Titre : Etude de l'opération de foisonnement : stratégie expérimentale et modélisation

Résumé :

Au sein de l'unité GENIAL, l'équipe SP2 a construit au cours de 3 thèses successives une stratégie expérimentale originale permettant d'aborder le procédé de foisonnement par battage en continu et de mieux comprendre les interactions produit et procédé lors de cette opération. Cette approche vise à contrôler les variables associées aux produits et au procédé afin de pouvoir accéder à la compréhension des mécanismes de structuration. Elle associe une réflexion sur la formulation de milieux modèles et leurs caractérisations, sur le choix des pilotes et de leur instrumentation, et enfin sur la conduite des essais et la modélisation.

Les travaux des 10 années passées ont contribués d'une part, à définir des produits modèles aux propriétés rhéologiques et interfaciales contrôlées, et d'autre part à acquérir, adapter et instrumenter un foisonneur pilote représentatif des équipements industriels. Des modélisations par analyse dimensionnelle permettent de dégager les variables pertinentes liées au produit et au procédé et de les intégrer dans un même modèle, puis de proposer des mécanismes de structuration à l'aide des nombres sans dimension obtenus.

Contexte de la réalisation :

Les produits foisonnées sont recherchées tant en alimentaire qu'en cosmétique pour leurs propriétés sensorielles générées par la structure des mousses. Cependant, cette structure est fortement pilotée par les interactions entre le produit et le procédé : à mêmes conditions de foisonnement, deux produits différents peuvent conduire à des mousses très différentes ; de même, des équipements ou des conditions de battage différents ne fournissent pas la même structure finale. En collaboration avec des entreprises du secteur de la cométique et de celui de l'alimentation, ces études ont donc pour objectif de mieux comprendre ces liens entre produit et procédé dans l'acquisition d'une structure aérée afin de mieux contrôler la fabrication des produits et aider à la conception de produits nouveaux. Afin de prendre en compte le contexte industriel, les études intègrent à la fois les caractéristiques de produits réels et des essais à l'échelle pilote semi industriel.

Résultat :

Le travail sur la formulation et la caractérisation des produits à conduit à une **cartographie de produits modèles** permettant de contrôler, de façon découplée, les propriétés rhéologiques (fluides newtoniens, fluides d'Ostwald) et interfaciales (tension de surface à l'équilibre, cinétique d'évolution de la tension de surface, viscoélasticité de l'interface) des bases à foisonner.

Grâce à la bonne maîtrise de ces propriétés, des essais réalisés sur foisonneur pilote ont permis de quantifier de l'impact de la viscosité, la vitesse de rotation et de la tension de surface par à une **modélisation par analyse dimensionnelle**. La mise en évidence d'un **nombre capillaire** dimensionnant pour ce procédé montre que la structuration de la mousse est pilotée par l'équilibre entre l'action mécanique et les forces interfaciales (Balerin et al, 2007 ; Mary et al 2013). De façon plus approfondie, les propriétés interfaciales mises en œuvre sont celles liées à la **diffusion des tensio actifs** à l'interface et à la **viscosélasticité de cette interface**. Ces résultats permettent de proposer des mécanismes de rupture des bulles dans le foisonneur (Séguineau de Préval, 2013).

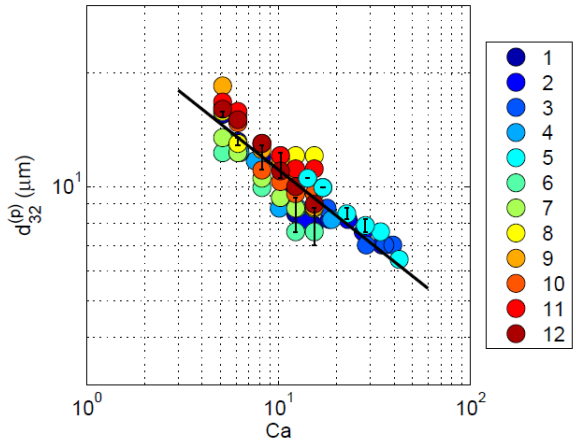

Fig. 1. Représentation du diamètre moyen des bulles en fonction d'un nombre capillaire pour 12 conditions opératoires ou produits testés (Thèse G. Mary, 2011). Les mousses sont obtenues par battage en foisonneur pilote

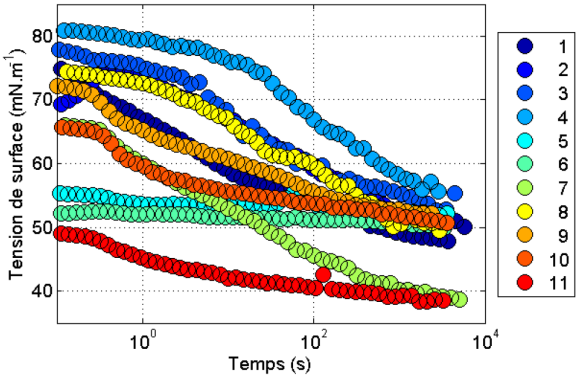

Fig. 2. Diversité des cinétiques de tension de surface des 11 produits modèles élaborés (Thése E. Séguineau de Préval, 2014)

Perspectives :

Afin de pouvoir préciser les mécanismes liés à la structuration des mousses, nous envisageons d'explorer cette opération l'échelle d'une bulle ou d'un ensemble de bulles. Pour cela des simulateurs expérimentaux doivent être conçus ou adaptés et des méthodes spécifiques à l'étude de ces structures développées. Il s'agira en particulier de proposer des dispositifs reproduisant les contraintes mécaniques d'un foisonneur, et permettant le suivi d'une bulle (dispositif transparent sous microscope ou caméra rapide). De tels dispositifs sont en cours de mise au point au laboratoire (cellule de cisaillement sous microscope confocale, notamment).

En parallèle, l'utilisation d'un pilote de foisonnement de laboratoire rend possible l'investigation de l'impact de la géométrie des foisonneurs.

Du point de vue des produits, la cartographie des produits modèles devra s'étendre vers les produits réels en intégrant des rhéologies plus complexe et des propriétés interfaciales plus diverses.

Enfin, tous ces éléments pourront être intégrer à un modèle global via une analyse dimensionnelle, afin de comprendre les mécanismes à l'origine de la structuration des mousses. Cette compréhension permettra de mieux formuler les produits en regard des propriétés attendues, de mieux contrôler leur élaboration au cours de l'opération de foisonnement, mais également de fournir des préconisations quant à la géométrie des équipements.

Partenaires :

Danone, Cosmetic Valley, LVMH,

Références :

G. Mary, S. Mezdour, G. Delaplace, R. Lauhon, G. Cuvelier, and F. Ducept. Modeling of the continuous foaming operation by dimensional analysis. Chemical Engineering Research and Design, 91 :2579–2586, 2013.

E. Seguineau de Preval, F. Ducept, G. Mary, G. Cuvelier, and S. Mezdour. Influence of surface properties and bulk viscosity on bubble size prediction during foaming operation. Colloids and Surfaces A - Physicochemical and Engineering Aspects, 442, 88-97, 2014

E. Seguineau de Preval, F. Ducept, G. Mary, G. Cuvelier, and S. Mezdour. Influence of surface properties and bulk viscosity on bubble size prediction during foaming operation at a pilot scale. Food Hydrocolloids, 34, 104-111, 2014

C. Balerin, P. Aymard, F. Ducept, S. Vaslin, and G. Cuvelier. Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams. Journal of Food Engineering, 78(3) 802–809, 2007.

Contact :

Gérard Cuvelier, Samir Mezdour, Fabrice DUCEPT
UMR 1145 Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech / Inra / Cnam
AgroParisTech, 1 avenue des Olympiades, 91300 Massy
gerard.cuvelier@agroparistech.fr, samir.mezdour@agroparistech.fr, fabrice.ducept@agroparistech.fr