Déformation et rupture des bulles en milieux visqueux et newtonien : impact de l'agent de surface

Boubakar Sanogo[1], Alain Marcati[1], Christophe Vial[1]

[1]Université Clermont-Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000, Clermont-Ferrand, France.

Introduction

Les mousses alimentaires sont produites en incorporant une phase gaz dans une phase liquide ou semi-solide sous l'effet d'une agitation mécanique. Les caractéristiques macroscopiques de ces mousses dépendent de la technologie mise en œuvre et des propriétés physico-chimiques de la phase liquide (Djelveh et Vial., 2010). Il existe diverses stratégies pour assurer la stabilité de ces mousses, parmi lesquelles l'ajout de substances à activités tensioactives (SAT), telles que les protéines et les surfactants (Bureiko et *al*., 2015). Ces dernières se fixent à l'interface gaz/liquide et peuvent modifier profondément les mécanismes de déformation et de rupture des bulles. L'objectif de ce travail est d'identifier l'impact de ces SAT sur les mécanismes de déformation et de rupture des bulles afin de pouvoir *in fine*, interpréter les résultats obtenus à l'échelle macroscopique sur des milieux visqueux représentatifs de fourrages de biscuits.

Matériel et méthodes

Trois différentes SAT ont été étudiées dans ce travail : un concentré de protéines sériques (CPS), le caséinate de sodium (CS) et le tween 20 (TW20). Des solutions newtoniennes contenant 2 % (p/p) de ces SAT avec une viscosité proche de 1 Pa.s ont été préparées. Elles ont été utilisées pour mener deux types d'études : une première à l'échelle de la bulle et une seconde à l'échelle macroscopique. L'étude à l'échelle de la bulle a permis de visualiser le comportement de bulles de gaz générées au sein des solutions modèles préparées ; ces bulles ont été soumises à un cisaillement contrôlé. Ce travail a été réalisé à l'aide d'un système Couette transparent. Une seconde étude, cette fois à l'échelle macroscopique, a consisté à produire des mousses à partir des mêmes solutions modèles à l'aide d'un système de type Rotor-Stator (RS) à dents de géométrie similaire aux systèmes industriels pour le procédé de foisonnement.

Résultats

L'observation des bulles soumises à un cisaillement contrôlé a permis de relever des différences entre les bulles stabilisées par les protéines et celles stabilisées par le surfactant. Les résultats présentés sur la figure 1 montrent que les bulles stabilisées par les protéines (CPS et CS) se rompent par l'extrémité (*tip-streaming*) à des nombres capillaires critiques (Ca_c) respectivement de 0,15 ± 0,02 et 0,5 ± 0,05 pour le CS et le CPS. Cela signifie que pour une bulle de taille donnée, il faut un taux de cisaillement moins important pour atteindre la rupture en présence du CS qu'en présence de CPS. À la différence des protéines, aucune rupture n'a été observée avec les bulles stabilisées par le TW20, malgré des valeurs de *Ca* de l'ordre de 5.

Les opérations de foisonnement à l'échelle pilote ont permis d'évaluer les capacités de foisonnement des trois SAT. Les résultats indiquent que les protéines sont de meilleurs agents moussant que le TW20. Les résultats obtenus avec le TW20 semblent cohérents avec l'absence de rupture observée à l'échelle de la bulle. Quant aux protéines, il a été constaté que l'efficacité de foisonnement est meilleure avec le CPS. Cette observation est surprenante à la vue des résultats obtenus à l'échelle de la bulle, dans la

mesure où il a fallu un cisaillement plus important pour rompre une bulle stabilisée par le CPS. En effet, l'étude à l'échelle de la bulle a montré que les bulles stabilisées par le CS se divisent sous l'action d'un gradient de cisaillement moins important que celles stabilisées par le CPS. Intuitivement, il était donc attendu une meilleure efficacité de foisonnement avec le CS, contrairement à ce qui a été obtenu. Cela signifie que d'autres éléments doivent être pris en compte pour mieux appréhender ces phénomènes complexes. Parmi ces éléments, il y a le nombre de molécules à l'interface gaz/liquide, le temps de migration de ces dernières de la phase continue à la surface des bulles et aussi le temps d'accumulation des molécules aux extrémités lorsque la bulle est soumise à un cisaillement. Une meilleure compréhension de ces phénomènes permettrait de mieux expliquer les observations effectuées à l'échelle macroscopique.

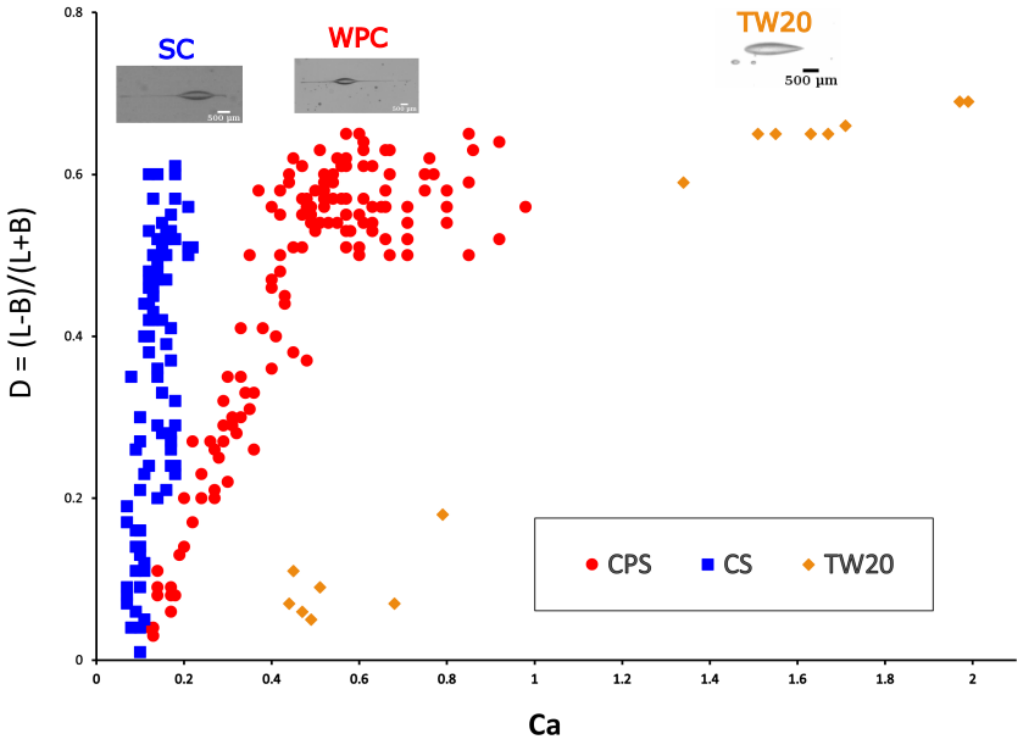

Figure 1 : Courbe du paramètre de déformation des bulles (*D*) en fonction du nombre Capillaire (*Ca*).

Conclusion

Cette double étude à l'échelle de la bulle et à l'échelle macroscopique a permis de mettre en évidence les différences de mécanismes de stabilisation des bulles de deux protéines et d'un surfactant. Dans le cas du surfactant, il a été possible de relier les résultats obtenus aux deux échelles, ce qui est en revanche plus complexe avec les protéines. Il est donc primordial de poursuivre ce travail de compréhension en étudiant notamment les mécanismes d'adsorption aux interfaces.

Références bibliographiques

Bureiko, A.; Trybala, N.; Kovalchuk, N.; Starov, V., Current applications of foams formed from mixed surfactant-polymer solutions. *Advances in Colloid and Interface Science,* 2014, vol. 222, pp.670–677.

Djelveh, G.; Vial, C., Opération du foisonnement. *Scientific study and research: Chemistry and Chemical Engineering,* 2010, 11(1), pp.161–182.