

# La danse des gouttes



## **Remerciements :**

Nous tenons à remercier premièrement notre professeur Mr Thibault qui nous à permis de mener à bien notre projet et soutenu dans nos démarches.

Nous remercions également la laborantine du lycée, Julie Proot qui nous a fourni le matériel et accompagnés durant nos expériences.

Un grand merci au jury que nous avons rencontré lors des régionales qui se sont déroulées à Tourcoing. Ils nous ont permis d'enrichir notre réflexion grâce à leurs savoirs.

Nous remercions également Jérôme Dumont ainsi que Guillaume Durey pour leur participation active au projet et leurs réponses à nos questions.

Pour finir nous remercions notre entourage qui nous à soutenu tout au long du projet.

# TABLE DES MATIÈRES

## Introduction (p5)

- Qui sommes nous ?
- Pourquoi ce sujet ?
- Le projet lutétium
- De la coalescence d'une goutte à la dualité onde particule

## I) Les fondements de l'association onde-particule (p6)

### 1) Un principe physique de base : La coalescence

- Définition
- Expériences préliminaires

### 2) Principe de non coalescence

- Définition
- Preuves expérimentales
  - Tensioactif
  - Convection thermique
  - Ressaut hydraulique

## II) Les manipulations du projet (p11)

### 1) Reproduction du projet lutétium

- Dispositif expérimental
- Instabilité de Faraday

### 2) Les liquides

- Les propriétés du silicone
- Propriétés d'autres liquides
- Calculs de viscosité
- Structure chimique

## III) Démonstration de l'association onde corpuscule (p21)

### 1) Les marcheurs

### 2) Définition de dualité onde corpuscule

## IV) Eléments de conclusion (p23)

## V) Suites expériences : structures chimiques (p24)

- 1) Groupes caractéristiques
- 2) Longueurs de chaînes
- 3) Liaisons hydrogène ?

**Conclusion (p25)**

# Introduction

## **Qui sommes-nous ?**

Nous sommes 2 élèves en classe de terminale S au lycée st Jacques à Hazebrouck (59). Les Olympiades de Physique nous ont toujours attirées. En effet nous avons toujours aimé la découverte de phénomènes physiques ainsi que la recherche. De plus notre lycée participe depuis une dizaine d'année aux Olympiades c'était donc pour nous l'opportunité de monter un projet qui nous tient à cœur.

## **Pourquoi ce sujet ?**

Nous recherchions un projet pour les Olympiades, et c'est par hasard qu'un jour nous sommes tombées sur une vidéo d'une goutte d'huile de silicone qui rebondissait indéfiniment sur un bain de cette même huile. Il s'agissait du projet Lutétium. Cela nous a tout de suite intrigué. Nous avons donc décidé de tenter de comprendre ce phénomène.

## **De la coalescence d'une goutte à une association onde corpuscule...**

Après de multiples recherches, nous avons trouvé une thèse sur le sujet sur le site archives-ouvertes.fr ; la thèse de Suzie Protière de 2007. Nous avons eu du mal à comprendre la documentation étant donné que nous ne connaissions pas le vocabulaire technique utilisé.

Intuitivement nous avons constaté que le phénomène des gouttes qui rebondissent indéfiniment était lié à une notion de notre programme de terminale S : l'association onde particule. Celle-ci correspond au fait que tous les objets de notre univers présentent des propriétés d'ondes et de particules.

En effet ondes et particules sont différentes et ne peuvent être dissociées. Pour notre projet cela signifie que l'onde n'existe pas sans la goutte et la goutte n'existe pas sans onde.

Nous nous sommes ainsi appuyées sur la thèse trouvée pour comprendre le phénomène ; ce qui nous a permis de pouvoir étendre notre réflexion, et de ne pas simplement chercher à expliquer la vidéo.

Nous nous sommes de cette manière demandées :

**Quelles sont les caractéristiques d'un liquide qui lui permet de réaliser l'association onde corpuscule ?**

Pour mener à bien notre projet, nous nous sommes réunies quelques samedis matins, mercredis après-midis, durant nos heures de temps libre mais aussi tous les vendredis matins lors des heures d'accompagnement personnalisé afin de bénéficier des laboratoires dans lesquels nous avons pu effectuer nos expériences.

# I) Les fondements de l'association Onde-particule

## 1- Un principe physique de base : la coalescence

### Définition

La coalescence est un principe physique par lequel deux substances identiques dispersées ont tendance à se réunir. Ce phénomène découvert et défini par Lord Rayleigh en 1899 touche particulièrement les fluides mais se rencontre aussi parfois chez les solides. Dans le cas de notre projet, nous exploiterons le phénomène sur des fluides. La coalescence se rencontre dans divers phénomènes, le plus courant étant la formation de gouttes de pluies.



Gouttes d'eau sur une surface vitrée

Le phénomène se produit donc à la surface d'un milieu (dense ou liquide). Il est associé à une énergie par unité de surface (en joules par mètre carré). Cette énergie est liée à la force de cohésion entre molécules identiques.

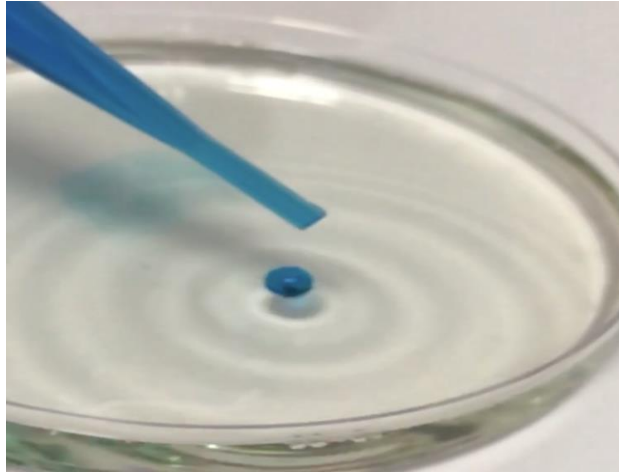
Dans notre projet il sera donc important de se référer à la définition d'une goutte pour y appliquer la coalescence :

Goutte : (ici de liquide) faible quantité de matière de forme sphérique et de diamètre moyen de 1 mm. Sa forme sphérique est due à sa tension de surface.

### Expérience préliminaire :

Nous avons mis en place une expérience préliminaire afin de prouver la coalescence d'un fluide (ici l'eau). Cette expérience nous montre bien que lorsqu'on dépose une goutte à la surface d'un bain du même liquide, la goutte fusionne avec lui.

On dispose d'une boîte de pétri remplie d'eau à température ambiante. On dépose à la surface de cette eau une goutte d'eau également à température ambiante (préalablement colorée à l'aide d'un colorant bleu pour rendre plus visible le phénomène). On observe que la goutte bleue s'étale à la surface de l'eau en formant une onde qui se propage sur cette surface.



Coalescence d'une goutte d'eau

Suite à nos recherches nous avons compris que lorsqu'une goutte arrive à la surface du bain, un film d'air existe entre la goutte même et l'interface du bain. Par le principe de coalescence, ce film est lentement évacué sur les côtés de la goutte de part le poids de celle-ci. Après quoi le film est si fin que les forces attractives de Van der Waals\* entrent en jeu. Les 2 surfaces (du bain et de la goutte) entrent donc en contact en un point. Ce contact crée une onde progressive à la surface du bain.

\*Les interactions de Van Der Waals sont des interactions de nature électrostatique qui ont lieu entre les nuages électroniques. Cette force généralement attractive n'intervient qu'à très courte distance, elle est donc plus intense lorsque les molécules qui interagissent sont proches et volumineuses.



Onde de surface émise par la particule

## 2- Principe de non-coalescence

### Définition

La coalescence étant la réunion de 2 substances identiques dispersées ; la non coalescence est donc le fait que 2 substances identiques dispersées ne se réunissent pas.

Nous supposons donc que pour empêcher un liquide de coalescer il faudrait empêcher l'évacuation du film d'air existant entre la goutte et le bain.

Suites à de nouvelles recherches et des expériences répétées, nous avons compris que la coalescence d'une goutte d'eau ne pouvait qu'être retardée et difficilement inhibée.

Nous avons réussi à retarder la coalescence d'une goutte d'eau dans 3 situations différentes que voici.

**Il est à noter** que la formation de gouttes n'est possible que si la hauteur de dépôt ne dépasse une certaine hauteur qu'on appellera hauteur de coalescence critique. Au-delà de cette hauteur, il y a coalescence car les tensions de surface sont plus faibles que le poids de la goutte.

### Preuves expérimentales

#### Situation 1 : Tensioactif

Nous reprenons les mêmes conditions que lors de l'expérience de coalescence à la différence que l'eau qui se trouve dans la boîte de pétri est mélangée à un tensioactif\* (ici du savon).

\*Un tensioactif ou agent de surface (surfactant en anglais) est un composé qui modifie la tension superficielle entre deux surfaces.

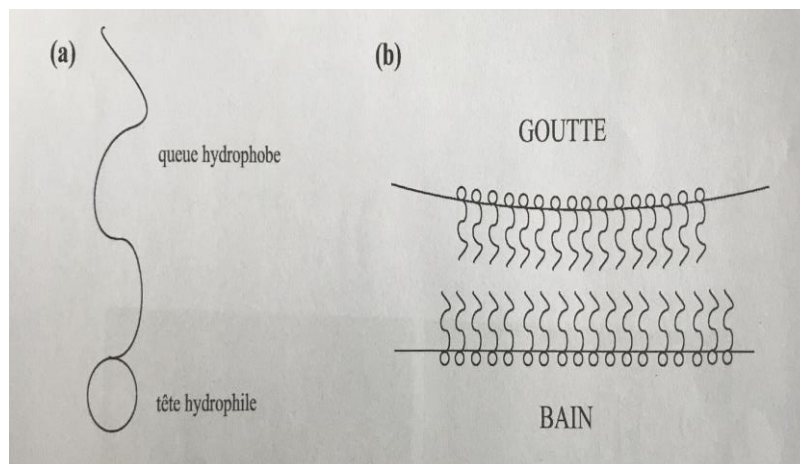


Schéma d'un tensioactif (a)  
Représentation du film d'air en présence de tensioactif(b)

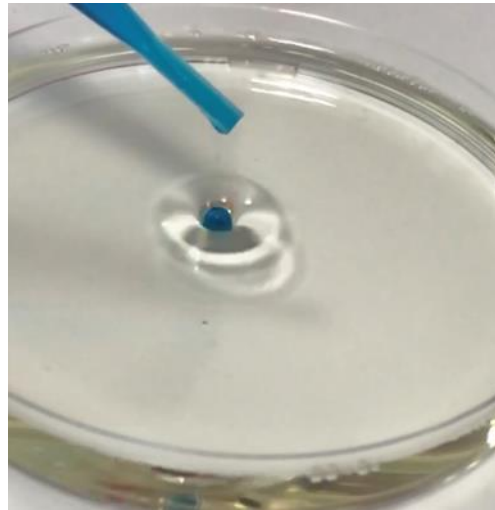
Les composés tensioactifs sont des molécules amphiphiles, c'est-à-dire qu'elles présentent deux parties de polarité différente, l'une lipophile (qui retient les matières grasses) est apolaire, l'autre hydrophile (miscible dans l'eau) est polaire.



Ils permettent ainsi de solubiliser deux phases non miscibles, en interagissant avec l'une apolaire (c'est-à-dire lipophile donc hydrophobe), par sa partie hydrophobe ; tandis qu'avec l'autre phase qui est polaire, il interagira par sa partie hydrophile.

Dans notre expérience, il présente alors une résistance au flux d'air piégé qui a du mal à s'évacuer.

On constate ainsi que la goutte reste à la surface du bain quelques instants avant de fusionner avec celui-ci.



Non coalescence d'une goutte d'eau et de tensioactif

### **Situation 2 : convection thermique**

L'expérience suivante s'appuie sur le principe de la convection thermique afin de ralentir la coalescence de la goutte.

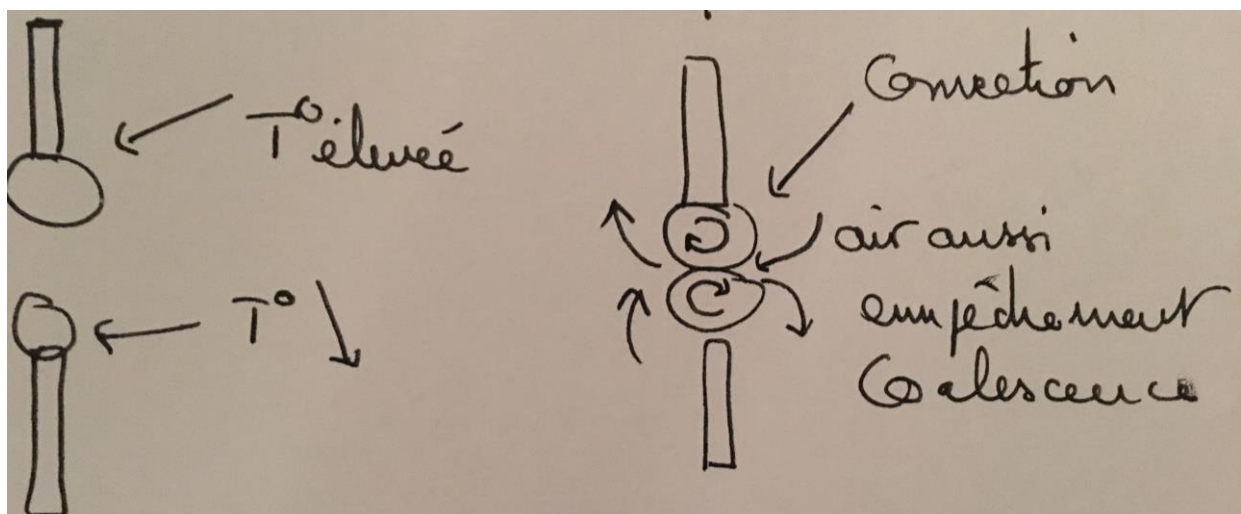


Illustration du principe de convection thermique

\*La convection (thermique) désigne le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou entre un fluide en mouvement et une paroi solide. Ici le transfert d'énergie est représenté par l'eau très chaude contenue dans la boîte de pétri mise au

contact d'une goutte d'eau glacée (la convection aurait également lieu dans des conditions inverses).

Le transfert d'énergie entre les 2 fluides aux températures différentes par convection permet de conserver pendant un court laps de temps le film d'air entre la goutte et l'interface car les mouvements de convection entraînent la conservation du film d'air qui se renouvelle.

### **Situation 3 : ressaut hydraulique**

Nous avons enfin pu constater l'inhibition de la coalescence de la goutte dans un cas de figure que nous avons déjà tous pu rencontrer, le ressaut hydraulique.

Un jet d'eau frappe verticalement une surface horizontale. Il s'étale alors en une mince nappe circulaire de vitesse élevée. A partir d'une certaine distance au jet (qui dépend de la pression du jet) un ressaut hydraulique circulaire se forme : l'épaisseur de la nappe augmente brutalement et sa vitesse diminue.



Zone de dépôt de la goutte

Illustration d'un ressaut hydraulique.

Lorsque l'on crée un ressaut hydraulique et que l'on dépose une goutte d'eau en amont du ressaut hydraulique, on observe dans un premier temps qu'elle est entraînée radicalement vers celui-ci.

Ensuite elle reste immobile devant le ressaut. La nappe de fluide qui passe en dessous de la goutte à grande vitesse entraîne un film d'air avec elle qui permet à la goutte de rester en suspension sur le fluide. Après un certain temps la goutte fini par coalescer avec le ressaut hydraulique. (L'énergie de celui-ci est trop forte pour que la goutte puisse résister ainsi que son film d'air).

Suite à ces expériences préliminaires nous constatons que le film d'air joue un rôle primordial dans la coalescence ou non coalescence d'un fluide.

## II) Les manipulations du projet

### 1- Reproduction du projet lutétium

#### Dispositif expérimental :

Pour comprendre le phénomène des gouttes qui rebondissent indéfiniment, nous avons essayé de le reproduire avec de l'huile siliconée dans un premier temps mais nous avons remarqué par la suite que ce phénomène ne se produisait pas toujours. C'est pourquoi nous avons ensuite réalisé cette expérience avec de l'huile de silicone pure.

#### Expériences :

- Pour cette 1<sup>ère</sup> expérience nous nous sommes munies d'une cuve rectangulaire posée sur un haut-parleur relié à un générateur basse fréquence et un voltmètre.



Association onde particule de l'huile de silicone, cuve rectangulaire

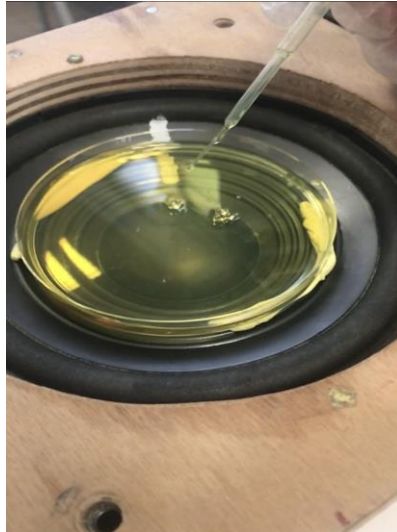
En faisant varier la fréquence et l'amplitude on a pu remarquer qu'il fallait une certaine fréquence pour que la goutte rebondisse mais aussi une certaine amplitude. En effet, si l'amplitude ou la fréquence de l'onde étaient trop élevée ou faible la goutte coalesçait.

Nous avons pu voir apparaître des ondulations de l'huile. Lorsque l'ondulation n'était pas trop rapide, la goutte pouvait rebondir seulement si on la posait dans un creux mais au bout d'un certain temps la goutte s'éliminait. En revanche si l'ondulation était trop rapide il n'y avait pas de rebondissement de gouttes.

Il semblerait qu'il faille un couple fréquence-amplitude adéquat pour maintenir les gouttes en suspension.

De plus les grosses gouttes avaient plus de difficultés à rebondir que les petites.

- Nous avons donc choisi de réaliser une seconde expérience avec une boîte de pétri à la place de la cuve rectangulaire que nous avons posée sur un haut-parleur relié à un GBF. Nous souhaitons, par ce procédé, pouvoir obtenir une plus grande quantité de gouttes.



Goutte d'huile siliconée, boîte de pétri

Nous avons fait varier la fréquence et l'amplitude de telle sorte que la goutte puisse rebondir sur l'huile le plus longtemps possible. Soit avec une fréquence de 19 Hz et une amplitude de  $U_m = 0,66$  V. De ce fait si la fréquence et l'amplitude de l'onde étaient trop faibles ou trop élevées la goutte coalesçait.

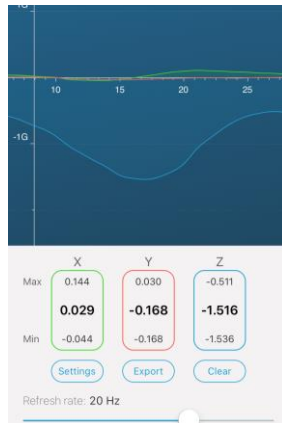
Contrairement à la cuve, l'huile dans la boîte de Pétri ne formait aucune ondulation visible à l'œil nu mais la goutte rebondissait plus longtemps sur l'huile. On a également pu voir des déplacements de gouttes.

On a pu observer le même phénomène qu'avec la cuve : les grosses gouttes ont plus de difficultés à rebondir que les petites.

Grâce à cette expérience on a pu mettre en évidence le fait que la goutte rebondit pour une fréquence seuil où l'accélération fournie à la goutte est suffisante pour la faire rebondir selon la taille de la goutte.

Nos recherches nous ont permis de comprendre pourquoi les grosses gouttes coalesçaient plus vite que les petites. En effet cela est dû au fait que les grosses gouttes ont un film d'air plus fin que les petites. Puisque le film d'air permet le rebondissement de la goutte, plus celui-ci est fin, plus la goutte a de chances de coalescer.

On décide alors de mesurer l'accélération seuil à partir de laquelle la non-coalescence se maintient en plaçant un accéléromètre (celui de notre smartphone) sur la cuve en mouvement. Nous obtenons une limite d'environ 1g (une fois la gravité en valeur absolue) pour obtenir la non-coalescence.



Accélération seuille fournie a la goutte qui lui permet de coalescer



Accélération seuille fournie a la goutte qui lui permet de ne pas coalescer

Quand l'accélération fournie à la goutte est à la limite de coalescence (et donc de non-coalescence par la même occasion), l'accélération à une valeur qui se rapproche fortement de la valeur de la gravité. (Sur le graphique environ  $-1G^*$ ).

Remarque :

Nous trouvons une accélération seuil d'une valeur de  $-1G$  et non de  $1G$  puisque la gravité est une force qui se dirige vers le centre de la terre ; or l'application que nous utilisons mesure les mouvements de vibration qui ont un vecteur directif opposé au vecteur gravité.

## Instabilité de Faraday :

Lors de la réalisation de cette expérience (avec cuve rectangulaire ou boîte de pétri) nous avons pu constater qu'à partir d'une certaine fréquence des ondes visibles se propageaient à la surface du liquide.

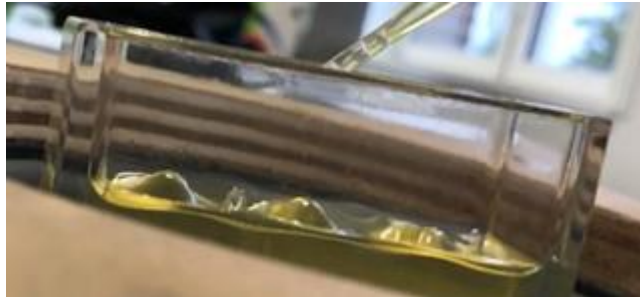
Cette déformation de surface du fluide est appelée instabilité de Faraday.

Elle est définie comme une instabilité hydrodynamique. Découverte en 1831 par Michael Faraday, cette instabilité est observée lorsque l'on fait vibrer verticalement un liquide

avec une accélération suffisamment grande. Dans ces conditions, il est possible d'observer la déformation de la surface du fluide qui se réorganise en un réseau d'ondes.

Dans la cuve rectangulaire, cette instabilité se manifeste par la formation de « creux » et « ventres » à la surface du liquide.

Les ondes de Faraday dépendent de la fréquence, la viscosité, la densité et la tension de surface du liquide.



Creux et ventres à la surface du liquide, cuve rectangulaire

Dans la boîte de pétri l'instabilité se manifeste par des ondes qui déforment la surface du liquide.



Instabilité de Faraday dans une boîte de pétri avec l'huile de silicone

Nous avons donc cherché à relier l'instabilité de Faraday à l'amplitude de l'onde.

Nous avons constaté que pour l'huile d'olive, l'instabilité de Faraday était atteinte à une amplitude de  $U_m = 0,60V$ . L'expérience a également été réalisée avec de l'huile de silicone et de l'huile de voiture. Seulement, nous constatons que l'instabilité se réalise à partir d'une amplitude supérieure à  $U_m = 2,0V$ . Or dans nos conditions expérimentales il est impossible de conserver une amplitude supérieure à 2,0 V puisque la boîte de pétri ainsi que la cuve ne sont pas assez profondes et occasionnent des débordements du liquide.

On en conclut que plus le liquide est visqueux, plus l'instabilité de Faraday est difficile à atteindre. (Le seuil minimal d'amplitude nécessaire au déclenchement de l'instabilité de Faraday croît avec la viscosité du liquide).

## **2- Les liquides**

### **Les propriétés de l'huile de silicone :**

L'huile de silicone est le liquide utilisé dans la vidéo comme dans la thèse pour montrer et expliquer le phénomène de l'association onde particule.

Mais pourquoi cette huile et pas une autre ?

Nous nous sommes ainsi intéressées aux caractéristiques de cette huile afin de déterminer quelles particularités permettent à cette huile de mettre en évidence ce principe physique.

Les propriétés de l'huile de silicone (47V350) à une température de 25°C sont les suivantes :

- Aspect liquide, limpide, incolore
- Densité : 0,970
- Congélation à -50°C
- Bonne stabilité thermique
- Faible variation de la viscosité avec la température
- Faible tension superficielle

### **Propriétés d'autres liquides :**

Nous avons réalisé l'expérience avec différents liquides pour tester également le phénomène de non-coalescence. Nous avons alors choisi :

- l'huile de voiture
- l'huile d'olive
- le miel
- eau et surfactant (savon vaisselle)
- l'eau
- savon vaisselle
- huile isio<sub>4</sub>

Liquide/ conditions de non-coalescence viable	Fréquence en Hz	Amplitude en V
Eau + surfactant	19	0,35
Eau	Coalescence	Coalescence
Huile d'olive	19	0,80
Huile de voiture	19	0,90
Huile isio 4	19	0,73
Surfactant	coalescence	coalescence
Miel	coalescence	coalescence
Glycérol	coalescence	coalescence
Huile de Silicone	19	0,45

On constate qu'une fréquence de 19 Hz est nécessaire à la réalisation de gouttes (petites et grosses) pour presque tous les liquides.

Remarques :

- Nous avons chauffé et refroidi le miel, le glycérol ainsi que le surfactant afin de trouver un rebondissement de la goutte, en vain. C'est pourquoi nous ne nous sommes plus intéressées à la non-coalescence pour ces liquides. Néanmoins, nous reviendrons vers ces liquides pour comprendre les facteurs de la coalescence.
- Concernant le diamètre des gouttes :

-Petites gouttes: diamètre 3mm

-Grosses gouttes: diamètre 5mm

Lorsque nous visionnons nos expériences au ralenti nous observons une déformation des grosses gouttes lors de leur rebond, alors que les petites gouttes ont tendance à rester sphériques comme il est stipulé dans la thèse de Suzie Protière.

## La viscosité :

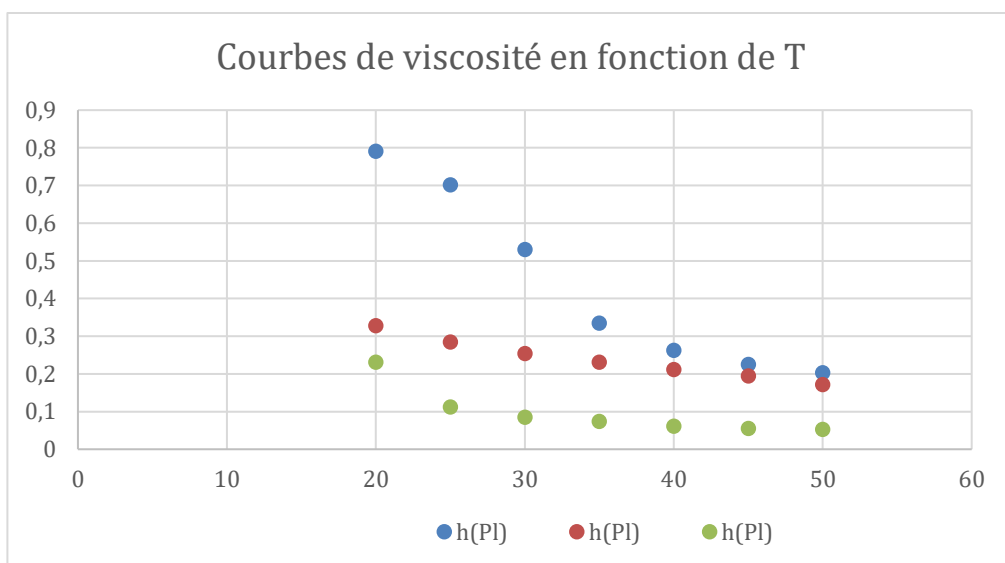
Sachant que la viscosité est l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide nous nous sommes intéressées aux viscosités de nos liquides utilisés.

Suite aux constats précédents nous avons retenu 3 liquides pour étudier l'influence de la viscosité sur la non-coalescence. Le glycérol pour lequel il y a coalescence et les huiles d'olive et de silicone pour lesquelles nous observons la danse des gouttes.

Nous mesurons alors la viscosité de ces liquides en fonction de la température.



	Glycérol	Huile de silicone	Huile d'olive
T(°C)	$\eta$ (Pl)	$\eta$ (Pl)	$\eta$ (Pl)
20	0,791	0,328	0,231
25	0,702	0,285	0,112
30	0,53	0,254	0,085
35	0,335	0,231	0,074
40	0,263	0,212	0,061
45	0,225	0,195	0,055
50	0,203	0,172	0,053



Nous avons également mesuré les masses volumiques de différentes huiles au cas où nous en aurions besoin.

Huile de silicone :

Températures	5°C	15°C	20°C	30°C	50°C
Masse en g (pour 10ml)		10,026	9,505	9,191	8,81

Huile de voiture :

Températures	5°C	15°C	20°C	30°C	50°C
Masse en g (pour 10ml)	8,306	7,95	7,85	7,7	9.50

Huile d'olive :

Températures	5°C	15°C	20°C	30°C	50°C
Masse en g (pour 10ml)		9,058	9,007	8,575	8,504

## Détails expérimentaux et calculatoires :

La rubrique vitesse de chacun des tableaux a été déterminée dans les conditions suivantes :

Les 3 liquides utilisés sont des huiles. Ainsi nous utilisons du permanganate de potassium non miscible avec l'huile. De cette manière nous pouvons calculer la vitesse à laquelle se déplace la goutte de permanganate dans chacune des huiles.

Nous avons formé une goutte de permanganate de potassium que nous déposons à la surface des liquides afin de déterminer le temps nécessaire à la goutte pour parcourir une certaine distance dans le liquide.

CARACTÉRISTIQUES DE LA GOUTTE DE PERMANGANATE:

- Densité: 1
- Rayon de la goutte: 1mm

Nous utiliserons cette donnée dans le calcul de viscosité de chacun de ces liquides.

Equation de viscosité d'un liquide :

$$\text{Viscosité} = \frac{2(p_s - p_i)(ga)^2}{9v}$$

Dans cette équation nous savons que :

**P<sub>s</sub>**= la densité de a goutte de permanganate en Kg/m<sup>3</sup>  
Soit 1000kg /m<sup>3</sup>

**P<sub>i</sub>**= la densité du liquide dont on cherche à déterminer la viscosité en Kg /m<sup>3</sup>

**g**= L'accélération fournie à la goutte de permanganate par la gravité.  
Soit 9.81m/s<sup>2</sup>

**a**= le diamètre de la goutte de permanganate en m.  
Soit 1x10<sup>3</sup>m.

**V**= La vitesse de la goutte de permanganate dans le liquide en m/s

Suite aux calculs de viscosités nous constatons que celle-ci diminue quand la température augmente. Après chaque changement de température on fait réaliser aux liquides la dualité nous constatons alors que l'instabilité de Faraday est reliée à la viscosité du liquide.

En effet, l'huile d'olive réalise l'instabilité pour une amplitude d'onde relativement basse étant donné que sa viscosité est faible.

Au contraire des huiles plus visqueuses telles que l'huile de silicone et l'huile olive nécessitent une amplitude supérieure à 1 volt pour réaliser cette instabilité.

## **Conclusion sur la viscosité :**

La viscosité varie selon les liquides et selon leur température. Pour un rebond de la goutte il est essentiel d'avoir une viscosité seuil.

En effet on constate qu'avec des liquides dont la viscosité est presque nulle (eau) la goutte rebondit seulement quelques millisecondes.

On constate également que les gouttes adoptaient des comportements différents en fonction de leur viscosité (durée plus ou moins longue de rebond)

Nous avons également pu voir que cette viscosité propre à chaque liquide joue un rôle dans l'instabilité de Faraday.

Elle joue donc un rôle important dans la réalisation du phénomène de non coalescence que nous avons observé.

### 3- Structures chimiques :

Sachant que la viscosité est l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide nous nous intéressons ainsi aux différentes structures chimiques de nos liquides. Puisque celle-ci à peut être une influence sur la viscosité.

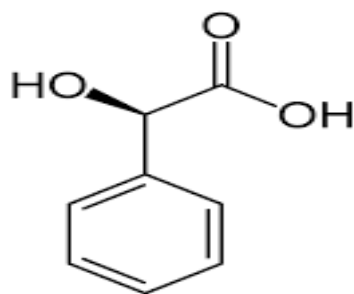
Nous comparons les structures chimiques de liquides qui permettent la dualité aux structures de liquides qui ne la permettent pas.

Les différences observées pourraient potentiellement être la source de cette coalescence qui ne permet donc pas la dualité.

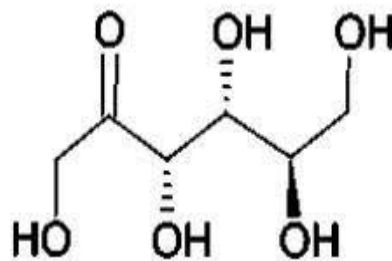
En effet, nous avons observé qu'il est impossible de réaliser une goutte avec des liquides tels que le miel et le glycérol.

Cette incapacité du liquide à prendre la forme d'une goutte est peut être liée à sa structure.

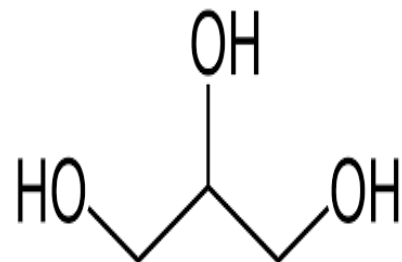
Nous constatons également que l'huile à une structure qui se rapproche des structures du miel et du glycérol. Néanmoins une différence est observable, l'huile présente en fin de chaîne un acide carboxylique tandis que le miel et le glycérol ne présentent que des groupes hydroxyle.



Structure de l'huile



structure du miel



structure du glycérol

### III) Mise en évidence de l'association

#### 1) Définition

Définition de la physique quantique :

La physique quantique ou mécanique quantique est la théorie fondamentale des particules de matière constituant les objets de l'univers et des champs de force animant ces objets.

La dualité onde particule est donc une théorie de la physique quantique.

En effet, dans l'univers il existe 2 types d'objets, les ondes et les particules.

Les ondes se propagent sans avoir de position prédéfinie. Les ondes sont capables de se superposer ; prenons comme exemple les vagues ; elles se propagent sans avoir de position fixe, en se superposant elles peuvent former une plus grande ou plus petite vague, ce phénomène de superposition des ondes crée des creux et des bosses.

Les particules n'ont pas de positions prédéfinies mais plusieurs possibilités de position choisie au hasard selon le principe de l'onde. Celle-ci se positionne plutôt sur une bosse, correspondant à une forte probabilité de placement de la particule.

Nous pouvons ainsi dire que les particules se comportent comme onde et comme corpuscule. Nous pouvons mettre en lien ce phénomène avec l'hypothèse de De Broglie : « Toute matière est dotée d'une onde associée, ceci donne ainsi lieu à la dualité onde particule ».

Phénomène important dans le cadre de notre projet :

Dans la cuve rectangulaire on observe des ventres et des bosses (résultat des ondes stationnaires qui réfléchissent sur les parois de la cuve).

Or nous savons que si nous considérons les théories quantiques ; notre bain, serait donc considéré comme bain quantique. Les déformations de surface que nous observons sont donc associées à des probabilités de placement plus ou moins importantes de positionnement de notre particule. (La goutte).

Ainsi plus la bosse est haute, plus la probabilité que la goutte s'y retrouve est élevée.

En effet tout au long du dossier nous utilisons le terme association onde particule et non le terme dualité onde particule puisque ce terme renvoie à la physique quantique. Or, dans nos expériences nous ne parvenons pas toujours à observer la goutte ET l'onde dans le même temps. C'est pourquoi nous pouvons à ce stade uniquement parler d'association et non de dualité.

Ainsi nous avons la relation suivante : longueur d'onde =  $h$  (constante de Planck) /  $p$  (quantité de mouvement d'une particule)

## 2) Les marcheurs

Les marcheurs désignent les déplacements des gouttes sur la surface liquide.

En ce sens les marcheurs sont la preuve de l'association onde particule puisqu'en rebondissant la goutte crée une onde et c'est cette onde même qui lui permet de se déplacer.

Suite à nos expériences nous avons constaté que les gouttes se déplaçaient pour se rapprocher voir fusionner avec d'autres. Ainsi une goutte seule à la surface du liquide ne se déplacera pas.

Nous avons également vu que les gouttes se rapprochaient jusqu'à ce que leur rebond permette à leurs ondes de se propager à partir du même point ; comme si elles ne formaient qu'une unique goutte. Il est également nécessaire que la goutte soit peu éloignée d'une autre pour qu'elles se rapprochent, dans le cas contraire elles ne se rapprochent pas. Il est aussi possible de faire se déplacer les gouttes en les poussant à l'aide d'une pipette par exemple ; mais cette observation ne rentre pas dans le cadre de cette association onde particule puisque la goutte ne se sert plus de l'onde pour se déplacer.

Ainsi nous avons compris que les marcheurs constituaient une preuve de l'existence de cette association. Néanmoins elle n'est pas la principale preuve puisqu'une goutte seule mettra en application le principe d'association sans se déplacer mais en rebondissant simplement sur son onde.

## **IV) Eléments de conclusion :**

Nous avons émis ces hypothèses avant notre sélection. C'est pourquoi suite à ce paragraphe vous trouverez la poursuite de nos recherches.

### Observations quant aux caractéristiques des liquides :

Nous avons vu suite aux expériences réalisées que les liquides qui mettaient en évidence la dualité onde particule présentent des caractéristiques particulières:

- Une viscosité seuil (viscosité minimale à partir de laquelle la goutte rebondit sur le liquide pendant une durée  $t$  non négligeable).
- Une structure chimique d'huile

Il semble par ailleurs nécessaire que le liquide soit de nature organique et qu'il présente un groupe carboxyle.

Cette structure nous paraît nécessaire car nous avons vu que les structures de liquides tels que le miel le surfactant ou le glycérol ne permettaient pas la formation de gouttes. Or la goutte est le premier pas vers la dualité que nous voulons réaliser.

### Observations quant aux caractéristiques physiques et expérimentales :

Après l'écriture du dossier nous avons émis l'hypothèse suivante concernant la vidéo du projet Lutétium :

Pour réaliser la vidéo sur laquelle nous nous sommes basées, les chercheurs ont utilisé de l'huile de silicone.

Le silicone étant un élastomère nous imaginons que les propriétés plastiques et/ou élastiques de cette matière lui permettraient d'obtenir un meilleur rebond ce qui d'un point de vue hypothétique, lui permettrait de rebondir indéfiniment.

Nous pensons que notre incapacité (actuelle) à faire rebondir la goutte indéfiniment réside dans l'influence de nos conditions et dispositifs expérimentaux. (Matériel de lycée, caractéristiques de l'onde...)

De plus, la durée  $t$  pendant laquelle la goutte rebondie est liée aux caractéristiques de l'onde émise. Pour une fréquence fixée (19hz) nous faisons varier l'amplitude en volt de l'onde. Ces variations entraînent également l'acquisition de l'instabilité de Faraday, qui est elle même liée à la viscosité du liquide.

### Nos hypothèses et futures expériences :

En étudiant les structures de nos liquides nous pensons que la non coalescence est liée à la présence de groupe(s) carboxyle.

Ainsi nous aimerions trouver des conditions qui permettraient à un liquide de présenter un acide carboxylique pour voir s'il peut alors ne pas coalescer.

Ex : Le glycérol présente des groupes hydroxyles.

Nous aimerions essayer de former l'isomère de fonction du glycérol (doté d'acide carboxylique) pour voir si celui ci serait alors capable de ne pas coalescer.

S'il ne coalesce pas, la propriété d'un liquide qui réalise la dualité onde particule résiderait uniquement dans sa structure.

S'il coalesce quand même, l'acide carboxylique ne serait donc pas un facteur de la non-coalescence et donc la structure du liquide n'influerait pas sur l'association onde particule.

## **VI) Suite : Structures chimiques**

### **1) Groupes caractéristiques**

Nous avons remarqué précédemment que nos liquides possédant un groupe carboxyle permettaient de réaliser le phénomène de non-coalescence.

Nous avons donc voulu vérifier l'hypothèse que nous avions émise :

Le groupe carboxyle est nécessaire à la réalisation du phénomène.

Ainsi nous avons sélectionné un liquide (acide butanoïque, acide oléique) qui comportait beaucoup de groupe carboxyle dans sa structure et l'avons mis dans les conditions expérimentales nécessaires à la réalisation du phénomène. (Confer III) 1))

Dans nos conditions expérimentales nous avons observé que le liquide permettait la non-coalescence.

Suite à cela, nous avons reproduit la même expérience avec des liquides concentrés en groupes hydroxyles tels que le propanol et le butanol.

A notre grande surprise nous avons constaté que ces liquides permettaient également la non-coalescence, ils la réalisaient même mieux que les liquides précédents !

C'est pourquoi notre hypothèse sur les groupements caractéristiques de nos liquides n'est pas validée.

### **2) Longueurs de chaînes carbonées**

Chaîne carbonée : dans une molécule organique, c'est la chaîne qui forme le squelette de la molécule, formée d'un ensemble d'atomes Carbone reliés par des liaisons covalentes.

Nous nous sommes intéressées à la longueur des chaînes carbonées de nos liquides étant donné que de base, l'expérience n'était validée qu'avec des huiles ; liquides possédant de longues chaînes carbonées.

Or précédemment nous avons remarqué que notre expérience est également réalisable avec des liquides tels que le butanol et le propanol ; comportant des chaînes carbonées plutôt courtes.

Ainsi la longueur des chaînes carbonées n'est pas totalement liée au phénomène.



## **Conclusion**

Tout au long de notre projet nous avons émis différentes hypothèses de manière intuitive ou alors suite à de la documentation.

Dans un premier temps nous nous sommes interrogées sur les principes physiques de l'expérience pour ensuite arriver aux caractéristiques des liquides.

Nous avons émis plusieurs éléments de conclusion tout au long du dossier qui nous permettent de mieux appréhender le phénomène observer sans pour autant avoir une réponse définitive à la question que nous nous sommes posés ; à savoir « Quelles sont les caractéristiques d'un liquide qui lui permettent de réaliser l'association onde particule ? ».

Ainsi la structure du liquide semble avoir une influence sur cette association. En effet pour un rebond optimal plusieurs facteurs semblent entrer en compte :

- La viscosité
- Les groupes caractéristiques
- Les longueurs de chaînes
- Les liaisons

Cependant ces caractéristiques semblent dissociées et elles n'entrent pas toutes en compte pour un même liquide.

C'est pourquoi des recherches sont encore nécessaires afin de trouver une réponse davantage précise.

Nous avons en tout cas pris un réel plaisir à la réalisation de ce projet qui nous permis d'enrichir nos connaissances dans la matière.

**« I have no special talents, I am only passionately curious »  
Albert Einstein**

## Sources

- Quantix, Laurent Schafer
- Thèse de Suzie Protier
- Dictionnaire
- Futura-science.com
- Revue Sciences et Vie