

TOUT SUR LES MOUSSES

Bases physico-chimiques rassurantes

Carole Bréda

Contexte de la thèse

•Objectifs :

Confiner les effets de souffle et de projections d'une charge explosive de type IED (improvised explosive device) avec de la mousse aqueuse (facilement déployable, peu coûteux)



Reuters, huffingtonpost.fr,
04.11.2010



Denis Mousty, estrepublicain.fr,
18.12.11

→ Réduire les distances de sécurité en limitant les dommages collatéraux

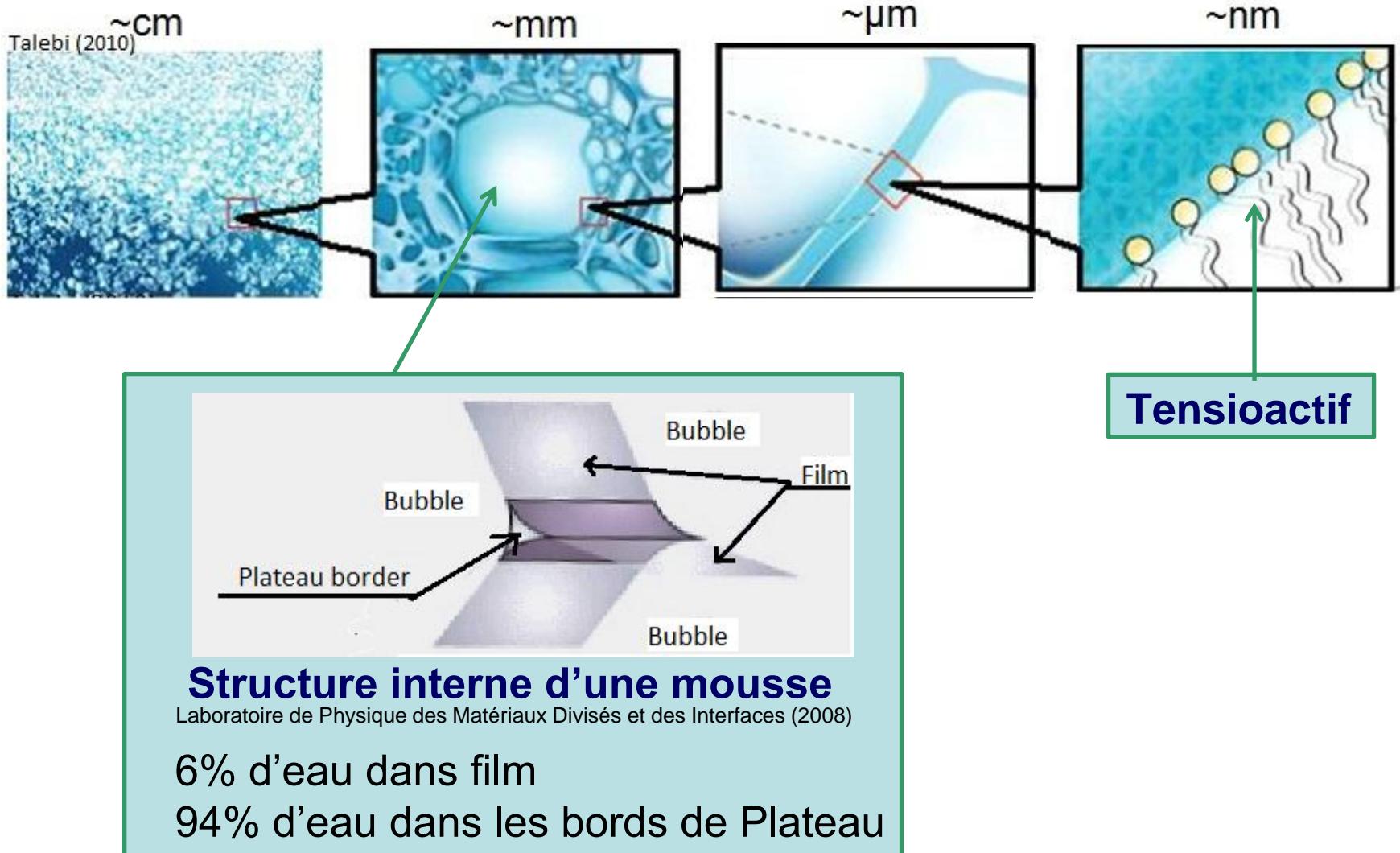
•Financement de ma thèse



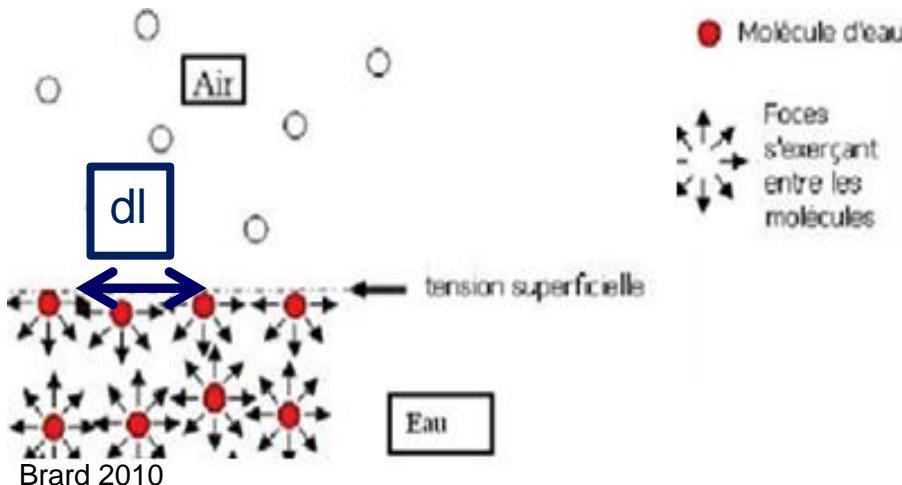
Objectifs

1. Structure et définitions
2. Système de génération
3. Caractérisation
4. Les phénomènes de vieillissement
5. Rhéologie des mousses : cas appliqué au sang
6. La mousse et ses applications

1.1 Structure statique d'une mousse



1.2 Caractérisation d'une mousse à l'échelle du film



• Tension de surface (TS)

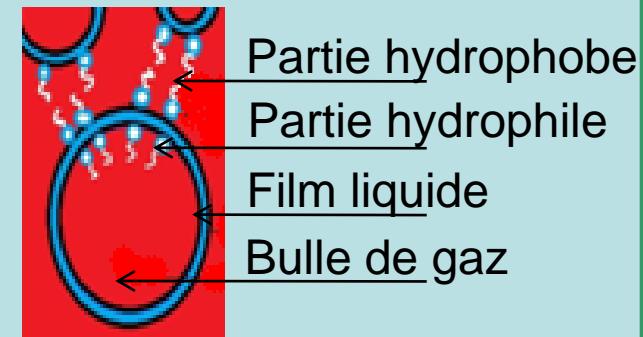
-force/ unité de longueur en N/m

-surplus d'énergie chimique en J/m²

TS à 20°C	Eau pure	Glycérol
N/m	70	60
TS ↑ si T ↓		

• Molécule tensioactive:

- anionique (sels de sodium d'acides gras): savon
- cationique (sels d'ammonium quaternaire) : après-shampoing
- amphotère (bétaïnes): shampoing
- non-ionique (alcool laurique): détergents
- synthétisée par organisme vivant



- minimise la TS
- stabilise la mousse

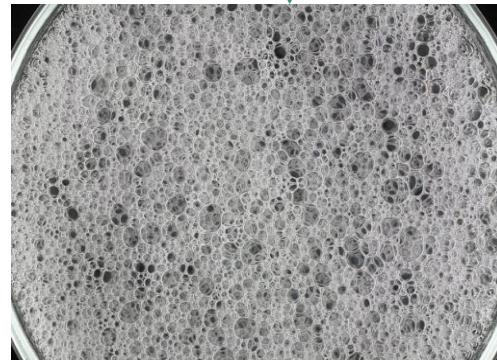
2.1 Comment générer une mousse ?

Liquide moussant
eau
(ionisée, minéralisée, etc...)
+
émulseur
(tensioactifs + autres agents chimiques)

Gaz à injecter
air ou ...
 N_2 , C_2H_2 , H_2 , H_e

Systèmes de génération

- débit de gaz contrôlé
- débit du liquide moussant contrôlé



2cm

2.2 Systèmes de génération de mousse identifiés

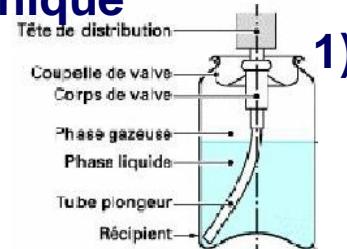
0) Génération par agitation mécanique

1) Génération par air comprimé:

-Brevet 1993

-l'aérosol de la mousse à raser

- « Sterivein »

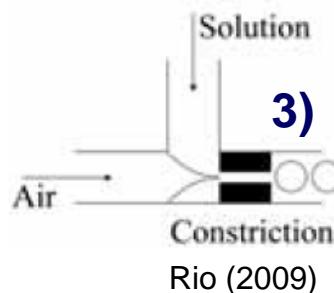


2) Génération par bullage

3) Génération par barbotage

-flow-focusing

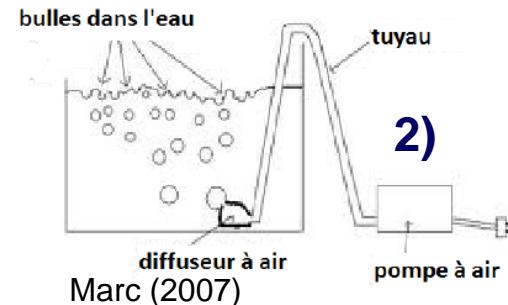
- « EasyFoam »



4) Génération par entraînement mécanique du liquide

-Propak

-Ecumeur



5) Génération par ultrason

-le sonicateur



5)

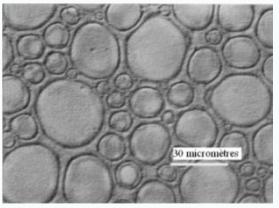
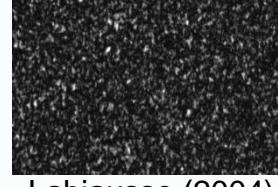
6) Génération par voie chimique

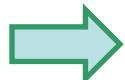


6)

3.1 Caractérisation d'une mousse

•Observation de la structure

Camera, microscope	Spectroscopie	Tomographie
 Durian (1991)	 Labiausse (2004)	 Lambert (2005)
intrusive	non intrusive	non intrusive



- loi de distribution
 - de la taille des bulles
 - de la valence des bulles (nombre de voisins d'une bulle)

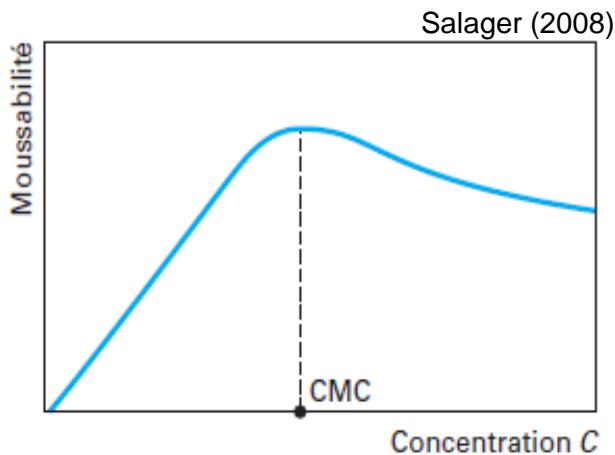
Mousse monodisperse: valence des bulles identiques pour toutes les bulles

3.2 Quelle concentration en tensio-actifs?

Moussabilité

- quantité de mousse produite dans des conditions données
- capacité d'un système de génération à produire de la mousse

•Propriétés chimiques du liquide moussant



concentration micellaire critique CMC

=

saturation en tensioactifs des interfaces air-eau



compromis stabilité/ moussabilité

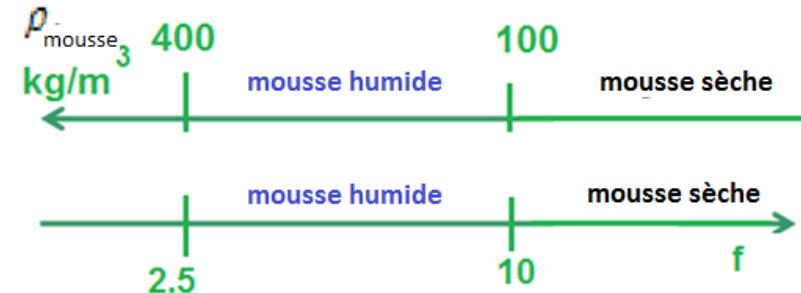
Si la concentration en tensioactifs augmente, la mousse est plus stable.
En revanche au delà d'un certain seuil de concentration,
aucune mousse ne peut se créer ; la CMC est atteinte.

3.2 Caractéristiques physiques d'une mousse

•Caractéristiques physiques

Foisonnement ~moussabilité $f = \frac{V_{mousse}}{V_{liquide}} \sim \frac{\rho_{liquide}}{\rho_{mousse}}$

ρ_{mousse} → pesée
→ conductimetrie



Vitesse du son: c_{mousse}

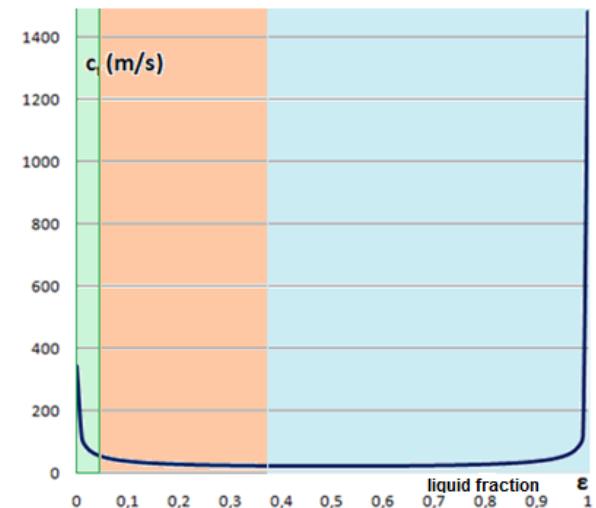
-fonction de la fraction de liquide ~constante

- $c_{mousse} < c_{air} < c_{eau}$

→ Haute compressibilité
du gaz $\chi_f = \varepsilon \chi_l + (1 - \varepsilon) \chi_g$

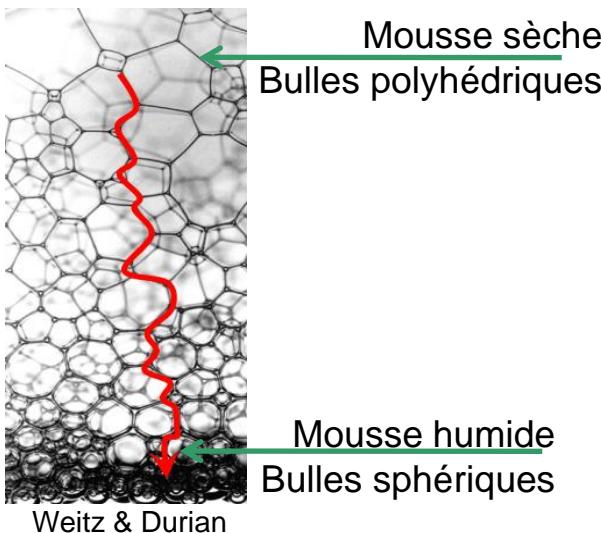
→ Haute densité du liquide

$$\rho_f = \varepsilon \rho_l + (1 - \varepsilon) \rho_g$$



4. Le vieillissement de la mousse

Drainage



- **Modèles :**

- Trinity ou channel dominated model
- Harvard ou node dominated model

(Weaire 1993)
(Stone 1999)

- **Contrôle par additions de particules:**

- magnétiques
- charbon

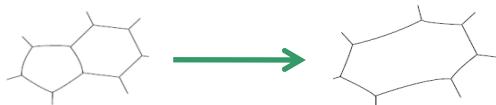
(Janiaud 2004)
(Britan 2007)

Mûrissement



- **Lois de Von Neumann/ Laplace pour une mousse sèche**
- **Contrôle avec un gaz non miscible: azote** (Gelfand 1978)

Coalescence



Aucun modèle

5.1 Caractérisation d'une mousse sous contrainte

En fonction du niveau de contrainte,
la mousse sous contrainte se comporte comme:

1) un solide viscoélastique

2) un fluide visqueux non newtonien =liquide rhéofluidifiant

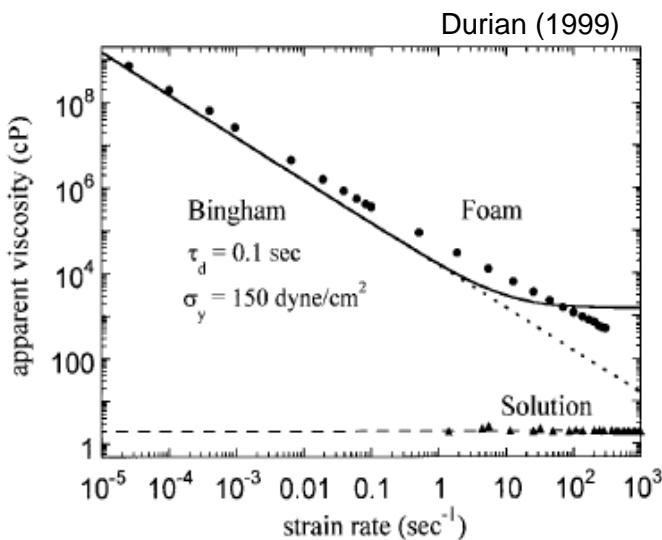


1)



2)

La viscosité de la mousse décroît avec le taux de cisaillement



Loi constitutive dite de type puissance
ou d'Ostwald-Wähle (Poncet,2012)

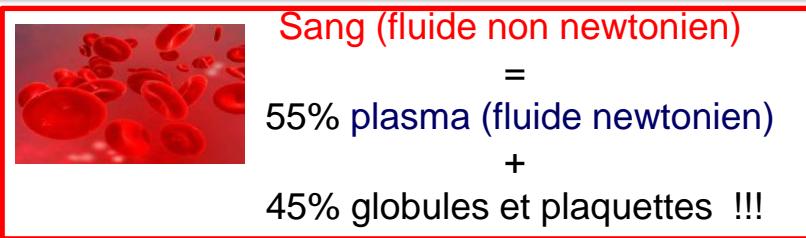
$$\mu_{app} = K |\gamma|^{n-1}$$

K indice de consistance (Pa.s^n)

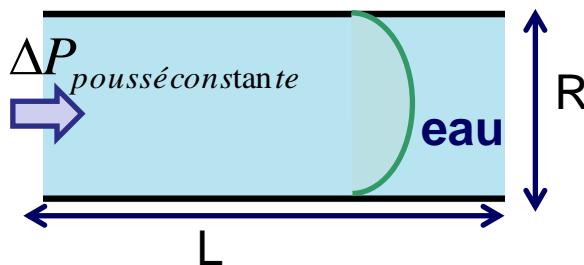
n indice de comportement

pour un liquide rhéofluidifiant: $n < 1$

5.2 Comment s'écoule la mousse dans les veines?



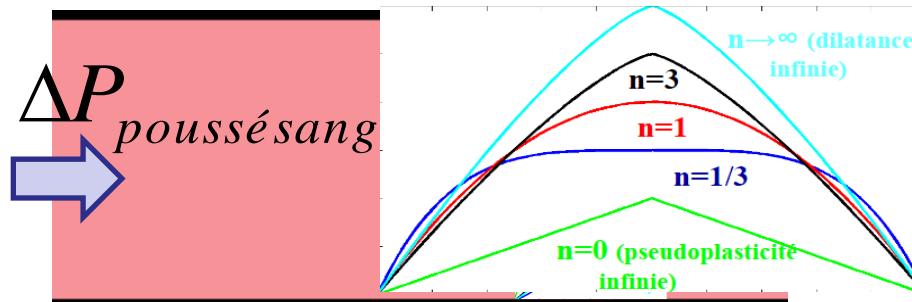
- Modélisation d'un fluide newtonien (=plasma) dans conduite cylindrique (=artère)



-> **Écoulement de Poiseuille** $V(r) = \frac{R^2 \Delta P}{4\mu L} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$

- Modélisation d'un fluide non newtonien (=mousse ou sang : $n < 1$) dans une veine

-> **Écoulement de type bouchon**



$$V(r) = \frac{nR}{n+1} \left(\frac{R \Delta P}{2LK} \right)^{1/n} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right)$$

avec $\mu_{app} = K |\gamma|^{n-1}$

si ΔP ou $R \uparrow$ alors $V(r) \uparrow$
 si $L \downarrow$ alors $V(r) \uparrow$
 $V(r)$ dépendant de la viscosité

6.2 Applications de la mousse aqueuse dans l'industrie

Sadoun (2010)



<http://www.darpa.mil>

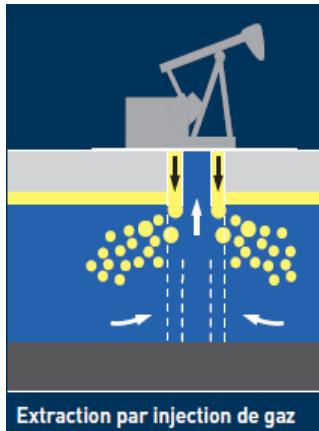
•Médicale:

- mousse sclérosante
- tensio-actif : polidocanol
- but: traiter les varices



<http://www.erdoel-vereinigung.ch/>

- mousse DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)
- formation: par voie chimique (genre polyuréthane)
- but: suspendre l'hémorragie



•Pétrochimie:

Extraction du pétrole en injectant le gaz naturel autour du trou de forage. Le gaz se mélange alors au pétrole pour former une légère mousse qui remonte à la surface.

6.3 Applications de la mousse aqueuse

•Pyrotechnie :

➤ Trois actions contre le feu

- empêcher l'apport d'oxygène
- arrêter l'émission de vapeurs inflammables,
- refroidir la surface par l'eau

<http://www.pompier-pertuis.fr/>



➤ Réduction des effets des explosions

Dès 1960, la mousse fut utilisé pour réduire les effets d'une explosion dans les mines de charbon

- but recherché: atténuer les surpressions d'une onde de choc et ralentir les fragments
- mes premières expériences:
atténuation des surpressions de 80% pour une onde incidente de 0.5 bar de surpression
- ...toujours en élaboration d'une mousse et configuration idéal



•Nucléaire

Dès 1980 : la mousse décontaminante
but : capturer les particules NBCR
ex. industriel d' Allen Vanguard :
tente balistique + mousse DOLLY



<https://www.rkb.us>



<https://www.allenvanguard.com>

Les caractéristiques des mousses sont bien difficiles à déterminer du fait du type de génération et la complexité de leurs structures.

Cependant l'ingénierie de la mousse et les recherches dans ces domaines ont un bel avenir puisqu'elles ont de nombreuses d'applications dans des domaines aussi variés que la cosmétique, le médicale, ou le militaire.

Pour répondre à la question « **les mousses ça marchent mais pourquoi?** », il est important de réaliser plusieurs expériences sur la mousse.

Ainsi la mousse idéale recherchée se doit d'être:

- Reproductible**
- Stable**
- Monodisperse**

Pour générer ce type de mousse, **il est souhaitable d'améliorer:**

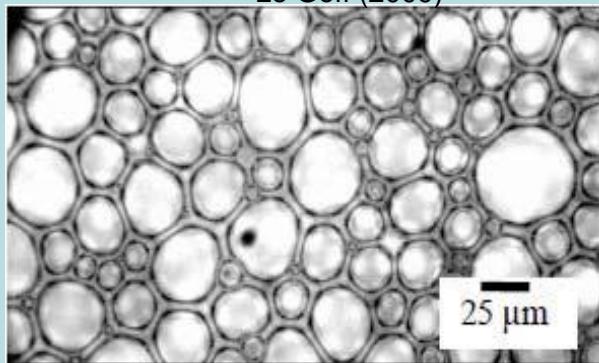
- Les moyens de génération**
- Les techniques de mesure** en utilisant par exemple la tomographie (vision 3D des mousses)
- Le liquide moussant** (ajout de particules pour ralentir le vieillissement, azote...)

6.1 Applications courantes de la mousse aqueuse dans l'industrie

	Cosmétique	Alimentaire
exemple	mousse à raser	mayonnaise
tensioactif	SDS + laureth 23	protéine du jaune (lécithine)
système de génération	par gaz comprimé (propane, isobutane)	par agitation
but	gonfle le poil	Miam!



Le Goff (2009)



<http://www7.clermont.inra.fr>

