

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2016

—

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

(Classes de terminale STL)

PREMIERE PARTIE

Durée : 5 heures

—

*L'usage de la calculatrice est autorisé***Consignes aux candidats**

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours

C	G	L
---	---	---

Section/Option

S	P	E	C	L
---	---	---	---	---

Epreuve

0	0	1	0	1
---	---	---	---	---

Matière

S	P	C	L
---	---	---	---

Tournez la page S.V.P.

Thème général : Science et champagne

En juillet 2015, les "Coteaux, Maisons et Caves de Champagne" ont été inscrits sur les listes du patrimoine mondial de l'UNESCO. Les coteaux, maisons et caves de Champagne correspondent aux « lieux où fut développée la méthode d'élaboration des vins effervescents, grâce à la seconde fermentation en bouteille, depuis ses débuts au XVIIe siècle jusqu'à son industrialisation précoce au XIXe siècle », a expliqué l'Unesco.

La surface de vignoble de Champagne est de 34500 hectares, 350 millions de bouteilles sont produites chaque année. Environ la moitié de ces bouteilles sont vendues en France, l'autre moitié est exportée pour un montant total de 4,4 milliards d'euros.



Localisation du vignoble et coteaux de Champagne



Cave de Champagne : à Reims, les anciennes crayères sont réutilisées comme cave pour l'élaboration et le stockage du vin de Champagne.

Ce sujet vise à comprendre, de manière chronologique, de la conception à la dégustation, des aspects physiques et chimiques du champagne qui en font une boisson unique.

Le sujet comporte quatre parties indépendantes et des sous-parties elles-mêmes indépendantes les unes des autres.

PLAN

A. Les fermentations

- A.1. La première fermentation
- A.2. La seconde fermentation ou prise de mousse
- A.3. La fermentation malo-lactique

B. L'ouverture de la bouteille

- B.1. Le « pop » du champagne
- B.2. Le départ du bouchon

C. Le rafraîchissement du champagne

- C.1. Le seau à champagne ou le réfrigérateur
- C.2. La détente du gaz à l'ouverture de la bouteille

D. Les bulles du champagne

- D.1. Le service d'une flûte
- D.2. La nucléation et la montée des bulles
- D.3. L'explosion des bulles de champagnes à la surface

Recommandations pour les candidats

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.

La qualité de l'argumentation scientifique, les initiatives et l'analyse critique des résultats seront valorisées.

A. Les fermentations

L'élaboration du vin de Champagne met en jeu deux étapes de fermentation alcoolique : une première à l'air libre, suivie d'une seconde en bouteille appelée prise de mousse. Une fermentation malo-lactique peut également être réalisée.

A.1. La première fermentation

La première fermentation ou fermentation alcoolique permet la transformation du sucre contenu dans le jus de raisin (principalement le glucose $C_6H_{12}O_6$) en éthanol C_2H_6O et en dioxyde de carbone CO_2 exclusivement. Cette réaction a lieu au sein de levures qui contiennent des enzymes capables de catalyser la transformation. Le dioxyde de carbone formé s'échappe sous forme de gaz. A l'issue de cette transformation, on obtient le vin dit « de base ».

- 1) Ecrire l'équation chimique de la réaction rendant compte de la première fermentation.
- 2) Représenter les formules développées, assorties des doublets non liants, de l'ensemble des réactifs et des produits de cette réaction.
- 3) Pour les molécules organiques, identifier les groupes caractéristiques et nommer les familles correspondantes.
- 4) Le nom « éthanol » est-il le nom conforme à la nomenclature systématique de l'espèce chimique concernée ? Justifier ce nom. Donner, en nomenclature systématique, le nom du glucose.

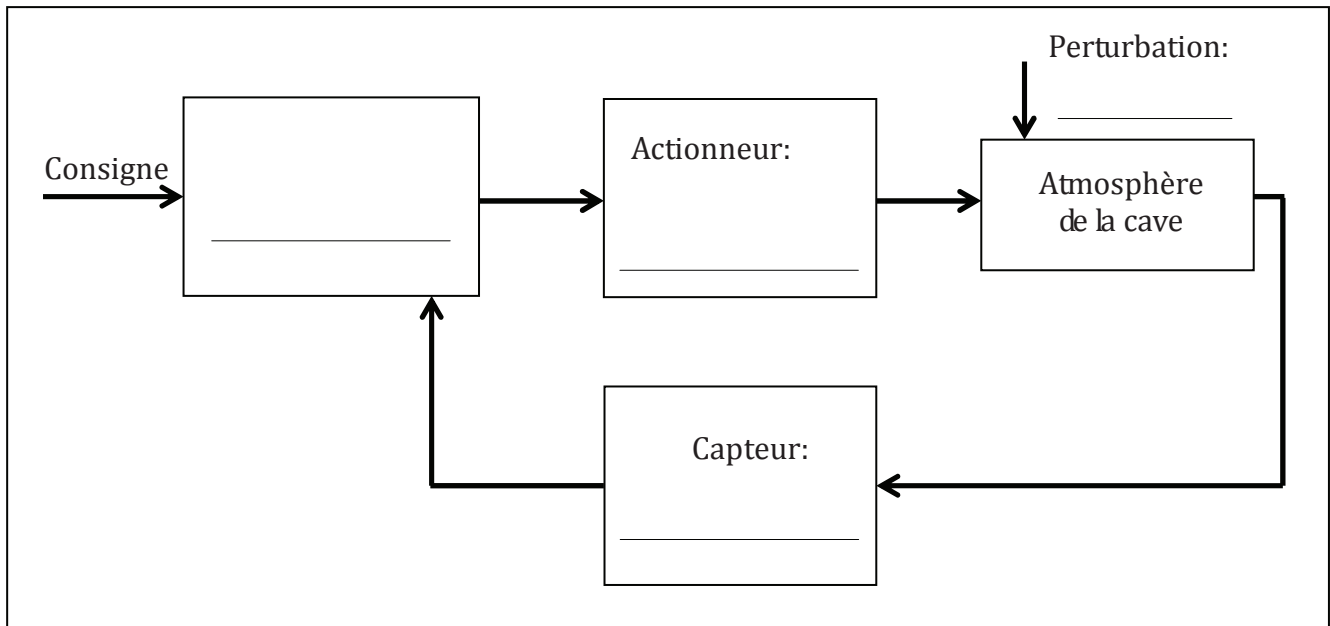
Lors de cette première fermentation, la quantité importante de CO_2 formée est source de danger pour les viticulteurs travaillant dans les caves. En effet, le taux de CO_2 dans l'air peut largement dépasser les 10 % pendant la vinification. Le taux usuel du dioxyde de carbone dans l'air est de 0,03 % (300 ppm). A partir d'un taux de 1 %, on peut commencer à ressentir un manque de tonus et une certaine fatigue. Au-delà de 5 %, l'exposition au CO_2 provoque un halètement violent, l'épuisement et de graves maux de tête ; en cas d'exposition prolongée, les lésions peuvent être irréversibles. En dessous de 0,1 % de CO_2 , on peut considérer que l'air n'est pas dangereux.

Les viticulteurs peuvent mettre en place un système de ventilation régulée grâce à un détecteur électronique de CO_2 .



Appareil permettant de mesurer le taux de CO_2 dans une pièce

5) Recopier et compléter le schéma fonctionnel de la boucle de régulation ci-dessous avec les éléments suivants : accumulation de CO₂ par fermentation, ventilation, détecteur de CO₂, régulateur.



6) Identifier les deux flèches qui correspondent à un signal électrique (courant continu d'intensité comprise entre 4 et 20 mA).

7) Proposer et décrire une consigne à appliquer sachant que l'on utilisera une régulation à action discontinue (TOR) à deux seuils de basculement.

8) Tracer qualitativement l'évolution de la valeur du taux de CO₂ dans l'atmosphère de la cave au cours de la vinification si la ventilation est régulée selon la consigne décrite à la question précédente.

9) Ce système de régulation est-il stable ou instable ?

A.2. La seconde fermentation ou prise de mousse

La prise de mousse consiste à poursuivre la fermentation alcoolique d'un vin de base dans une bouteille scellée. Au cours de cette fermentation au sein de caves à 12 °C, la réaction mise en jeu est identique à celle de la première fermentation.

L'objectif de cette partie est de calculer rigoureusement les quantités de produits formés par la réaction de seconde fermentation dans la bouteille scellée.

Evolution de la composition du vin de champagne lors de la prise de mousse

Vin de base :

2 g.L⁻¹ de sucre

11° d'alcool

Concentration en CO₂ négligeable.

Prise de mousse :

On scelle dans une bouteille de 75 cL :

- 73 cL de vin de base

- 2 cL de liqueur de tirage (850 g.L⁻¹ de sucre + levures)

- 2,5 cL d'air

Vin après prise de mousse :

3 g.L⁻¹ de sucre résiduel

Volumes de liquide et de gaz respectivement de 75 cL et 2,5 cL dans la bouteille

Degré d'alcool

Le titre alcoométrique volumique (TAV), aussi appelé degré alcoolique, est la proportion d'alcool, c'est-à-dire d'éthanol, dans une boisson alcoolisée. Ce titre est le rapport entre le volume d'alcool, à la température de 20 °C, contenu dans le mélange et le volume total de ce mélange à cette même température.

L'unité utilisée pour exprimer le titre est le pourcentage volumique (% vol) ou degré (noté °). Pour le calculer, on considère en général la densité de l'éthanol égale à 0,79.

Masses molaires moléculaires (en g.mol⁻¹)

Glucose : 180

Ethanol : 46

Dioxyde de carbone : 44

Eau : 18

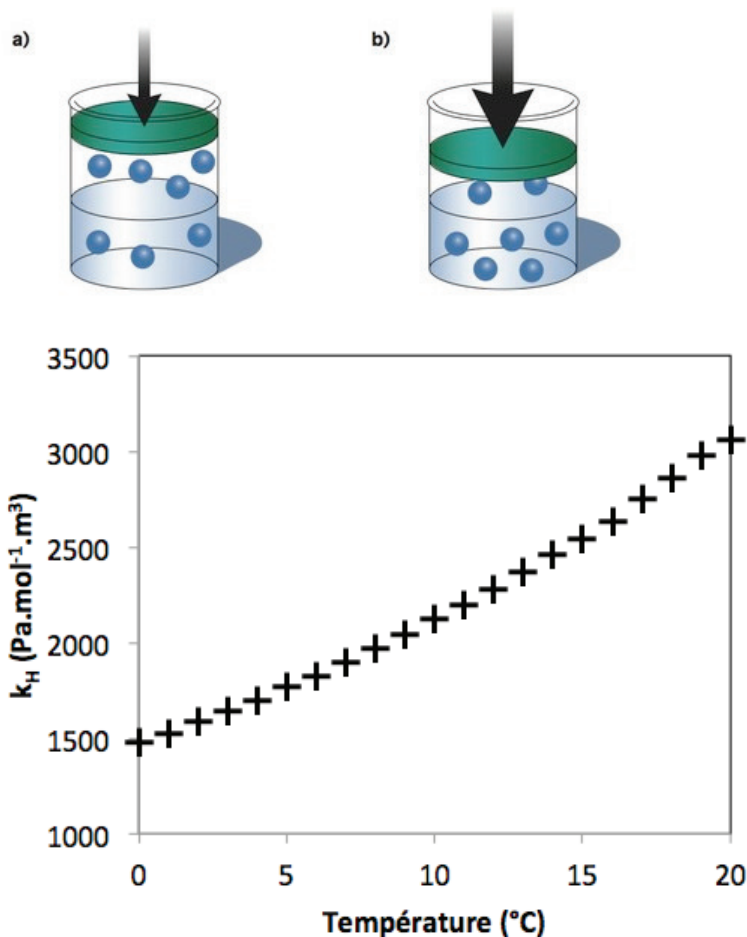
Loi de Henry

La concentration c_A d'un gaz A en solution, en équilibre avec une atmosphère contenant ce gaz, est proportionnelle à la pression partielle P_A de ce gaz : $P_A = k_H \cdot c_A$

La constante de proportionnalité k_H est appelée constante de Henry. Elle dépend de la nature du gaz A, du solvant et de la température.

Le graphique ci-dessous représente les valeurs de la constante de Henry k_H pour le dioxyde de carbone dans une solution de champagne, à différentes températures.

La loi de Henry peut être comprise qualitativement en considérant l'équilibre d'un gaz au-dessus d'un liquide dans une enceinte où la pression est imposée à l'aide d'un piston. Si le piston impose une faible pression sur le gaz au-dessus du liquide, peu de molécules se retrouveront en solution (schéma a). En revanche, si on accroît la pression en poussant le piston, les molécules se dissoudront davantage dans le liquide (schéma b).



Evolution de la constante de Henry en fonction de la température pour le CO_2

10) Déterminer la quantité de matière de sucre ajoutée lors de la prise de mousse.

11) Déterminer la quantité de matière de sucre consommée par la fermentation alcoolique pendant la prise de mousse ?

12) Estimer la valeur du degré d'alcool du champagne après la prise de mousse, en explicitant la démarche suivie et les hypothèses éventuellement faites.

13) La masse de sang chez un être humain représente en moyenne 8 % de sa masse corporelle. En considérant que tout l'alcool ingéré passe dans le sang, estimer l'alcoolémie (en grammes d'alcool par litre de sang) atteinte pour une femme de 60 kg ayant bu une coupe de 10 cL de ce champagne. Commenter cette valeur.

14) En réalité, seule une fraction de l'alcool passe dans le sang. Ainsi, il faut multiplier le résultat précédent par un facteur 0,134 pour une femme et 0,117 pour un homme. Ce calcul connu sous le nom de formule de Widmark est très approché puisqu'il ne prend pas en compte la spécificité de chaque organisme dans son assimilation de l'alcool. Estimer le nombre de coupes de champagne de 10 cL qu'une femme de 60 kg peut boire avant de prendre la route, sachant que son alcoolémie doit impérativement être inférieure à $0,5 \text{ g.L}^{-1}$.

15) Grâce à la loi de Henry, et en considérant le dioxyde de carbone comme un gaz parfait, établir la relation liant la quantité de matière n_g de CO_2 contenue dans les 2,5 cL de gaz au-dessus du liquide et la quantité de matière n_{aq} de CO_2 dissoute dans le champagne.

16) En déduire la concentration molaire en dioxyde de carbone dans le champagne et la pression du gaz de la bouteille.

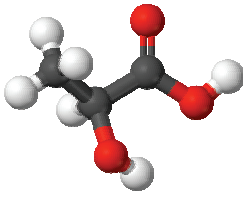
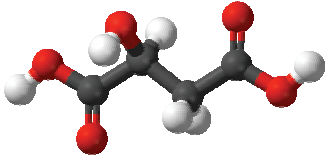
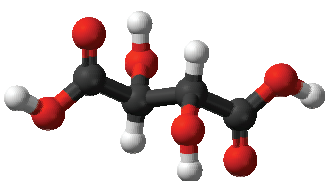
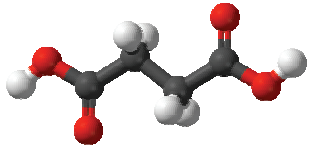
17) L'étape qui suit la prise de mousse est le dégorgement. Pour la réaliser, on expulse les levures par le goulot grâce à la surpression. En pratique, lors de cette étape, la totalité du CO_2 présent dans le gaz de la bouteille est perdue. Après le dégorgement, on scelle à nouveau la bouteille, le volume de liquide restant constant (75 cL). Déterminer la nouvelle valeur de la pression du gaz de la bouteille après cette étape.

A.3. La fermentation malo-lactique

La fermentation malo-lactique permet de réduire l'acidité d'un vin. Elle met en jeu la transformation de l'acide malique en acide lactique par le biais de bactéries, du gaz étant par ailleurs libéré par cette réaction. Certaines maisons de champagne décident de réaliser cette transformation, d'autres préfèrent ne pas la mettre en œuvre : c'est une affaire de goût.

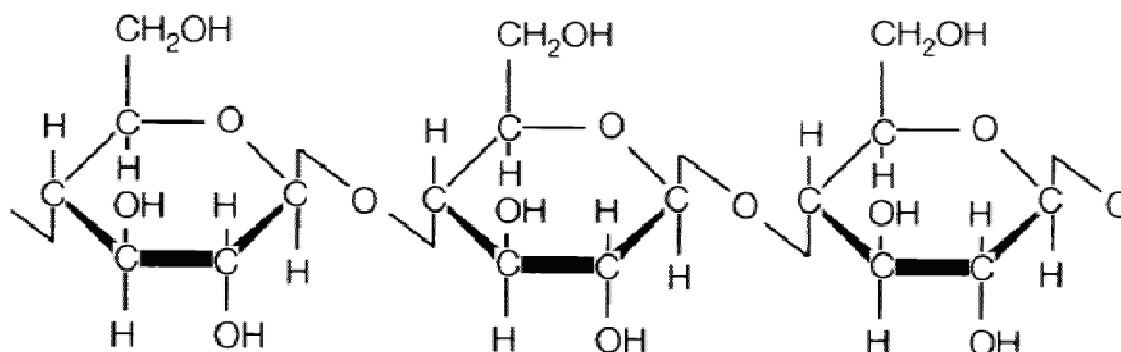
L'objectif de cette sous-partie est d'analyser des échantillons en cours de fermentation malo-lactique afin de déterminer si cette fermentation est terminée ou non.

Quelques acides présents dans le champagne

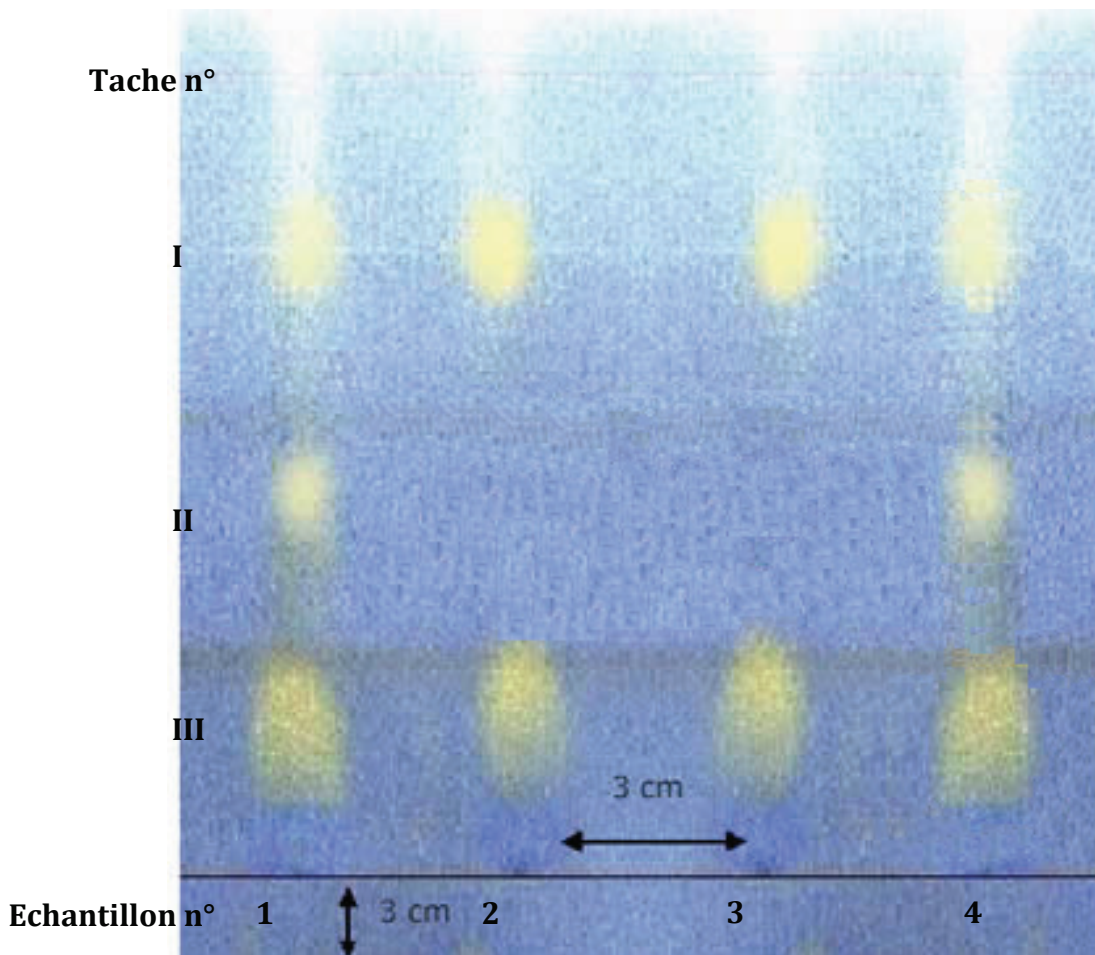
	Modèle moléculaire (représentation 3D)	pKa
Acide lactique		3,9
Acide malique		3,5 et 5,1
Acide tartrique		3,0 et 4,4
Acide succinique		4,2 et 5,6

18) En s'appuyant sur l'écriture de l'équation de la réaction modélisant cette fermentation, expliquer pourquoi la fermentation malo-lactique permet de diminuer l'acidité du champagne.

On peut suivre la fermentation grâce à une chromatographie sur papier Whatman. L'éluant est un mélange butanol/acide éthanoïque. Le papier Whatman est constitué de cellulose. La cellulose contient des groupes caractéristiques -OH et des ponts C-O-C capables de mettre en jeu des interactions hydrogène. Plus un composé va pouvoir établir des interactions hydrogène avec la cellulose, moins il va migrer.



Structure de la cellulose



Chromatogramme de 4 échantillons de champagne subissant une fermentation malo-lactique

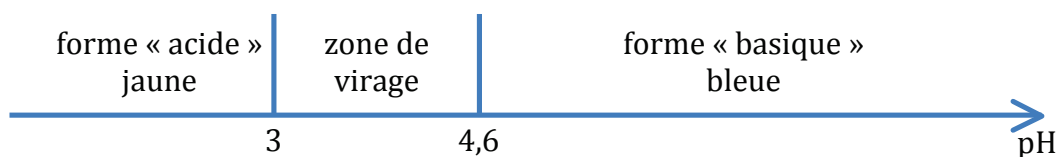
19) Décrire succinctement et schématiser le protocole de réalisation d'une analyse chromatographique.

20) Indiquer les sites des acides malique, lactique, tartrique et succinique susceptibles d'établir des interactions hydrogène avec la cellulose.

21) Décrire le chromatogramme obtenu.

22) Deux acides ne sont pas séparés dans ces conditions expérimentales de chromatographie. Identifier les tâches du chromatogramme.

Le révélateur utilisé est un indicateur coloré : le bleu de bromophénol. Il est pulvérisé sous sa forme « basique » bleue. Le diagramme de prédominance du bleu de bromophénol est donné ci-dessous.



23) Le pH du champagne étant légèrement inférieur à 3, déterminer la forme prédominante des acides lactique, malique, tartrique et succinique dans le dépôt.

24) Justifier le choix du bleu de bromophénol comme révélateur.

25) Justifier le choix de l'acide éthanoïque comme composant du mélange éluant.

26) Indiquer les échantillons pour lesquels la fermentation malo-lactique est terminée.

B. Ouverture de la bouteille

B.1. Le « Pop ! » du champagne

L'ouverture de la bouteille provoque un son caractéristique qui participe à l'aspect festif de la boisson. Ce son est dû notamment à l'évacuation de l'excès de CO₂ comprimé.

27) Donner la définition d'une onde sonore. La vitesse de propagation d'une onde sonore dans l'air est de l'ordre de 340 m.s⁻¹. Qu'en est-il dans les liquides ? dans les solides ? dans le vide ?

28) Le niveau d'intensité sonore de ce « pop » est de 110 dB lorsqu'il est perçu à 33 cm de la bouteille, sa fréquence est de 315 Hz. Ce pop pourra-t-il être entendu dans l'appartement au-dessus de celui dans lequel la bouteille est ouverte sachant que le plafond est assimilable à une cloison d'indice d'affaiblissement acoustique R_w décrit dans les données ? Justifier.

29) Le « pop » sera-t-il audible deux étages au-dessus ?

Données :

- L'intensité sonore d'une source isotrope

Pour une source isotrope (c'est-à-dire émettant la même énergie dans toutes les directions) de puissance P , l'intensité sonore I au point M dépend de la distance d à la

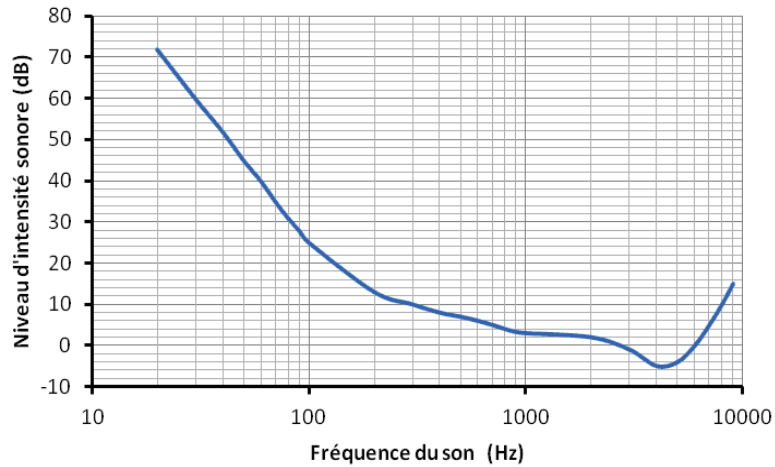
source et s'exprime par la relation : $I = \frac{P}{4\pi d^2}$ avec I en W.m⁻² ; P en W ; d en m.

- Niveau d'intensité sonore L en décibel :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}, \text{ avec } I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$$

- Seuil d'audibilité en fonction de la fréquence :

Le graphique suivant indique les valeurs minimales de niveau d'intensité sonore audible en fonction de la fréquence.

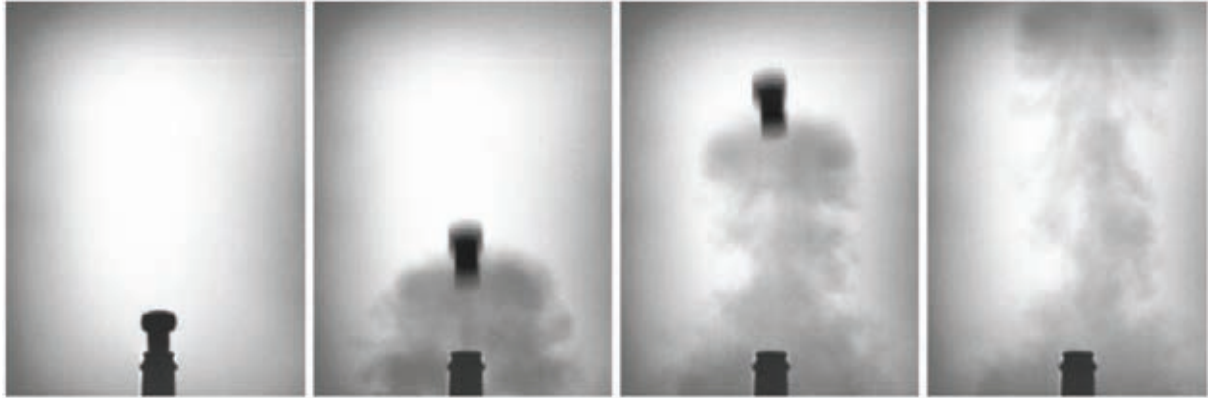


- Indice d'affaiblissement acoustique R_w

L'indice d'affaiblissement acoustique pour les bruits aériens, noté R_w , est une mesure de la différence du niveau d'intensité sonore L_i du son incident sur un obstacle et le niveau d'intensité sonore L_f du son transmis. Il varie avec la fréquence. Pour les cloisons de l'immeuble considéré dans le problème, les caractéristiques sont données ci-dessous :

f (Hz)	R_w (dB)
100	29
125	32
160	28
200	25
250	29
315	33
400	36
500	38
630	41
800	41
1000	44
1250	45
1600	44
2000	45
2500	44
3150	43
4000	48
5000	52

B.2. Le départ du bouchon



Séquence d'images montrant l'éjection du bouchon de 10 g d'une bouteille de champagne de 75 cL à une température de 12°C. La caméra enregistre 100 images par seconde.

30) A l'aide de la séquence d'images et en sachant que la longueur d'un bouchon de champagne est égale à 5,0 cm, estimer la vitesse du bouchon lors de son éjection. Estimer l'incertitude relative à cette méthode de mesure.

31) Proposer une stratégie expérimentale pour diminuer cette incertitude.

32) Si la bouteille est orientée en direction d'un convive, ce dernier entendra-t-il le « pop » avant ou après être percuté par le bouchon ?

33) Il est dangereux de se placer à proximité d'un golfeur qui effectue un swing pour frapper une balle, mais qu'en est-il à proximité d'une personne qui ouvre une bouteille de champagne ? On propose, pour répondre à cette question, de comparer l'énergie cinétique du bouchon de champagne lors de son éjection à celle d'une balle de golf de 46 g frappée lors d'un « swing » exécuté par un golfeur. La chronophotographie du club de golf, à 100 images par seconde, est donnée ci-dessous, la longueur visible du club de golf étant de 120 cm.

Pourquoi s'intéresse-t-on à l'énergie cinétique pour répondre à la problématique posée?



Séquence d'image montrant un golfeur frappant une balle de golf.

34) En négligeant les frottements subis par le bouchon au cours de son mouvement dans l'air, déterminer la hauteur maximale à laquelle le bouchon peut monter.

C. Le rafraîchissement du champagne

On souhaite rafraichir une bouteille de champagne et la maintenir fraîche pendant toute la soirée. Pour cela on utilise en général un seau à champagne, ou un réfrigérateur. Par ailleurs, au moment de l'ouverture de la bouteille, la détente du gaz comprimé dans la bouteille peut accentuer la sensation de froid

C.1. Le seau à champagne ou le réfrigérateur

Une bouteille de champagne, initialement à 12°C, est plongée dans un seau à champagne contenant 4 L d'eau à 2°C. En première approximation, on peut considérer le seau à champagne comme une enceinte adiabatique ; c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'échange d'énergie sous forme de chaleur (transfert thermique) entre le seau à champagne et l'extérieur.

Données :

Capacités thermiques massiques : Eau : $4185 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ et Verre : $720 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Masse d'une bouteille de champagne vide : 1,1 kg.

35) Vérifier, par le calcul, que la température du champagne, une fois l'équilibre thermodynamique atteint, est de 4 °C environ.

La même bouteille de champagne, initialement à 12°C, est placée dans un réfrigérateur de puissance de 300 W et dont efficacité énergétique est de 20 %.

36) Déterminer le temps nécessaire pour que la bouteille de champagne atteigne la même température que dans le seau à champagne.

C.2. La détente du gaz à l'ouverture de la bouteille

A l'ouverture de la bouteille, les 2,5 cL de gaz comprimé entre le liquide et le bouchon à une pression de 6 bar subissent une détente adiabatique, c'est-à-dire que ce gaz voit sa pression diminuer jusqu'à une pression égale à la pression atmosphérique sans échanger d'énergie sous forme de chaleur avec l'extérieur. Le gaz, constitué d'un mélange de différentes espèces chimiques dont du dioxyde de carbone, sera considéré comme un gaz parfait. Au cours de cette transformation, que l'on considère réversible, on a la relation suivante : $P.V^\gamma = C$ avec P pression du gaz, V son volume et γ coefficient de Laplace du gaz parfait (sans unité). La valeur de γ pour le gaz parfait modèle étudié est égal à 1,3. C est une constante au cours de la transformation envisagée.

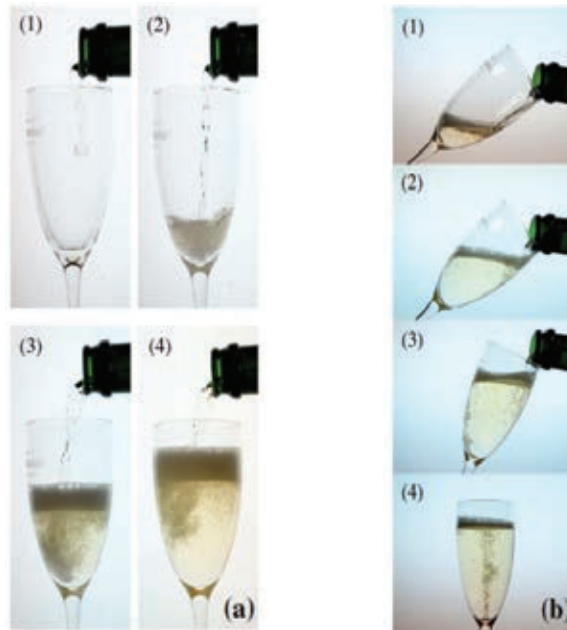
37) Déterminer la valeur du volume occupé par le gaz après détente.

38) On considère le gaz initialement à 4 °C. Déterminer la valeur de la température du gaz libéré après cette détente.

D. Les bulles du champagne

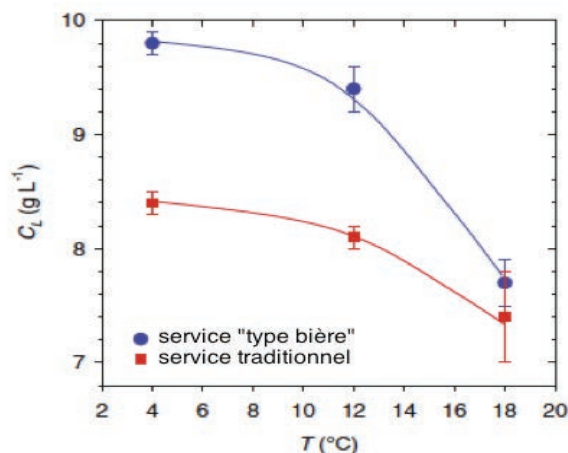
D.1. Le service d'une flûte

Le champagne est généralement servi dans des flûtes que l'on garde à la verticale au cours du service (figure a). Ce service diffère de celui de la bière que l'on verse en inclinant le verre (figure b). Ces deux façons de servir sont représentées sur les photographies de la figure ci-dessous.



(a) Service traditionnel du champagne. (b). Service similaire à celui d'une bière

La concentration du CO_2 dissout dans le champagne après le service a été mesurée pour les deux types de service et pour différentes températures. Les résultats de ces expériences sont reportés sur la figure suivante.



Concentration du CO_2 dissout dans le champagne après l'avoir servi dans une flûte en fonction de la méthode employée

39) Argumenter brièvement l'avantage d'incliner le verre pour servir le champagne.

D.2. La nucléation et la montée des bulles dans le champagne

Dans un verre de champagne, les bulles se forment (ou nucléent) au niveau des irrégularités ou impuretés sur la surface interne du verre. Le dioxyde de carbone dissous dans le champagne est alors transformé en gaz carbonique. On peut alors observer au-dessus d'un site de nucléation un « train de bulles » comme sur la photographie ci-dessous.



*Photographie d'un « train de bulles ».
La barre verticale noire mesure 1mm.*

40) Commenter la photographie ci-dessus.

On s'intéresse au mouvement ascendant d'une bulle de champagne d'un diamètre initial de $2,0 \times 10^{-4}$ m dans une flûte. On suppose que la masse et le volume de la bulle restent constants au cours de son mouvement.

41) Calculer la masse de la bulle à 12°C à la pression atmosphérique, sachant qu'à cette température et cette pression, la densité du gaz carbonique vaut $1,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

En plus de la force de pesanteur, la bulle est soumise à une force de la part du liquide (vin de champagne) : la poussée d'Archimède, $\vec{\Pi}$. La force est verticale, dirigée vers le haut et son expression est la suivante : $\Pi = V \cdot \rho \cdot g$
où V est le volume de la bulle, g l'accélération de la pesanteur et ρ la masse volumique du vin de champagne (environ $1,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

42) Schématiser une bulle et les forces auxquelles elle est soumise.

43) Comparer le poids de la bulle et la poussée d'Archimède à laquelle elle est soumise. Conclure.

44) En déduire la nature de mouvement de la bulle juste après sa formation.

En réalité, il convient de prendre en considération la résistance du fluide lors de l'ascension de la bulle. Pour ce faire, on suppose que la bulle est soumise à une force de frottement visqueux de la part du fluide, de sens opposé au mouvement, dont l'expression est :

$$f = 4\pi.\eta.R.v$$

où η est la viscosité dynamique du champagne ($\eta = 1,0 \times 10^{-3}$ Pa.s), R le rayon de la bulle et v sa vitesse.

Après un temps très court, la bulle atteint une vitesse constante.

45) Représenter l'allure d'une chronophotographie de la montée d'une bulle.

46) Schématiser l'évolution des forces au cours du mouvement.

47) Déterminer la valeur de la vitesse atteinte par la bulle.

48) Estimer la durée nécessaire à une bulle pour remonter à la surface d'une flûte remplie de champagne jusqu'à une hauteur de 12 cm. Cette durée vous semble-t-elle pertinente ?

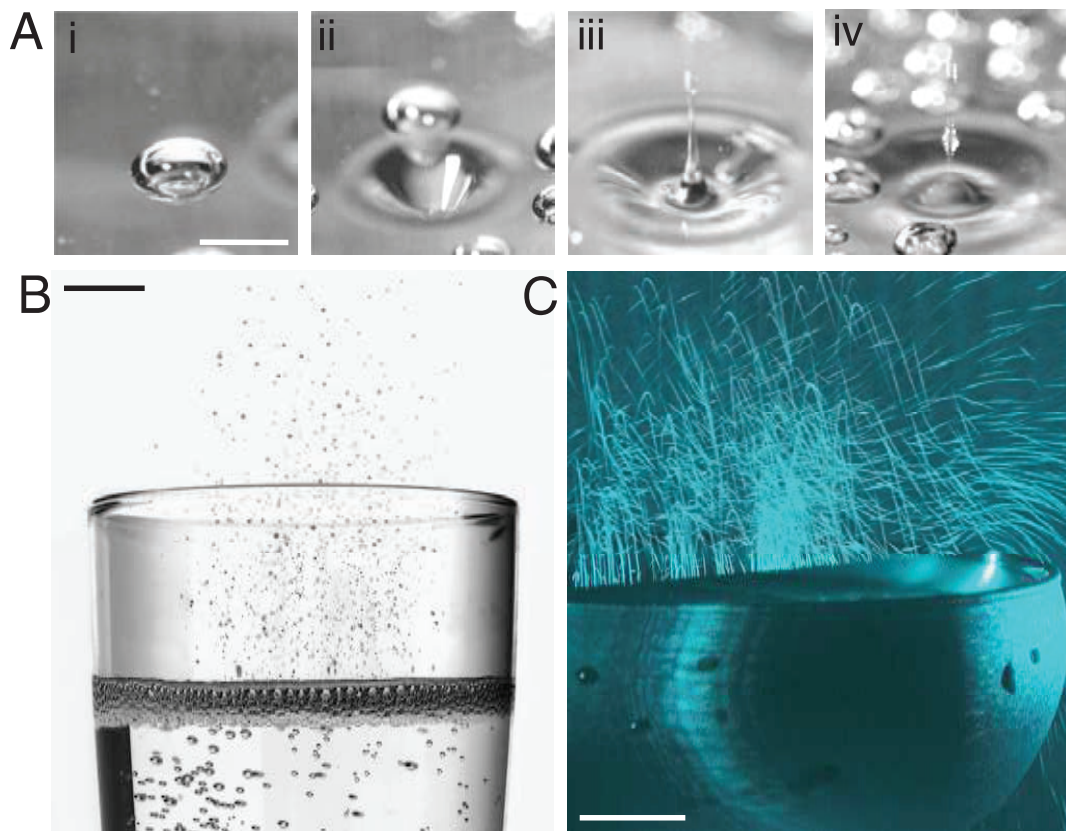
49) Au vu de la photographie du train de bulles, commenter l'hypothèse faite à la question 40.

50) En réalité, au cours de la montée de la bulle, la masse et le volume de la bulle augmentent : du CO_2 dissous continue à passer en phase gazeuse dans la bulle tout au long de l'ascension de la bulle. Expliquer qualitativement l'influence de cette croissance de la bulle sur sa vitesse de montée.

D.3. L'explosion des bulles de champagne en surface

Lorsque le champagne est servi dans un verre, les bulles arrivant la surface éclatent et génèrent des gouttelettes montant au-dessus de la surface du champagne. L'aérosol ainsi généré est reconnu pour ses propriétés organoleptiques (c'est-à-dire agissant sur la perception sensorielle).

De ce fait, des chercheurs français et allemands ont cherché à révéler si les compositions du champagne et de cet aérosol étaient différentes. Ils ont utilisé la spectrométrie de masse. Grâce à cette technique, on trouve dans l'aérosol certains acides gras qui sont présents, mais de façon très dilués, dans le champagne « *bulk* » c'est-à-dire dans le champagne en masse.



A. Séquence d'images montrant l'explosion d'une bulle de taille millimétrique à la surface du champagne. Ce phénomène mène à la projection d'un jet liquide vers le haut qui se déstabilise en fines gouttes. La barre blanche horizontale représente 1 mm.

B. L'explosion de centaines de bulles à la surface d'une flûte produit un nuage de fines gouttes de champagne. Ce phénomène est caractéristique des boissons gazeuses et participe à leur appréciation sensorielle.

C. Visualisation des gouttes projetées au-dessus d'une coupe de champagne à l'aide d'une technique de tomographie laser et d'un appareil photo ayant un temps d'exposition d'une seconde.

La spectrométrie de masse

La spectrométrie de masse (en anglais, mass spectrometry ou MS) est une technique physique d'analyse permettant de détecter et d'identifier des molécules par mesure de leur masse, et de caractériser leur structure chimique. Son principe réside dans la succession de deux étapes.

La première étape est une ionisation des molécules : elles sont transformées *in situ* en ions de charge ze (un nombre z d'électrons a été arraché à la molécule). A titre d'exemple, les acides carboxyliques sont déprotonés au cours de cette étape pour former des ions carboxylates correspondants.

La seconde étape est la séparation en phase gazeuse des ions formés en fonction de la valeur absolue de leur rapport masse molaire/charge ($|M/z|$ noté m/z dans les spectres de masse représentés).

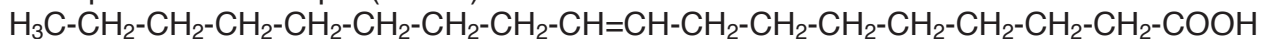
Les acides gras

En chimie, un acide gras est un acide carboxylique à chaîne aliphatique linéaire. Les acides gras naturels possèdent une chaîne carbonée de 4 à 36 atomes de carbone (rarement au-delà de 28) et typiquement en nombre pair, car la biosynthèse des acides gras, catalysée par l'acide gras synthase, procède en ajoutant de façon itérative des groupes de deux atomes de carbone à l'acétyl-CoA. Par extension, le terme est parfois utilisé pour désigner tous les acides carboxyliques à chaîne hydrocarbonée non-cyclique. On parle d'acides gras à longue chaîne pour une longueur de 14 à 24 atomes de carbone et à très longue chaîne s'il y a plus de 24 atomes de carbone. Les acides gras sont présents dans les graisses animales et les graisses végétales, les huiles végétales ou les cires.

Un acide gras saturé est un acide carboxylique aliphatique comportant typiquement de 12 à 24 atomes de carbone et aucune double liaison carbone-carbone : tous les atomes de carbone sont saturés en hydrogène, la formule semi-développée d'un tel acide gras à n atomes de carbone étant $\text{H}_3\text{C}(-\text{CH}_2)_{n-2}-\text{COOH}$.

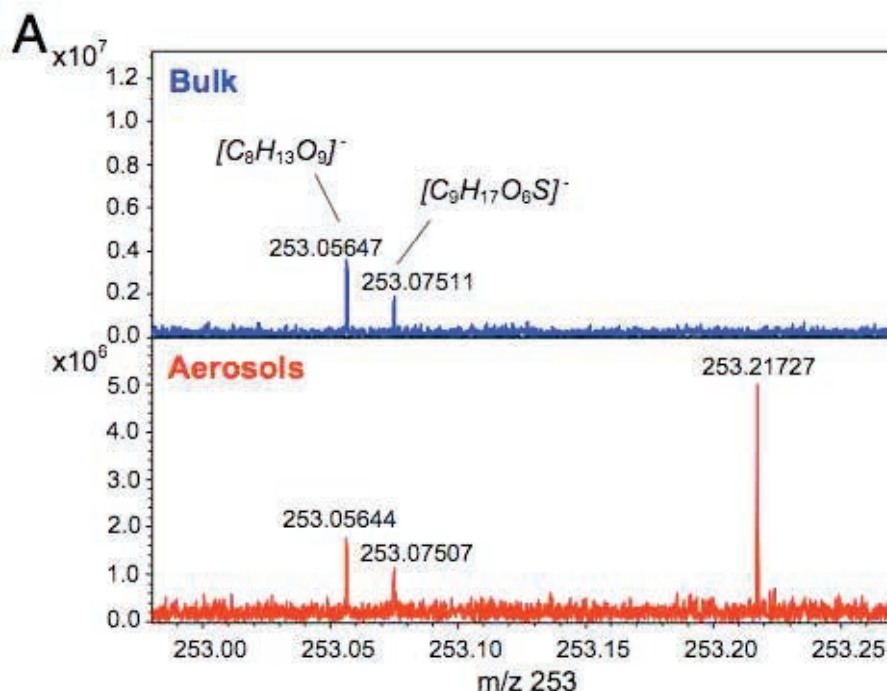
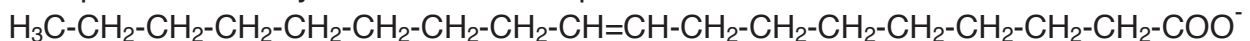
Un acide gras insaturé est un acide gras qui comporte une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone.

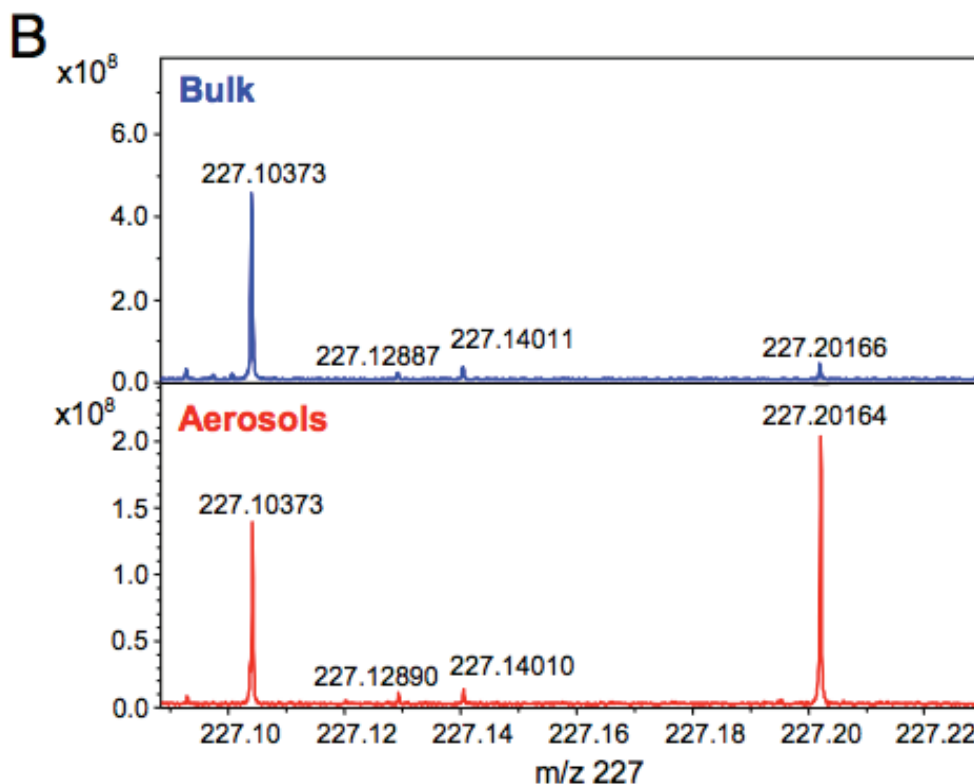
Exemple : l'acide oléique ($n = 18$)



Ces composés étant acides, ils peuvent selon le pH exister sous cette forme acide ou sous forme basique conjuguée : l'ion carboxylate. Leur pKa est compris entre 4 et 5.

Exemple : ion carboxylate de l'acide oléique :





Spectre de masse du champagne « bulk » et aérosol pour 2 domaines de m/z

51) Donner la formule semi-développée de l'acide dodécanoïque (ou acide laurique) et de l'ion dodécanoate.

52) Écrire la formule brute d'un ion carboxylate saturé (en fonction de n , nombre d'atomes de carbone) et d'un ion carboxylate monoinsaturé.

53) Exprimer la masse molaire d'un ion carboxylate saturé en fonction de n et d'un ion carboxylate monoinsaturé.

54) Proposer une stratégie expérimentale pour récupérer uniquement le liquide contenu dans l'aérosol.

55) Identifier les deux ions carboxylate (obtenus après ionisation) présents en excès dans l'échantillon aérosol. (Aucun n'est polyinsaturé). En déduire les formules brutes des deux acides carboxyliques présents en excès dans l'aérosol.

56) Expliquer, grâce à un schéma, que ces acides carboxyliques ont un caractère amphiphile, c'est-à-dire qu'ils présentent à la fois un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe.

57) Expliquer pourquoi les acides gras sont particulièrement présents dans les gouttelettes de l'aérosol de champagne. On représentera notamment une gouttelette de champagne dans laquelle on placera judicieusement les molécules amphiphiles.