

Structure et mécanique de la mousse

Wolf Sébastien

I. Caractéristiques et applications de la mousse

1.1) Qu'est-ce que la mousse ?

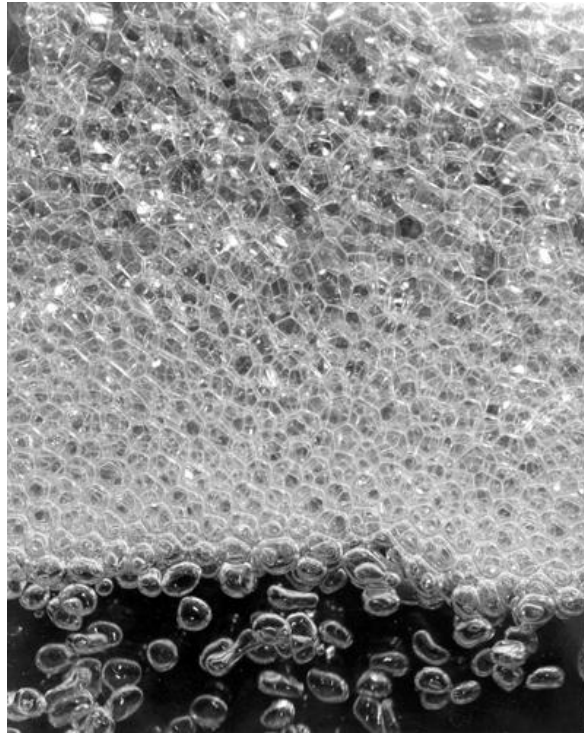


Figure 1.1 : Photographie d'une mousse

La mousse reste encore aujourd'hui difficile à décrire de façon précise. On l'interprète comme une dispersion de bulles, un milieu qui diffuse la lumière, ayant un comportement à la fois liquide et solide. Un des paramètres clef de la mousse est sa fraction massique définie par :

$$\phi = \frac{\text{air volume}}{\text{total volume}}$$

La fraction massique d'une mousse quantifie la « sécheresse » de la mousse.

1.1) Pourquoi étudier la mousse?

L'utilité et la présence de la mousse dans de nombreux domaines de la vie justifie la nécessité de l'étudier. La mousse est une des données clés de la condensation par flottation, étape fondamentale dans les usines de métallurgie ; elle est très utilisée dans la lutte contre les incendies, à commencer par les extincteurs. Des mousses à raser de la cosmétiques, aux mousses de la bière en passant par celle de l'industrie pharmaceutique, la mousse est présente dans tous les secteurs d'activités.

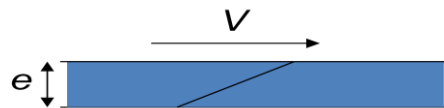
II. Liquide, solide et mousse : modèles théoriques

2.1) Liquide et solide

La mousse peut être interprétée selon les cas comme un liquide ou comme un solide. Rappelons les lois fondamentales permettant d'étudier les mouvements de dilatation de solides ou de liquides. Ces lois permettent de relier la force appliquée sur le solide ou sur le liquide aux caractéristiques physiques de l'élément.

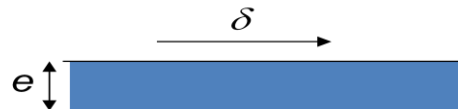
Pour les liquides, on a la loi donnée par Young :

$$(2.1) \quad \frac{F}{S} = \eta \frac{V}{e}$$



Pour les solides, on a la loi suivante :

$$(2.2) \quad \frac{F}{S} = \frac{E}{2} \frac{\delta}{e}$$



2.2) Loi pour la mousse

Dans le cas de la mousse, on ne peut utiliser l'une des deux lois précédentes du fait du caractère ni totalement liquide, ni totalement solide de la mousse.

Principe d'établissement de la loi

Les lois sont données par l'expérience, on fait varier la contrainte et on observe le gradient de vitesse dans la mousse. On obtient une loi expérimentale en puissance du gradient. On présente 4 modèles très connus donnant des résultats sensiblement différents.

Résultats

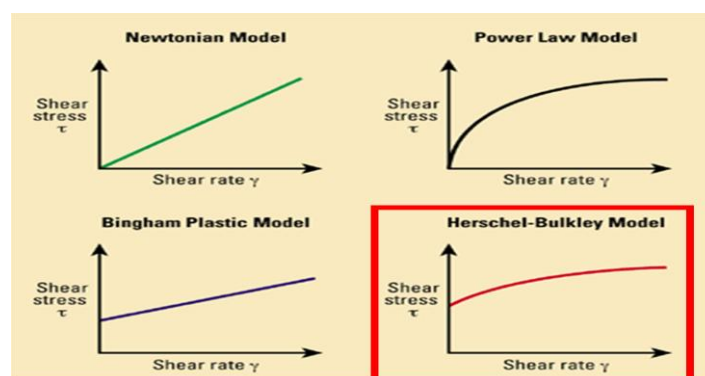


Figure 2.1 : Courbes présentant les 4 modèles

Le modèle le plus couramment utilisé et le plus plausible est celui de Herschel-Bulkley qui montre que la loi est de la forme :

$$(2.3) \quad \tau = \tau_0 + A \dot{\gamma}^\alpha \quad \text{Où la puissance } \alpha \text{ dépend de la mousse étudiée}$$

2.3) Structure d'une mousse

Différentes échelles d'observations possibles

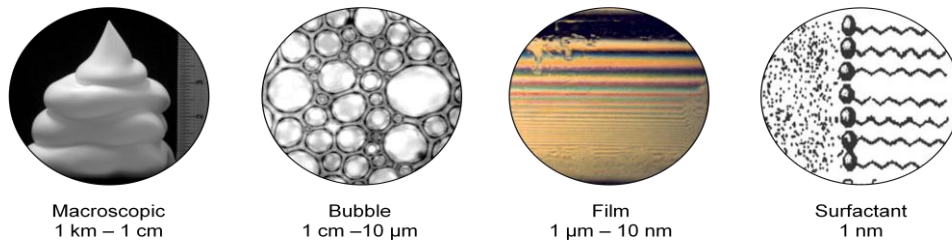
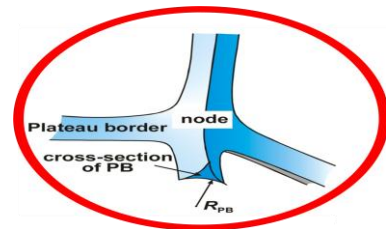
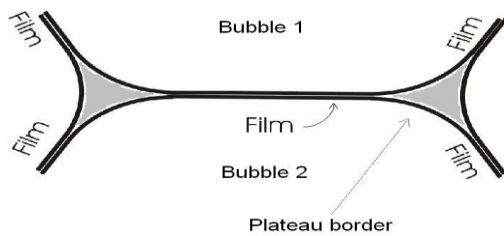


Figure 2.2 : Images d'une mousse à différentes échelles

Analyse géométrique

On établit par des raisonnements de géométries que :

- deux films se croisent avec un angle de 120°
- deux bords de plateau se croisent à $109^\circ 28'$



III. Mousses et surfactants

3.1) Rappels sur les surfactants

Définition :

Un tensioactif ou surfactant est un composé qui modifie la [tension superficielle](#) entre deux surfaces. Les composés tensioactifs sont des molécules amphiphiles, c'est-à-dire qu'elles présentent deux parties de [polarité](#) différente, l'une [lipophile](#) (qui retient les matières grasses) et apolaire, l'autre hydrophile (miscible dans l'[eau](#)) et polaire.

Force surfacique :

On rappelle qu'à l'interface de deux fluides il existe une force surfacique appelée tension de surface notée γ , telle que $F = \gamma L$
Le facteur γ est modifié par la présence de surfactant.

3.2) Mousse et tension de surface

Propriété essentielle :

La formation de mousse, dispersion d'un volume important de gaz dans un faible volume de liquide, nécessite la présence d'agents tensioactifs ou surfactants qui s'adsorbent à l'interface eau-air.

Ainsi si l'on interprète une mousse comme un solide c'est-à-dire à la lumière de la relation (2.2) on peut relier la tension de surface du film au module d'Young. On obtient ainsi :

$$(3.1) \quad E \sim \frac{\gamma NR}{NR^2} \sim \frac{\gamma}{R}$$

Un calcul plus précis montre que :

$$(3.2) \quad E = \alpha \phi (\phi - \phi_c) \frac{\gamma}{R}$$

Expérience :

On cherche ici à observer l'influence de la concentration en surfactant sur la tension de surface d'un film de mousse. Le résultat est assez nette, on distingue trois zones :

- pour des concentrations inférieures à C_s , on a $\gamma = \gamma_0$
- pour des concentrations comprises entre C_s et C_{CMC} la tension décroît linéairement
- pour des concentrations supérieures à C_{CMC} , on a $\gamma = \gamma_1$

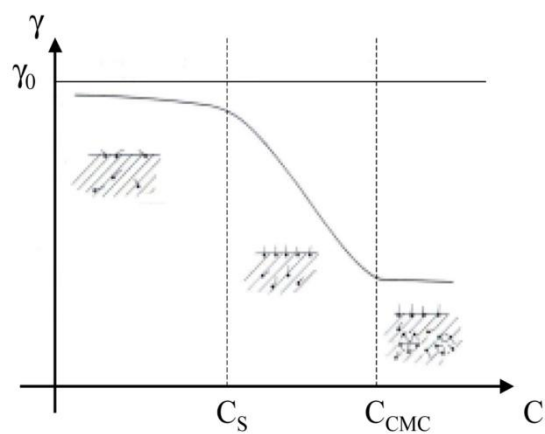


Figure 3.1 : Courbe expérimentale donnant la tension de surface en fonction de la concentration

IV. Mouvements d'une mousse

4.1) Réarrangements topologiques

Deux paramètres indépendants permettent de décrire proprement le mouvement d'une mousse :

- L'amplitude du déplacement
- Le taux de détachement

Notion de réarrangements :

Expérimentalement, on observe que le mouvement d'une mousse correspond à un réarrangement de sa structure comme la modélisation en figure (4.1) le montre. On parle alors de « réarrangements topologiques ».

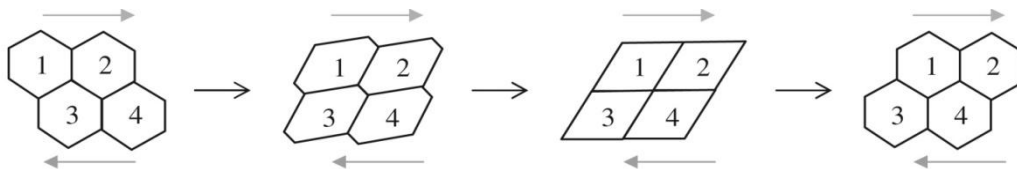


Figure 4.1 : Réarrangements d'une mousse

4.2) Loi de dilatation d'un film

Afin d'étudier le mouvement d'une mousse, on étudie la dilatation d'un film de mousse. Gibbs a pu établir une loi confirmée par la suite liant le module de dilatation aux caractéristiques du film.

$$\varepsilon(\omega) \equiv \frac{A \cdot \Delta\sigma}{\Delta A} = -\varepsilon_{Gibbs}(\Gamma) \cdot \frac{A}{\Gamma} \cdot \frac{\Delta\Gamma}{\Delta A} + i\omega\kappa$$

Où ε = dilatational modulus

ω = frequency

Γ = surface surfactant concentration

κ = surface viscosity Pa.m.s

V. Formation de mousse et dissipation

5.1) Où est la dissipation ?

La dissipation est due à deux choses : le détachement et l'élongation de surface

Détachement :

La dissipation a lieu dans ce cas dans les films et au niveau des bords de plateau. On parle de viscosité de Bulk.

Elongation de surface:

La dissipation est dans ce cas le fruit de deux effets mettant en évidence l'existence d'une viscosité et d'une élasticité à l'interface. Le premier est appelé effet Marangoni, le deuxième est du à la diffusion des surfactants.

5.2) Etudes de réarrangements de mousse

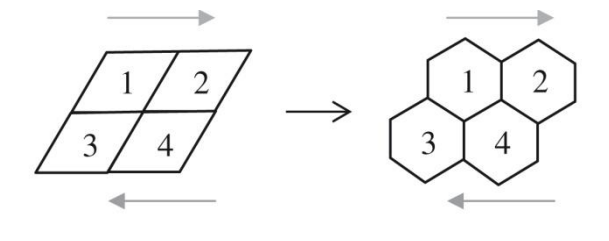


Figure 5.1 : Phase de réarrangements à l'étude

5.2.1) Cas quasi statique

On étudie ici des réarrangements permettant la formation de la mousse. On utilise pour cela l'instrument en figure (5.2)

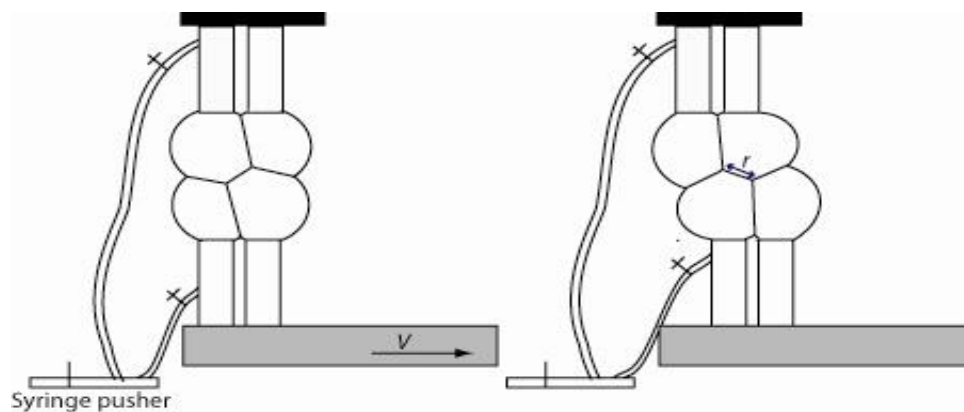


Figure 5.2 : Matériel nécessaire pour l'expérience

Le paramètre clef de l'évolution de notre expérience est le rayon r de la nouvelle bulle. On pose pour la suite, pour avoir un paramètre sans dimension

$$R(t) = \frac{r(t)}{R_{\max}}$$

L'évolution de l'expérience dans le temps est alors donnée par le graphe de la figure (5.3).

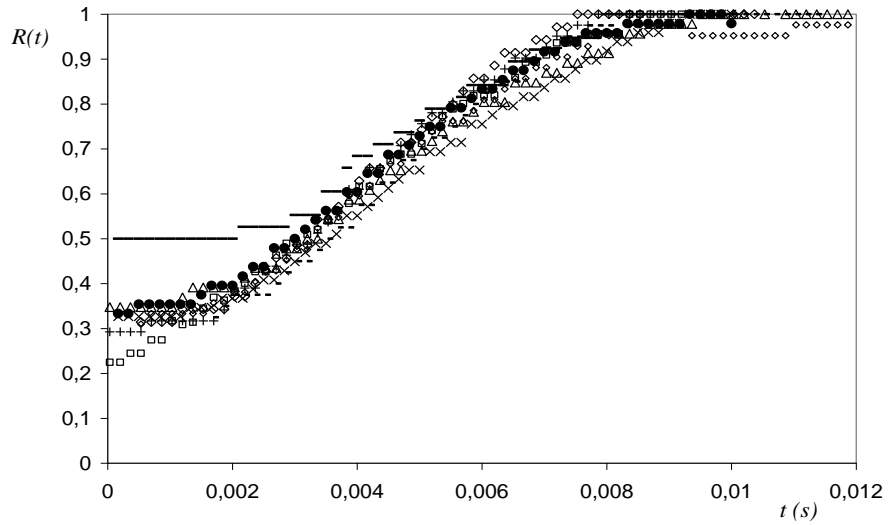


Figure 5.3 : Evolution de R en fonction du temps

5.2.2) Cas dynamique

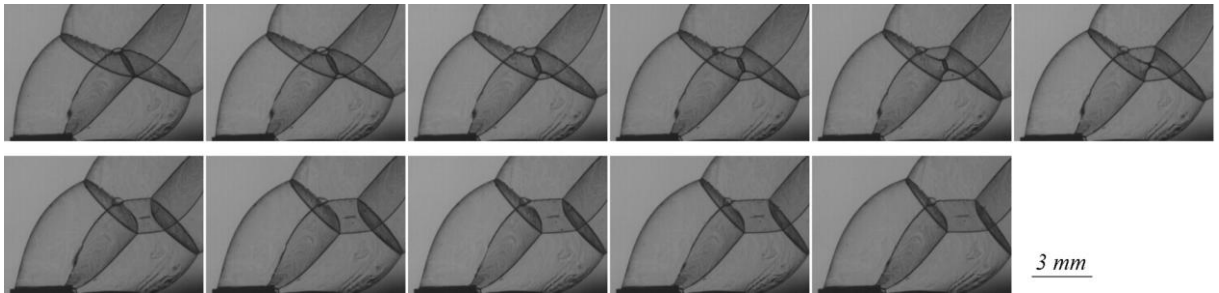


Figure 5.4 : Série de photos montrant l'évolution de l'expérience

Dans cette expérience, on cherche à évaluer l'évolution de r en fonction de Vt . On obtient la courbe en Figure (5.5).

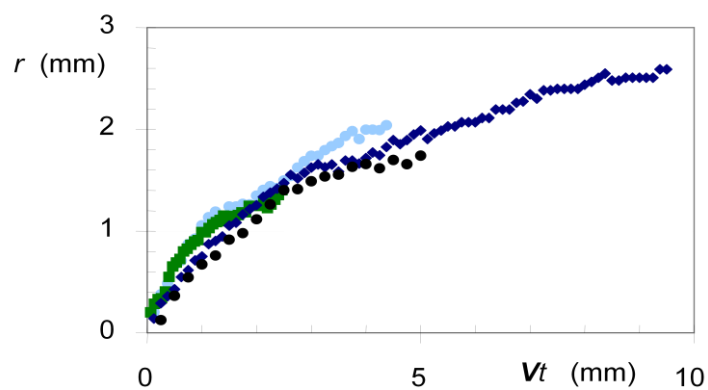


Figure 5.5 : Evolution de r en fonction de Vt

Ces résultats confirment assez bien l'analyse théorique montrant que

$$V_{\text{lim}} = r_{\text{max}} \gamma / \mu^*$$

Et que

$$De = \frac{V}{V_{\text{lim}}} = \frac{V \mu^*}{r_{\text{max}} \gamma} = \frac{\dot{\gamma} \mu^*}{\gamma}$$