentales. Il nous a également conseillé de nous renseigner sur les causes possibles de la mort d'une bulle, pour nous permettre de travailler sur des paramètres qui pourraient impacter directement la durée de vie de nos bulles.

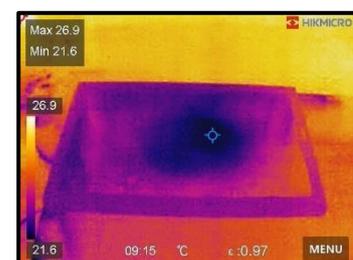
### V. Causes de la mort d'une bulle

La mort d'une bulle est liée à la rupture du film d'eau. Nous avons donc cherché à identifier tous les paramètres qui seraient susceptibles de favoriser cette rupture. En considérant que le film d'eau constituant la bulle est d'autant plus fragile que son épaisseur est faible, nous avons dans un premier rechercher les paramètres à l'origine d'une diminution de son épaisseur.

#### L'évaporation :

Mr Roux nous a mis sur la voie d'un premier phénomène : l'évaporation. En effet, au cours du temps, une bulle peut perdre de l'eau par évaporation, ce qui est à l'origine d'une diminution de son épaisseur et donc d'une fragilisation du film d'eau.

Nous savons que pour s'évaporer, l'eau du film doit prélever de l'énergie thermique à l'air, ce qui peut être visible avec une caméra infrarouge. Nous avons formé un film de savon à partir d'un mélange à 10% de savon et avons décidé de suivre son évolution en infrarouge.

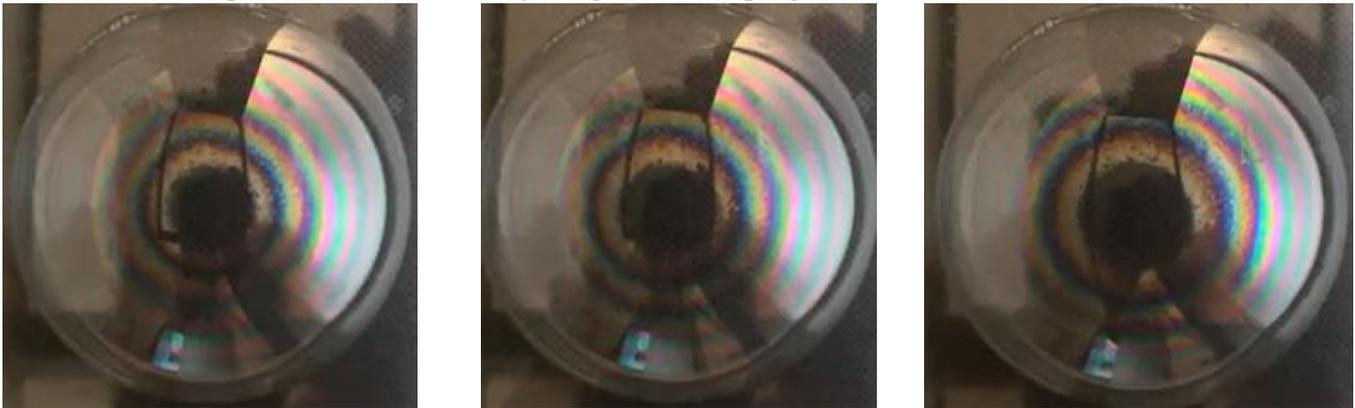


Dans un premier temps, on observe une diminution de la température puis un lent retour progressif à la température ambiante. Cette baisse de température s'explique par l'évaporation de l'eau de la bulle qui consomme de l'énergie thermique. On en déduit que l'eau du film de savon s'évapore pendant la vie de la bulle, ce qui réduit l'épaisseur du film d'eau et par conséquent la durée de vie de nos bulles.

### L'évaporation de l'eau des bulles est un paramètre qui influe sur la durée de vie des bulles.

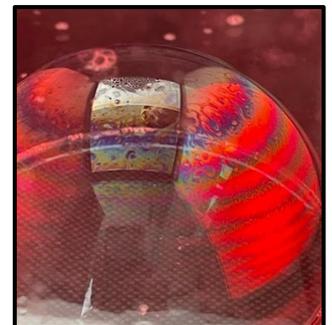
#### Le drainage :

Cependant, l'évaporation n'est pas le seul paramètre à pouvoir diminuer l'épaisseur du film. En effet, la gravité est l'origine d'un écoulement de l'eau dans la bulle qui a pour conséquence de réduire l'épaisseur au sommet de la bulle au profit de sa partie inférieure. Les couleurs prises par les bulles montrent la diminution de cette épaisseur. Lorsque nous observons une bulle dans de bonnes conditions d'éclairage, on peut voir des cercles concentriques colorés dont les rayons grandissent progressivement.



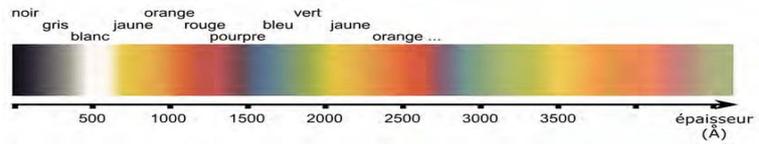
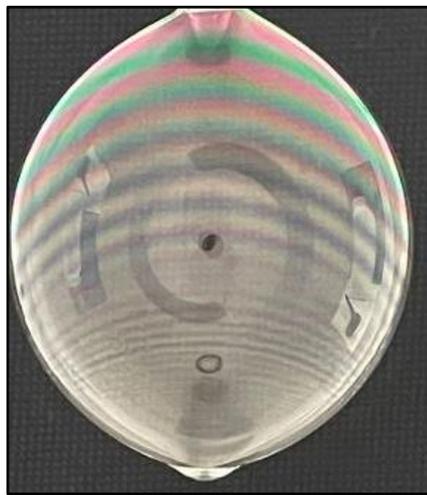
Ces couleurs sont de nature interférentielle. En effet, quand deux ondes lumineuses cohérentes (de même fréquence et issue de la même source primaire) se superposent, le résultat de la superposition peut être différent de la simple somme des intensités de chacune d'elles.

Dans notre expérience, les ondes qui se superposent à la surface du film de savon proviennent de la même source, mais ont parcouru des chemins différents. En effet, certaines se sont réfléchies sur la surface extérieure de la bulle et d'autres sur la surface intérieure. La lumière reçue au niveau de l'œil dépend de cette différence qui est liée à l'épaisseur du film de savon. Ainsi quand nous voyons ces zones sombres et colorées s'écarter sur la partie supérieure, cela signifie que la différence de chemin diminue et donc que le film devient plus fin au sommet : l'eau s'écoule bien dans le film du haut vers le bas. On parle alors de drainage.



En lumière blanche, on voit la superposition des figures de chaque radiation. Comme certaines disparaissent sur des zones où d'autres apparaissent, nous voyons chaque zone de couleur différente.

Grâce à l'échelle des teintes de Newton nous pouvons interpréter ces résultats et obtenir la différence de chemin optique entre les ondes qui se superposent.



Quand on provoque le déplacement de l'eau du film en soufflant de jolies figures apparaissent. Elles sont liées aux variations d'épaisseurs.

**Le drainage est une autre cause de la mort des bulles. En effet, il participe à l'affinement du film de savon qui sera susceptible de rompre quand il aura atteint son épaisseur minimale.**

### **La surpression intérieure de la bulle :**

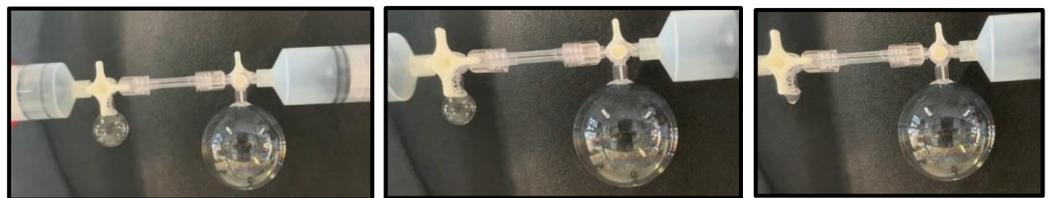
Au cours de nos nombreuses réalisations de bulles, nous avons remarqué que lors de la rupture du film, les fragments de ce dernier sont toujours projetés vers l'extérieur de la bulle. Nous avons donc supposé que la pression à l'intérieur d'une bulle devait être plus importante qu'à l'extérieur de celle-ci.

La loi de Laplace permet de déterminer la surpression à l'intérieur d'une bulle :  $\Delta P = \frac{4\gamma}{R}$  où  $\Delta P = P_i - P_{ext}$  est la surpression en Pa,  $\gamma$  le coefficient de tension superficielle en  $N \cdot m^{-1}$  et R le rayon de la bulle en m.

Plus le rayon est faible plus la surpression est importante.

Pour les bulles de 15mL (1,5cm de rayon) que nous formons la surpression est d'environ 20 Pa.

Pour le mettre en évidence, nous avons mis en contact 2 bulles de diamètre différent.



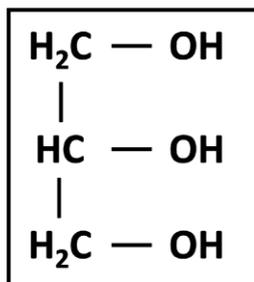
Nous observons alors la petite bulle se vider dans la grande bulle. La pression à l'intérieur de la petite bulle de savon est donc plus importante que la pression dans la plus grande bulle.

L'air à l'intérieur de la bulle appuie davantage sur le film que l'air extérieur ce qui provoque une contrainte supplémentaire sur le film et donc participe à sa fragilisation. D'autre part, cette surpression est à l'origine d'une diffusion de l'air intérieur vers l'extérieur. En effet, l'air intérieur sous l'effet de la surpression peut se dissoudre dans l'eau de la bulle pour quitter le film à l'extérieur où la pression est plus faible. C'est la loi de Henry qui dit qu'un gaz est d'autant plus soluble dans un solvant que sa pression est forte. Ce phénomène particulier explique que le volume de nos bulles diminue au cours du temps.

### **Conclusion :**

**Pour augmenter la durée de vie d'une bulle, il faut réussir à diminuer l'influence de l'évaporation et du drainage et réussir à contenir la pression interne de la bulle.**

## VI. Etude de l'impact d'un apport en glycérol



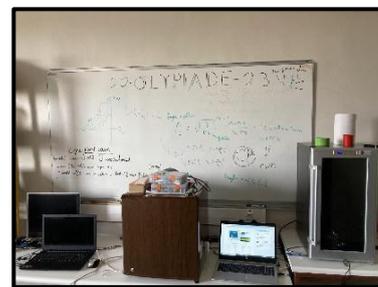
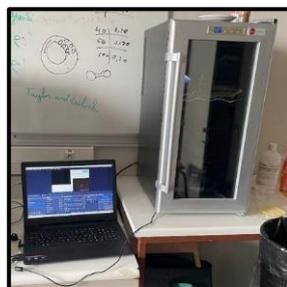
Le glycérol ou propan-1,2,3-triol apparaît dans de nombreuses recettes de fabrication de bulles. C'est en effet une espèce chimique qui a la propriété de fixer les molécules d'eau et donc de limiter son évaporation. Sa viscosité importante par rapport à celle de l'eau doit aussi diminuer le drainage.

Pour étudier son influence sur la durée de vie de nos bulles, nous avons mesuré les durées de vie en fonction du taux de glycérol dans le mélange.

Nous avons alors connu deux principales difficultés lors de nos mesures.

Lors des premières mesures pour des pourcentages de glycérol assez faibles, les mesures ont pu être réalisées sans problème. Quand nous avons augmenté le taux de glycérol, la durée a augmenté de façon très importante. Les mesures pouvaient atteindre des valeurs qui dépassent l'heure et il ne nous était pas possible d'attendre indéfiniment car nos cours avaient toujours lieu. Il fallait trouver le moyen de chronométrer sans être là. Nous avons bien essayé de laisser le chronomètre et de revenir voir où en était notre bulle dans la journée. La probabilité de passer au moment de son éclatement était malheureusement très faible et nous n'avons pas eu la chance d'y assister. Nous avons alors décidé de filmer la bulle en continu et d'exploiter la vidéo pour retrouver sa durée. Là encore malheureusement, nous n'avons pas pu obtenir de résultats satisfaisants, surtout pour les valeurs importantes car les fichiers créés étaient trop lourds. Nous avons fini par créer une chaîne Twitch <https://www.twitch.tv/bullastique> pour suivre l'évolution de notre bulle. Dans ce cas, plus de problème, nous avons pu avoir accès à toutes les durées, même les plus importantes.

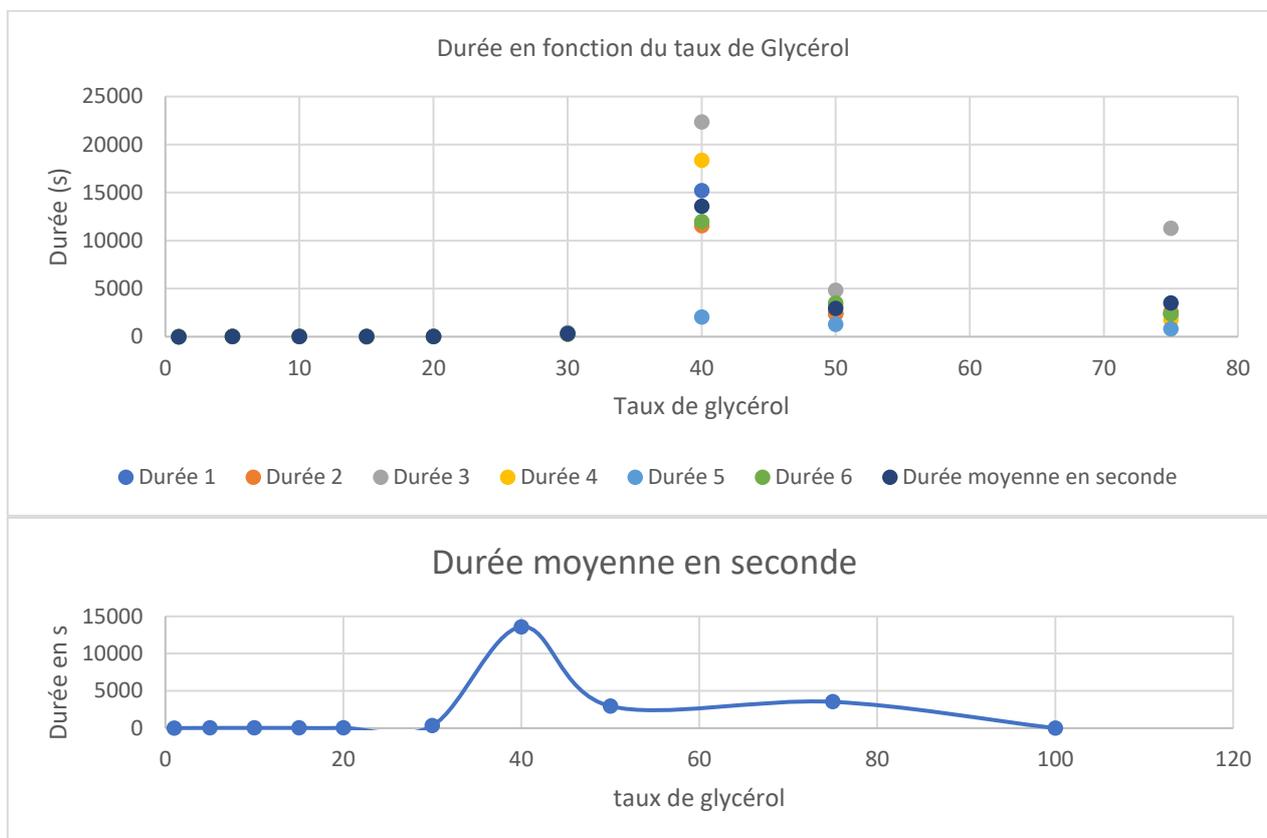
Nous avons répété les mesures plusieurs fois sur plusieurs jours. Nous avons remarqué des valeurs assez différentes pour des mélanges en fonction des jours. Nous avons supposé que la température pouvait être le paramètre qui modifiait nos valeurs, c'est pourquoi nous avons amené au lycée un réfrigérateur qui permet de fixer une température et d'éviter les fluctuations. Nous avons alors recommencé une série de mesures en plaçant notre bulle dans le frigo, éclairée par un bandeau de LED et filmée sur notre Twitch.



Là encore, nous avons rencontré dans une moindre mesure des écarts entre les mesures. Il ne restait plus qu'un paramètre extérieur à contrôler : l'humidité de l'air qui est un facteur qui agit sur l'évaporation. Nous avons alors choisi de travailler dans une cave à vin qui permet de fixer une température et de maintenir un taux d'humidité. Nous avons repris nos mesures dans la cave à vin. Nos résultats sont réunis dans le tableau suivant

Durée de vie en fonction de la quantité de glycérol :

Quantité Glycérol (%)	Durée 1	Durée 2	Durée 3	Durée 4	Durée 5	Durée 6	Durée moyenne en seconde
1	11	5	2	10	5	2	6
5	27	31	26	24	31	29	28
10	28	33	32	31	38	27	32
15	31	31.41	20.64	22	36	41	33
20	26	14	37	39	36	29	30
30	264	299	415	312	350	281	320
40	15231	11565	22365	18360	2040	12000	13594
50	2403	2400	4860	3256	1298	3500	2953
75	2340	2580	11280	1740	840	2400	3530
100	0	0	0	0	0	0	0



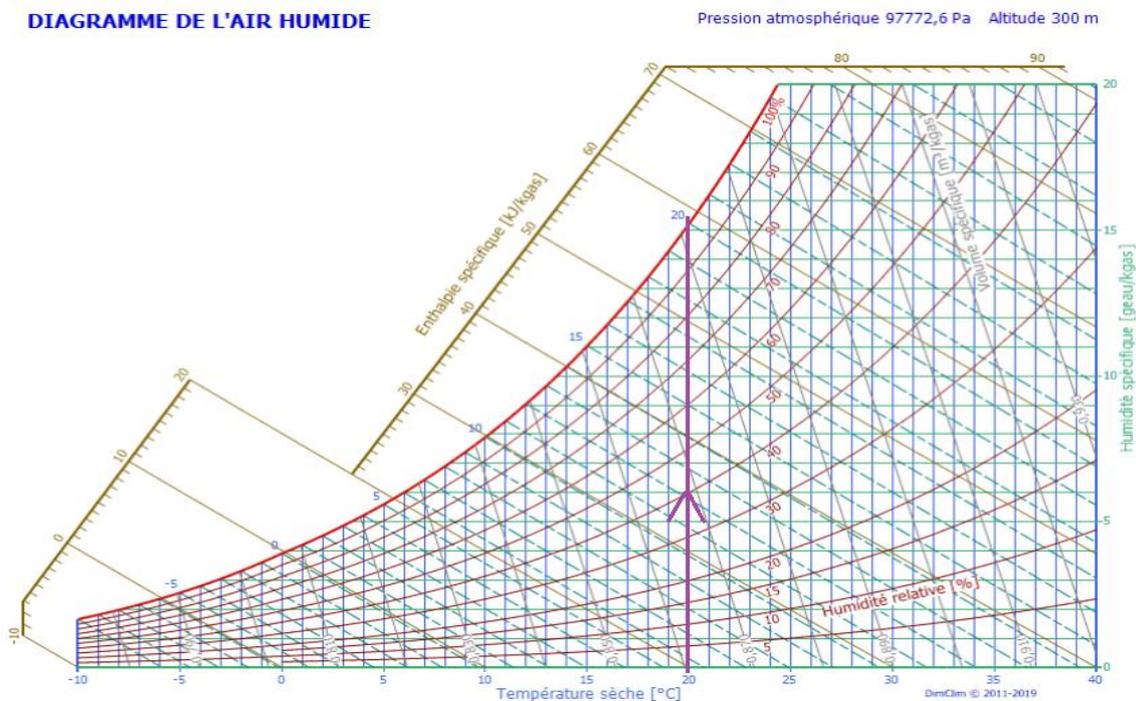
On se rend compte que le glycérol permet d'augmenter significativement la durée de vie d'une bulle à partir du moment où sa proportion atteint une valeur comprise entre 40% et 80% avec un maximum pour 40%. L'écart entre les mesures pour des conditions identiques peut aussi s'expliquer par le fait que la rupture de la bulle a lieu aussi en fonction des perturbations extérieures.

**Pour augmenter la durée de vie de nos bulles, nous travaillerons avec 40% de glycérol quand nous essaierons de réaliser une bulle éternelle !**

## VII. Etude de l'influence de l'hygrométrie

Nous avons remarqué au cours de nos premières mesures que le jour et l'heure de la mesure avaient une influence sur la durée de vie de nos bulles. Nous avons mis en évidence l'évaporation de l'eau. L'évaporation est un phénomène sensible au taux d'humidité de l'air. En effet, pour une température donnée, plus le taux d'humidité est important, plus l'évaporation est limitée. Lorsque de l'eau s'évapore de notre bulle, elle se vaporise et part dans l'air, si celui-ci contient déjà une grande proportion de vapeur d'eau, il ne pourra en recevoir davantage : il sera saturé en vapeur d'eau.

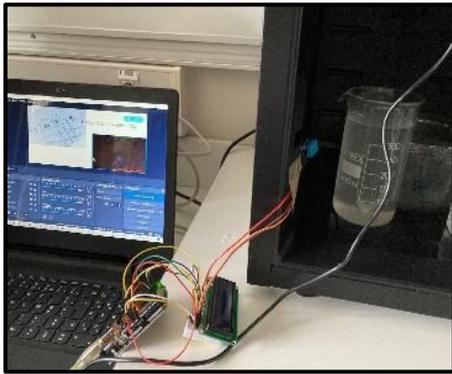
L'humidité relative de l'air nous renseigne sur l'état de l'air vis-à-vis de la vapeur d'eau. Dans les livres, on trouve la relation suivante :  $HR = \frac{P_{H_2O}}{P_v}$  où  $P_{H_2O}$  est la pression partielle en vapeur d'eau et  $P_v$  la pression de vapeur saturante à la température d'étude. La pression partielle est la contribution à la pression totale de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de vapeur saturante est la pression en dessus de laquelle la vapeur d'eau passe à l'état liquide à la température de l'expérience. Plus l'écart entre ces deux pressions dans l'air est faible, plus l'humidité Relative HR se rapproche de 1, c'est-à-dire de 100% et donc de la saturation en vapeur d'eau. Le diagramme psychrométrique de l'air humide permet de suivre l'évolution en vapeur d'eau de l'air. Il est défini à une pression donnée.



Dans ces conditions, l'évaporation de l'eau de notre bulle sera fortement limitée car l'air ne pourra plus recevoir de vapeur d'eau.

Pour le vérifier, nous avons mesuré la durée de vie de nos bulles pour différentes valeurs d'humidité relative. L'avantage de posséder une cave à vin est qu'il est simple de fixer la température. Pour avoir des mesures réalisables dans des durées raisonnables, nous travaillons avec un mélange du commerce qui n'est pas dans les conditions optimales. Ensuite, pour faire varier l'humidité relative, nous avons travaillé sur plusieurs jours en ajoutant des récipients contenant de l'eau ou des sachets d'absorbant d'humidité. Nous avons essayé de simplement ajouter de l'eau dans la cave à vin comme ci-dessous mais sans succès. Nous avons ensuite chauffé au préalable l'eau pour l'installer dans la cave et cette fois-ci cela a fonctionné. Allant jusqu'à 95% d'humidité !

Nous avons fabriqué un système permettant de mesurer le taux d'humidité à l'aide d'une carte Arduino et d'un capteur d'humidité.



Nous n'avons pas pu choisir des valeurs d'humidité relative, mais nous avons pu la faire varier, c'est pourquoi nos valeurs de HR ne sont pas réparties régulièrement.

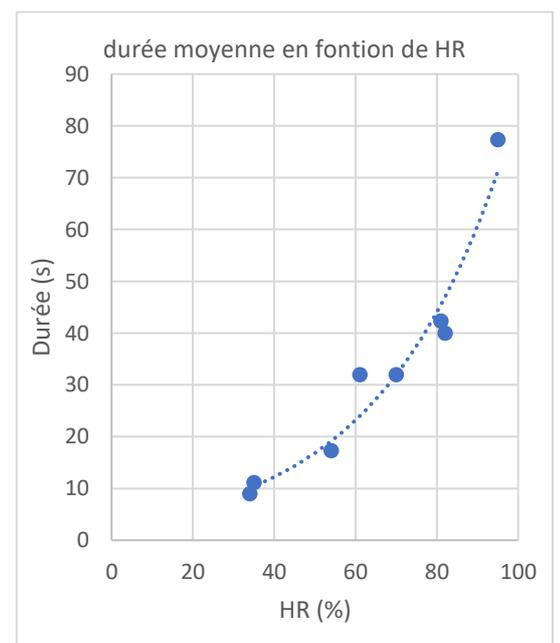
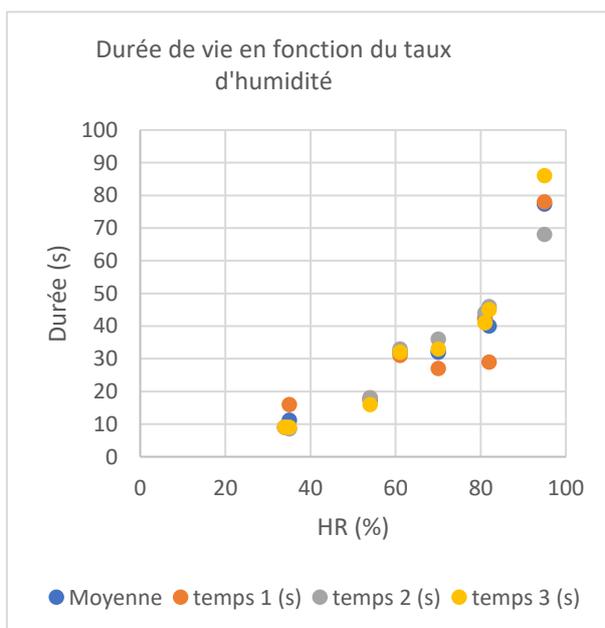
Par ailleurs, nous avons aussi essayé de diminuer le taux d'humidité à l'aide d'un absorbeur d'humidité acheté en magasin et l'installer dans le frigo

Nous avons réussi à descendre à 28% d'humidité, avec beaucoup de patience. Mais dès qu'on ouvrait pour y mettre notre bulle, l'humidité montait immédiatement jusqu'au taux d'humidité présent dans la salle. Il était donc impossible d'avoir des mesures pour un faible taux d'humidité, c'est pourquoi nous n'avons pas de mesure inférieure à 35 % d'humidité.

Durée de vie en fonction du taux d'humidité :

**Tableau de mesures**

Humidité (%)	Moyenne	Durée 1 (s)	Durée 2 (s)	Durée 3 (s)
34	9	9	9	9
35	11	16	8,5	9
54	17	18	18	16
61	32	31	33	32
70	32	27	36	33
81	42	42	44	41
82	40	29	46	45
95	77	78	68	86



**Pour limiter l'évaporation de l'eau, il faut choisir de travailler dans un air proche de la saturation.**

## VIII. Etude de l'influence de la température

Pour mesurer l'influence de la température sur la durée de la bulle, nous avons utilisé différentes méthodes pour faire varier la température. La première est l'ancien frigo de récupération. Nous avons placé les bulles à l'intérieur et à l'extérieur de celui-ci afin de mesurer leur durée de vie. La température est constante vers 10,5 degrés à l'intérieur, donc la quantité de mesures dépend beaucoup de la température du jour. La cave à vin est pratique puisqu'on peut changer la température de quelques degrés et aussi voir à travers. Ainsi, nous faisons varier la température pour réaliser un plus grand nombre de mesures. La surveillance constante des bulles est toujours réalisée en direct sur Twitch.

Nous avons aussi pensé à changer d'étage dans notre établissement, mais nous nous sommes rendu compte que changer d'étage changeait la température mais faisait aussi varier le taux d'humidité, par rapport à chaque étage. Il y a alors plusieurs paramètres qui varient et nous n'avons donc pas pris en compte ces résultats.

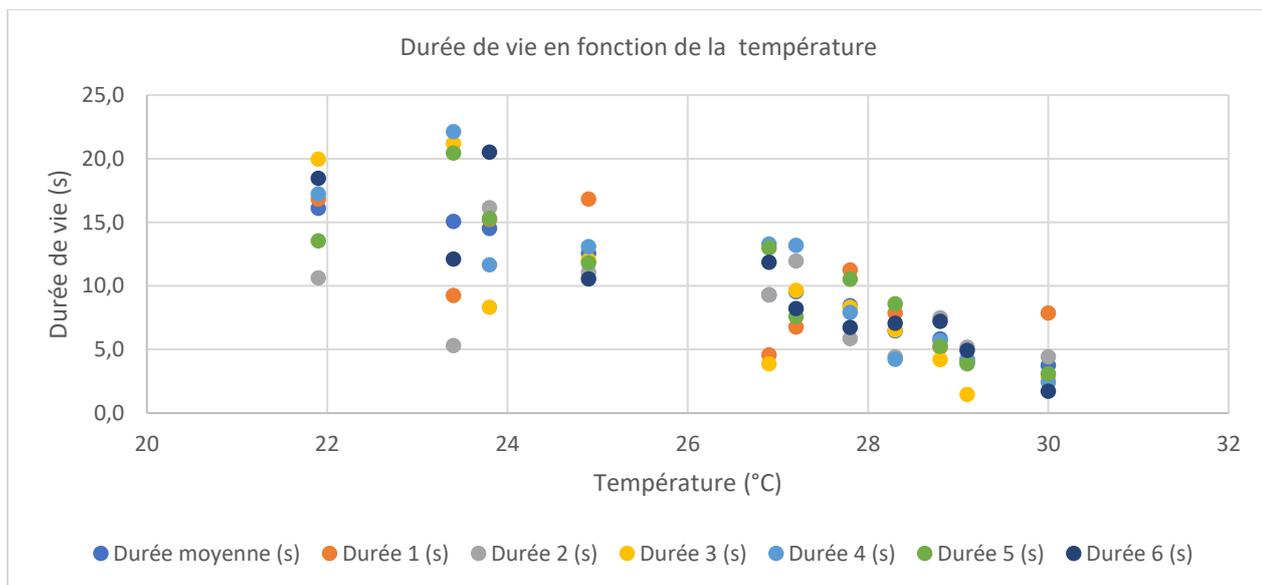
Durée de vie en fonction de la température :

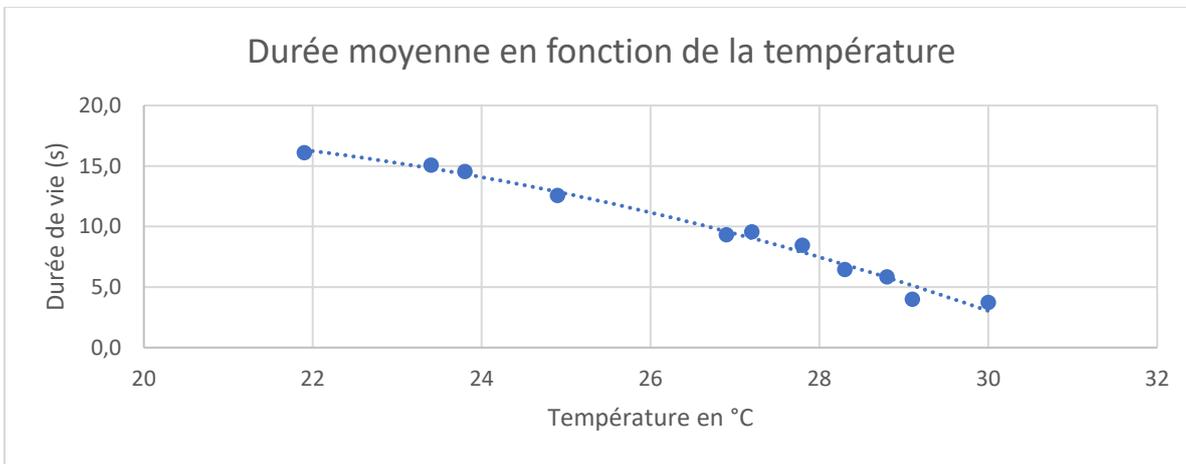
- Mesure avec un mélange contenant 40% de glycérol
- Mesure avec un mélange du commerce :

Température (°C)	Durée de vie
29	6h13
32	2h41
11.6	9h45
10	14h15

**Tableau de mesures**

Température °C	Durée 1 (s)	Durée 2 (s)	Durée 3 (s)	Durée 4 (s)	Durée 5 (s)	Durée 6 (s)	Durée moyenne (s)
21,9	16,84	10,63	19,97	17,22	13,54	18,45	16,1
23,4	9,25	5,32	21,2	22,12	20,45	12,11	15,1
23,8	15,23	16,16	8,33	11,67	15,29	20,51	14,5
24,9	16,83	11,09	12,03	13,09	11,81	10,56	12,6
26,9	4,57	9,29	3,88	13,29	12,98	11,86	9,3
27,2	6,76	11,96	9,65	13,2	7,59	8,21	9,6
27,8	11,26	5,86	8,31	7,92	10,54	6,75	8,4
28,3	7,88	4,44	6,55	4,23	8,6	7,06	6,5
28,8	5,19	7,49	4,21	5,68	5,27	7,21	5,8
29,1	4,21	5,19	1,47	4,23	3,89	4,93	4,0
30	7,88	4,44	2,88	2,43	3,1	1,73	3,7

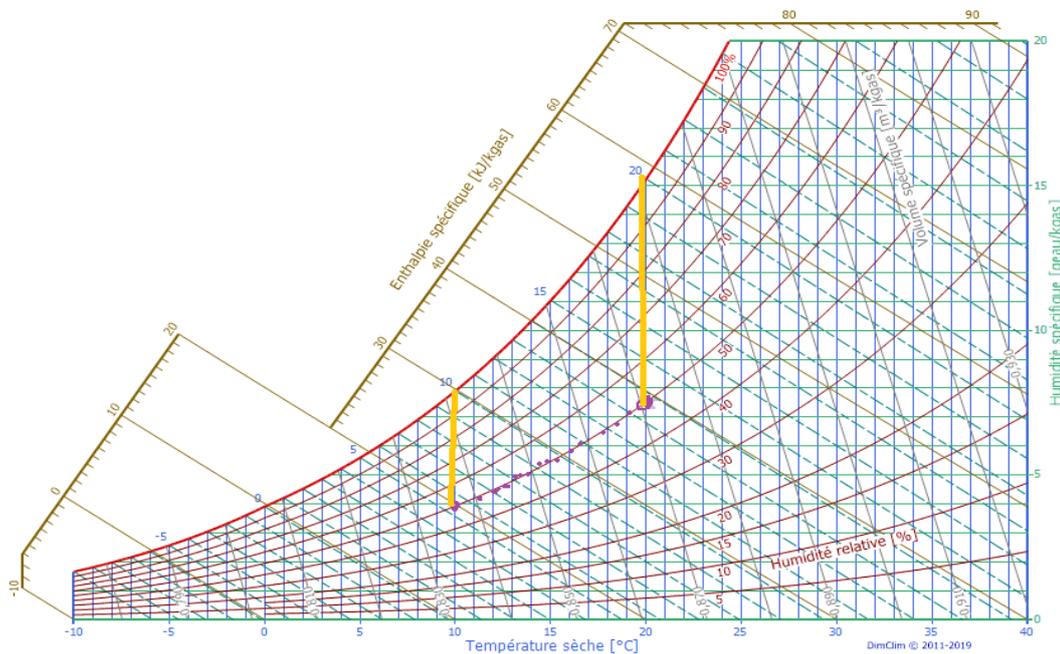




Nos mesures montrent que plus la température est élevée, plus la durée de vie diminue. Ainsi, si nous souhaitons optimiser la durée de vie de notre bulle, il faudra choisir une température faible.

#### DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

Pression atmosphérique 97772,6 Pa Altitude 300 m



Le diagramme de l'air humide montre que l'augmentation de température à HR constante éloigne le point de la courbe de saturation et donc favorise l'évaporation. C'est pourquoi la durée de vie de nos bulles diminue avec la température.

#### Une température relativement faible permet d'optimiser la durée de vie de nos bulles.

Même si en jouant sur les paramètres, nous parvenons à réduire l'évaporation, nous ne parvenons pas à bloquer le drainage. Il sera plus lent avec le glycérol, puisqu'il possède une plus grande viscosité que l'eau mais ne disparaîtra pas. Il a fallu réfléchir à une façon de lutter contre ce drainage, même si supprimer l'effet de la gravité dans une salle de classe ne semble pas être du domaine du réalisable. Lors de nos échanges avec Mr Roux, il nous a parlé de la possibilité « d'armurer une bulle » à l'aide de particules pour limiter le drainage.

### Partie 3 : Vers une durée de vie infinie pour notre bulle !

Pour créer une bulle éternelle, il faut donc choisir d'utiliser du glycérol avec un pourcentage de 40% avec une humidité relative proche de 100% et une température faible. Dans ces conditions, nous parvenons à limiter fortement l'évaporation de l'eau de notre bulle, mais nous ne limitons que très faiblement le drainage avec la viscosité du glycérol. Si nous voulons une bulle éternelle, il faut réussir à stopper le drainage, c'est-à-dire l'écoulement de l'eau dans le film de la bulle.

Dans nos échanges avec Mr Roux, nous avons compris qu'il était possible de bloquer l'écoulement en ajoutant des particules de très petites tailles. Dans son article pour la revue « Pour la Science », il explique qu'il a utilisé des particules de microplastique pour réaliser cette opération. Au cours d'un de nos échanges, il nous a expliqué qu'un autre laboratoire avait réalisé la même chose avec de la poudre de cannelle. En fait, il nous fallait trouver des particules de faibles dimensions (quelques micromètres) qui soient non miscibles dans l'eau et qui restent piégées dans le film d'eau. Dans ces conditions, on parle de bulles armurées. En effet les particules viennent en quelque sorte comme une armure protéger la bulle du drainage et des perturbations extérieures.

A ce stade, notre but est de faire une bulle armurée.

#### I. Premiers essais

Nous sommes alors partis à la recherche de particules assez fines pour être déposées sur le film d'eau. Nos recherches nous ont conduit au laboratoire de SVT, où nous avons trouvé de la spiruline (algues en poudre fine), c'est ainsi que nous avons réalisé notre premier essai. Dans un premier temps, nous avons placé notre mélange à 10% de savon et 40% de glycérol dans un petit cristalliseur et nous avons injecté de l'air sous la surface pour former notre bulle. Les demi-bulles se formaient à la surface de l'eau, mais la spiruline ne se plaçait pas sur la surface. En relisant les notes prises lors de notre rencontre avec Mr Roux, nous nous sommes rendus compte qu'il n'utilise pas de savon mais seulement un mélange eau glycérol. Nous avons recommencé l'opération en enlevant le savon et nous avons pu observer une demi-bulle recouverte de poudre verte. Nous étions assez satisfaits, il ne restait qu'à attendre pour voir son évolution. Après deux jours, elle a disparu, le mélange est devenu complètement vert et un dépôt rouge est apparu dans le fond du cristalliseur. Nous avons supposé que la spiruline s'est dissoute dans l'eau et donc ne permet pas d'armurer nos bulles.

Nous avons cherché dans le labo d'autres particules pouvant servir à armurer nos bulles. Dans les vieux tubes de Kundt, nous avons retrouvé un peu de poudre de liège.

En suivant le même protocole, le 04 septembre, nous avons formé un groupe de trois demi-bulles à la surface du mélange eau-glycérol recouvertes de cette poudre. Nous les avons placées dans la cave à vin à une température de 17°C et avons décidé de suivre leurs vies en direct sur Twitch. Au moment de la fin de la rédaction de ce rapport, elles sont toujours à la surface de l'eau et restent les stars du « Big Brother » des Flandres.

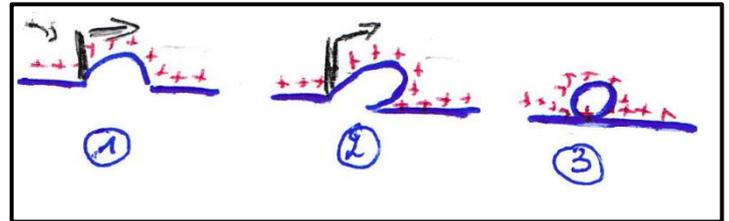


Dans le même temps, nous nous sommes procurés de la poudre de cannelle et avons recommencé notre protocole. Nous avons saupoudré la surface de notre mélange eau-glycérol de poudre de cannelle et avons difficilement réussi à former une bulle recouverte de cannelle.



Dans le protocole de Mr Roux, après avoir formé la demi-bulle, il faut la faire rouler pour former une bulle complète armurée en trois étapes.

A l'aide d'un support en plastique, nous l'avons poussée, elle a commencé par se déformer puis s'est retournée sur elle-même pour former une bulle complète recouverte de poudre de cannelle qui est restée au contact de support. C'était notre première bulle complète armurée. Le seul souci est qu'elle est posée sur le support, et que nous ne parvenons pas à la déposer sur une surface. Dans ces conditions, elle n'a survécu que quelques heures. Nicolas a réalisé chez lui la même bulle qui existe toujours depuis le 21 septembre.



Il faut trouver une poudre qui nous permettra de réaliser plus facilement une demi-bulle et qui permettra de réaliser un roulage plus facilement : La poudre de lycopodes

## II. Réalisation de bulles armurées avec de la poudre de lycopodes

### Réalisation :

Nous avons déposé une fine couche de poudre de lycopode à la surface de notre mélange à 40% de glycérol déposé dans une boîte de pétri.

A l'aide d'une seringue, nous avons injecté de l'air sous la surface pour former une demi-bulle.

A l'aide d'une spatule, nous avons fait rouler la demi-bulle sur la poudre de lycopode pour réussir à faire une bulle complète posée sur la surface du mélange.



Les bulles ainsi formées peuvent être déplacées et posées sur un support. On remarque même une certaine résistance mécanique qui leur permettra de résister aux poussières et perturbations extérieures.

Interprétation : La présence de particules provoque l'apparition de ponts capillaires entre elles. En effet l'eau au contact de deux particules cherche à minimiser sa surface en tirant sur ses particules : il se forme ainsi un pont capillaire.

Expérience 1 : On dépose une goutte d'eau entre deux billes.

Les deux billes se lient entre elles par un pont capillaire.

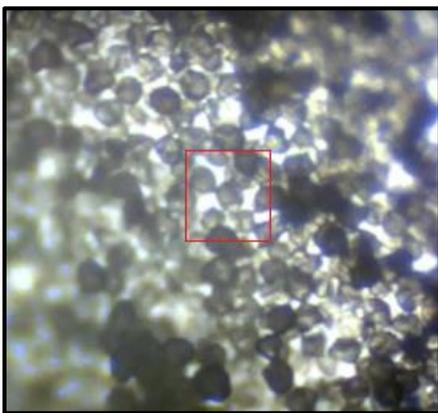


Expérience 2 : Plusieurs billes sont placées dans un plateau. On verse quelques gouttes d'eau.

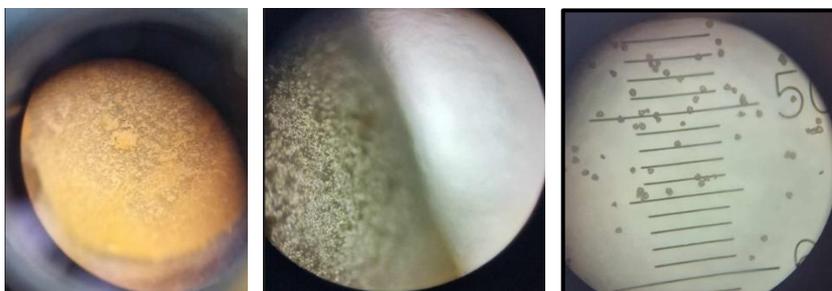
Les billes s'attirent en s'organisant dans un assemblage particulier donné par l'orientation des ponts capillaires.



Au niveau de nos bulles, ces ponts ralentissent fortement la circulation de l'eau dans un premier temps puis quand la quantité d'eau atteint une valeur limite stoppent complètement l'écoulement. Le drainage finit par disparaître.



On parvient alors à supprimer un des paramètres à l'origine de la faible durée de vie des bulles. Pour être sûr que ces ponts soient efficaces, il faut des particules de petites dimensions de manière à ce que les effets de la gravité soient négligeables par rapport aux forces de tension superficielle. En effet, nous avons pu estimer la taille des ponts capillaires à l'aide d'un microscope. Nous avons évalué le diamètre d'un grain de poudre de lycopode qui d'après les images précédentes est supérieur l'ordre de grandeur de la longueur du pont capillaire. On a trouvé environ  $30\mu\text{m}$ . Cette grandeur est bien supérieure à la longueur capillaire dans l'eau qui est d'environ  $3\text{mm}$ . Les forces capillaires sont donc prédominantes à cette échelle par rapport aux forces de gravité ce qui explique la résistance de cette structure



Durée de vie :

Depuis mi-septembre, nous avons créé de nombreuses bulles armurées. Au cours de leur vie, on observe d'abord une diminution du volume puis une stabilisation. De nombreuses bulles sont toujours présentes. Certaines disparaissent soudainement. Certains ponts capillaires doivent finir par céder et l'édifice perd sa stabilité et finit par s'effondrer.

## **CONCLUSION :**

A ce stade de nos expérimentations la demi-bulle armurée à la poudre de liège comme celles armurées à la poudre de lycopodes.

Après avoir identifié les deux principales causes de la mort des bulles, nous avons pu déterminer les conditions optimales permettant d'obtenir des bulles de grandes durées de vie. Celles-ci ne sont malheureusement pas éternelles. En effet, l'évaporation et le drainage sont les deux principaux facteurs limitant la durée de vie des bulles, mais d'autres facteurs moins influents peuvent intervenir comme la diffusion et la dissolution du gaz interne à travers le film ou simplement le milieu extérieur dans lequel elle se trouve. La possibilité de les armurer permet de quasiment supprimer le drainage, et aussi de fortement limiter l'évaporation. La présence des particules apporte une résistance mécanique supplémentaire qui permet aux bulles d'être plus stables face aux contraintes extérieures. De plus, les particules contribuent à limiter la diffusion du gaz de la bulle vers l'extérieur.

De nombreuses applications concrètes se présentent. L'encapsulage de petits volumes de fluide qui pourront être transportés par exemple. Le champ d'application est très vaste en passant du simple dépôt de fluide, au transfert de réactifs sur le siège de réaction chimique jusqu'au dépôt du principe actif sur des sites à traiter. Cette technique pourrait aussi permettre de stabiliser les mousses et les émulsions dans des domaines aussi variés que l'agroalimentaire, les cosmétiques ou encore la sécurité.

## **Bibliographie**

Pour la science n°533 mars 2022

Revue Cosinus décembre 2023

Thèse de Mr Roux Aymeric <https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/EDENGSYS/2022/2022ULILN031.pdf>