



# Diffusion aromatique et rôle du dioxyde de carbone au sein du champagne

# PLAN

---

## I. Le champagne et son effervescence

- A) Présentation du champagne
- B) Origine de l'effervescence
- C) Formation des bulles

## II. Le rôle des bulles au sein du champagne

- A) Le brassage du champagne
- B) Le transport des arômes

## III. Le verre idéal pour une bonne dégustation

- A) Coupe ou flûte ?
- B) Gravée ou non ?
- C) Conclusion



# I. Le Champagne et son effervescence

A Présentation du Champagne



Présence de bulles dans un verre  
de vin effervescent

A Origine des bulles

Équation bilan de la formation de CO<sub>2</sub> et d'éthanol dans les vins effervescents :

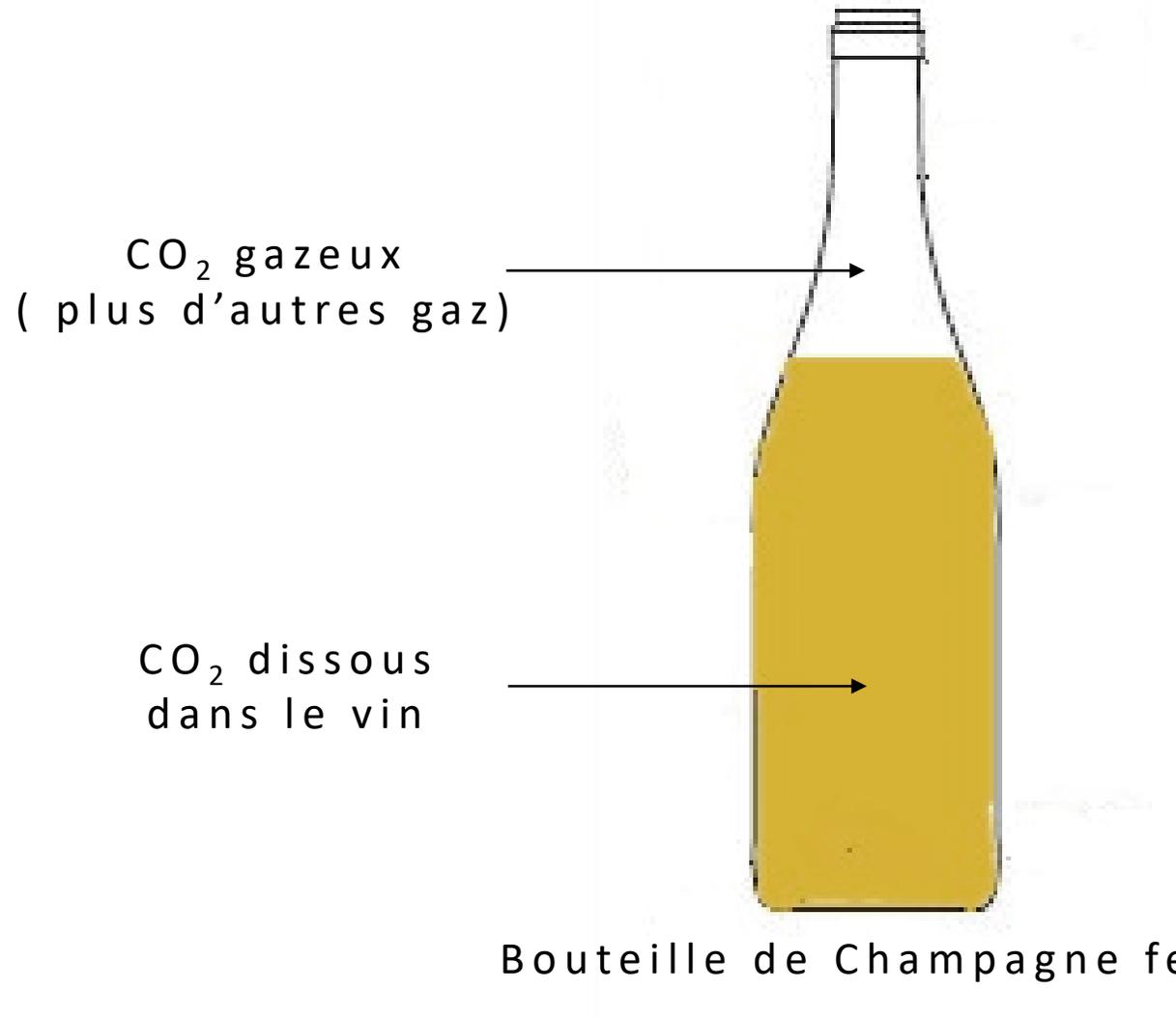


Glucose

Dioxyde  
de carbone

Ethanol

B Origine des bulles



Loi d'Henry traduisant l'équilibre entre le CO<sub>2</sub> gazeux et le CO<sub>2</sub> dissous:

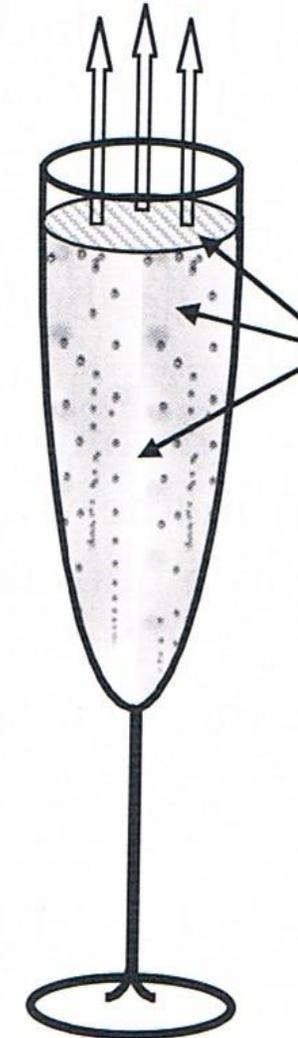
$$[\text{CO}_2]_{\text{dissous}} = k_H P(\text{CO}_2)$$

*où "k<sub>H</sub>" est la constante d'Henry qui dépend de la température, du liquide et du gaz considérés*

## B Origine des bulles

### Deux processus de dégazage :

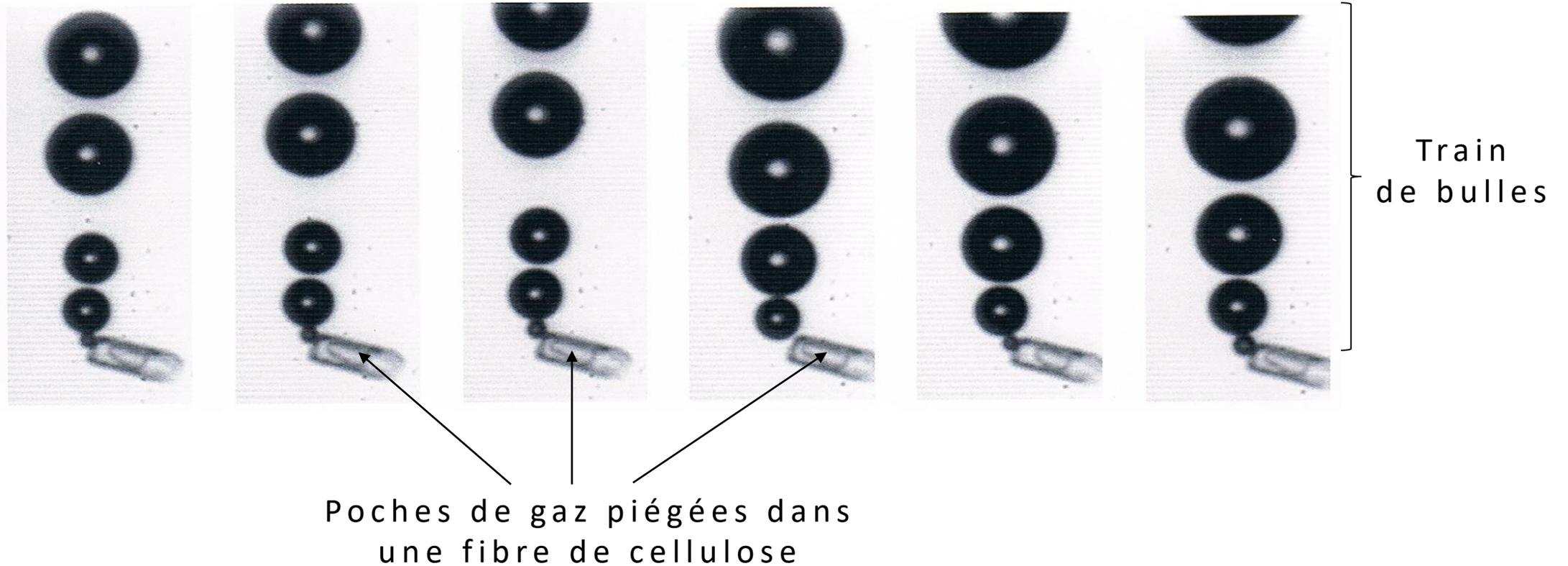
- 20% des molécules de  $\text{CO}_2$  s'échappent par formation des bulles
- 80% des molécules de  $\text{CO}_2$  s'échappent directement par diffusion à l'interface vin/air



Formation de bulles et diffusion à la surface

c Formation des bulles

Les sites de nucléation:



c Formation des bulles

Mise en évidence des sites de nucléation:

Verre 1 : lavé à l'eau puis séché avec un chiffon sec

On observe de nombreux trains de bulles démarrant sur les parois du verre ou au fond



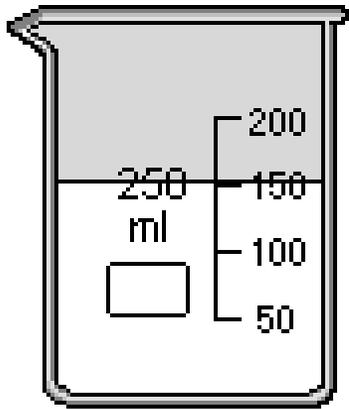
Verre 2 : lavé à l'eau et au vinaigre puis séché sur un égouttoir

On observe seulement 2 trains de bulles démarrant au fond du verre

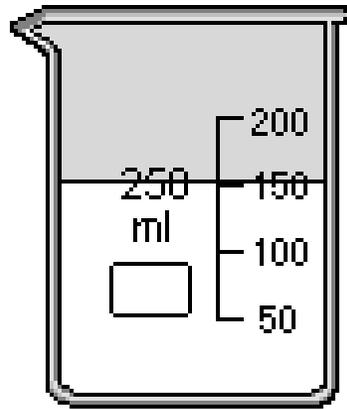
c Formations des bulles

Expérience montrant la perte de masse du vin due à l'effervescence:

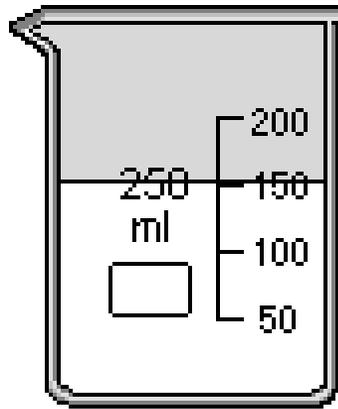
MATERIEL UTILISÉ



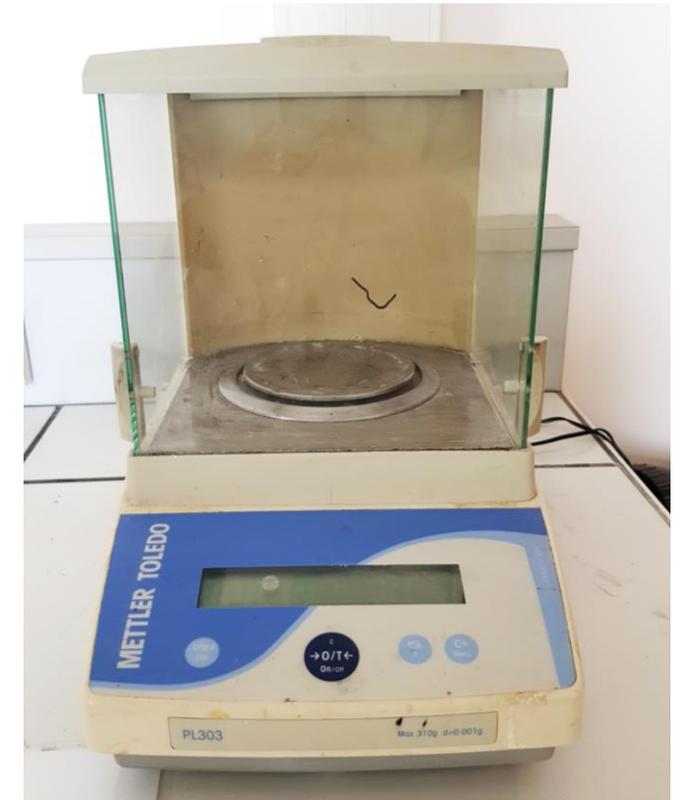
Echantillon 1:  
avec effervescence  
(Bécher séché avec un chiffon)



Echantillon 2:  
sans effervescence  
(bécher neuf nettoyé à l'acide formique)



Echantillon 3:  
vin dégazé (brassage pendant 15min)

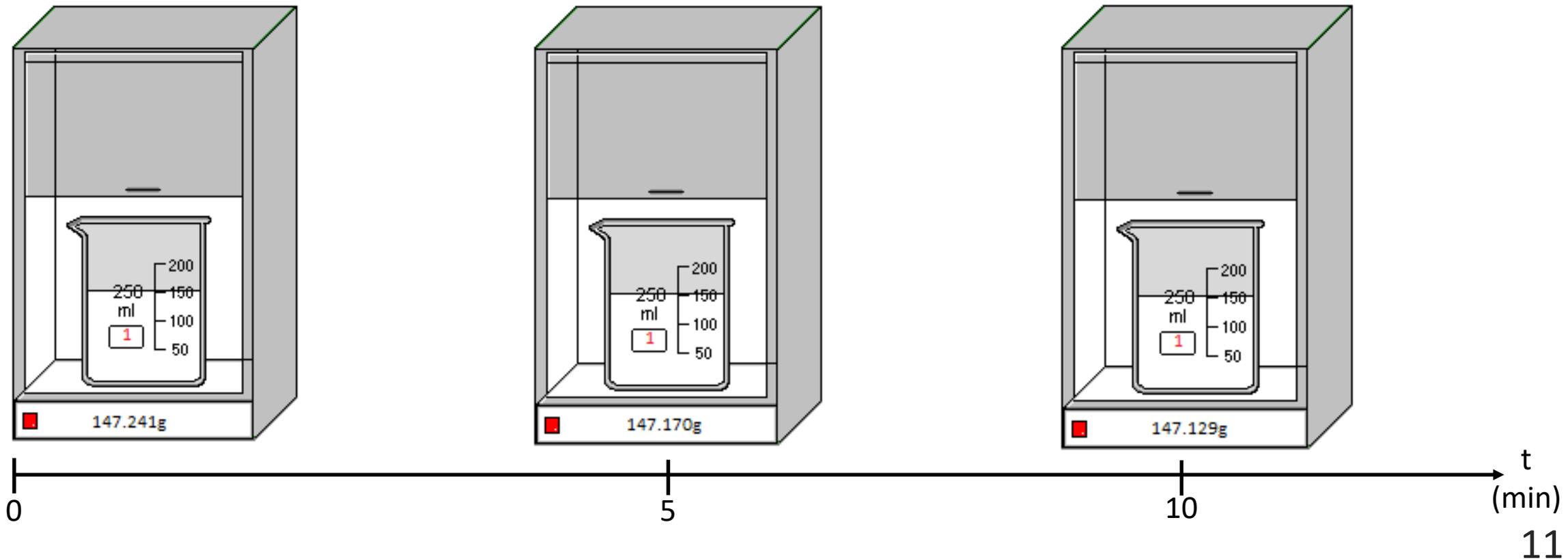


Balance de précision au milligramme

c Formation des bulles

Expérience montrant la perte de masse du vin due à l'effervescence:

PROTOCOLE

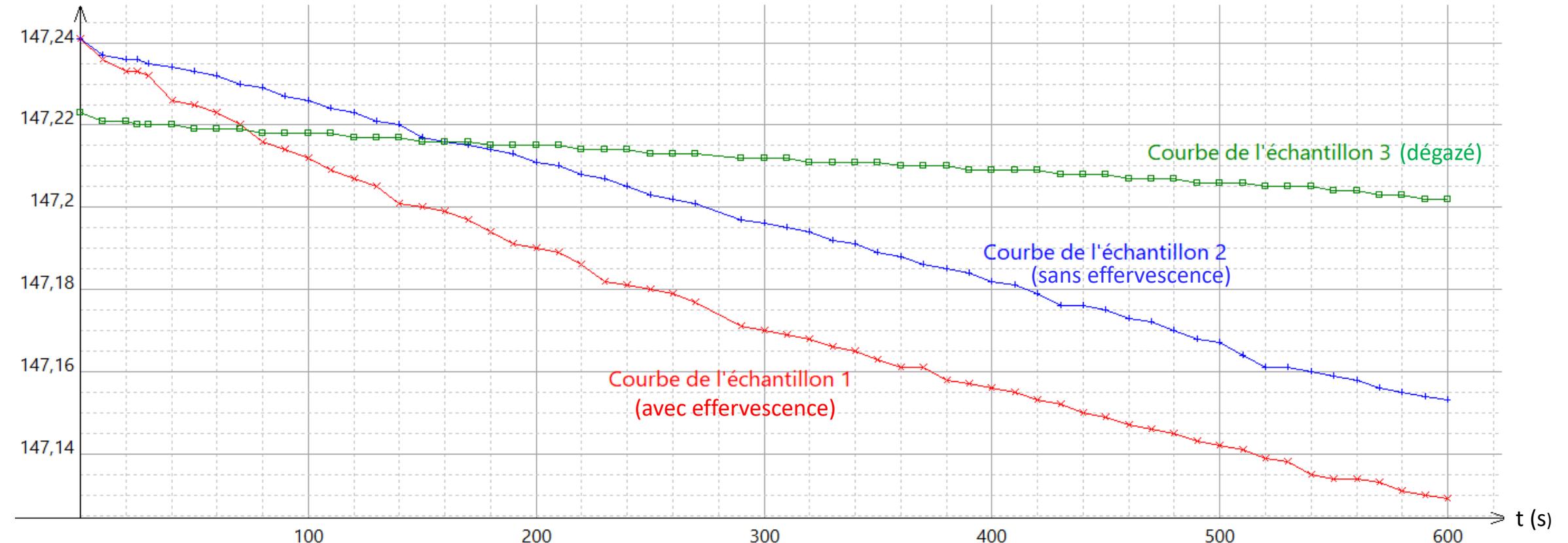


**C** Formation des bulles

Expérience montrant la perte de masse du vin due à l'effervescence:

RÉSULTATS

+ P22/g × P11/g □ P33/g



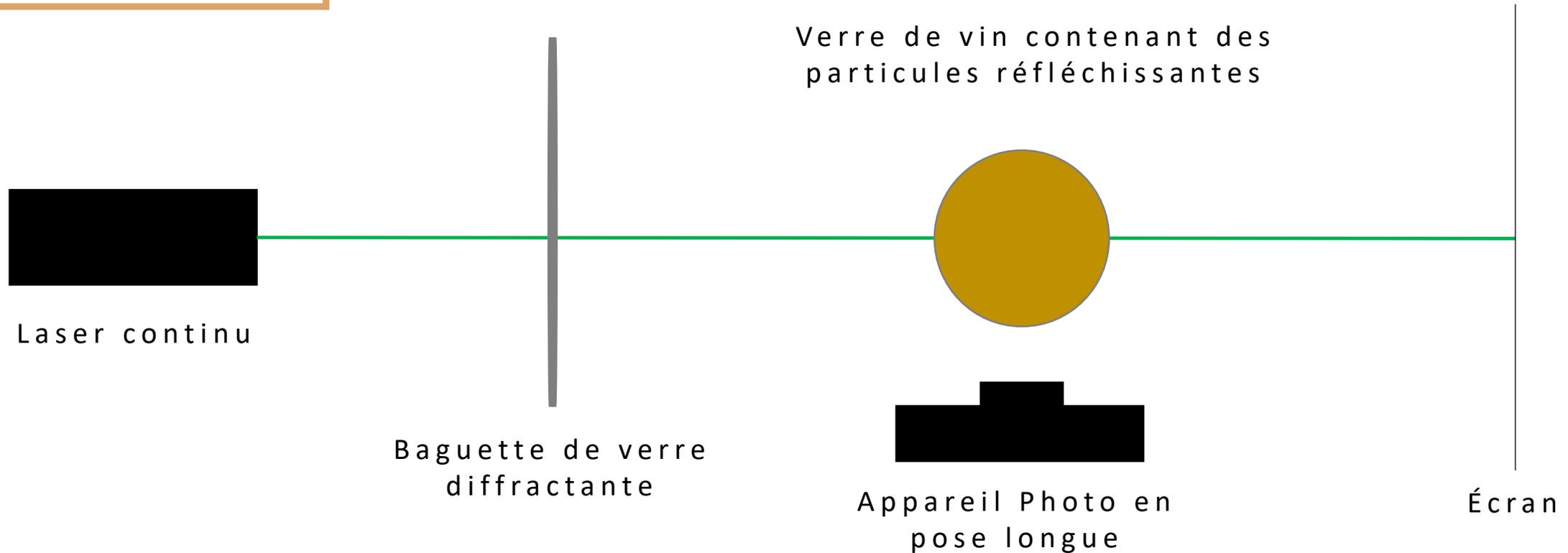


## II. Le rôle des bulles au sein du Champagne

A Le brassage du champagne

Mise en évidence des lignes de courant par tomographie laser:

SCHÉMA

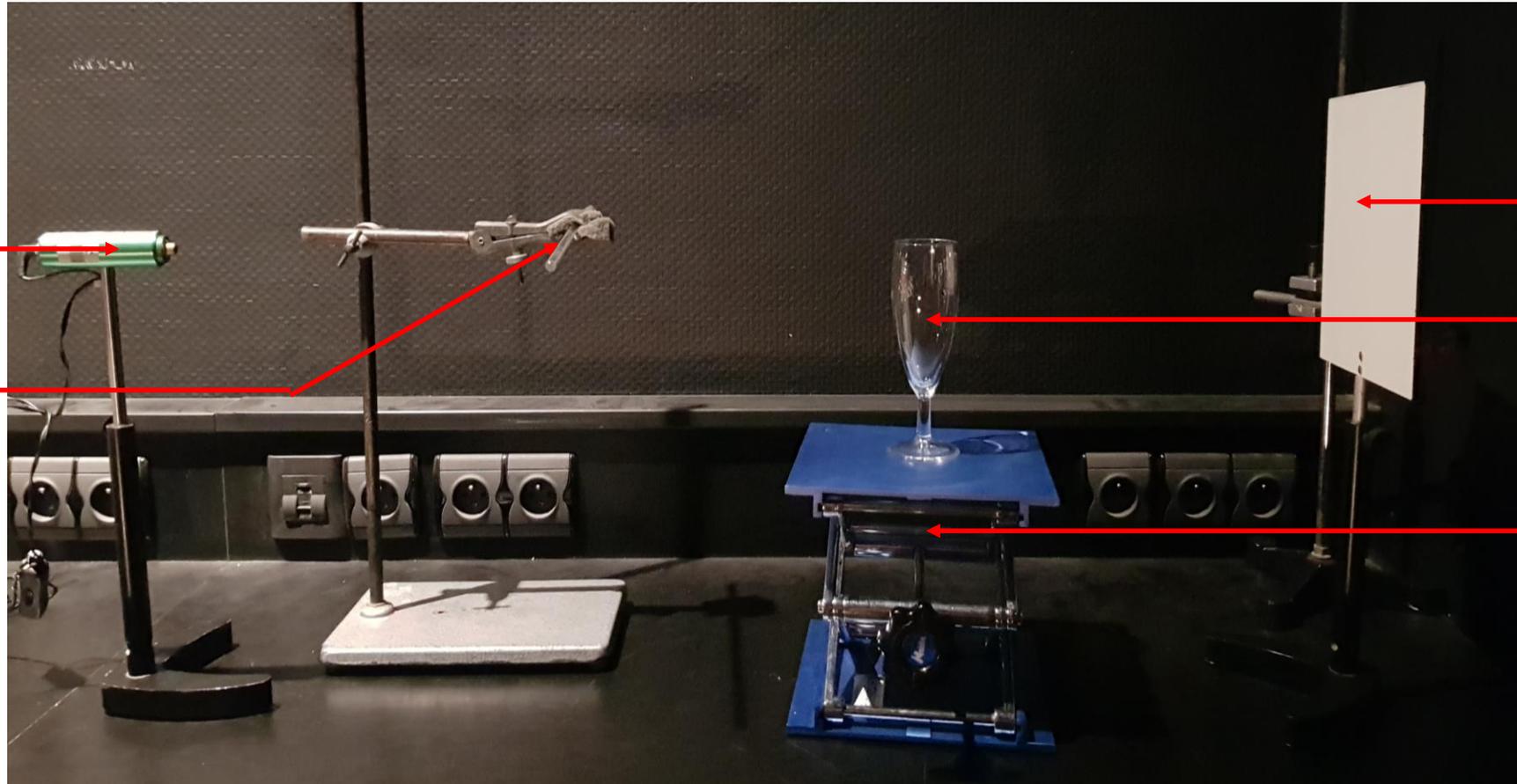


A Le brassage du champagne

Mise en évidence des lignes de courant par tomographie laser:

Laser

Baguette de verre



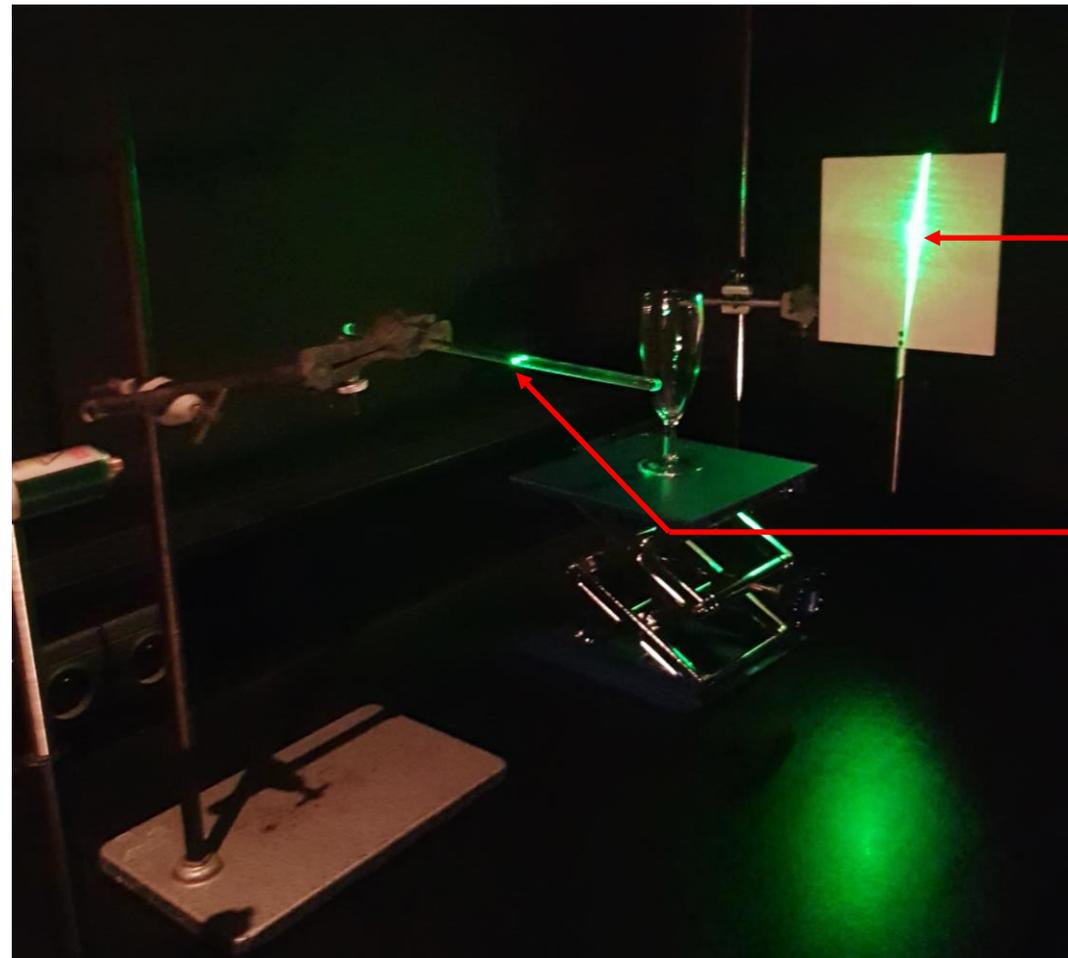
Ecran

Verre de vin

Support élévateur

A Le brassage du champagne

Mise en évidence des lignes de courant par tomographie laser:



Nappe de  
Lumière

Point d'impact  
du laser sur la  
baguette de  
verre

A Le brassage du champagne

Verre sans  
poudre de  
Rilsan

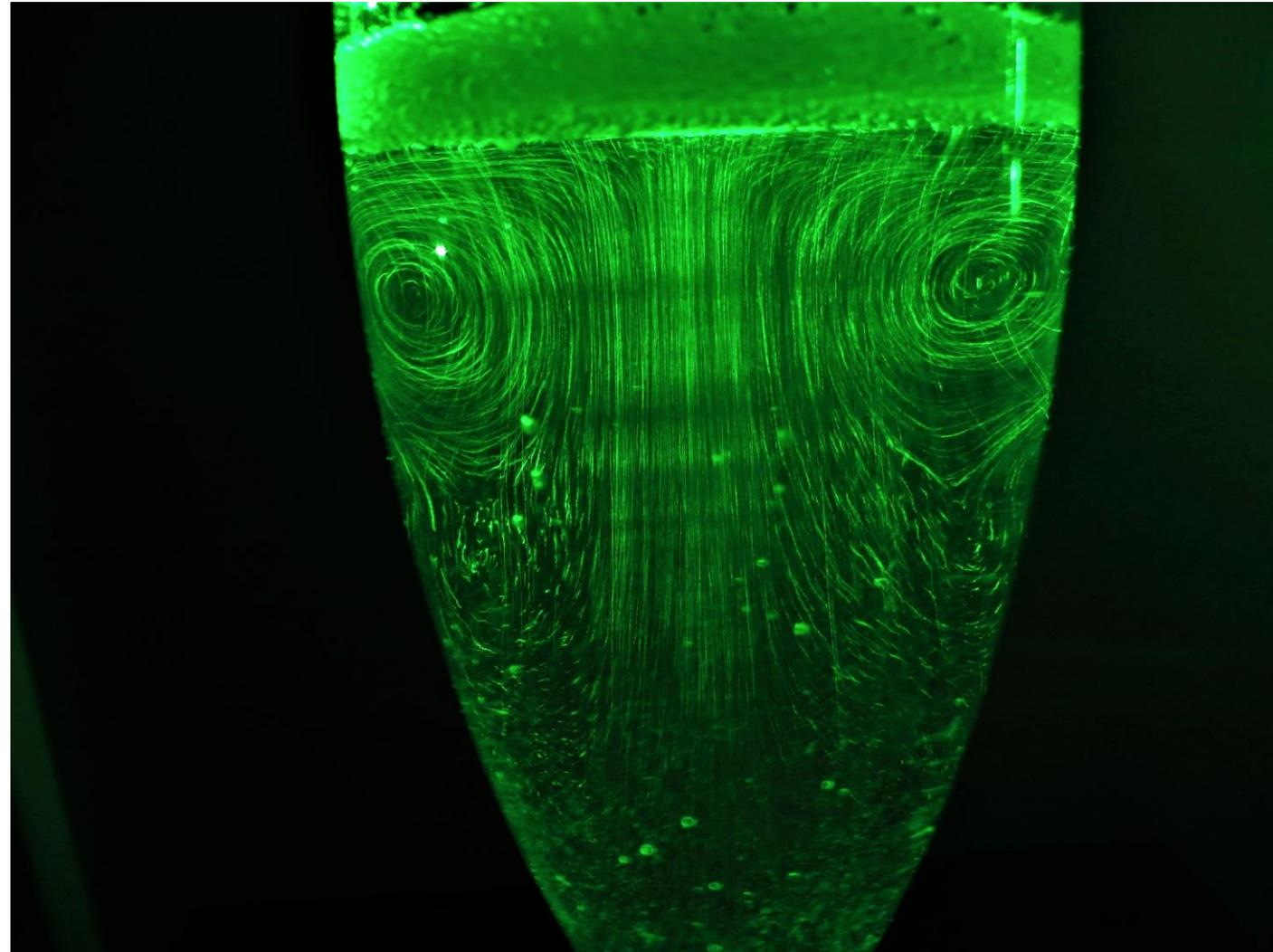


Verre contenant  
de la poudre de  
Rilsan

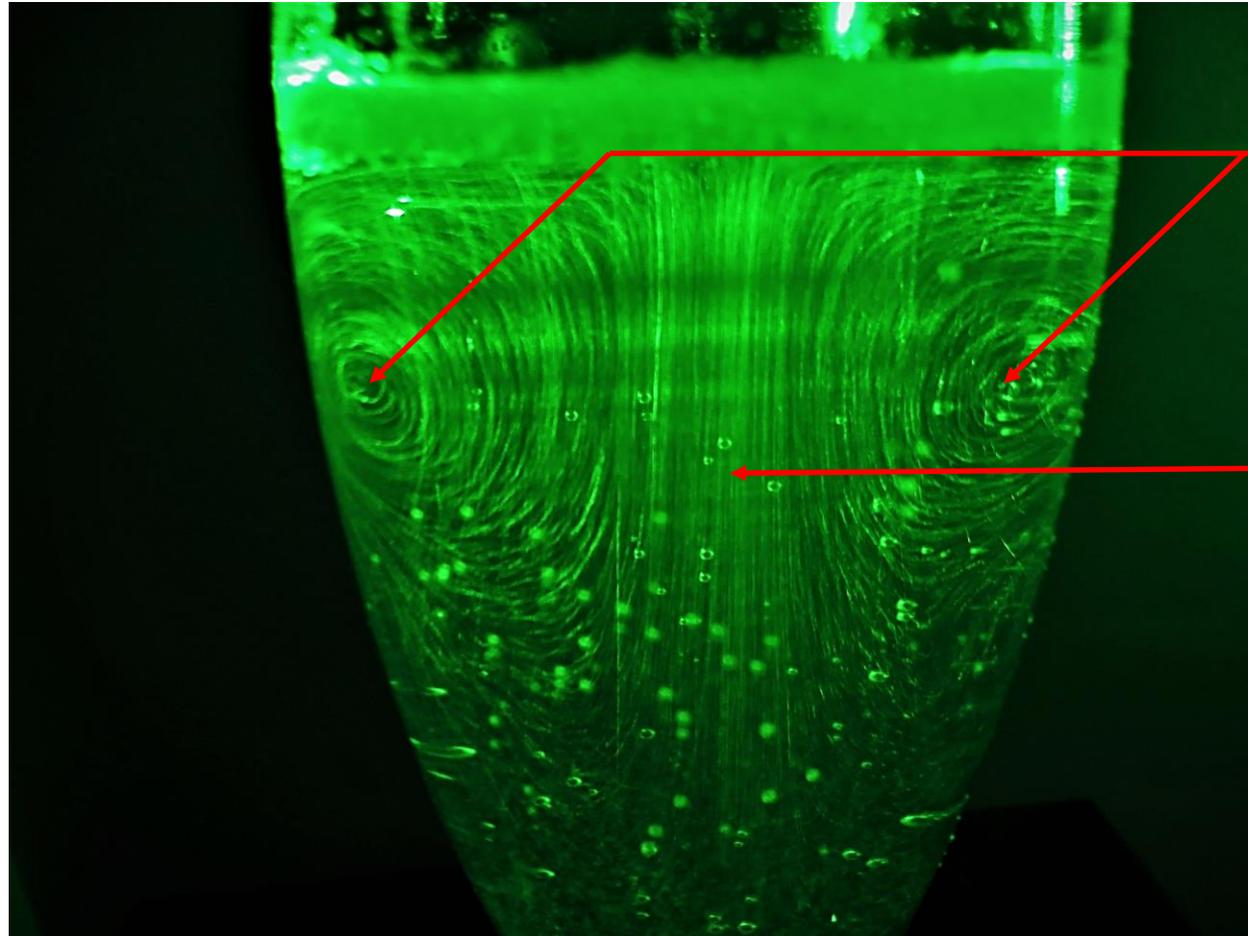


A Le brassage du champagne

Lignes de courant au  
sein d'une flûte de  
Champagne:



A Le brassage du champagne



Tourbillons  
apparents

Colonne  
centrale

A Le brassage du champagne

Modélisation des lignes de courants sur Fluent:

Coupe d'une flûte de Champagne modélisée sur Fluent



B Le transport des arômes

Schéma d'une molécule tensioactive:

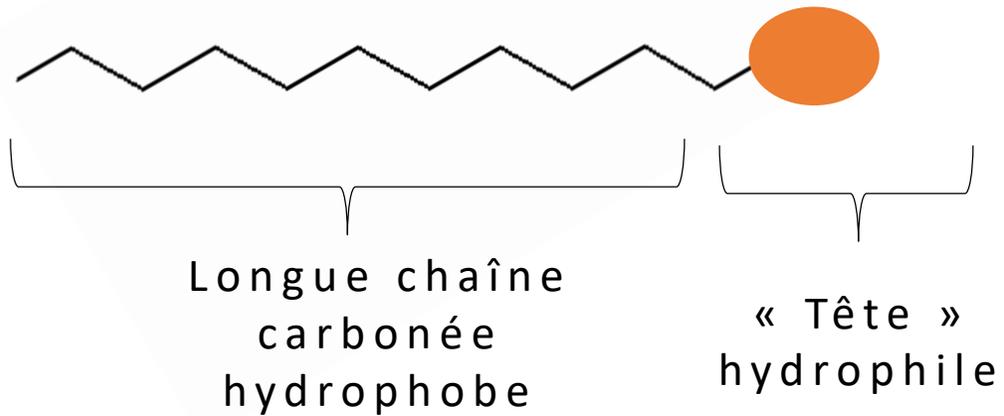
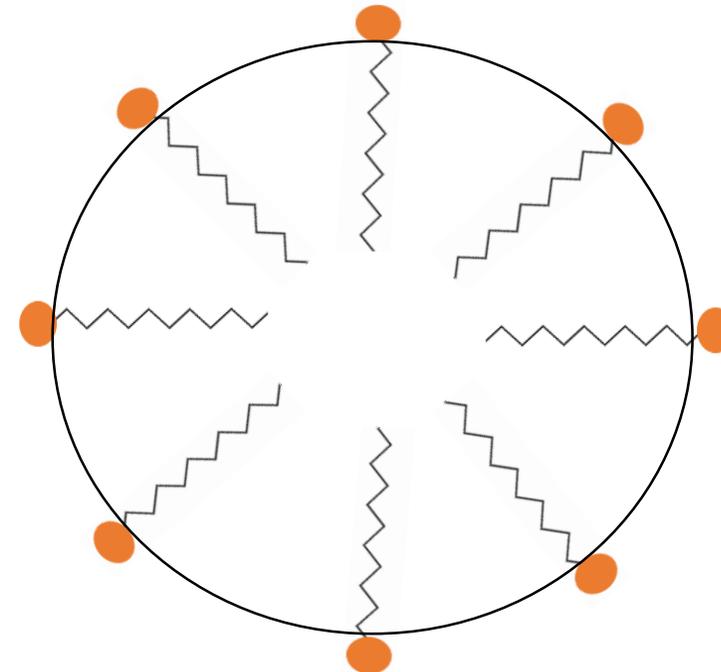
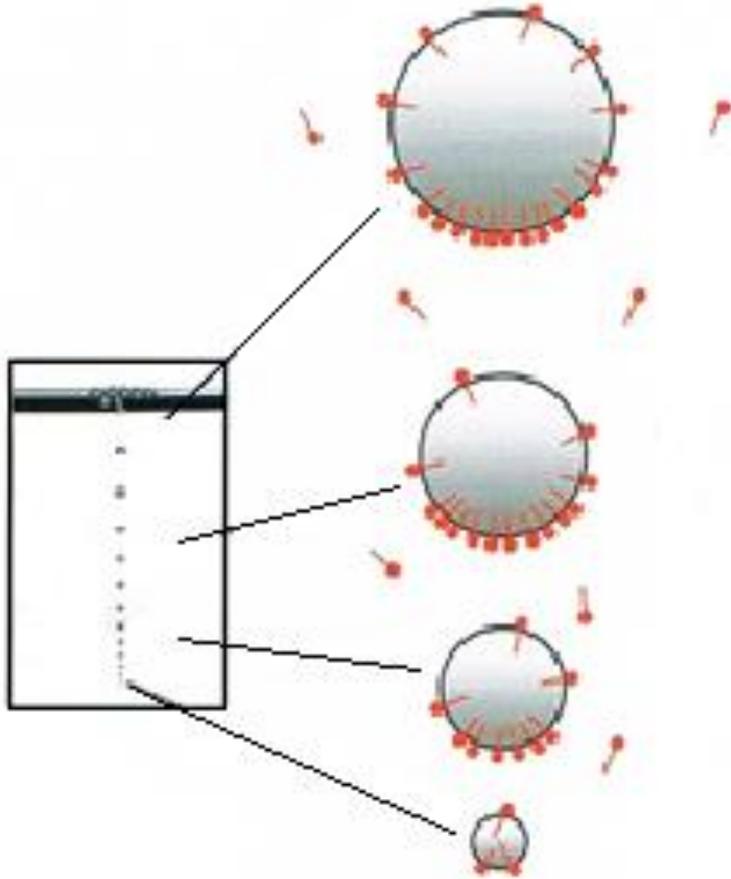


Schéma d'une bulle recouverte de molécules tensioactives



B Le transport des arômes



Ascension d'une bulle



Surface où se concentrent les molécules tensioactives

B Le transport des arômes

Mise en évidence des molécules tensioactive à la surface par spectrométrie de masse:

Spectromètre de masse



Chromatographe

B Le transport des arômes



Colonne de chromatographie  
en silice



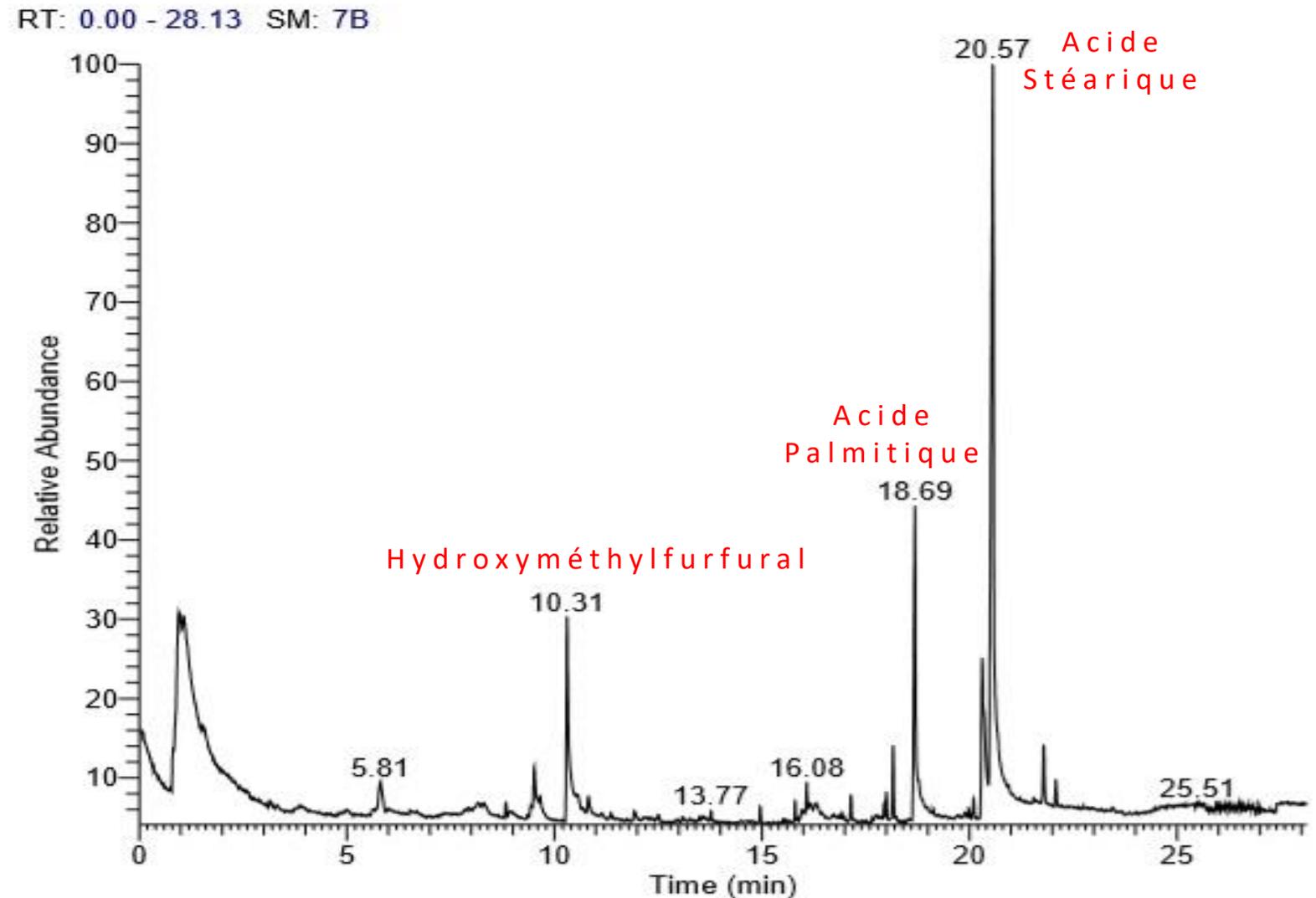
Champagne utilisé

B Le transport des arômes

Spectre de la Chromatographie

Échantillon utilisé :

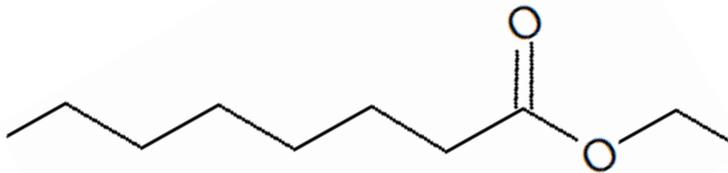
5mL de Champagne dégazé pendant 10min par agitation



B Le transport des arômes

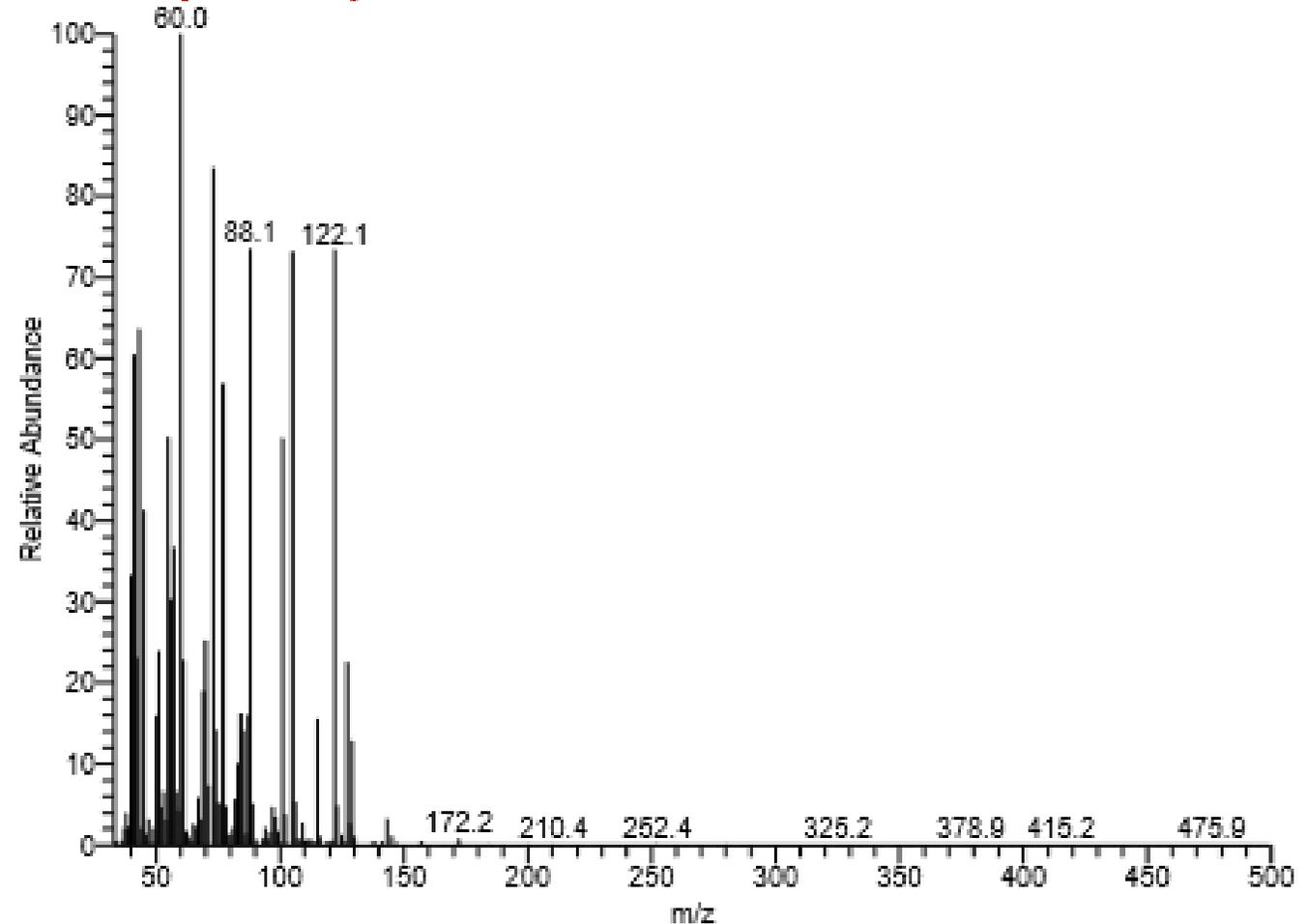
Spectre de masse

Octanoate d'éthyle:

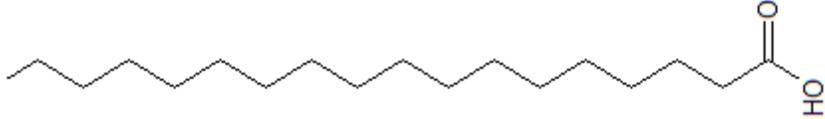
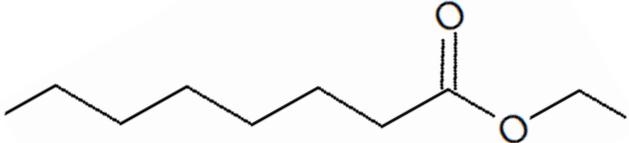
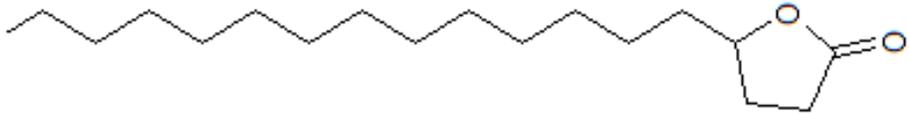
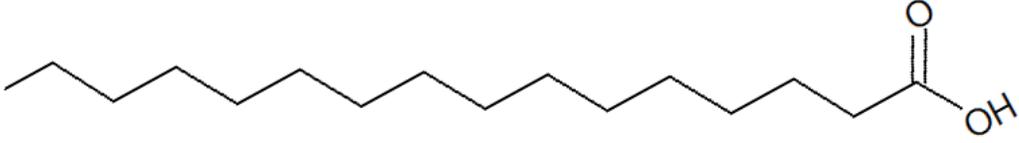


⇒ Odeur fruitée et fleurie

Z-TYPE19040902\_190409122909 #3198 RT: 9.51 AV: 1 AV: 51 SB: 202 2573-2673 3723-3823 NL:  
F: + c Full ms [33.00-500.00]



**B** Le transport des arômes

Formule brute	Nom	Formule topologique	Informations
$C_{18}H_{36}O_2$	Acide Stéarique		Acide gras saturé très répandu
$C_{10}H_{20}O_2$	Octanoate d'éthyle		Arôme à l'odeur fruitée et fleurie
$C_{18}H_{34}O_2$	Gamma - décalactone		Composé aromatique utilisé pour la composition d'arômes de pêche, d'abricot et de fraise
$C_{16}H_{32}O_2$	Acide palmitique		Un des acides gras saturé les plus courants chez les animaux et les plantes



### III. Le verre idéal pour une bonne dégustation

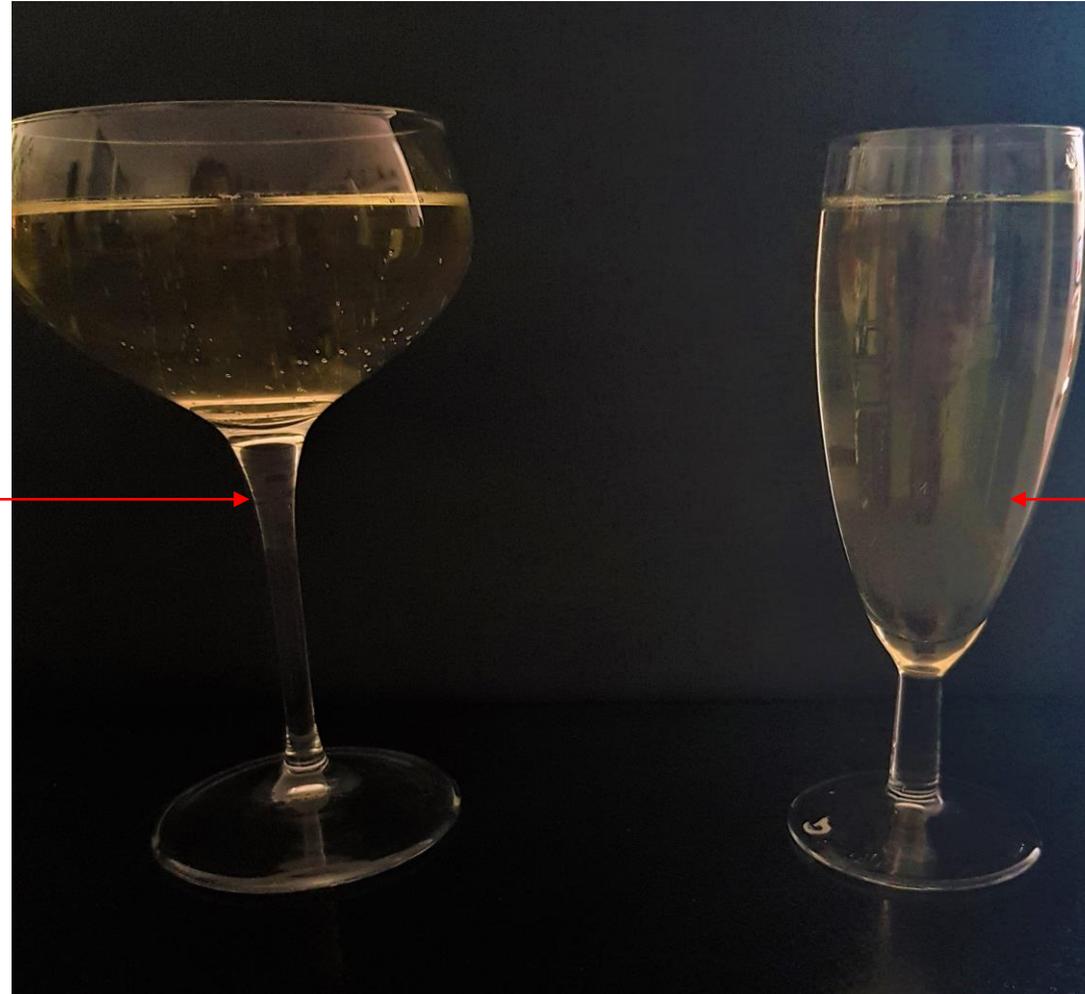
A Coupe ou flûte ?



Différents types de verres à Champagne

A Coupe ou flûte ?

Coupe de champagne



Flûte de champagne

A Coupe ou flûte ?

Désorption du CO<sub>2</sub> dans une coupe et dans une flûte:



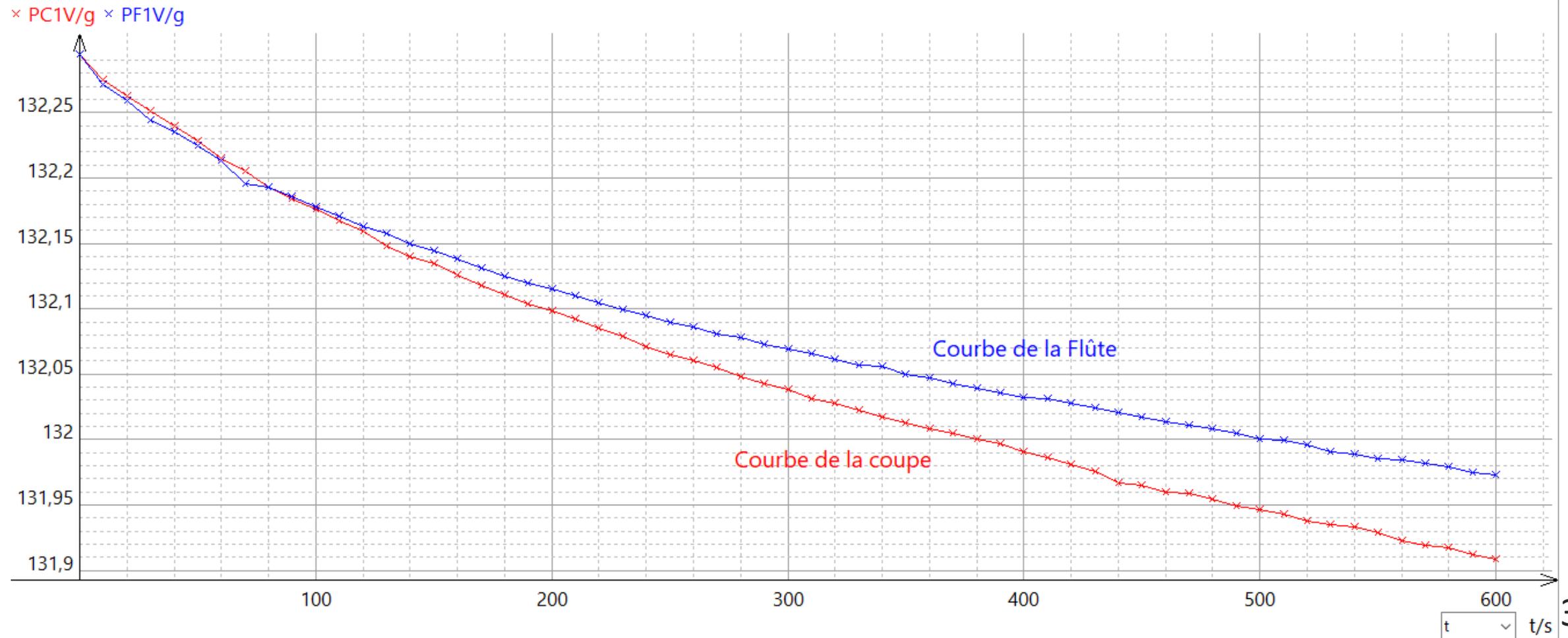
Pesée de la coupe de Champagne



Pesée de la flûte de Champagne

A Coupe ou flûte ?

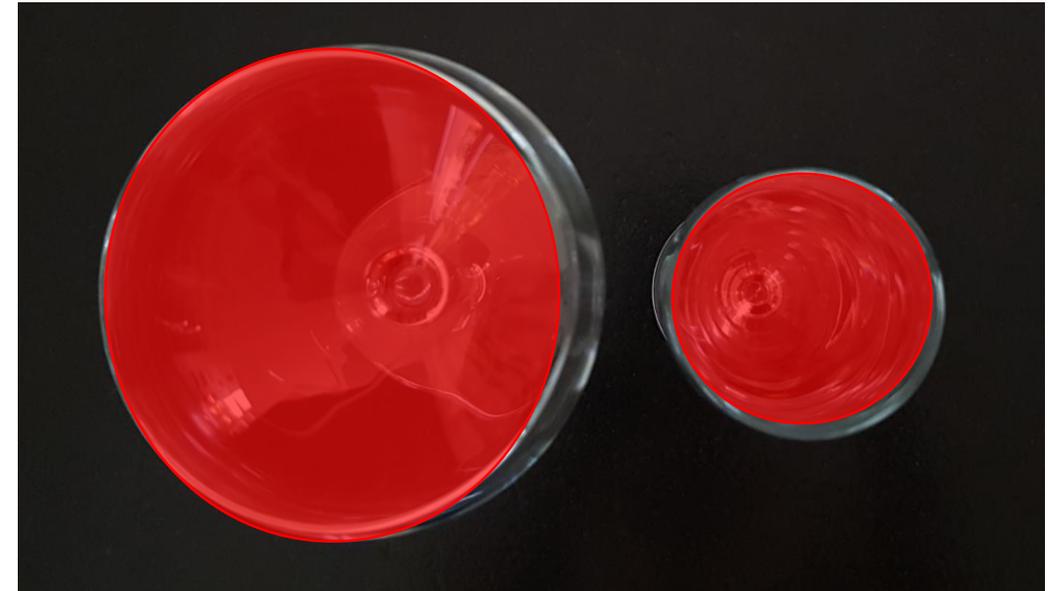
Désorption du CO<sub>2</sub> dans une coupe et dans une flûte:



A Coupe ou flûte ?

Désorption du CO<sub>2</sub> dans une coupe et dans une flûte:

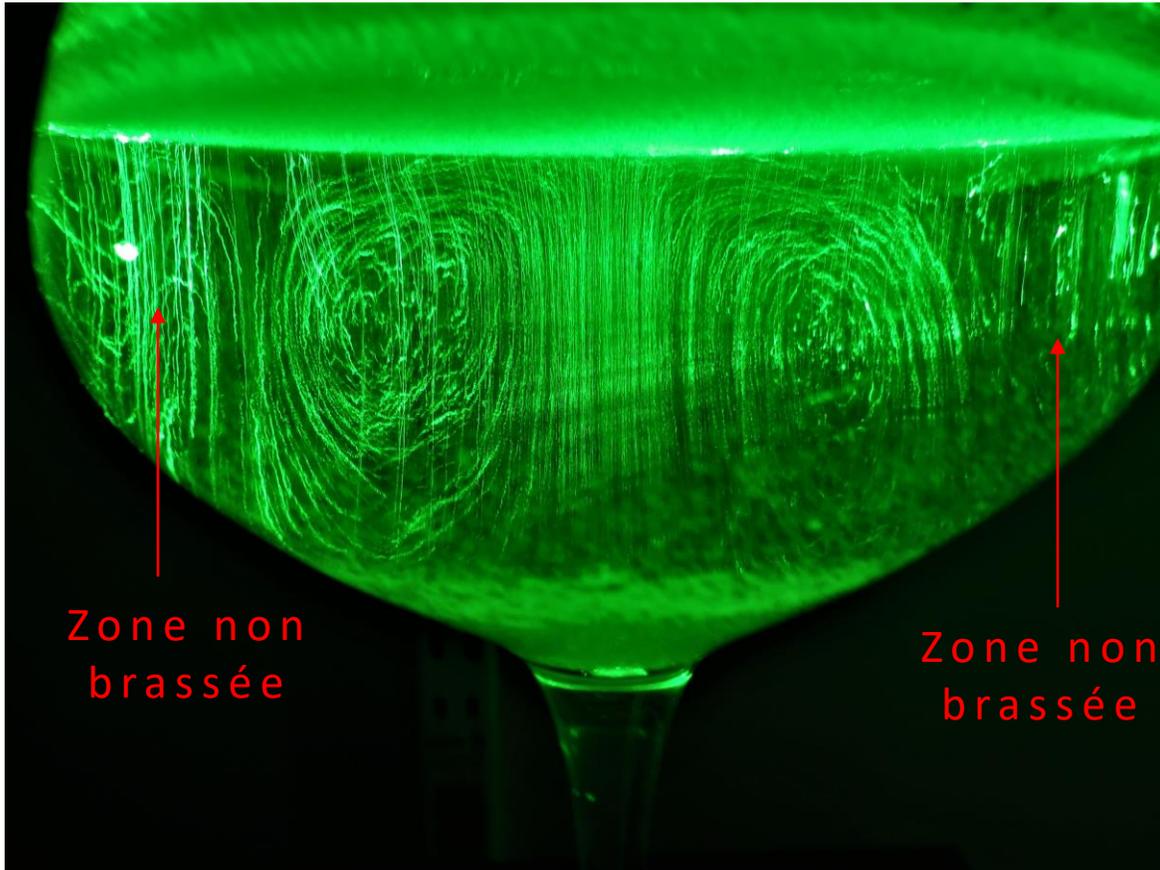
La surface de la coupe est plus grande que celle de la flûte



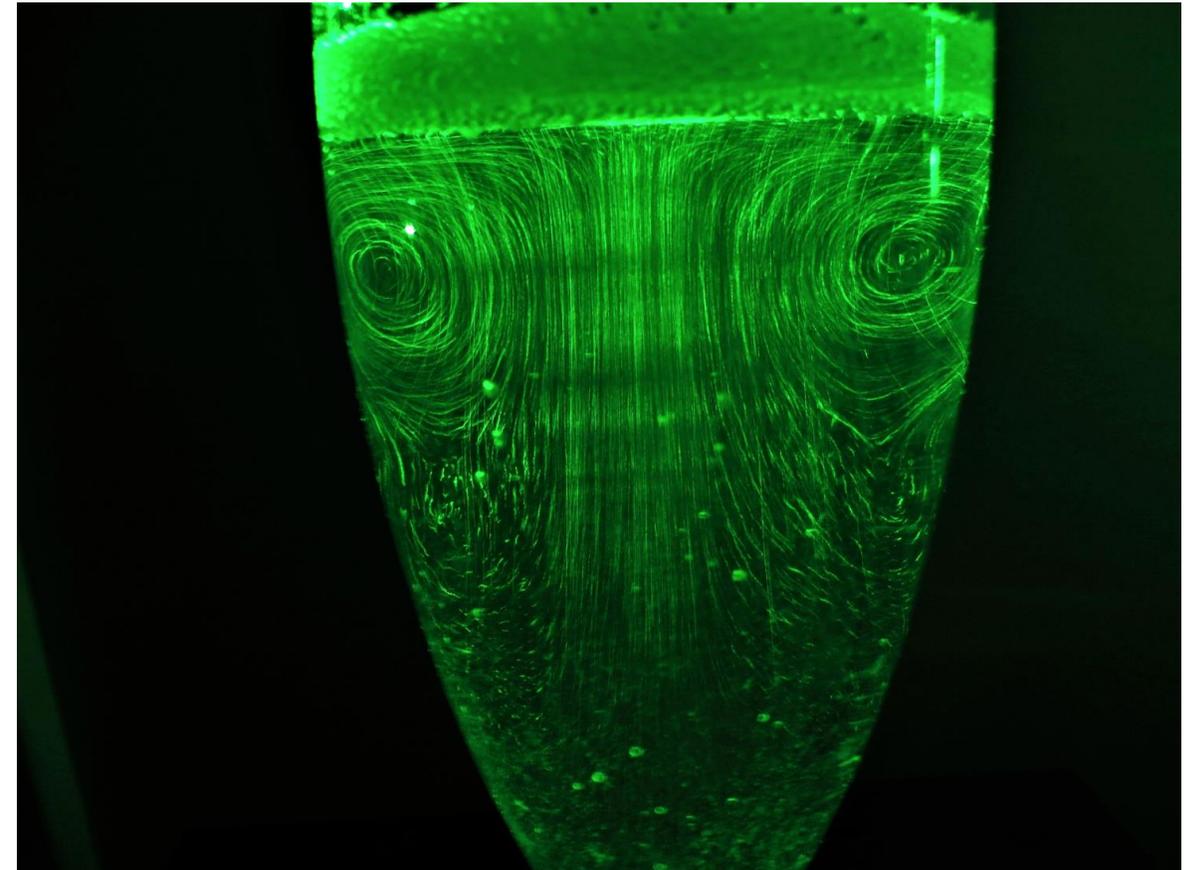
Différence de diamètre entre la coupe et la flûte

A Coupe ou flûte ?

Brassage du Champagne dans une coupe et dans une flûte:



Lignes de courant dans une coupe

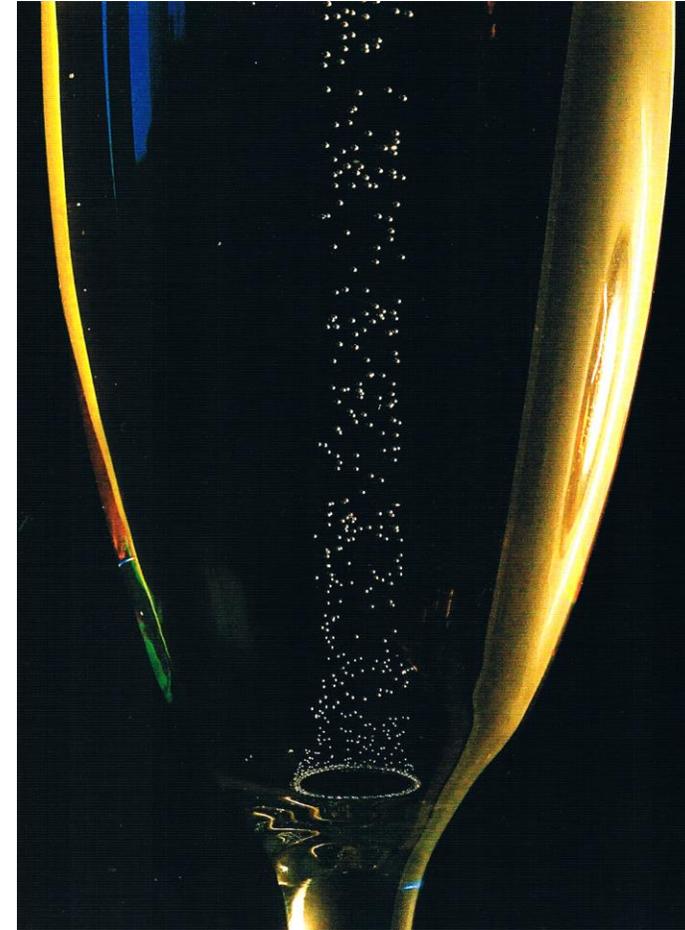


Lignes de courant dans une flûte

B Gravée ou non?



Gravure réalisée au fond de  
certaines flûtes



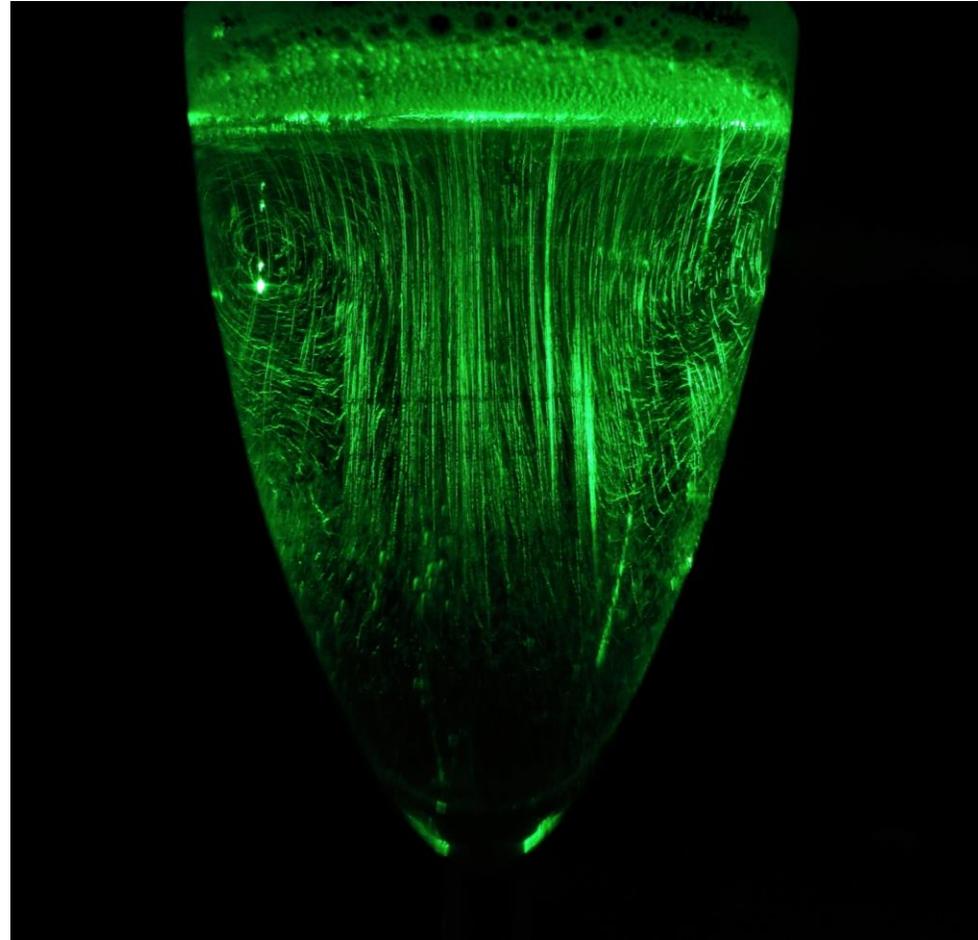
Flûte gravée

B Gravée ou non?

Flûte non gravée

Observations:

- Brassage homogène dans toute la flûte
- Tourbillons plutôt lents



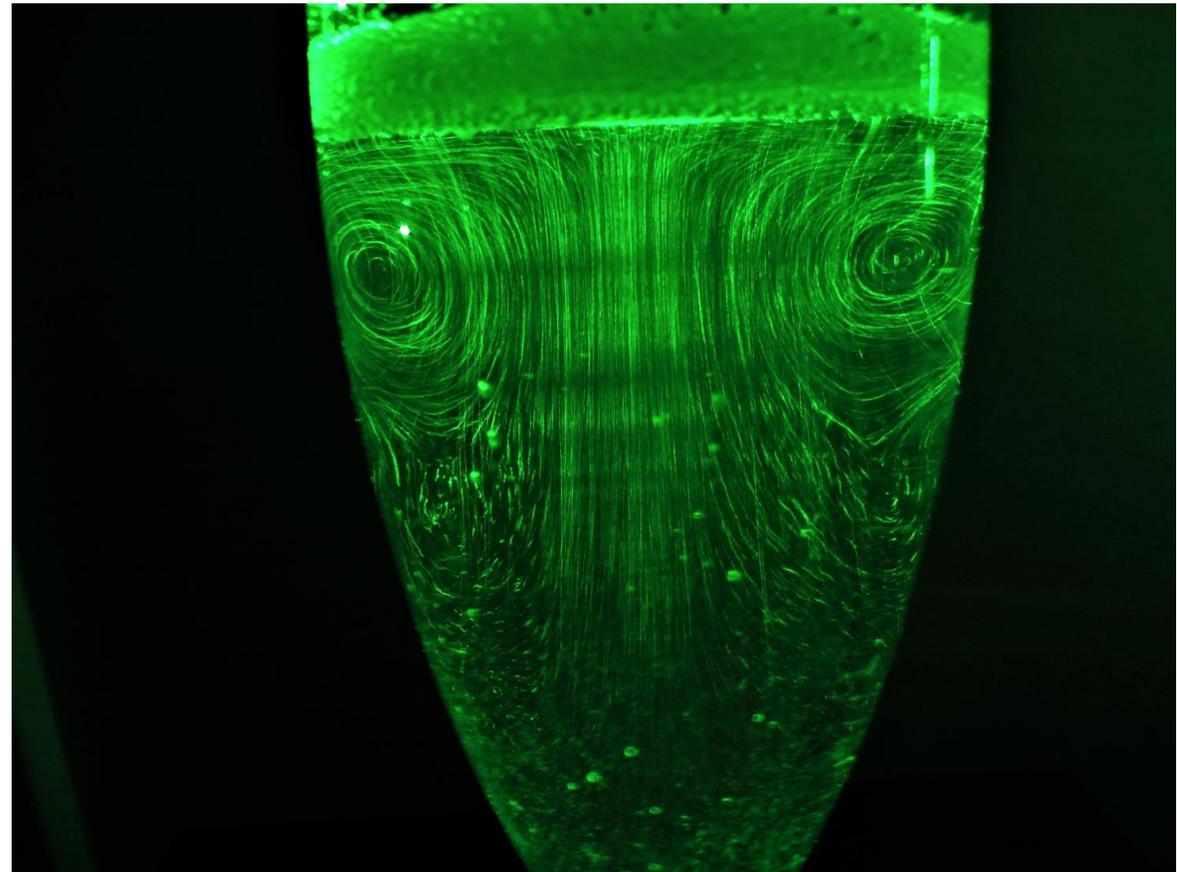
Flûte sans gros sel

B Gravée ou non?

Flûte gravée

Observations:

- Brassage homogène dans toute la flûte
- Tourbillons assez rapides



Flûte avec gros sel

C Conclusion

PROBLÉMATIQUES:

- Quels sont les mécanismes mis en jeu lors la diffusion moléculaire des composés organoleptiques ?
- Quelles sont les conditions pour une dégustation optimale du Champagne ?

## c Conclusion

### Une bonne alternative: le verre tulipe

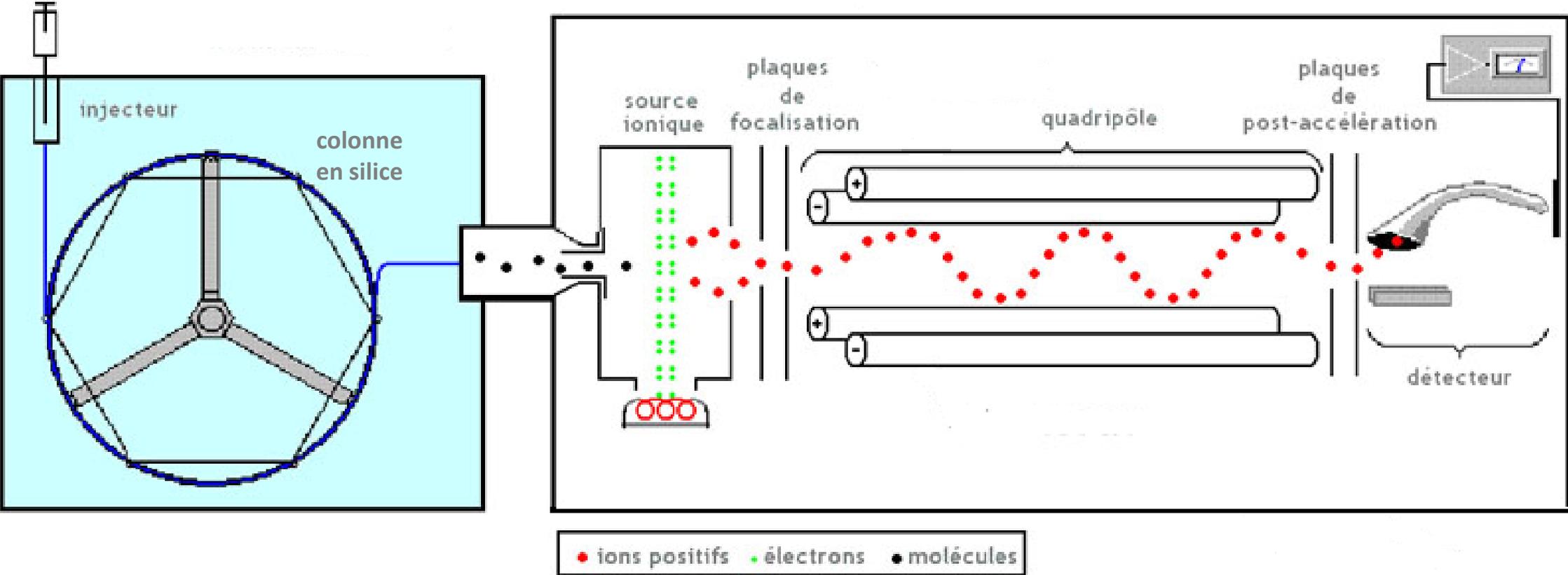
#### Avantages :

- Permet de garder le CO<sub>2</sub> assez longtemps
- Col pas trop étroit
- Brassage homogène du champagne

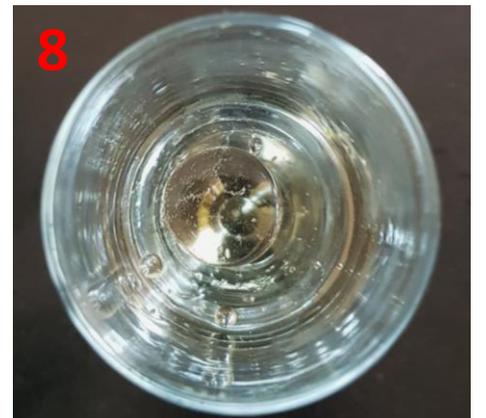
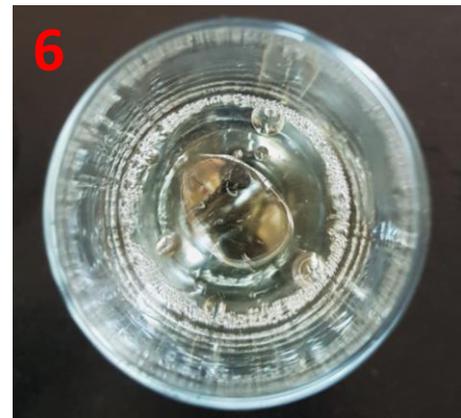
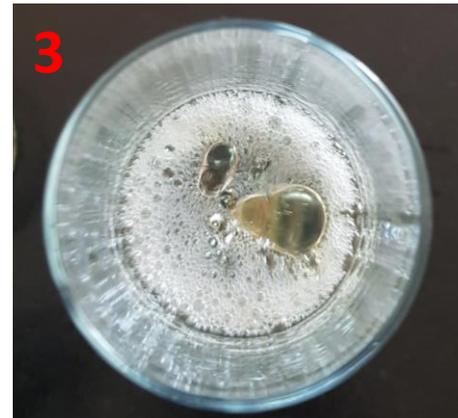


# ANNEXES

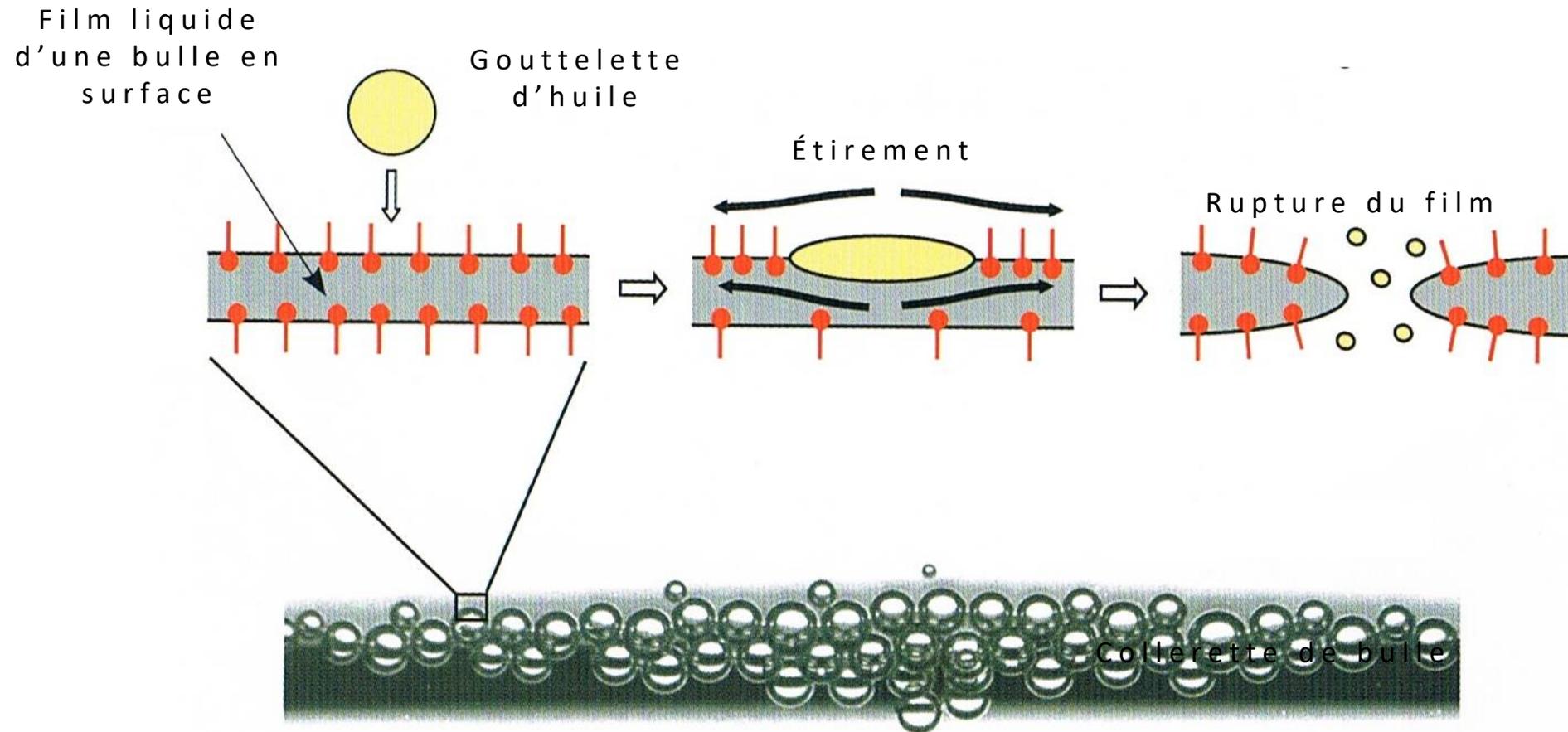
Schéma de la GCMS:



Mise en évidence des molécules tensioactive à la surface par observation:



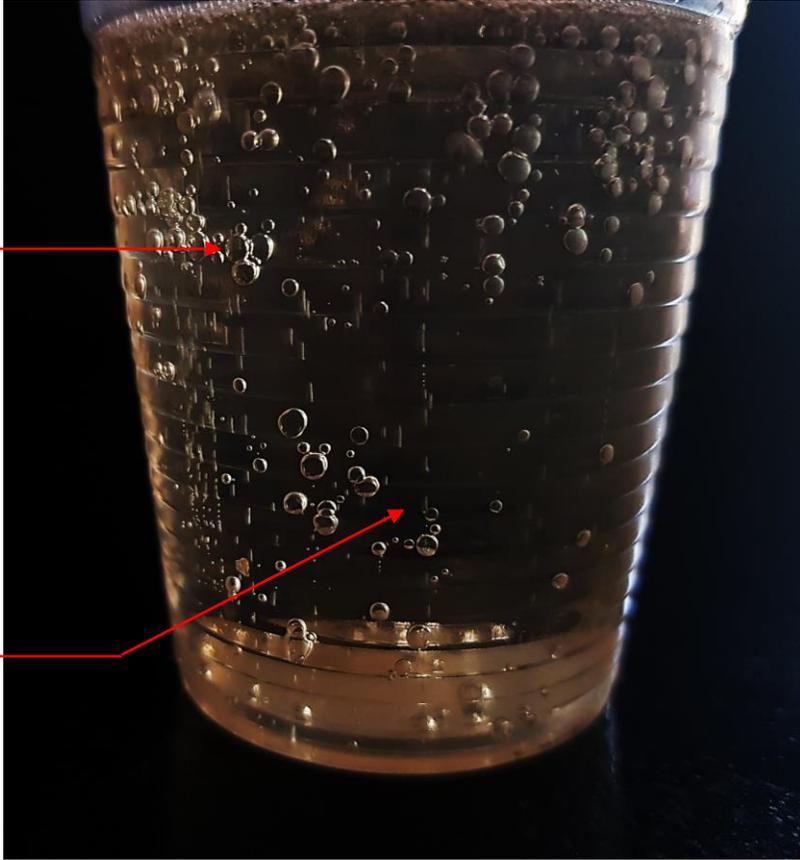
# Mise en évidence des molécules tensioactive à la surface par observation :



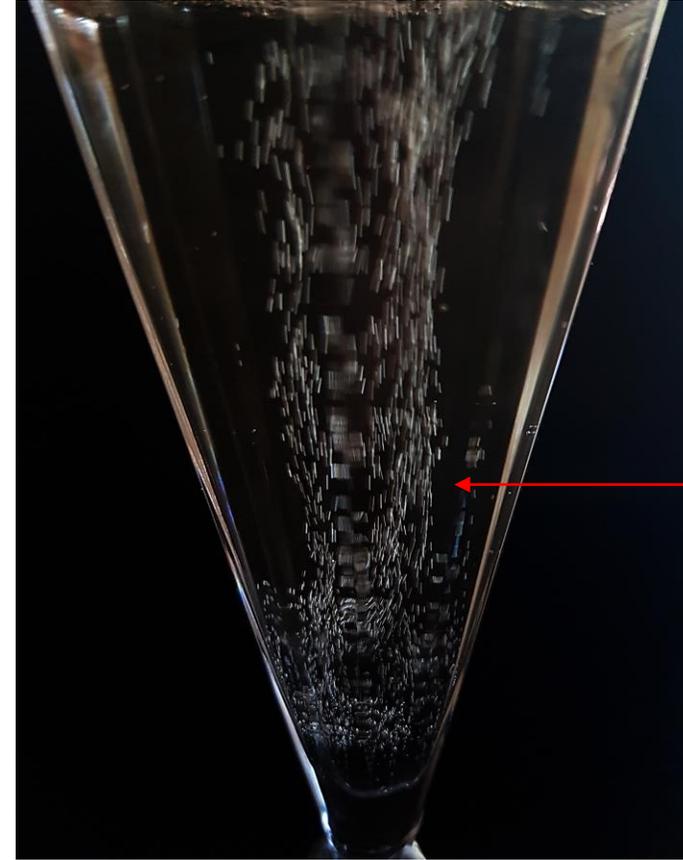
## Qualité du verre:

Grosses bulles collées à la paroi

Peu de trains de bulles



Gobelet en plastique



Nombreux trains de bulles fines au milieu du verre

Verre en Cristal

## Loi d'Henry:

Énoncé: À température constante, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide.

Expression:  $c_i = k_H P_i$

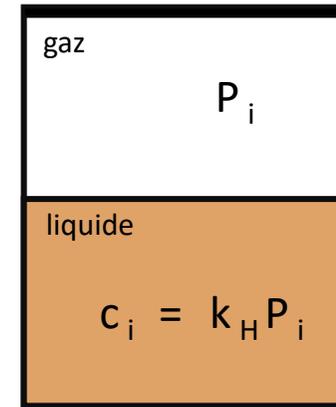
Dépendance de  $k_H$  avec la température:

$$k_H^\theta = k_{298} \exp \left[ \frac{\Delta H_{diss}}{R} \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{\theta} \right) \right]$$

$\Delta H_{diss}$ : enthalpie molaire de dissolution des molécules de gaz dans le liquide ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$\theta$ : température considérée (K)

$R$ : constante des gaz parfaits ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )



Enceinte fermée  
hermétiquement

## Saturation et sursaturation:

### Définition Saturation:

Lorsqu'un composé chimique  $i$  est à l'équilibre de part et d'autre d'une interface gaz/liquide, sa concentration dans le liquide vérifie la loi d'Henry ( $C_i = k_H P_i$ ). On dit alors que le liquide est saturé vis-à-vis de ce composé.

### Définition Sursaturation:

Lorsque la concentration  $C$  en un composé  $i$  dans un liquide est supérieure à ce qui est prévu par la loi d'Henry, le liquide est dit sursaturé vis-à-vis de cette substance.

### Coefficient de Sursaturation:

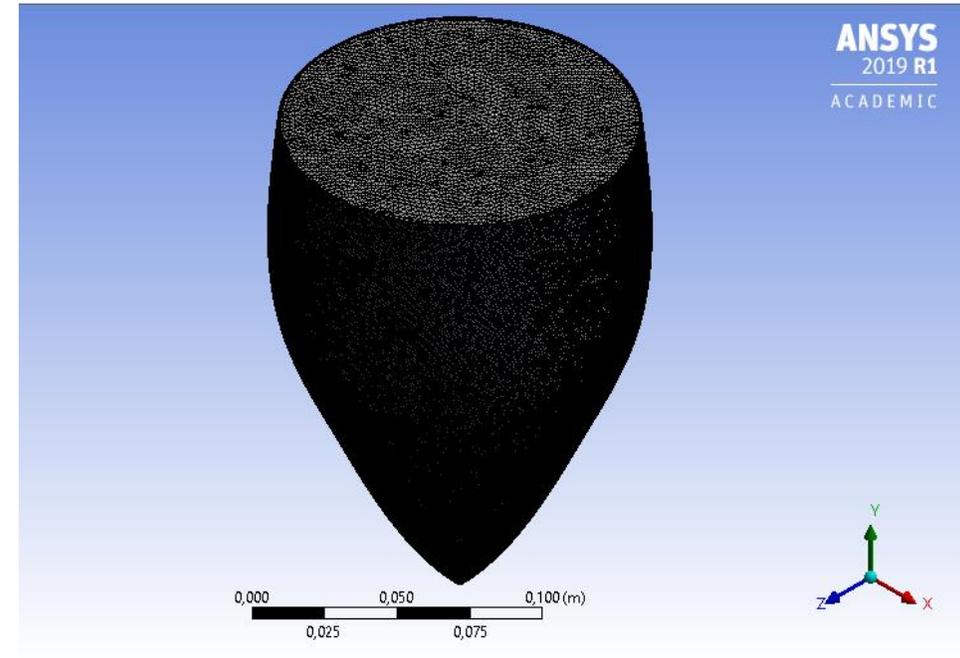
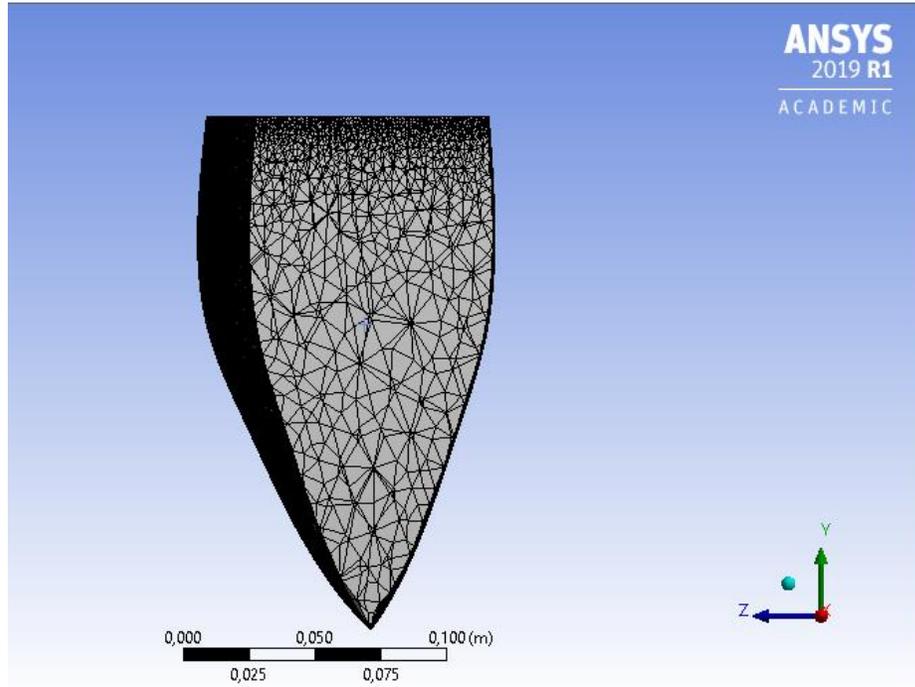
$$S_i = \frac{C - C_0}{C_0}$$

où  $C_0$ : concentration d'équilibre vérifiant la loi d'Henry

On sursaturation si  $S_i > 0$

# Modélisation sur Fluent

## 1) Le maillage de la flute :



Zones décrites	Parois	Mixture fluide	Interface air/fluide
Tailles des éléments (m)	0,0025	0,0135	0,001
Nombre total	500963 éléments		

## 2) Conditions aux limites:

- Les parois sont des murs stationnaires
- L'écoulement est subsonique
- On a une surface libre à l'interface air/liquide
- Le liquide est considéré comme incompressible
- Le nombre de Reynolds est tel que:  $R_e \in [1,200]$

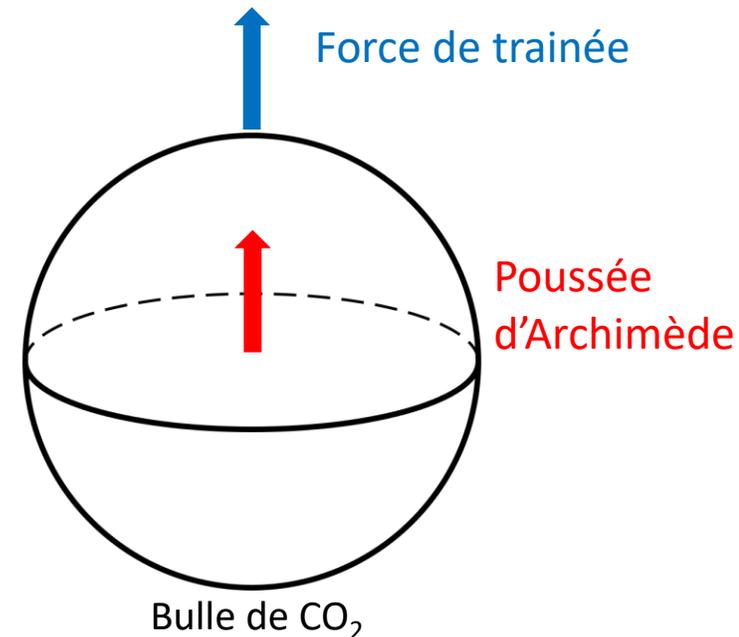
## 3) Modèle choisi:

Forces appliquées aux bulles :

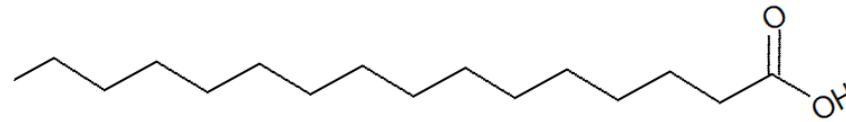
$$\text{Poussée d'Archimède : } F_A = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g$$

$$\text{Force de trainée : } F_t = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 \pi R^2$$

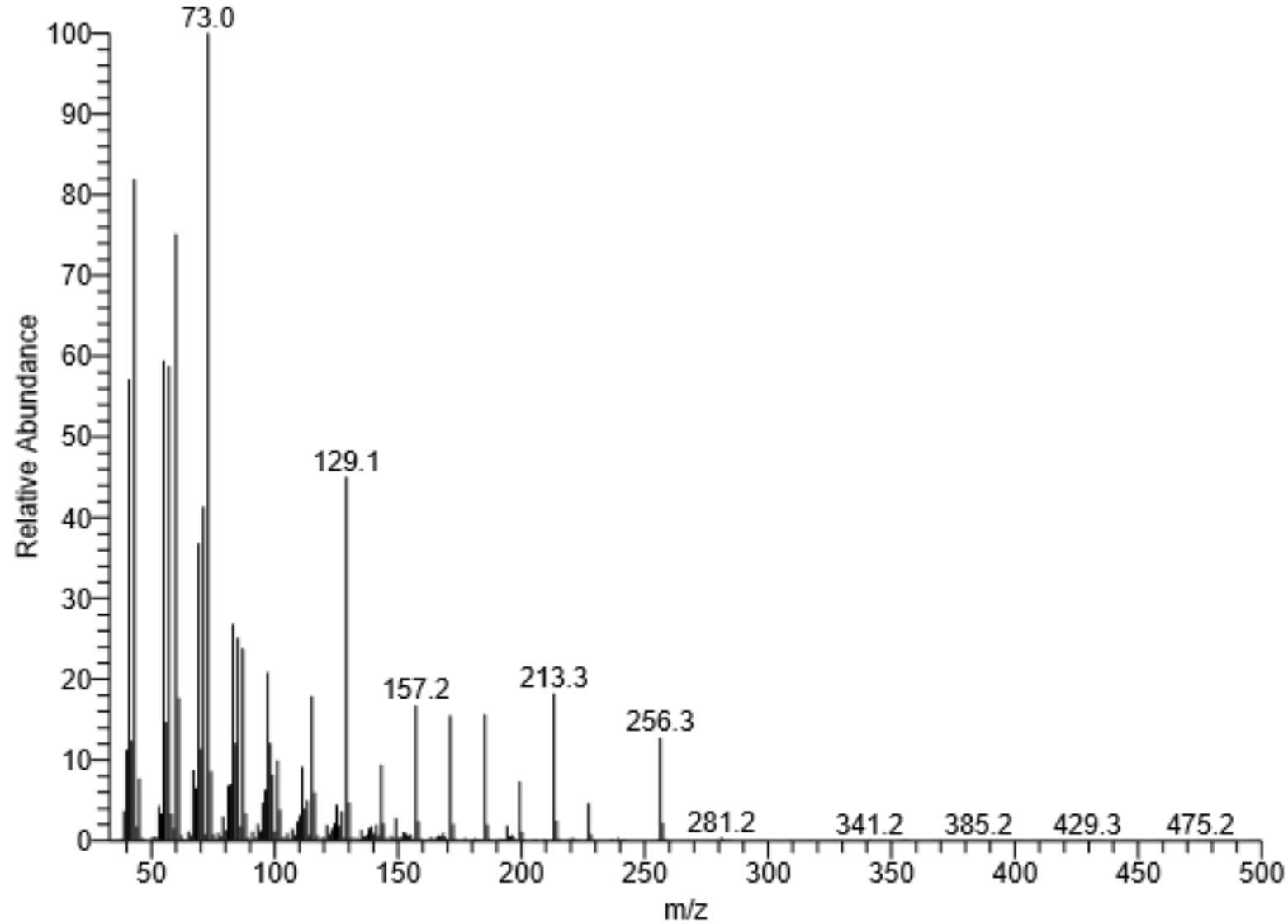
Avec  $\left\{ \begin{array}{l} R = 3 \left( \frac{\eta}{2\alpha\rho g} kH \right)^{\frac{1}{3}} \\ k : \text{taux d'accroissement de la bulle} \end{array} \right.$



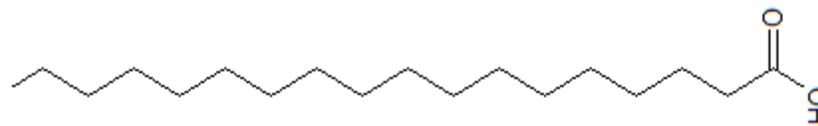
# Spectre de masse de l'acide palmitique :



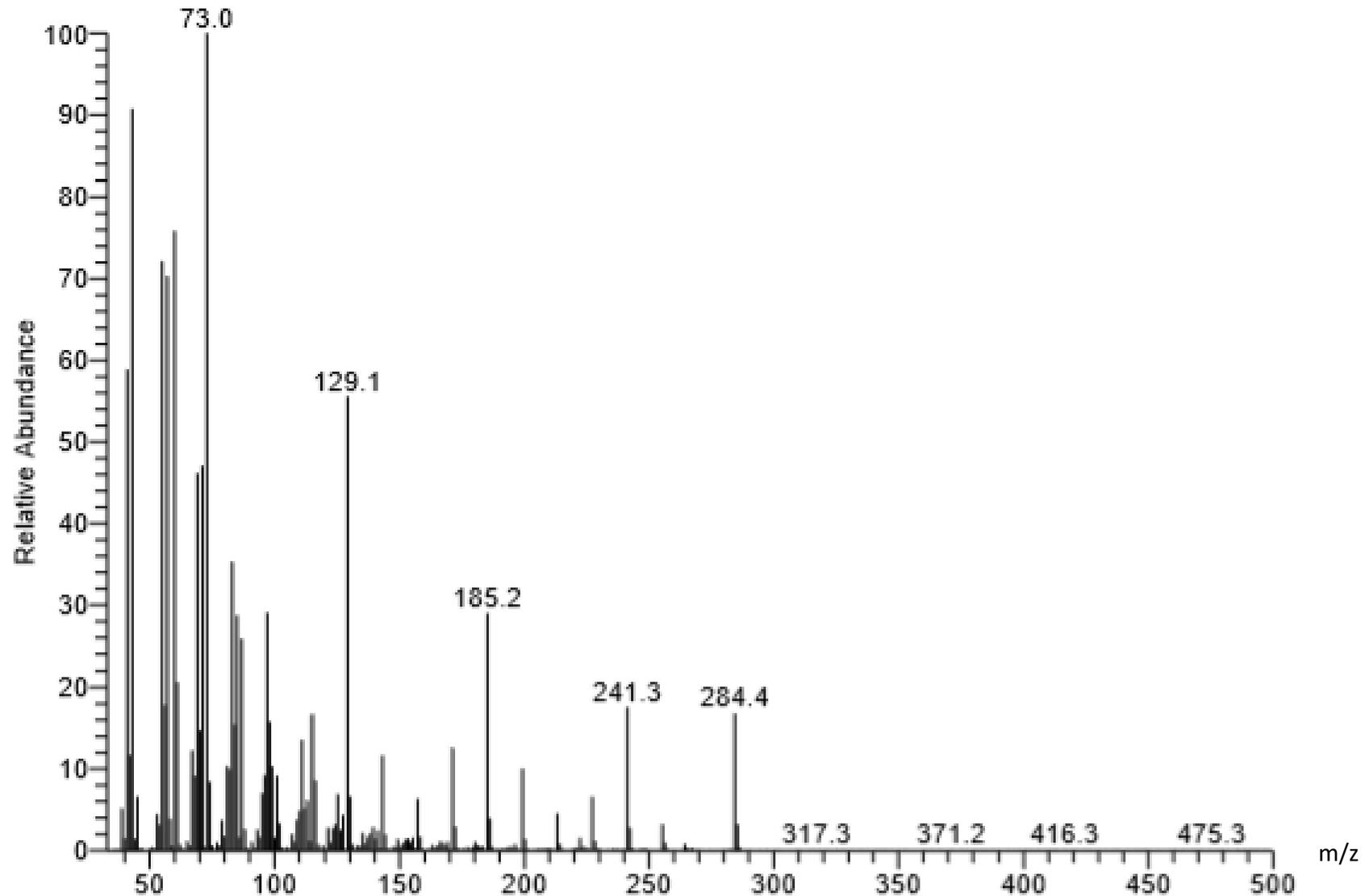
Z-TIPE19040902\_190409122909 #6218 RT: 18.69 AV: 1 AV: 51 SB: 202 5593-5693 6743-6843 NL:  
F: + c Full ms [33.00-500.00]



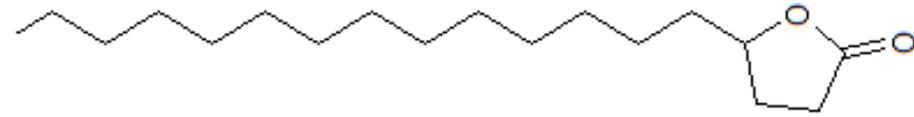
# Spectre de masse de l'acide stéarique :



Z-TIPE19040902\_190409122909 #6807 RT: 20.57 AV: 1 AV: 51 SB: 202 6182-6282 7332-7432 NL:  
F: + c Full ms [33.00-500.00]



# Spectre de masse de la gamma-décalactone:



Z-TIPE19040902\_190409122909 #7176 RT: 21.79 AV: 1 AV: 51 SB: 202 6551-6651 7701-7801 NL:  
F: + c Full ms [33.00-500.00]

