





Sujet de thèse

Modélisation du comportement des joints à brosse en carbone

Nom et Prénom : SOUISSI Ala

Encadrants: Mihai ARGHIR - Pprime

Didier LASSEUX - I2M

Lassad AMAMI - CETIM



Plan

Joint d'étanchéité à brosse

Structure filaire de la brosse

Perméabilité et interaction fluide structure

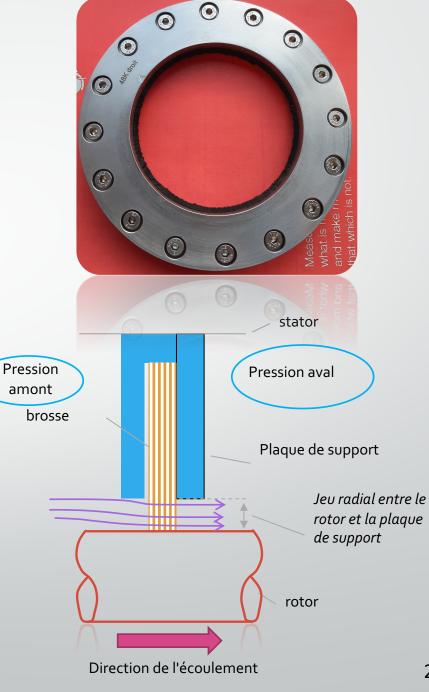
Dispositif expérimental

Conclusions et perspectives

Joint d'étanchéité à brosse en carbone

Joint d'étanchéité à brosse :

- Utilisé dans les turbomachines (industrie aéronautique, navale, production d'énergie, pompes et compresseurs).
- Diminuer les débits de fuites entre deux compartiments amont et aval.
- Brosse constitué de fils en carbone (Ø5 μm) compactés entre deux plaques annulaires et en interférence avec le rotor.
- Avantages:
- S'adapte aux vibrations du rotor et aux chocs.
- Résiste à la chaleur et aux frottements.
- Élimine les contaminants et les débris.



Fonctionnement:

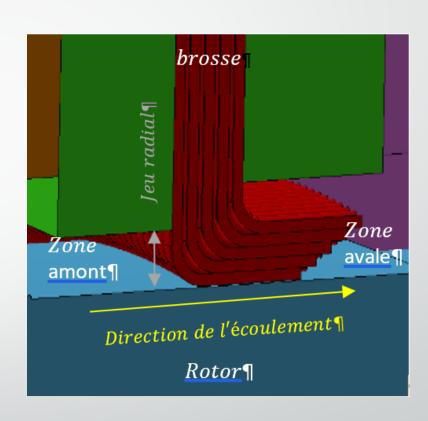
Diamètre des fils

Paramètres qui décrivent le fonctionnement d'un joint à brosse

Densité de la brosse

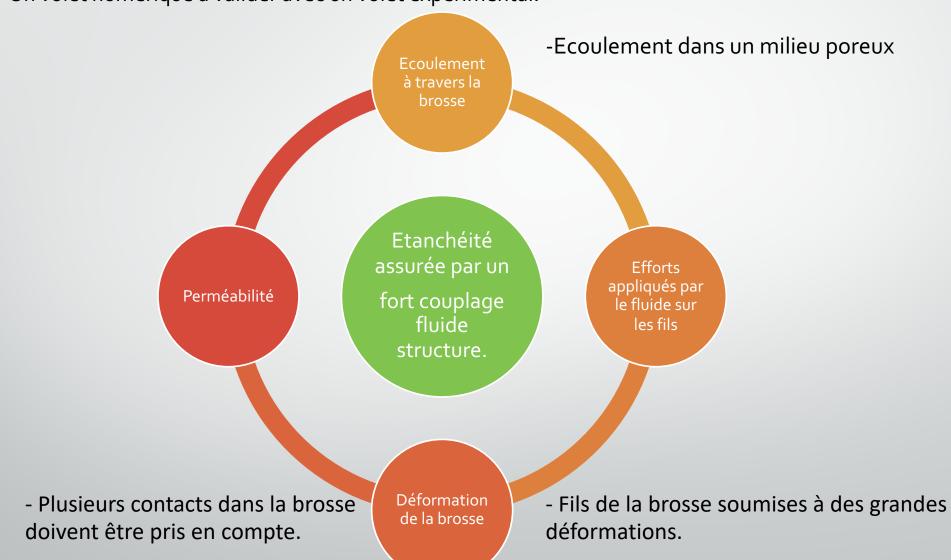
Epaisseur de la brosse

- Perméabilité assuré par la géométrie poreuse de la brosse qui comble le jeu radial entre le rotor et le stator.
- Caractérisé par un fort couplage entre l'écoulement du fluide et la déformation de la brosse.



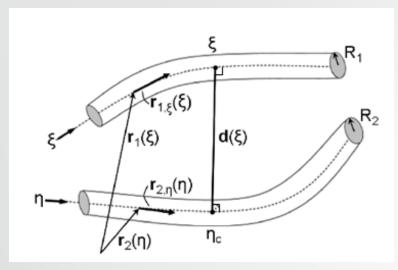
Etanchéité:

- Un volet numérique à valider avec un volet expérimental.



Structure filaire de la brosse

Etude d'un fil soumis à des grandes déformations:



Théorie de poutre de Kirchhoff:

$$\delta R(\boldsymbol{r}, \delta \boldsymbol{r}) = \delta \boldsymbol{r}^{T} \boldsymbol{f} - \delta \boldsymbol{r}'^{T} \left(\frac{\boldsymbol{r}'}{\|\boldsymbol{r}'\|^{2}} \times \boldsymbol{m} \right)$$

$$forces et moments concentrés$$

$$+ \int_{0}^{l} \left[\delta \boldsymbol{r}^{T} \tilde{\boldsymbol{f}} - \delta \boldsymbol{r}'^{T} \left(\frac{\boldsymbol{r}'}{\|\boldsymbol{r}'\|^{2}} \times \tilde{\boldsymbol{m}} \right) \right] ds$$

$$forces et moments distribués$$

$$- \int_{0}^{l} \left(\underbrace{\delta \boldsymbol{r}'^{T} E A \boldsymbol{h}_{1}}_{traction} + \delta \boldsymbol{r}'^{T} E I \boldsymbol{h}_{2} + \delta \boldsymbol{r}''^{T} E I \boldsymbol{h}_{4}}_{flexion} \right) ds (7)$$

$$\bar{r}(\xi, l) = \{x \ y \ Z\}^T = \overline{\bar{H}}(\xi)\bar{q} \ -1 \le \xi \le 1$$

- x, y et z sont les coordonnées de la poutre déformée
- $\overline{\overline{H}}$: Fonctions de forme hermitiennes
- $ar{q}$ vecteur des cordonnées de la poutre déformée
- f et m sont les forces et les moments appliquées suivant les axes x, y et z degrés de libertés par nœud.

Solution obtenue par la méthode Newton-Raphson.

Exemple de résultats:

• Poutre soumise à des forces :





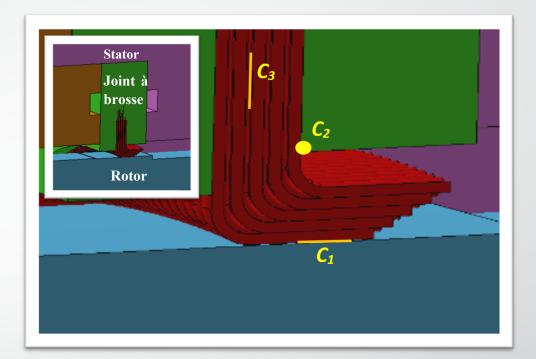
Poutre soumise à un moment:

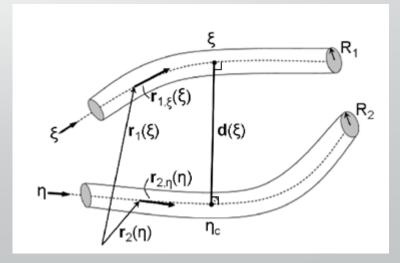




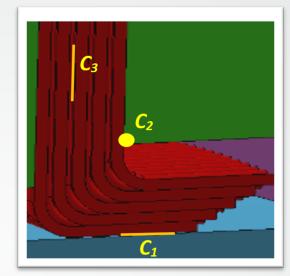
Résolution des contacts dans la structure filaire :

- On distingue 3 types de contacts:
- Contact fil/rotor C1
- Contact fil/plaque avale C2
- Contact fil/fil C3
- Les contacts sont évalués à l'aide d'une fonction gap tel que :
- $gap(\xi) = d_{bl}(\xi) (R_1 + R_2)$
- Condition de contact $gap(\xi_c, \eta_c) \leq 0$
- Méthode de pénalité : $\frac{1}{2} \varepsilon \langle gap \rangle^2$
- Force de contact : $f_{c\varepsilon} = -\varepsilon < gap > n$
- Vecteur normal : $oldsymbol{n} = rac{r_1(\xi_c) r_2(\eta_c)}{\|r_1(\xi_c) r_2(\eta_c)\|}$

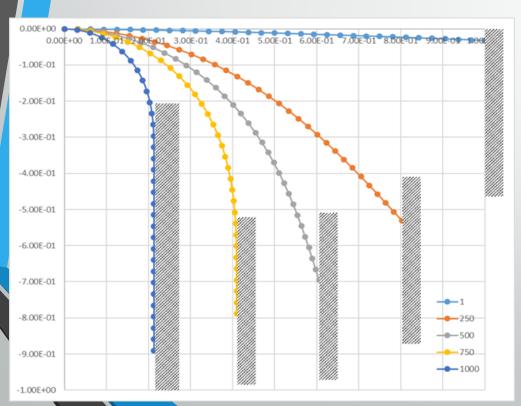




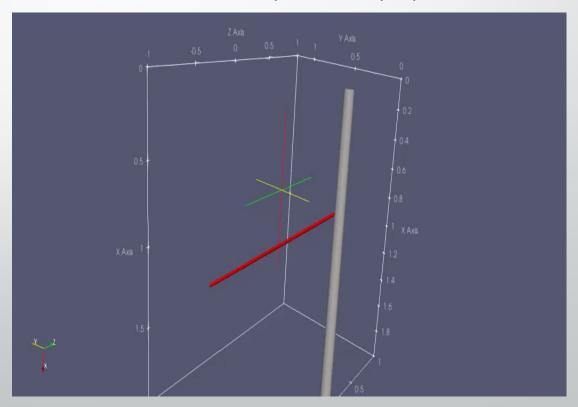
Exemple de résultats:



Interférence entre une poutre 2D et le rotor C1



❖ Interférence entre une poutre et la plaque aval C2

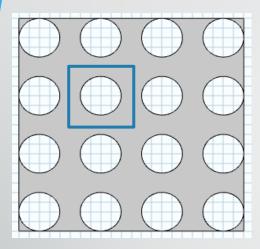


Perméabilité et interaction fluide structure

Détermination de la perméabilité en 2D

Deux réseaux adoptées :

Réseau cubique

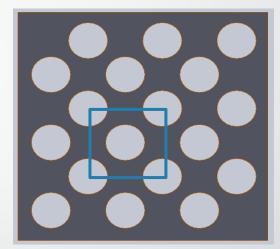


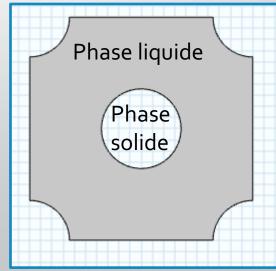
Phase liquide



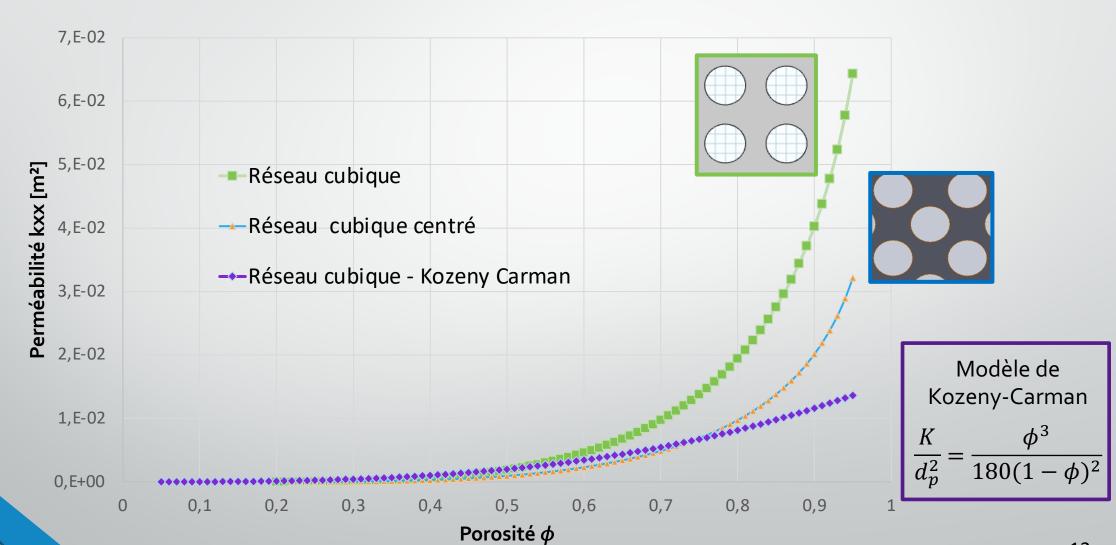
- Equation de Darcy : $\langle \boldsymbol{v} \rangle = -\frac{\boldsymbol{K}}{\mu} . \nabla_{\boldsymbol{x}} \langle p \rangle^{\beta}$
- Conditions de périodicités suivant x et y.
- Plage de porosité ϕ entre 0.2 0.95
- $\phi = \frac{V_{\beta}}{V}$

☐ Réseau cubique centré





Courbe de la perméabilité en fonction de la porosité

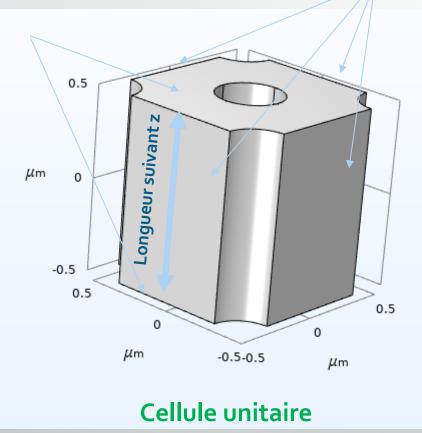


• Effets des conditions aux limites en 3D

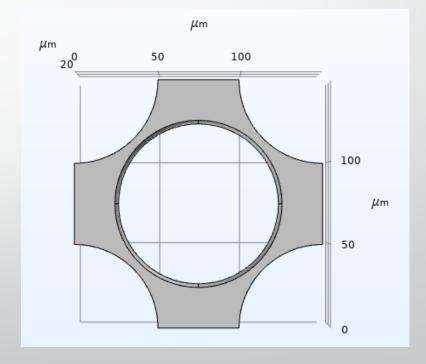
Conditions de périodicité

Conditions limites aux parois

(v=0)

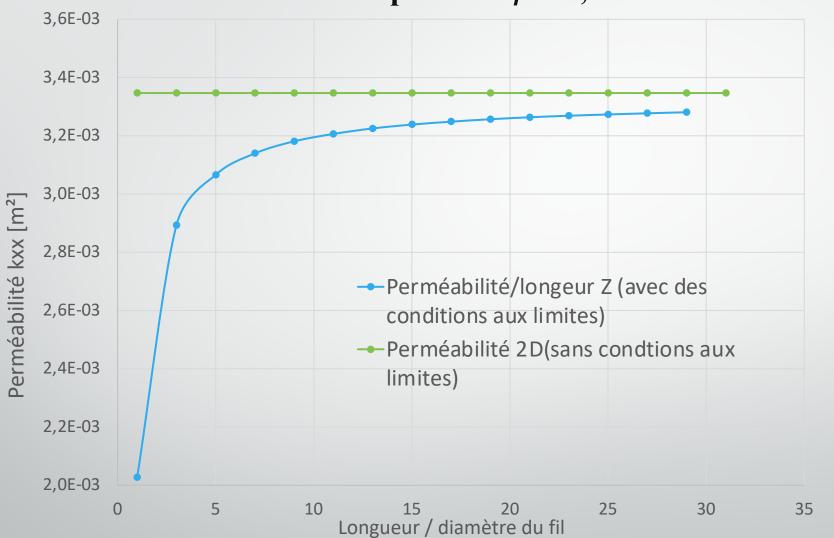


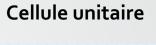
Réseau cubique centré



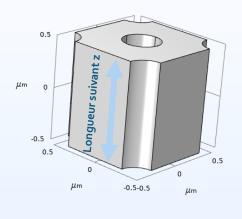
Influence des conditions aux limites 3D sur la perméabilité,

porosité $\phi = 0.65$

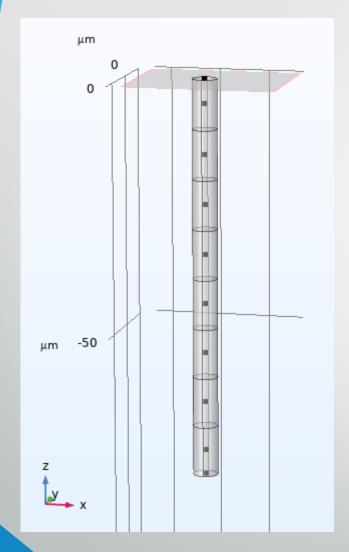




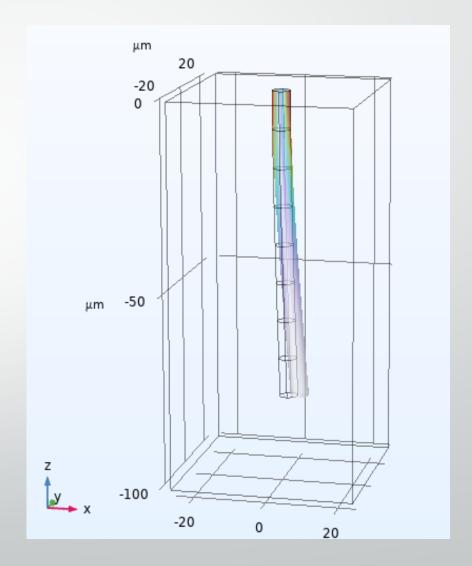




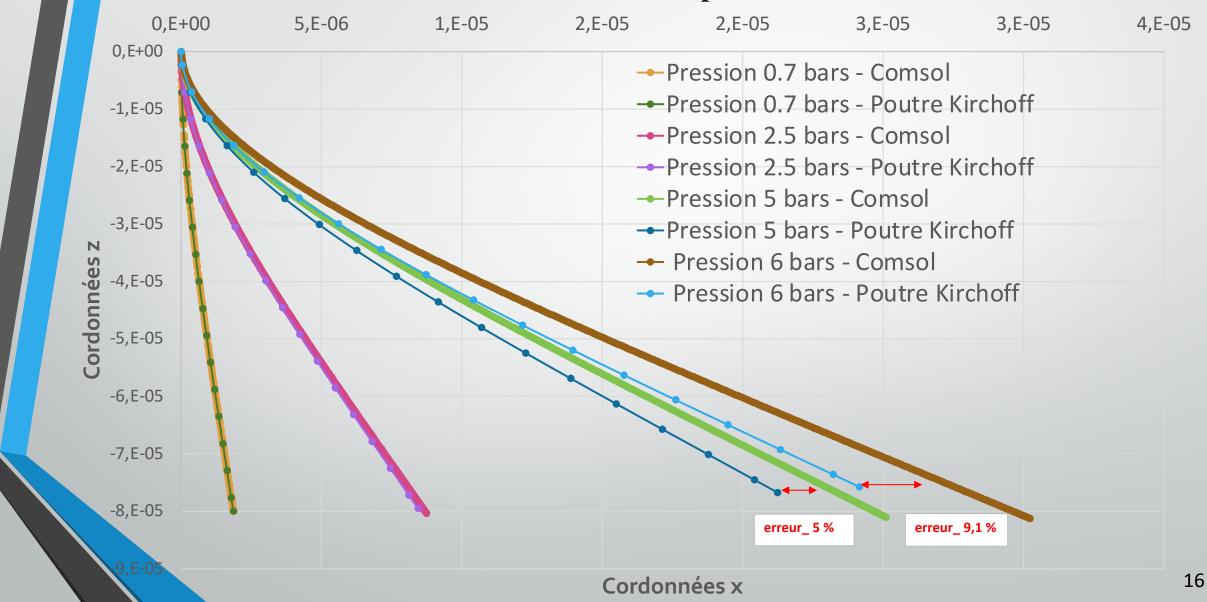
Interaction fluide-structure pour un fil (Comsol Multiphysics)



- Ecoulement laminaire.
- Fluide incompressible.
- Conditions de périodicité suivant l'axe x et y.

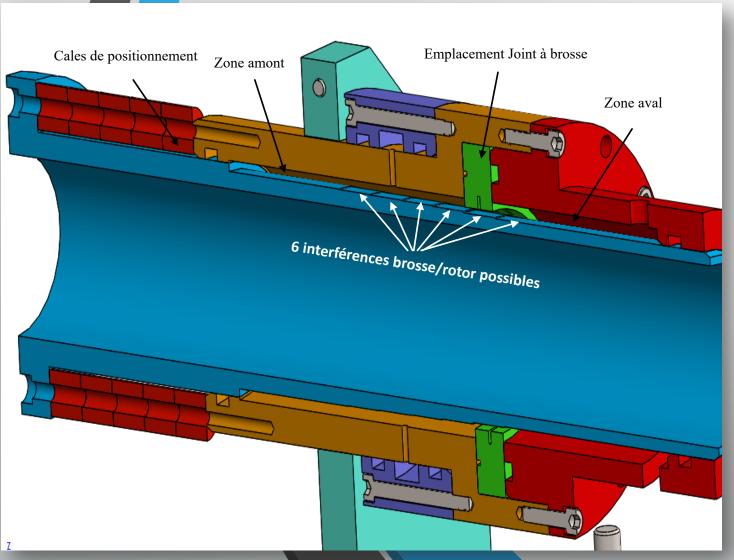


Comparaison entre les résultats des déformations interaction fluide structure et le modèle de poutre de Kirchhoff



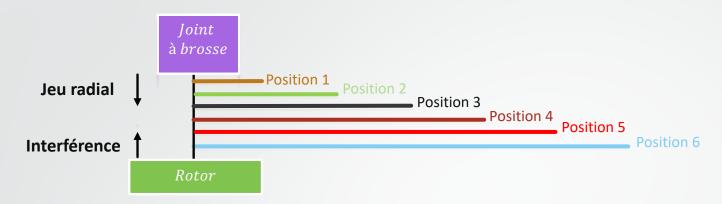
Dispositif expérimental

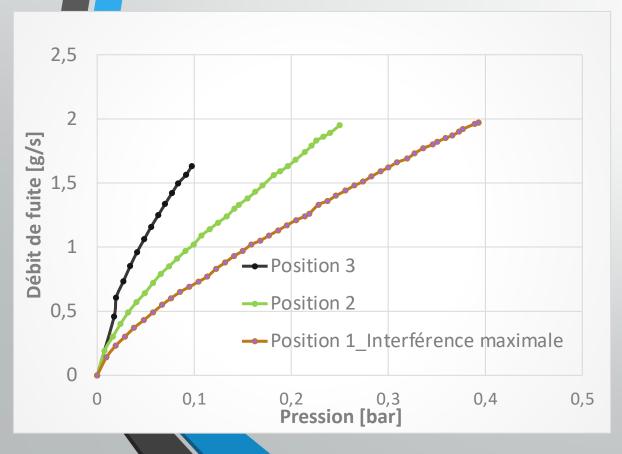
Dispositif expérimental

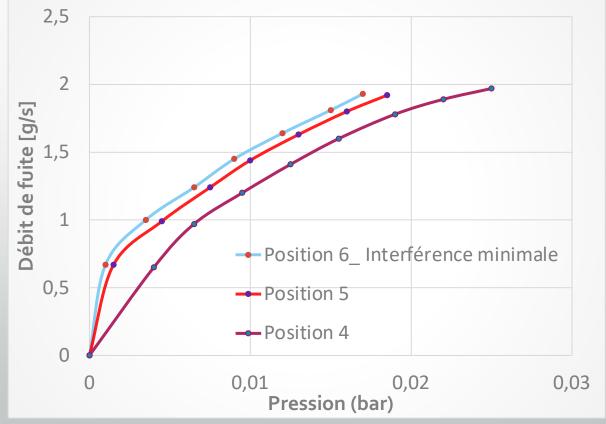




Résultats expérimentaux







Conclusion et perspectives

Conclusions et perspectives

- Un code pour la modélisation non linéaire des fils est en train d'être développé. Le code sera validé avec des simulations Comsol Multiphysics.
- L'écoulement dans un milieu poreux est caractérisé par sa perméabilité.
 Celle-ci a été vérifiée pour deux réseaux de fils.
- Dans le cas où la cellule unitaire étudiée a une longueur 15 fois plus importante que le diamètre d'un fil, l'approximation 2D de la perméabilité est valable.
- Un dispositif expérimental a été construit pour mesurer les débits de fuites sans rotation du rotor. D'autres essais dynamique seront mis en place dans des prochaines étapes.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Essais

 Fabrication d'outils pour le montage et le démontage des joints





Mise en place d'un nouveau débitmètre



