09/2006 Métropole EXERCICE II. LA VIE D'UNE BULLE (5,5 points) Calculatrice interdite

On se propose dans cet exercice de faire une plongée au cœur de l'effervescence d'une boisson gazeuse, d'illustrer et d'interpréter sous l'angle de la physico-chimie les différentes étapes de la vie éphémère d'une bulle, à savoir : sa naissance, son ascension dans le liquide, et son éclatement en surface.
Dans tout l'exercice les bulles seront assimilées à des sphères, et la boisson à un liquide de masse volumique égale à celle de l'eau. Le référentiel d'étude est terrestre considéré comme galiléen.

Données:
Masses volumiques : eau $\rho_e = 1{,}0\times10^3$ kg.m^{-3}; dioxyde de carbone $\rho_{dc} = 1{,}8$ kg.m^{-3}
Intensité de la pesanteur: g = 10 m.s^{-2}.

1. Naissance et décollement d'une bulle

Dans une bouteille fermée de boisson gazeuse, un équilibre s'établit entre le dioxyde de carbone qui est dissous dans la boisson et le dioxyde de carbone gazeux piégé dans le col de la bouteille. Lors de l'ouverture de celle-ci, l'équilibre est rompu et la boisson ***se débarrasse d'une partie du dioxyde de carbone dissous qui retourne progressivement en phase gazeuse. Il y a formation de bulles qui vont s'enrichir continûment en gaz au cours de leur remontée.***
Dans un verre, les bulles naissent sur des sites de nucléation qui sont des embryons de bulles présents en solution ou de petites poches d'air piégées par des impuretés microscopiques (fibres de cellulose, microcristaux …). ***La figure 1*** *illustre cette formation de bulles sur un site de nucléation.*
Dès que la valeur de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ à laquelle la bulle est soumise dépasse la valeur de la force capillaire qui l'ancre à son site de nucléation, la bulle se détache. Puis une autre bulle naît et subit le même sort.

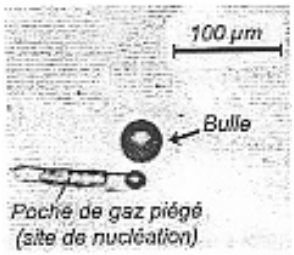


Figure 1

Pour une bulle qui vient de se détacher du site de nucléation dans un liquide de masse volumique ρ_e :

1.1. Donner la direction et le sens de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ qui s'exerce sur une bulle de volume V_0 dans la boisson.

1.2. Donner l'expression littérale de sa valeur en fonction du volume V_0 de la bulle.

2. Ascension d'une bulle : à la recherche d'une modélisation satisfaisante

*À l'instant de date $t_0 = 0$ s, une bulle de rayon $r_0 = 20$ µm, située au point A à la profondeur $z_0 = 0$ m dans le repère $(O ; \vec{k})$ (**figure 2**) se détache de son site de nucléation avec une vitesse initiale v_0 nulle dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Elle remonte **verticalement** vers la surface S du liquide, qu'elle atteint avec une vitesse v_S d'environ 15 cm.s^{-1}.*

Dans un premier temps (pour les questions 2.1. et 2.2.), on assimile la bulle de gaz à une sphère dont le volume ne varie pas lors de sa remontée.

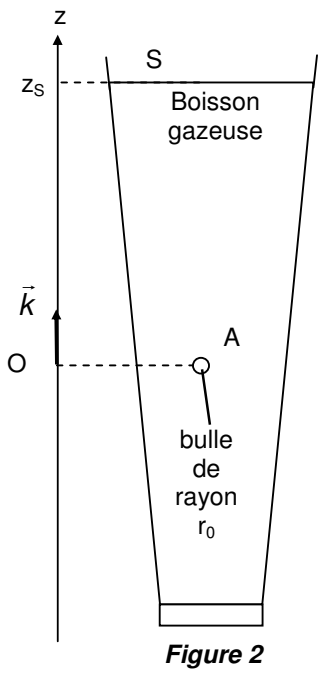


Figure 2

2.1. Étude du mouvement d'une bulle en l'absence de force de frottement

2.1.1. Montrer que le poids $\vec{P}_0$ de la bulle a une valeur négligeable devant celle de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ en calculant le rapport: $\frac{P_0}{F_A}$.

2.1.2. En utilisant la deuxième loi de Newton, établir l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération de la bulle en fonction des masses volumiques ρ_e et ρ_{dc} et de g.

2.1.3. En déduire l'expression de la valeur de la vitesse de la bulle en fonction du temps.

2.1.4. Montrer que la durée t_s théoriquement nécessaire pour que la bulle atteigne la surface avec la vitesse v_s est alors d'environ trente microsecondes.

2.1.5. Cette valeur correspond-elle aux observations de la vie quotidienne ? Conclure quant à la validité du modèle proposé.

2.2. Étude du mouvement de la bulle en présence d'une force de frottement

Le liquide exerce sur la bulle une force de frottement, proportionnelle à sa vitesse, qui peut s'écrire vectoriellement $\vec{f} = -k.\vec{v}$ *, k est un coefficient qui dépend du rayon de la bulle et de la viscosité du fluide dans lequel elle se déplace.*

2.2.1. Représenter schématiquement, sans souci d'échelle, les forces non négligeables qui s'exercent sur la bulle en mouvement après son décollement du site de nucléation.

2.2.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle qui régit l'évolution de la vitesse de la bulle s'écrit alors:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{kv}{\rho_{dc} V_0} = \frac{\rho_e}{\rho_{dc}} g$$

2.2.3. En déduire l'expression littérale de la vitesse limite v_{lim} atteinte par la bulle.

2.2.4. *L'application numérique donne* v_{lim} *voisin de 1 mm.s*$^{-1}$. Compte tenu de cette valeur, conclure quant à la validité du modèle proposé.

2.3. Un autre paramètre à prendre en compte

*Les modélisations précédentes ne décrivent pas de manière satisfaisante le mouvement de la bulle dans la boisson gazeuse. En particulier, les expériences réalisées dans du champagne montrent que la variation du volume de la bulle ne peut pas être négligée (**figure 3**).*
On se propose d'en trouver l'origine.
On suppose que la quantité de matière n_0 *de gaz présent dans la bulle et la température restent constantes. Dans ce cas, lors d'une remontée de 12 cm du point A à la surface S, la diminution de pression du gaz ne ferait augmenter son volume initial que de 2 %.*
Dans la réalité, l'augmentation du volume est un million de fois supérieure ! Un des deux paramètres supposés constants dans le texte précédent ne l'est donc pas.

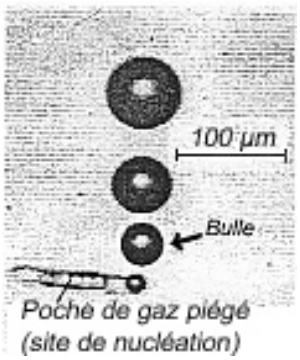


Figure 3

2.3.1. En s'aidant d'une phrase du texte introductif à la partie 1 de cet exercice, expliquer pourquoi le volume de la bulle augmente si fortement lors de sa remontée.

2.3.2. *Durant l'ascension le poids de la bulle est toujours négligeable devant la poussée d'Archimède.*
Sachant que le coefficient *k* défini à la question 2.2. augmente avec le rayon de la bulle, préciser qualitativement l'influence de la variation du volume de la bulle sur chacune des forces qui s'exercent sur elle au cours de la remontée.

Des laboratoires spécialisés ont élaboré des modèles plus satisfaisants tenant compte de paramètres négligés précédemment.

3.L'éclatement des bulles en surface

La bulle a maintenant gagné la surface et le film liquide qui constitue la partie émergée de la bulle s'amincit (figure 4.a) jusqu'à se rompre lorsque son épaisseur avoisine le micromètre. Le trou qui apparaît s'ouvre (figure 4.b) et la durée de disparition de la calotte sphérique n'est que de quelques dizaines de microsecondes ! Le cratère qui reste à la surface du liquide ne va pas durer (figure 4.c).
De violents courants apparaissent et, en se refermant, cette cavité projette vers le haut un mince jet de liquide (figure 4.d). Le jet se brise ensuite en fines gouttelettes (figure 4.e) qui en retombant dans le liquide engendrent des ondes circulaires centrées sur la "bulle-mère" (figure 4.f).
*Ces observations nécessitent l'utilisation d'une caméra ultra-rapide capable de filmer jusqu'à 2000 images par seconde avec une résolution proche du micromètre (**figure 5**).*

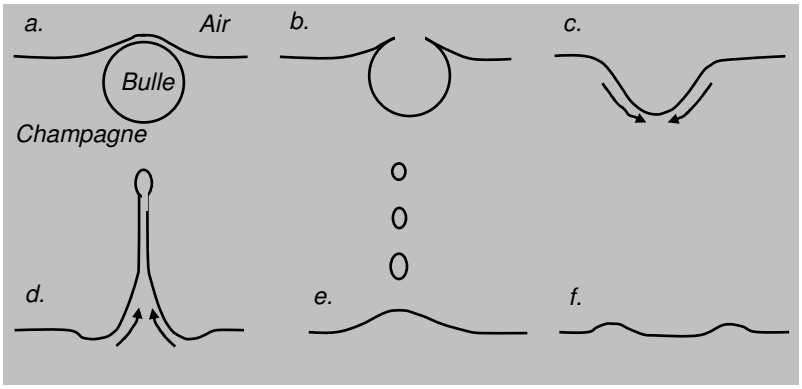


Figure 4

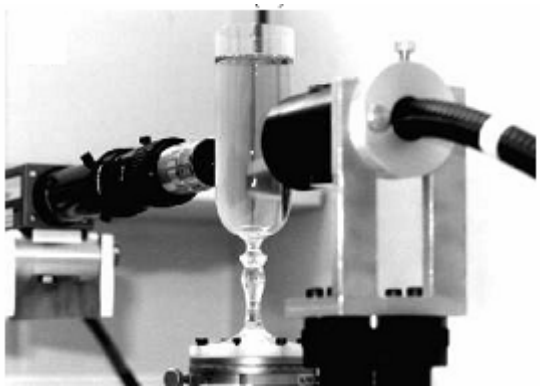


Figure 5

3.1. Malgré l'utilisation de la caméra ultra-rapide, pourquoi ne peut-on pas obtenir d'images du film liquide en train de se rompre ?

3.2. L'onde circulaire créée est-elle longitudinale ou transversale ?Justifier.

Bien qu'éphémère, la vie d'une bulle n'en est pas moins riche en événements !