



Jonathan DAIRON

Yves GAILLARD

Mousses métalliques CTIF

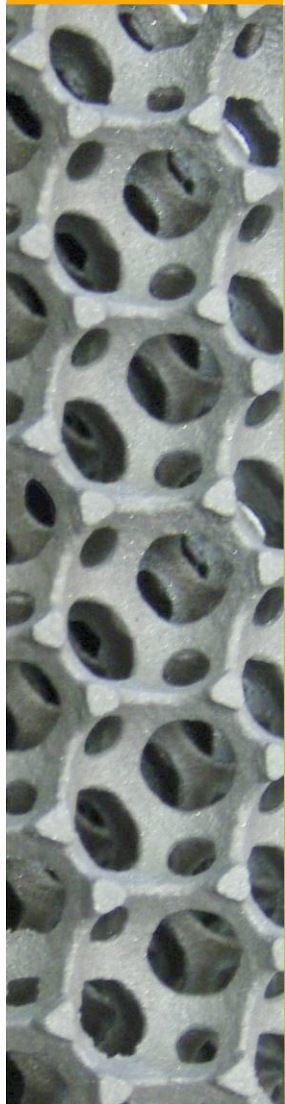
Journée SFT – Sèvres (25/11/2010) :
Mousses Métalliques, Applications en échangeurs thermiques et réacteurs





Plan

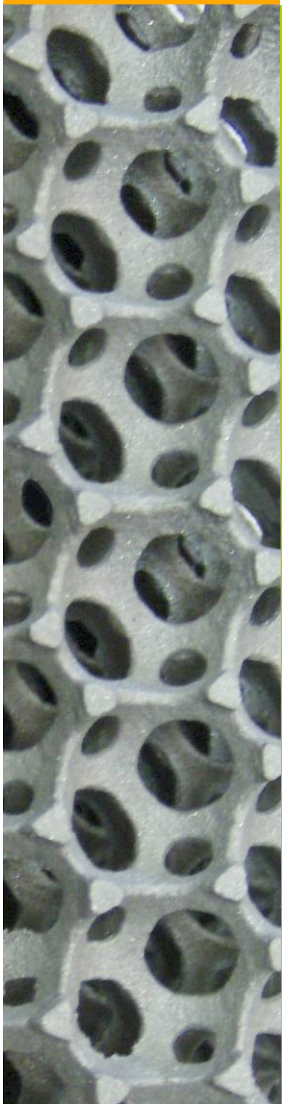
Plan



- 1- Principe de fabrication des mousses CTIF
 - Techniques d'infiltration
 - Technique CTIF
- 2 – Fabrication de pièces en mousse stochastique munies de peaux
 - Surmoulage
 - Agglomération de précurseurs
 - Structure intermédiaire
- 3 – Mousses régulières
- 4 – Performances des mousses CTIF dans le domaine de l'échange thermique



1 – Principe
techniques CTIF



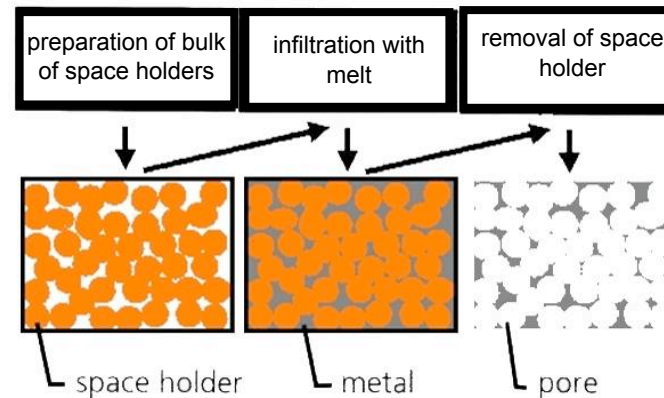
1 – Principe de fabrication des mousses CTIF



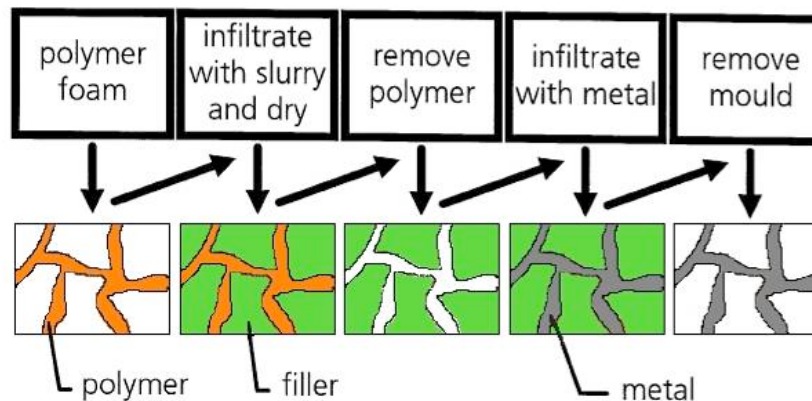
Techniques d'infiltration

- 2 principales familles

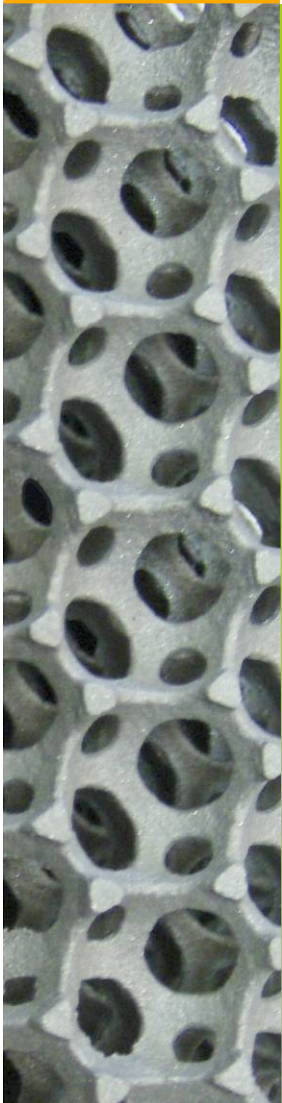
- Infiltration de précurseurs



- Moulage à modèle perdu



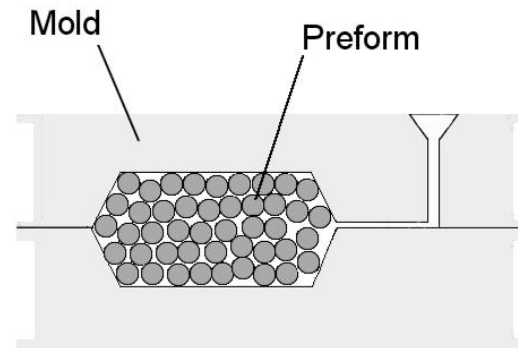
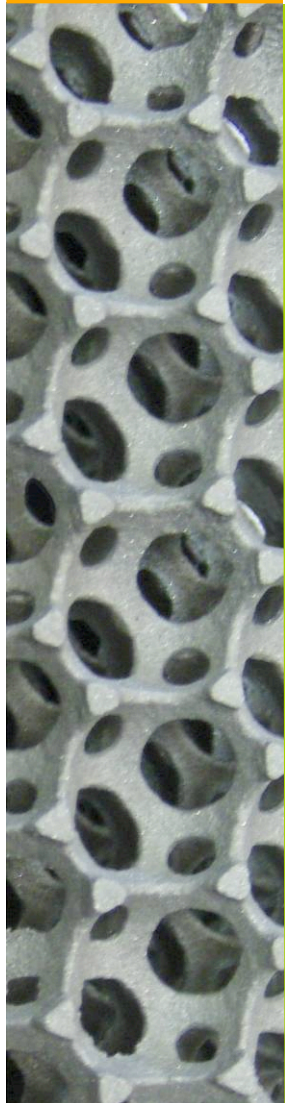
Source:
J. Banhart, Progress in
Materials Science 46,
559 - 632 (2001)



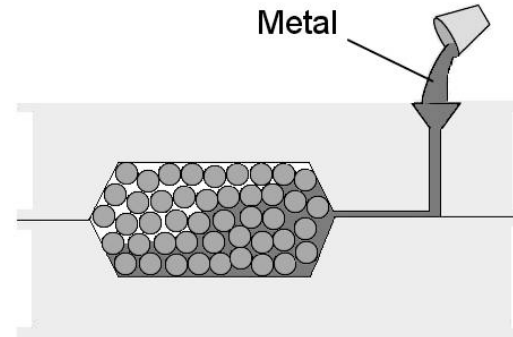


Techniques d'infiltration

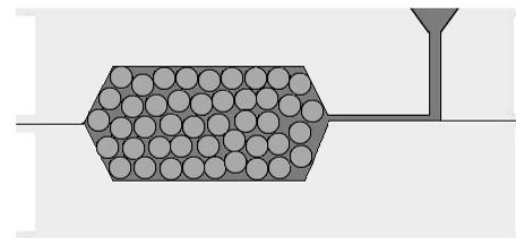
- Technique de base CTIF : infiltration de précurseurs



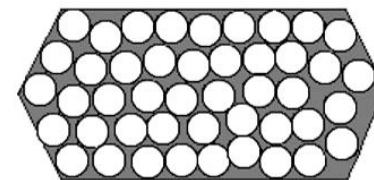
1 - Preform within the mold



2 - Metal pouring



3 - Solidification



4 - Metallic sponge, got after removal of preform

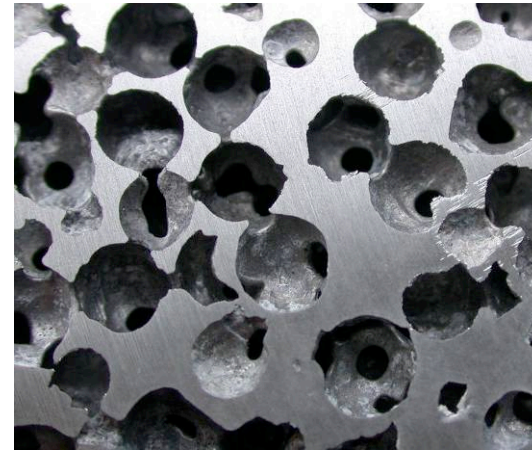


Infiltration de précurseurs

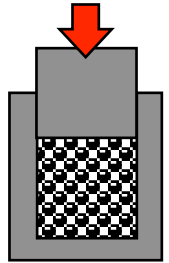

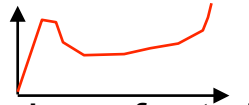


■ Précurseurs

- Forme
 - Agrégats
 - Sphères
- Matériau
 - Sel
 - Sable aggloméré
 - Céramique
 - Polystyrène



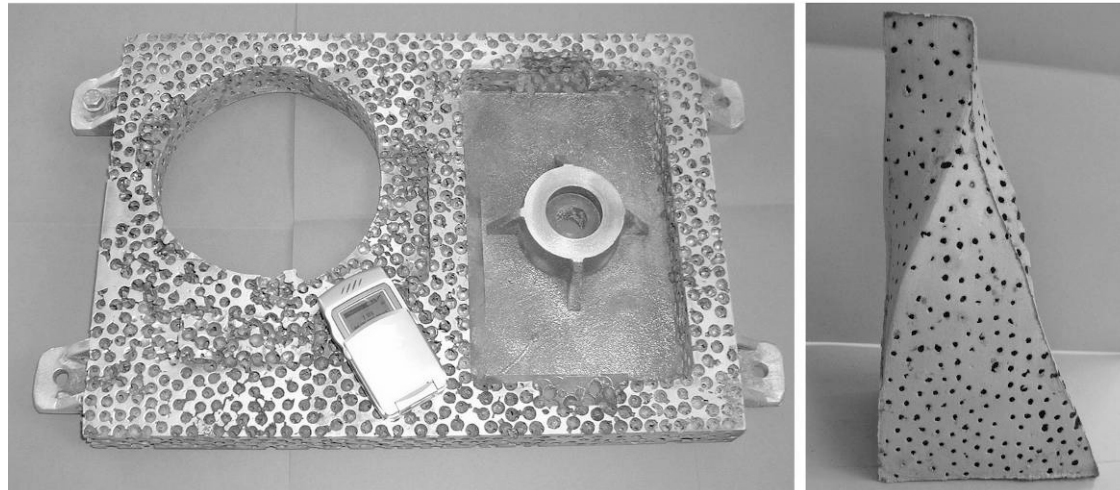
■ Caractéristiques de la mousse

- Taux de porosité (sphères) : ~ 65%  85%
- Taille de cellule : > 100 μm ;  }  } --- [3 mm - 15mm]
- Alliages testés à CTIF: aluminium, fonte



Infiltration de précurseurs

■ Exemples de pièces



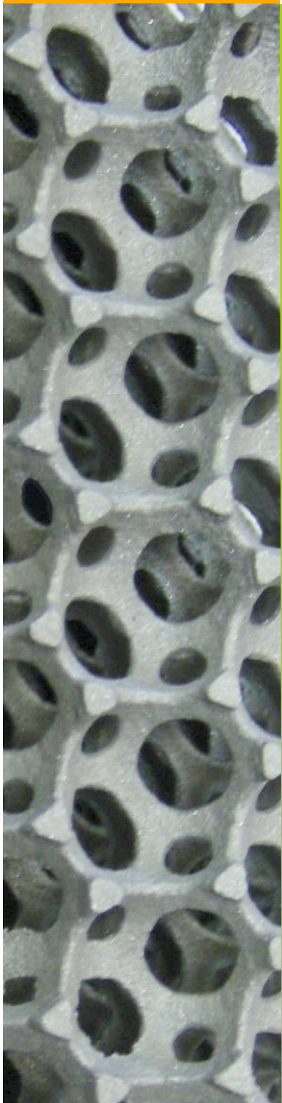
■ Avantages

- Formes complexes
- Structures cellulaires contrôlée
- Composition du métal choisie

■ Inconvénient

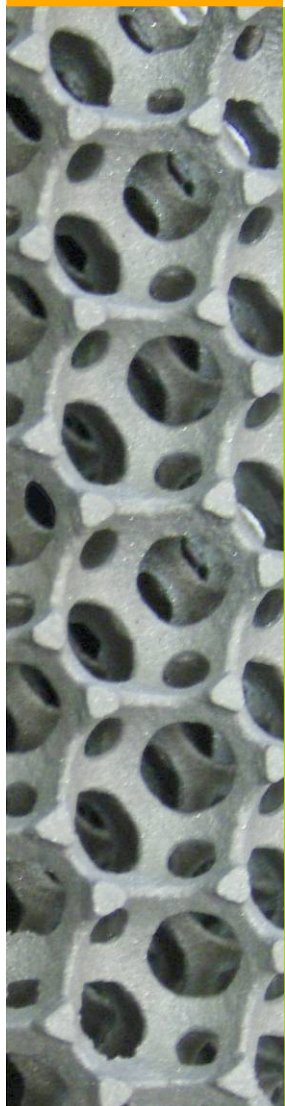
(pour certaines applications)

- Peau perforée





2 – Mousses
stochastiques



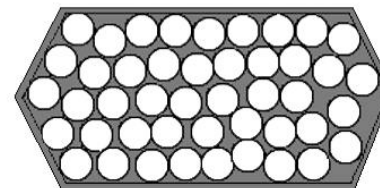
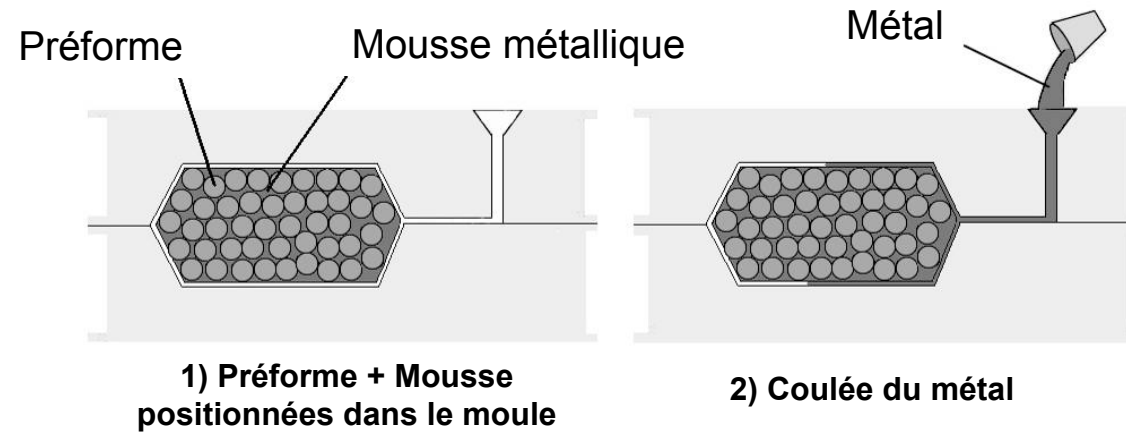
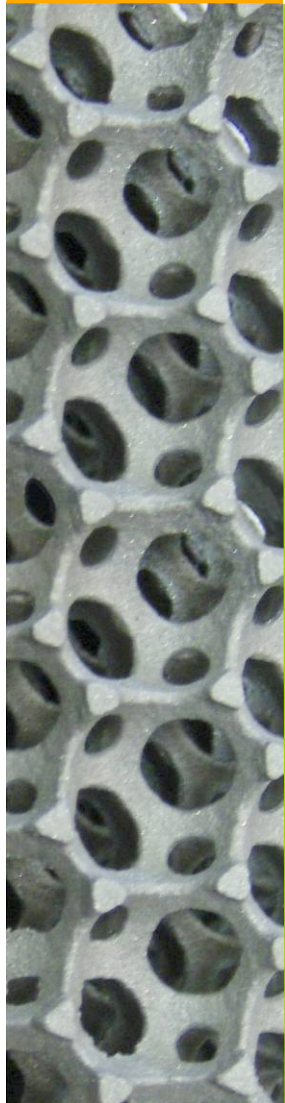
2 – Mousses stochastiques



2 – Mousses
stochastiques

Surmoulage

■ Principe



3) Pièce finale, après extraction de la préforme



2 – Mousse
stochastiques

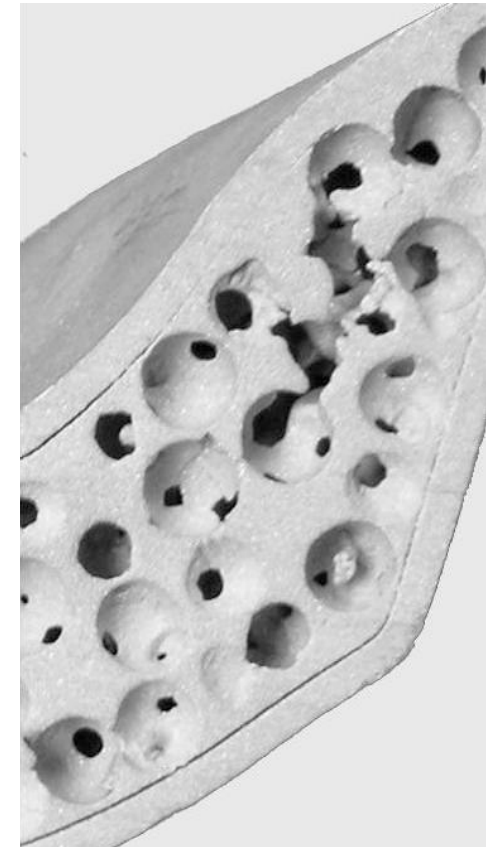
Surmoulage

■ Avantages

- Economique
- Composition peau choisie
(peut être différente de celle de la mousse)

■ Inconvénients

- Liaison mécanique seulement
- Barrière thermique entre la
mousse et la peau



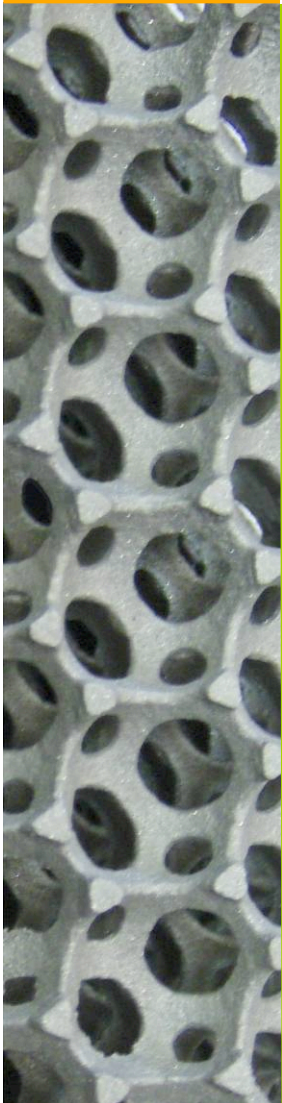
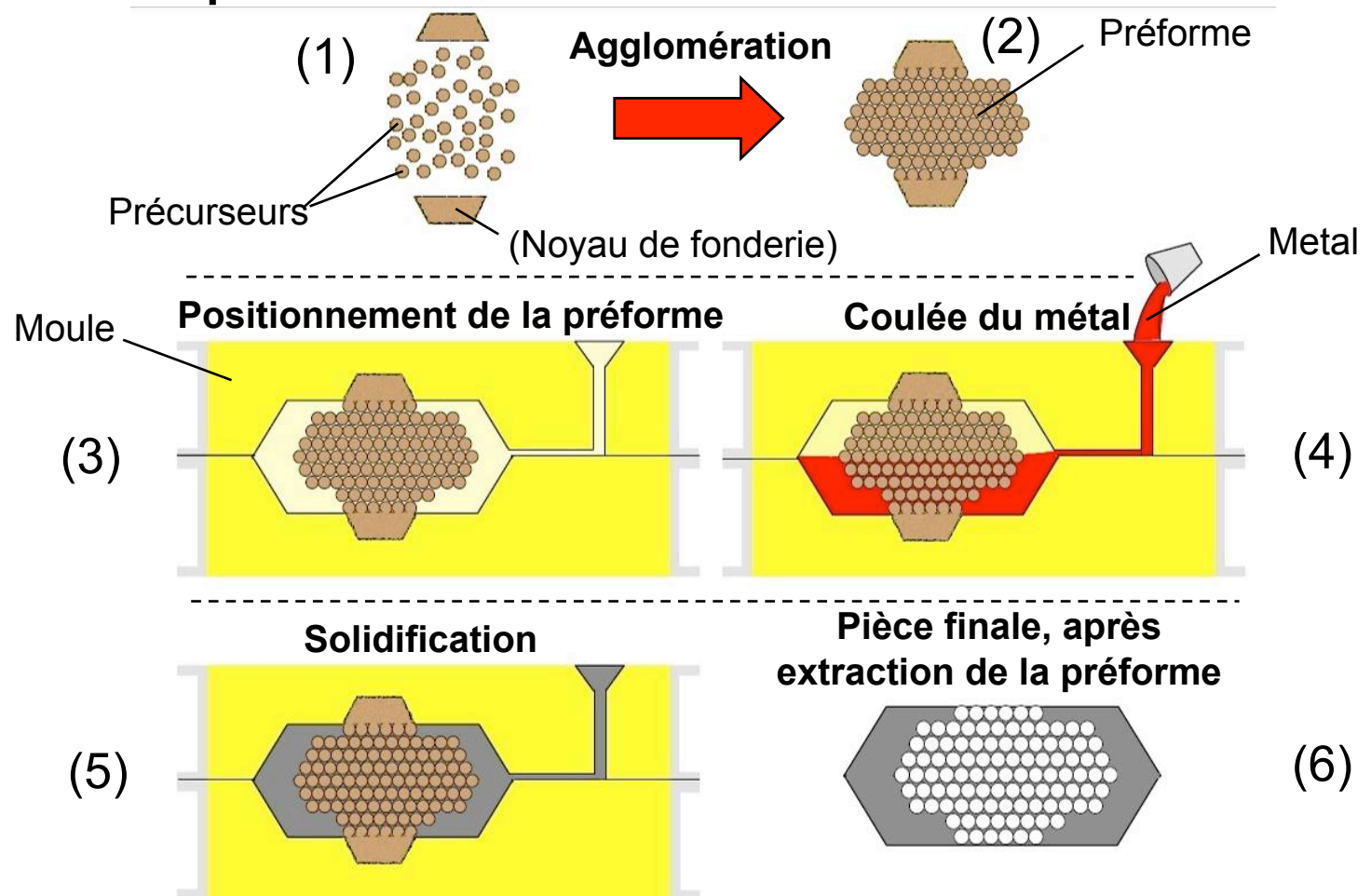
Détail d'un prototype industriel





Agglomération de précurseurs

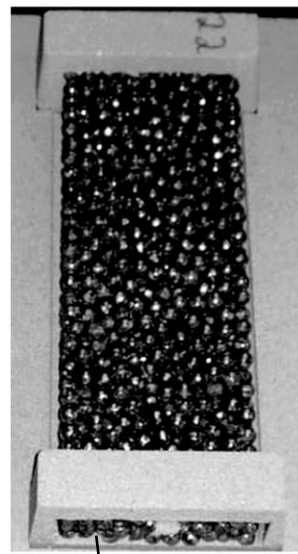
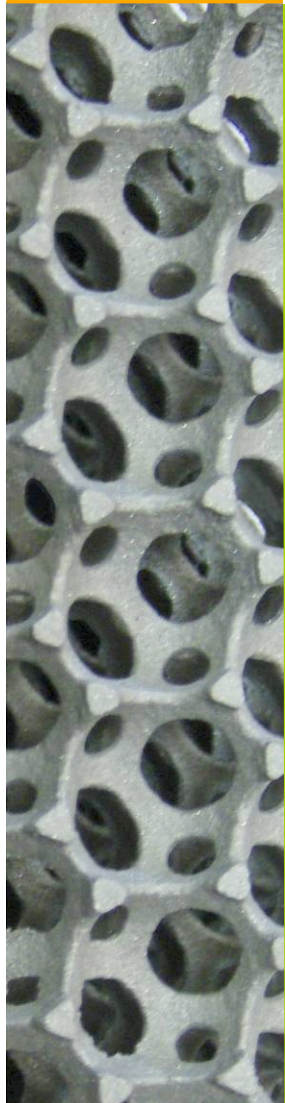
■ Principe



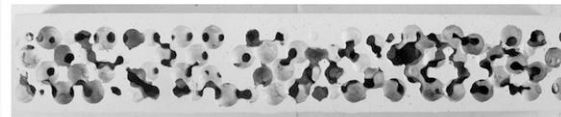
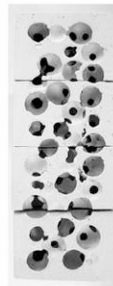
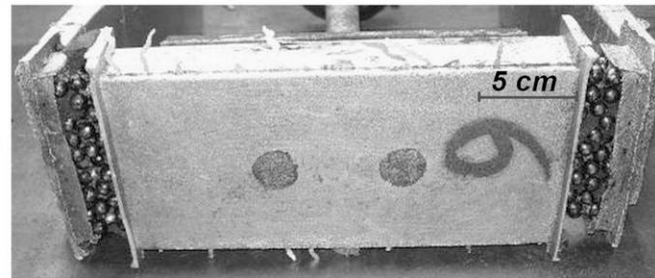


Agglomération de précurseurs

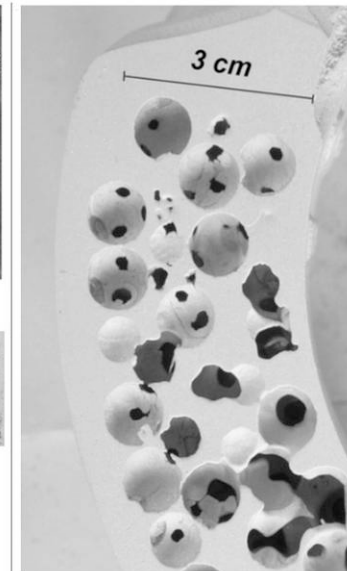
- Exemples de pièces



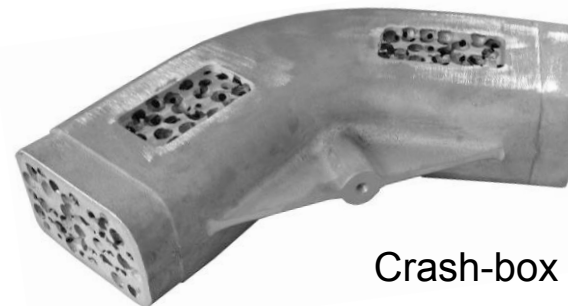
Préforme pour fabriquer un
panneau cellulaire



Panneau cellulaire



Détail d'un
prototype
industriel



Crash-box



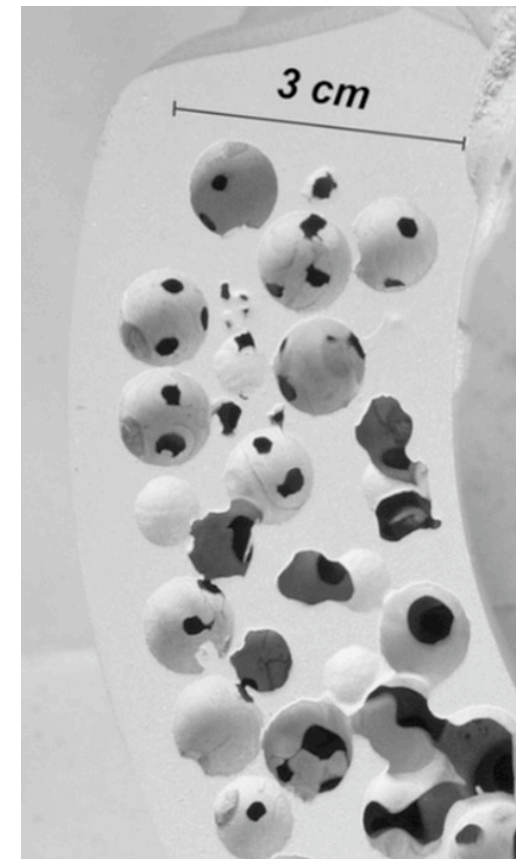
Agglomération de précurseurs

■ Avantages

- Continuité métallurgique
(Essentielle en échange thermique)
- Pièces fabriquées en une
seule fois

■ Difficultés

- Trouver le bon liant
(résistant et qui ne dégage pas de
gaz)



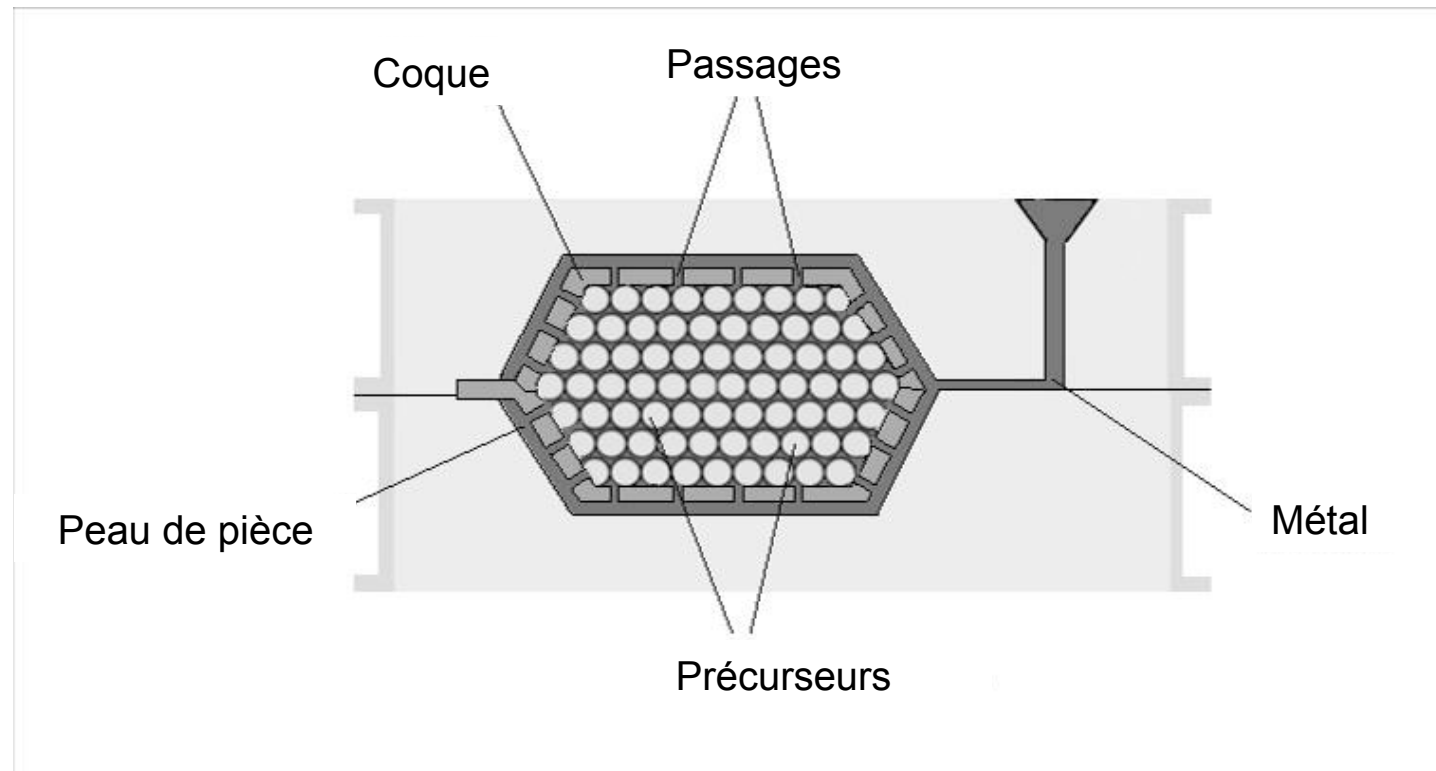
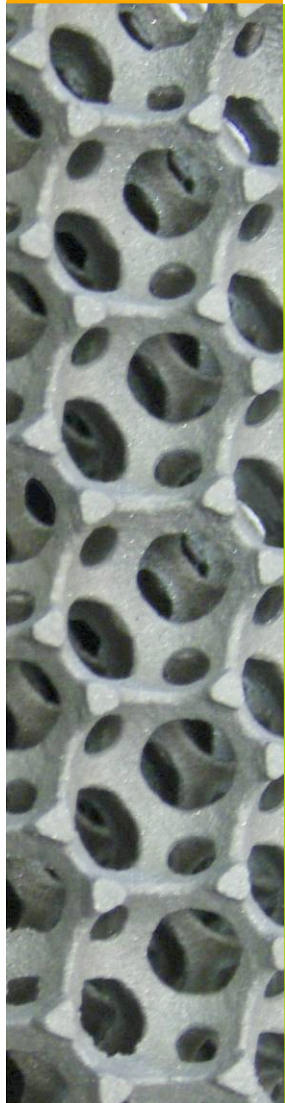
Détail d'un prototype industriel



2 - Mousses
stochastiques

Structure intermédiaire

■ Principe

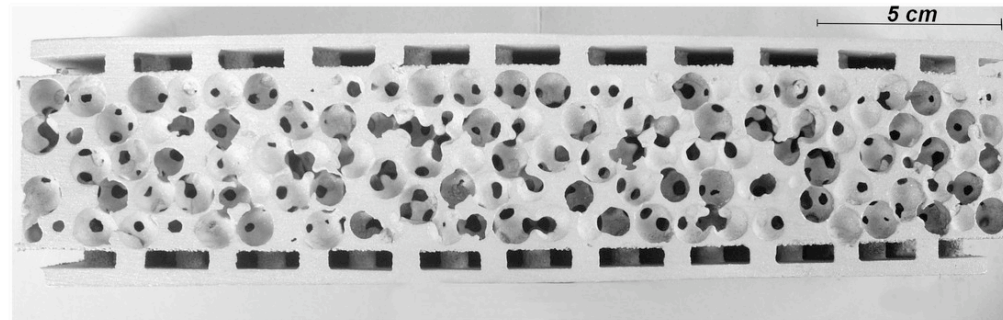




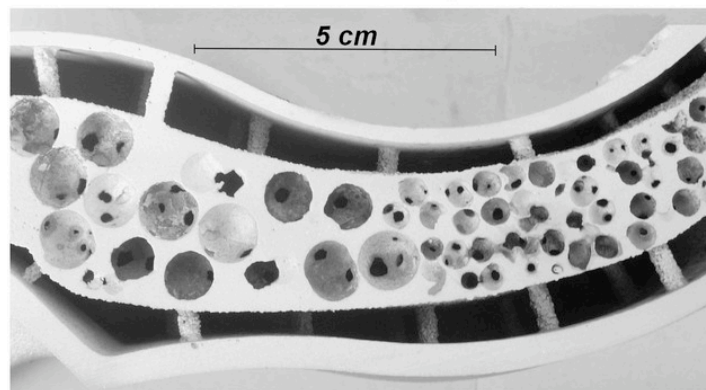
2 - Mousses
stochastiques

Structure intermédiaire

- Exemples de pièces



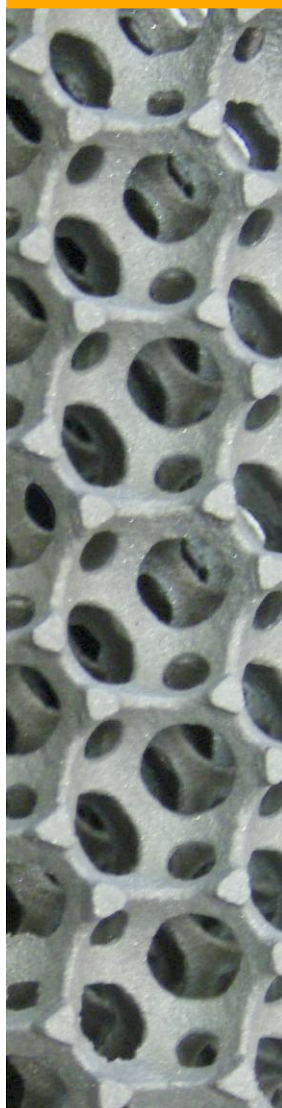
Panneau cellulaire



Détail d'un prototype industriel



Crash-box





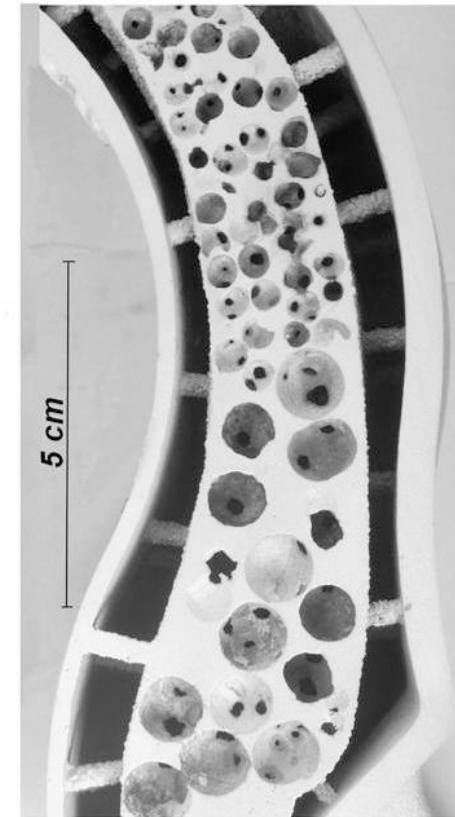
Structure intermédiaire

■ Avantages

- Pièces fabriquées en une seule fois
- Structure intermédiaire : peut être « optimisée »
(ex : pour éviter le pic de force, dû à la peau, en crash)

■ Inconvénient

- Structure intermédiaire : peut dégrader la performance de la mousse
(ex. : chemin d'écoulement privilégié en échange thermique)

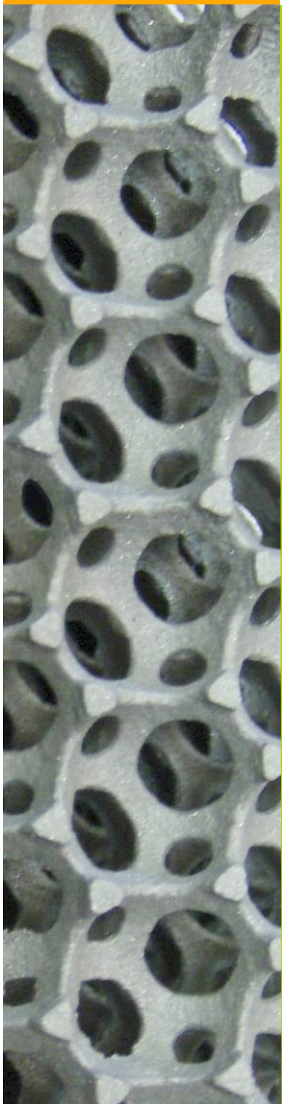


Détail d'un prototype industriel





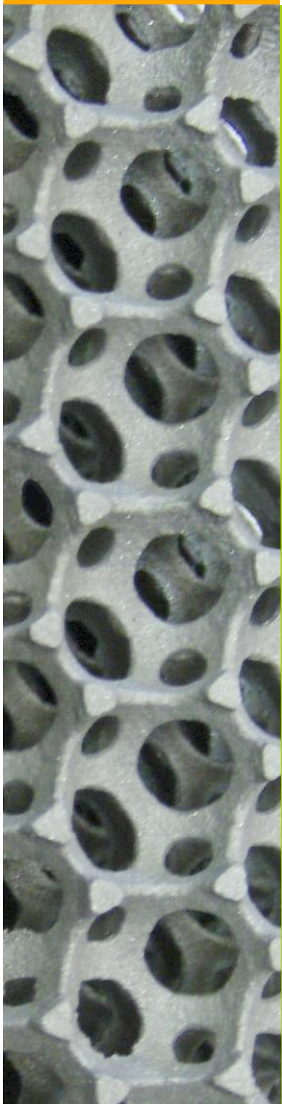
3 – Mousse régulière



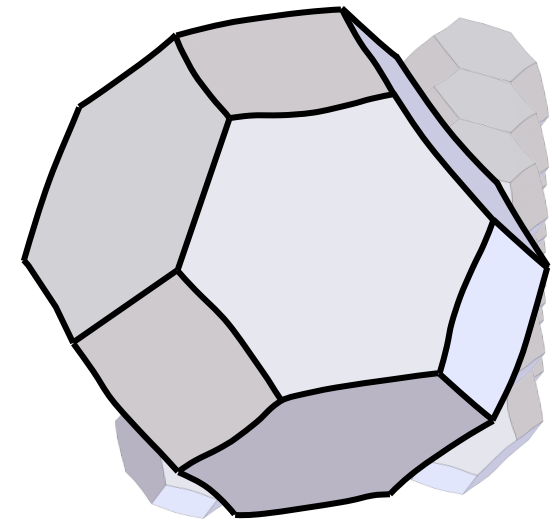
3 – Mousses régulières



Structure de Kelvin



- Mousse parfaite ? (mousse monodispersée)
 - Cellules de volume identique
 - Périodique
 - Respect des lois de Plateau (angles)
 - Energie de surface minimale



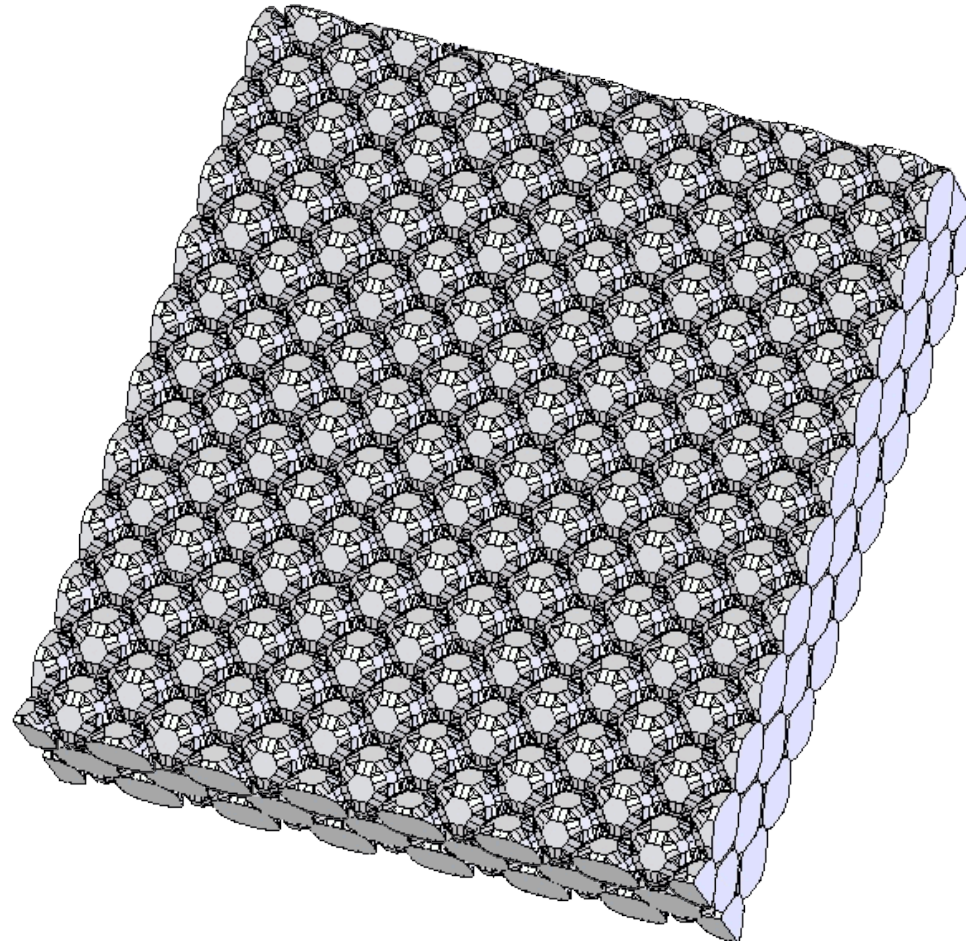
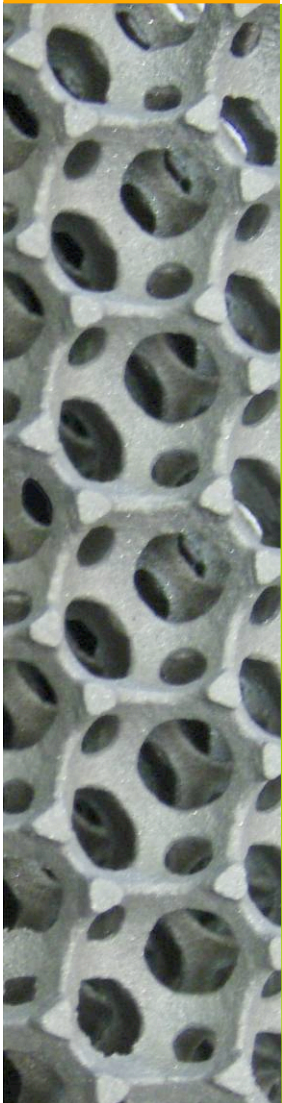
➔ Solution proche : structure de Kelvin (1887)



3 – Mousse régulière

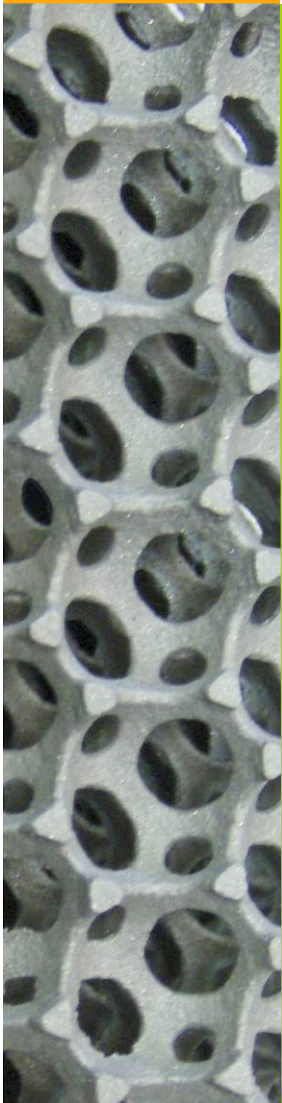
Mousses régulières

- Principe





Mousses régulières



■ Fabrication par fonderie

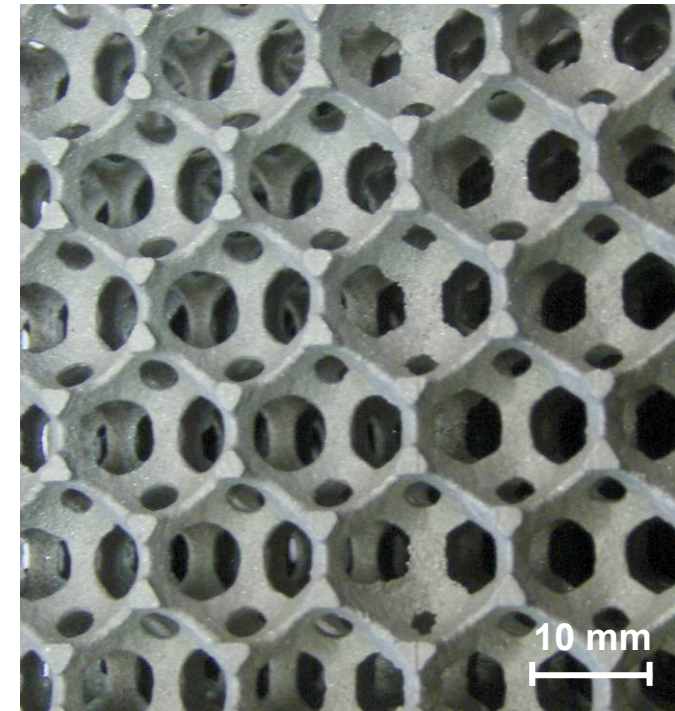
- Préforme = Sable aggloméré (cold box)
- Toute forme de préforme possible (grâce à l'outillage ou en usinant)

■ Mousse

- Taux de porosité : 80 % - 90 %
- Taille de cellule : > 10 mm
- Alliages testés à CTIF : Acier, Fonte, Cuivre, Aluminium

■ Avantages

- Technique de fonderie « classique »
- Produit régulier (facilité de modélisation, confiance...)
- Continuité métallurgique entre la mousse et la peau

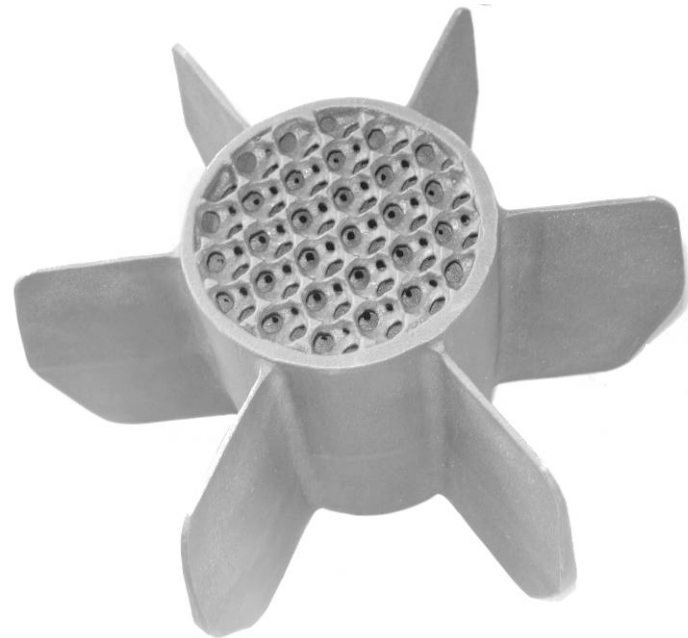
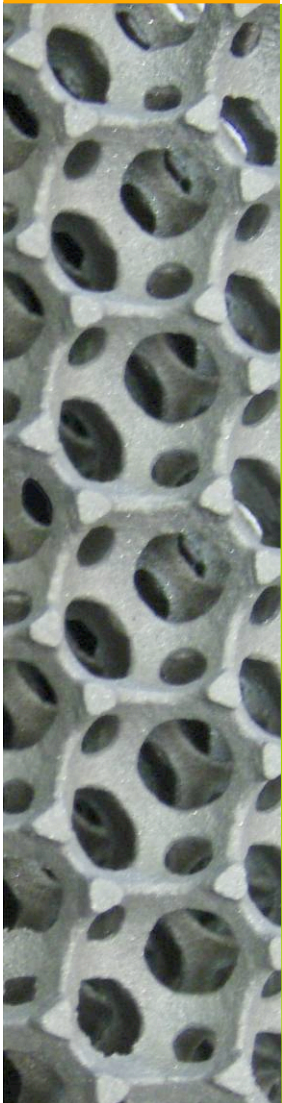




3 – Mousse régulière

Mousses régulières

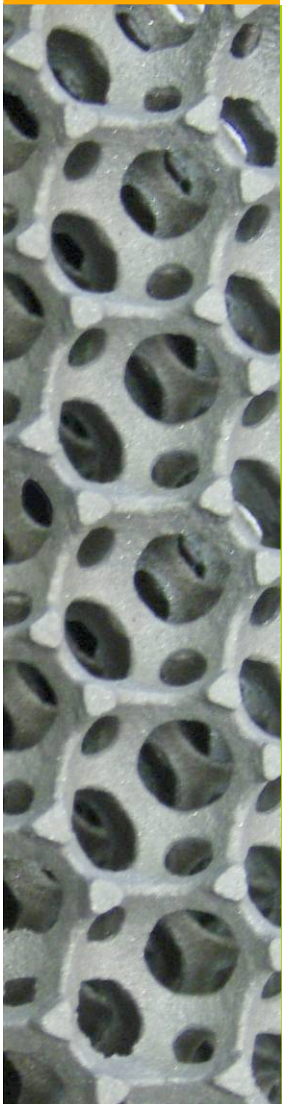
- Exemples de pièces



Echangeur de chaleur en cuivre



Élément tubulaire en Fonte



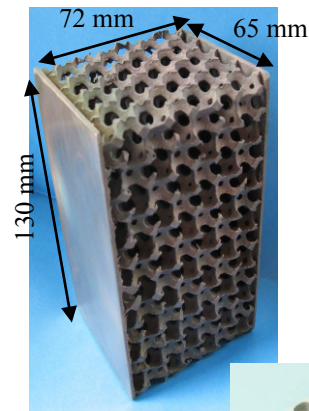
4 - Performances des mousses CTIF dans le domaine de l'échange thermique



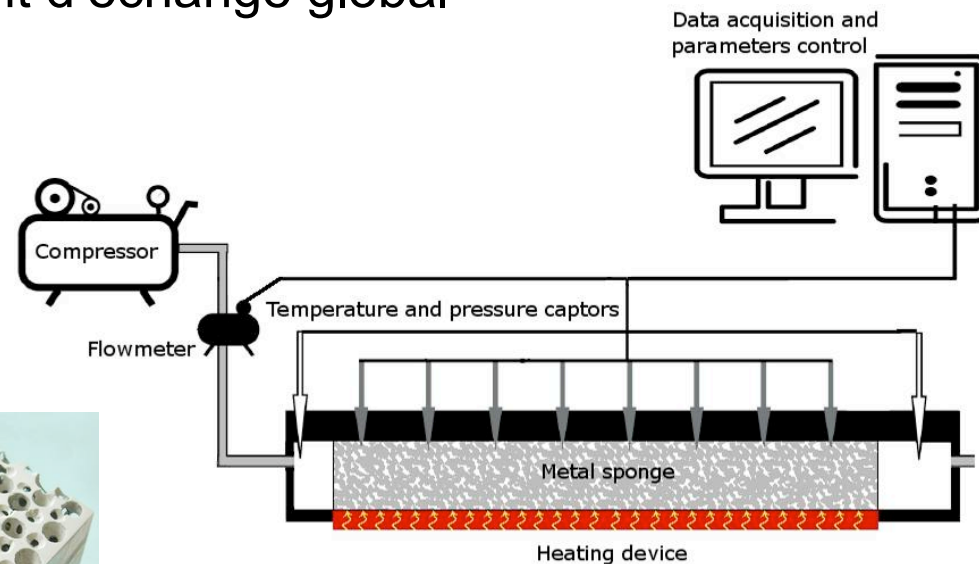
Performances en échange thermique

■ Montage expérimental (IUSTI)

- Coefficients de pertes de charge
- Coefficient d'échange global



Exemple de 2 blocs de mousse avec peau utilisés pour les essais

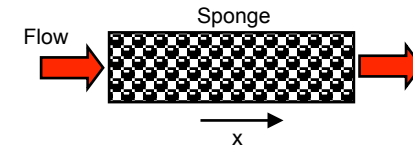




Performances en échange thermique

■ Pertes de charge

- Essais avec de l'air
- Identification des termes avec ceux de la loi Forchheimer (en tenant compte de la compressibilité de l'air [1]) :



$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\mu}{K} \cdot U(x) + \beta \cdot \rho \cdot U^2(x)$$

Variables d'écoulement :

P : Pression [Pa]

U : vitesse superficielle
(= débit / section mousse) [m.s⁻¹]

Propriétés du fluide :

μ : viscosité dynamique [Pa.s]

ρ : masse volumique [kg.m⁻³]

Propriétés de la mousse :

K : Perméabilité [m²]

β : Coefficient d'inertie [m⁻¹]

[1] J.-P. Bonnet, "Phénomènes de transport dans les mousses métalliques : approche expérimentale des écoulements monophasiques et liquide-gaz", Thèse, Université de Provence Aix-Marseille 1 (2007)

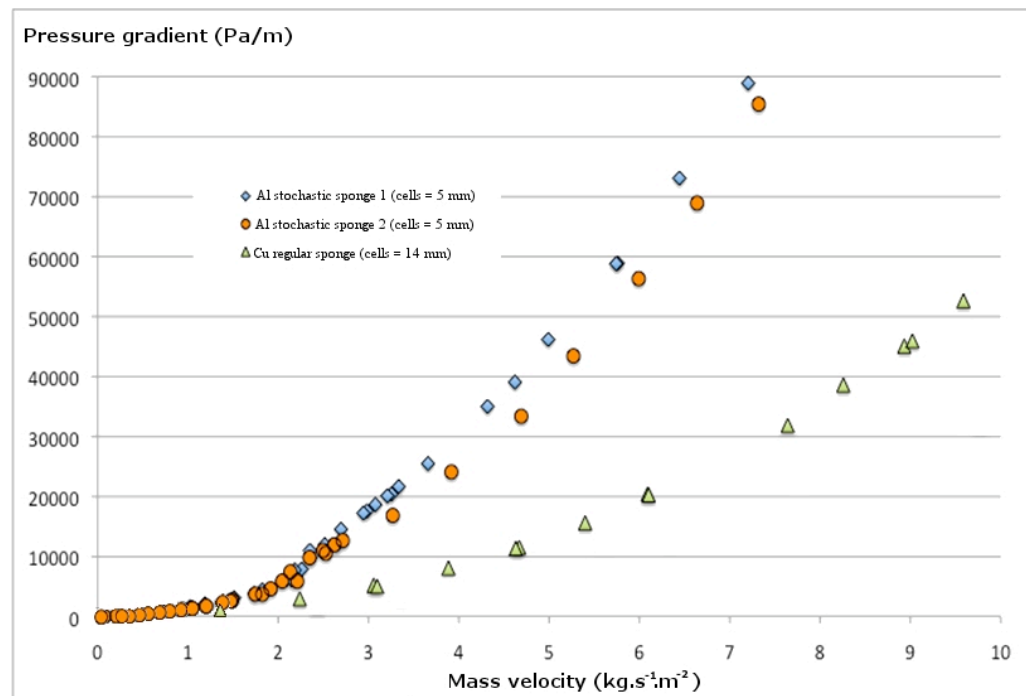


Performances en échange thermique

■ Pertes de charge

- Mesures expérimentale

- Identification



Mousse stochastique Al (A5) (cellules = 5 mm)

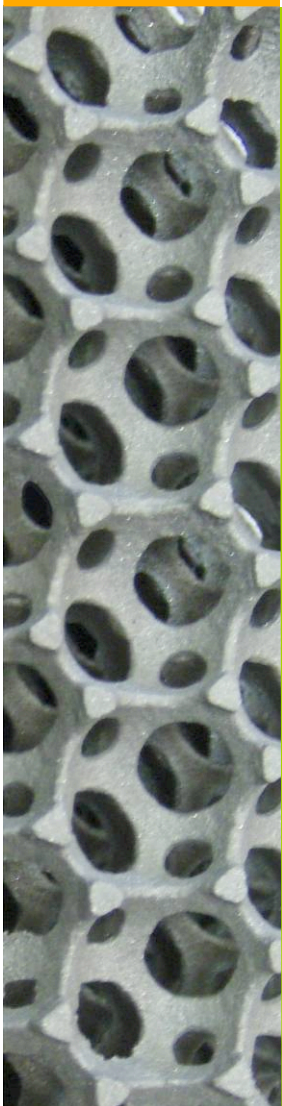
$$K = 7,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$$

$$\beta = 2270 \text{ m}^{-1}$$

Mousse régulière Cu (cellules = 14 mm)

$$K = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$\beta = 1010 \text{ m}^{-1}$$





Performances en échange thermique

■ Echange thermique

- Mesures avec de l'air
- Echange de chaleur global :

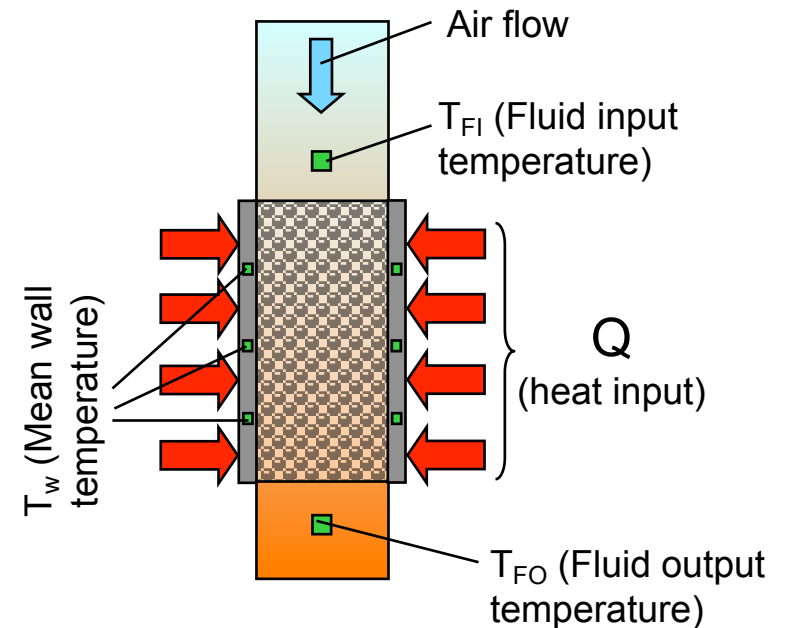
$$h_g = \frac{Q}{S \cdot \Delta T}$$

Avec :

Q : Chaleur transmise aux parois du bloc de mousse [W]

S : Surface des parois du bloc de mousse [m²]

ΔT : Différence de température moyenne entre les parois du bloc et l'air [K]



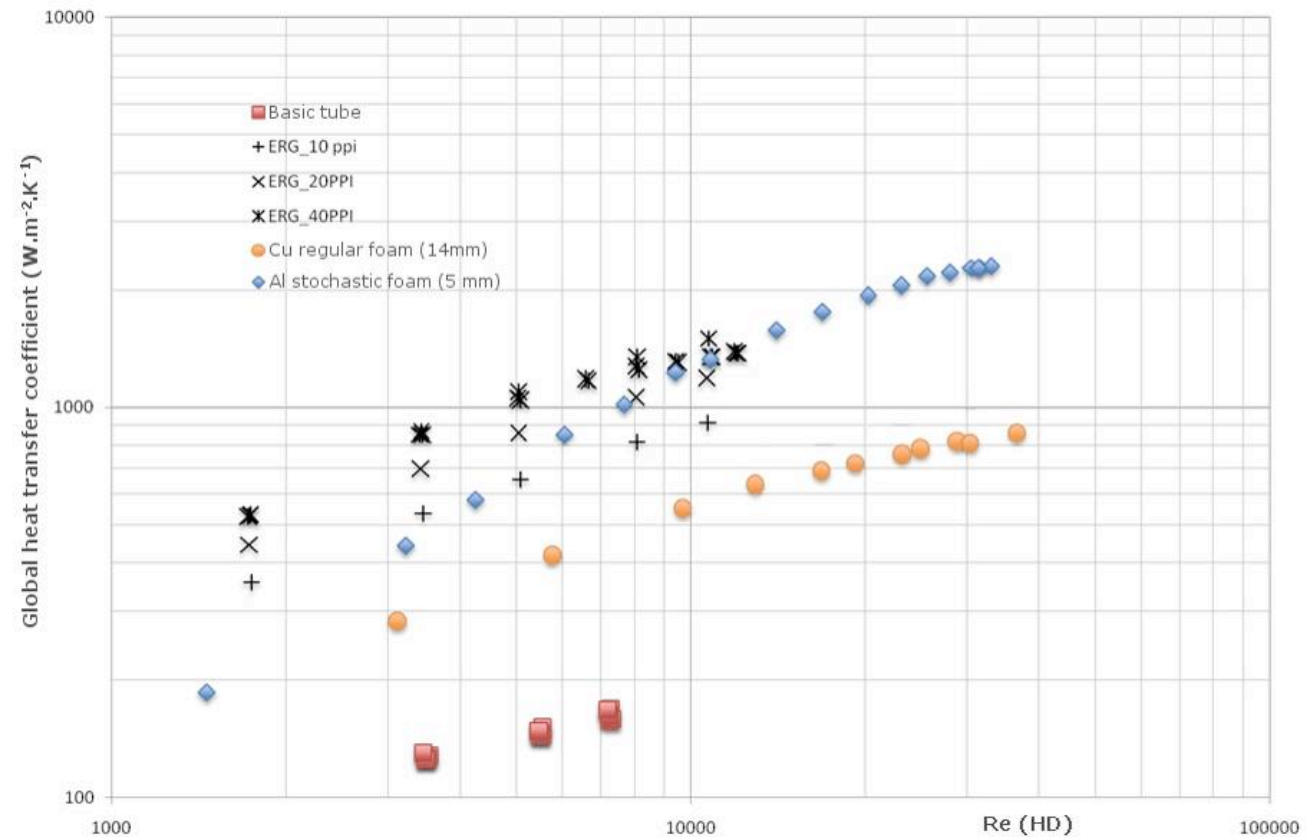
$$\Delta T = \frac{T_w - \left(\frac{T_{FI} + T_{FO}}{2} \right)}{2}$$



Performances en échange thermique

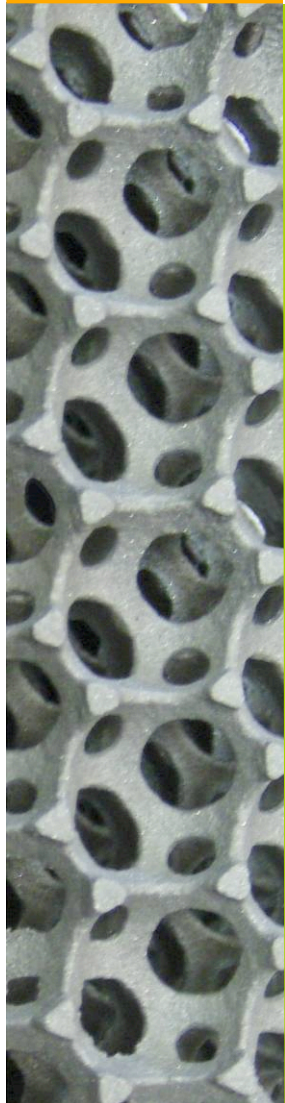
■ Echange thermique

- Comparaison des performances avec d'autres mousses métalliques





Questions



Merci de votre attention

Questions ?