

# Design thermohydraulique du coeur du MSFR

- Objectifs
- Hypotheses, précision, méthode
- Principaux résultats
- Conclusions

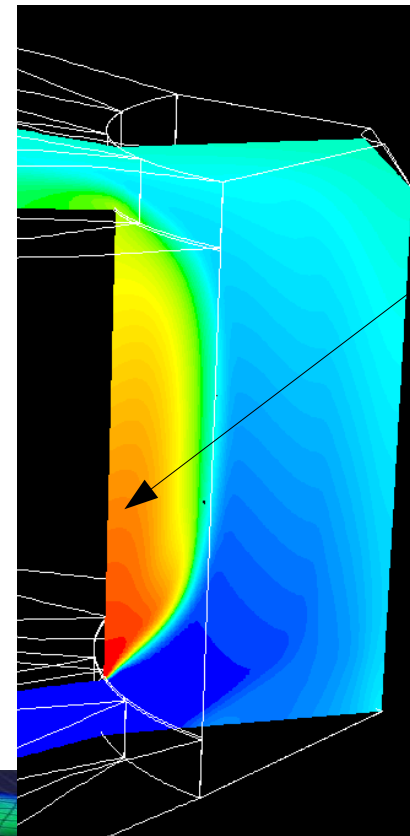
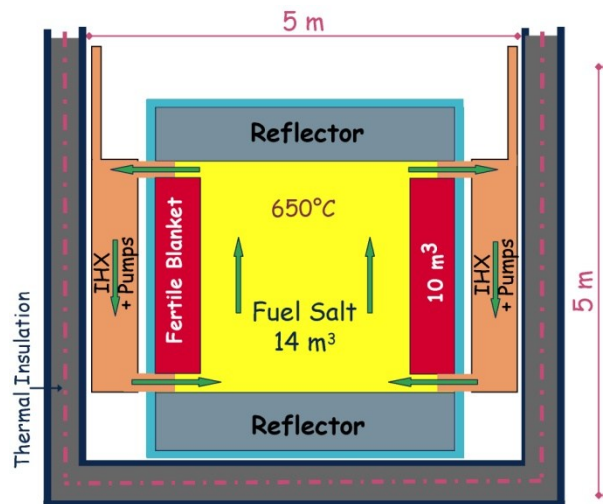
Hervé Rouch

# Objectifs

- Homogénéité thermique du coeur?
- Homogénéité spatial / temporelle
- Température maximale / températures parois
- Optimisation

*Principe calculs: neutronique → sources thermiques → thermohydraulique*

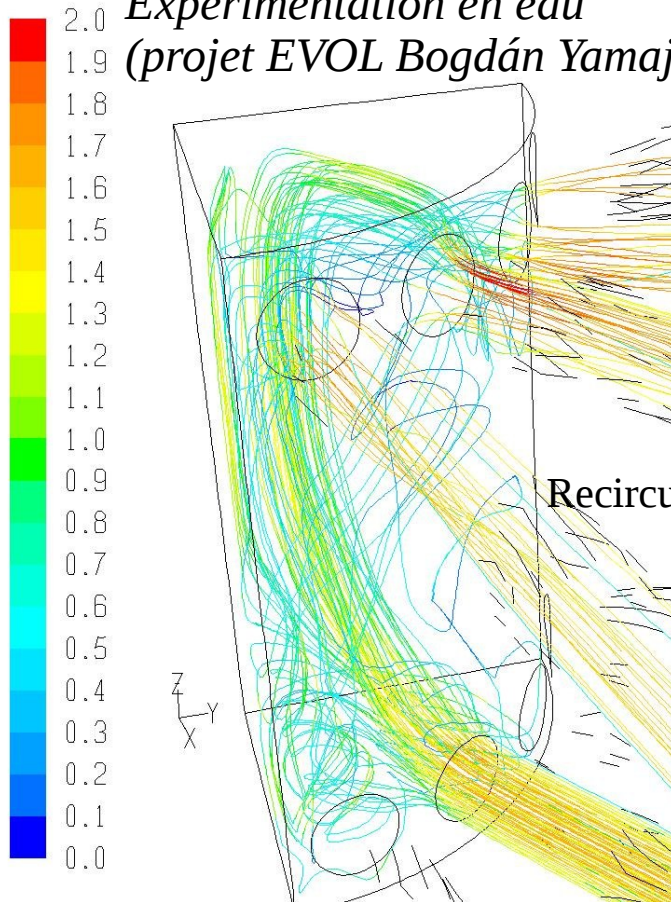
*Principe géométrique: coeur cylindrique*



Température extrême dans la recirculation contre la couverture

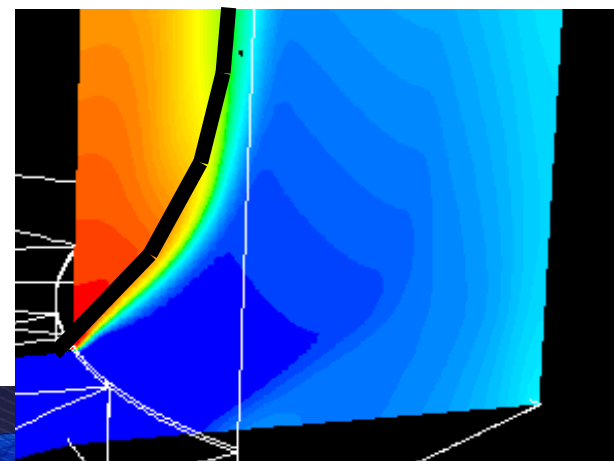
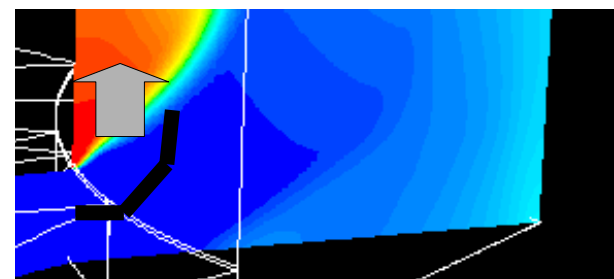
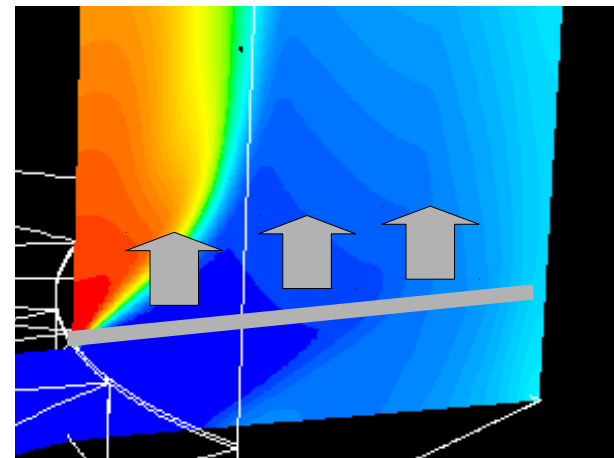
# Homogénéité spatiale

*Expérimentation en eau  
(projet EVOL Bogdán Yamaji BME)*



→ Suppression  
recirculation

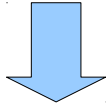
- Plaque de répartition
- Deflecteur(s) en entrée
- Forme du coeur



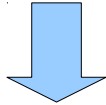


# Homogénéité temporelle

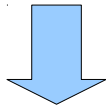
*Instabilités dynamiques*



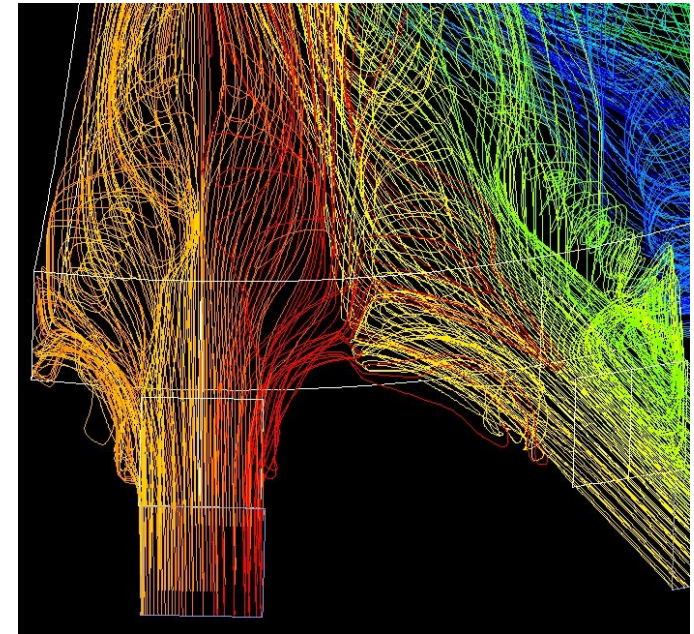
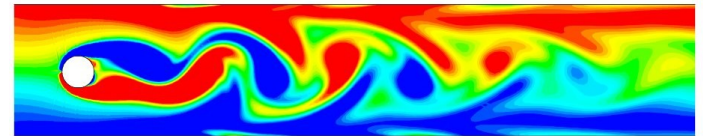
Hétérogénéités spatiales et temporelles



Simulation plus complexes et incertaines,  
imprécises



Choisir des écoulements stables  
Eviter les obstacles / angle



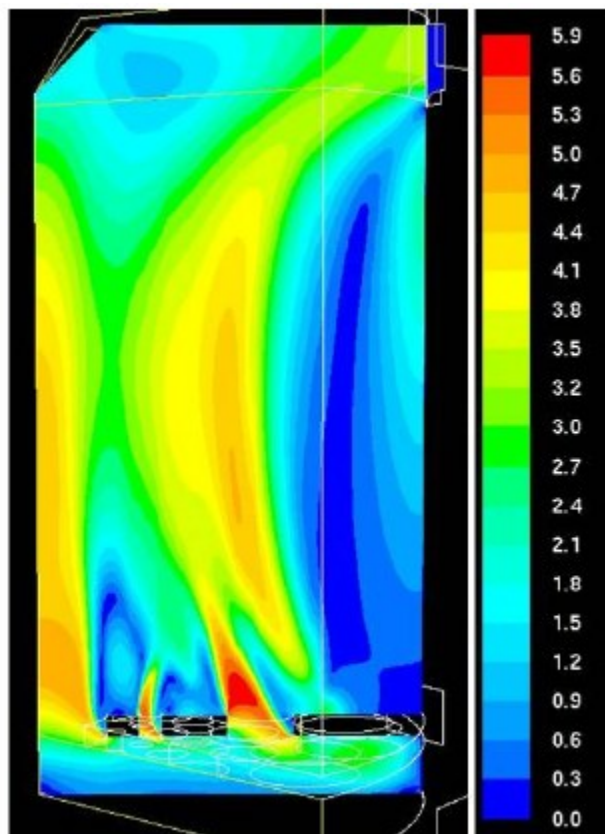
# Hyothèses / démarche

- *Point de fonctionnement donné (30T/s, +100°C)*
- *Sel supposé connu → possibilité de sensibilité*
- *Source thermique supposée connue (couplage faible)  
→ possibilité de couplage fort*
- *Simulations stationnaires  
→ possibilité de vérification transitoire*
- *Modèle de turbulence RANS  
→ possibilité de vérification (maillage, modèle LES ...)*
- *Choix de solutions stables*
- *Comparaison des homogénéités en température*
- *Comparaison des sensibilités au point de fonctionnement  
→ justification de choix de géométrie*



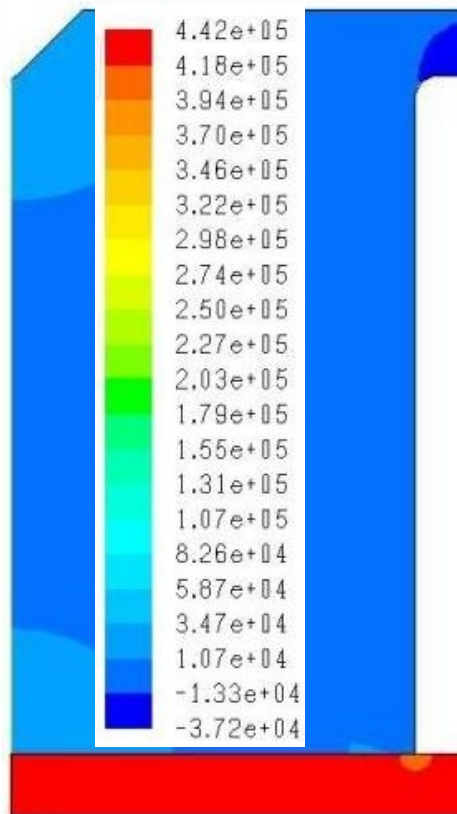
# Grille de répartition

Vitesse (m/s)



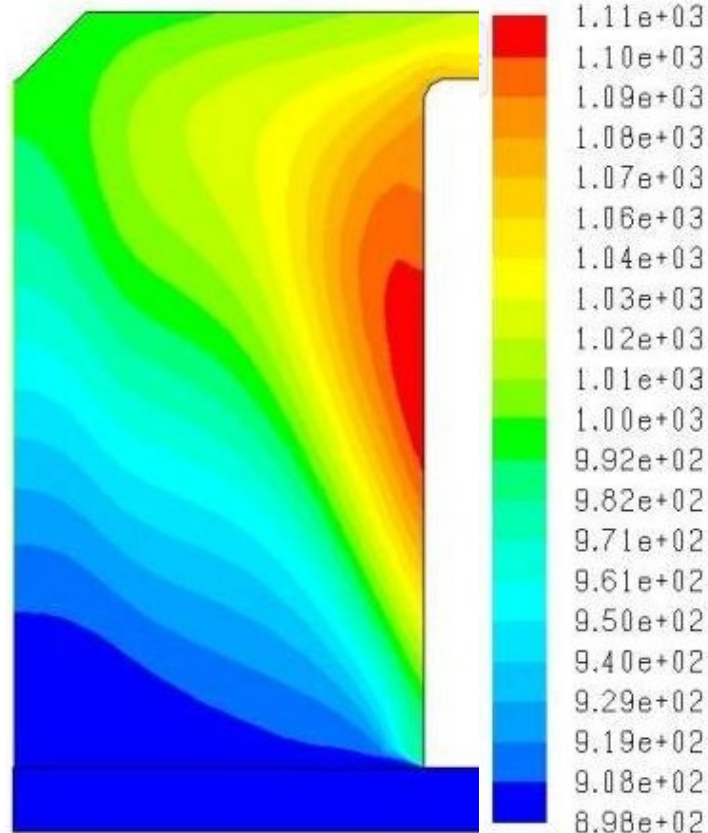
Géométrie maillée

Pression (Pa)



ou perte de charge équivalente

Température (K)



zone chaude en paroi

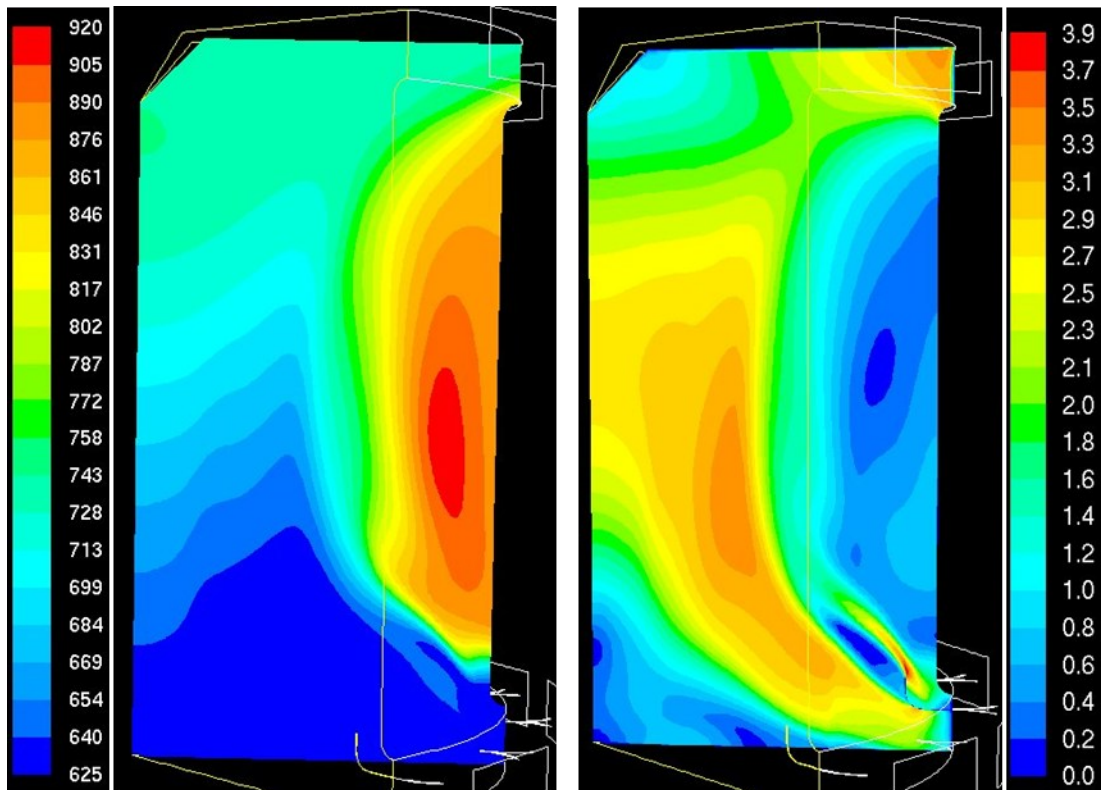


*Même avec une perte de charge importante : 4 bar,  
l'homogénéité thermique n'est pas suffisante*

# Deflecteurs

Température (C)

Vitesse (m/s)



*Il subsiste une recirculation  
+200°C*

*Une optimisation de deux  
déflecteurs permet une  
homogénéité thermique correcte*



*Optimisation possible, mais...  
Très forte contraintes sur les déflecteurs  
Forte sensibilité au point de fonctionnement*



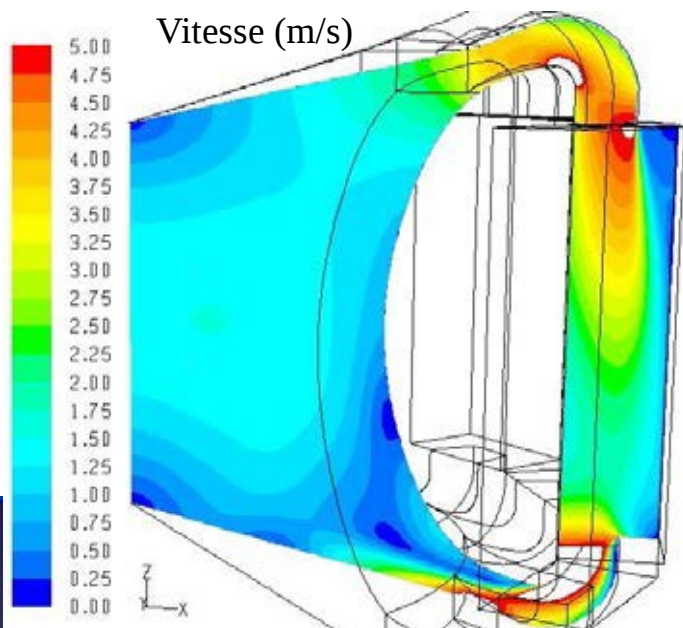
# Forme entrée et couverture

Fome  
optimisée

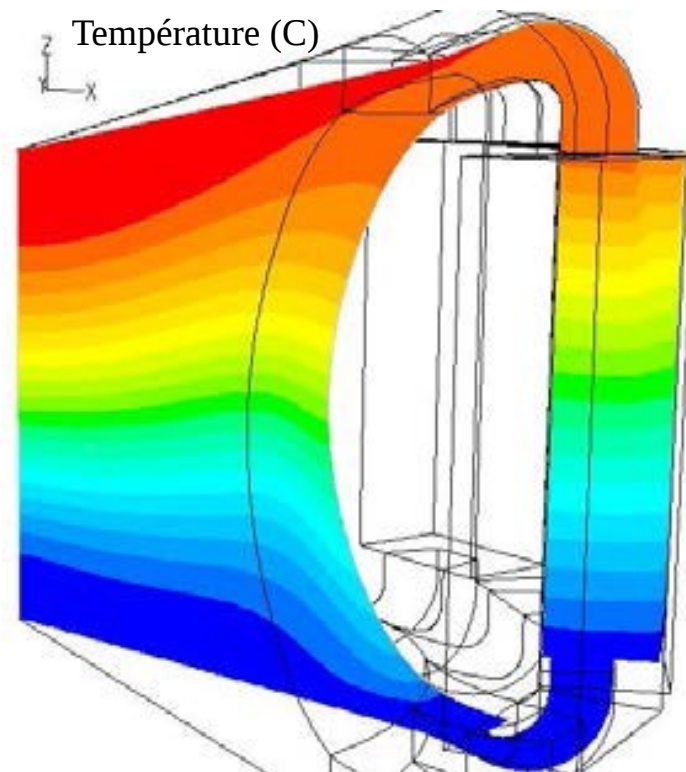
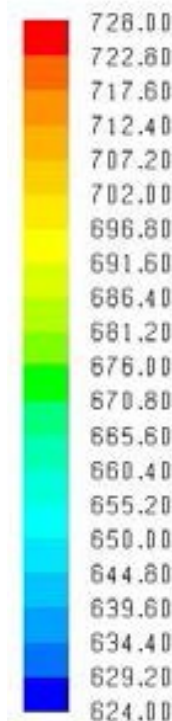


Source issue du  
calcul pour le  
cylindre  
(homothétie)

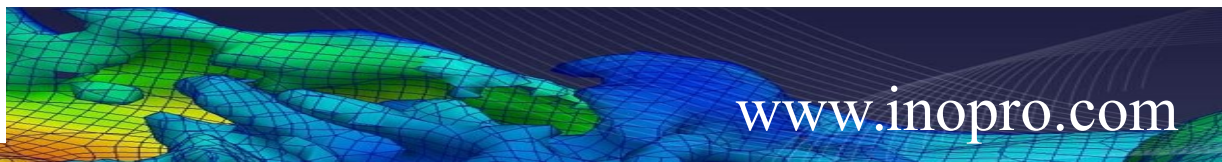
Vitesse (m/s)



Température (C)

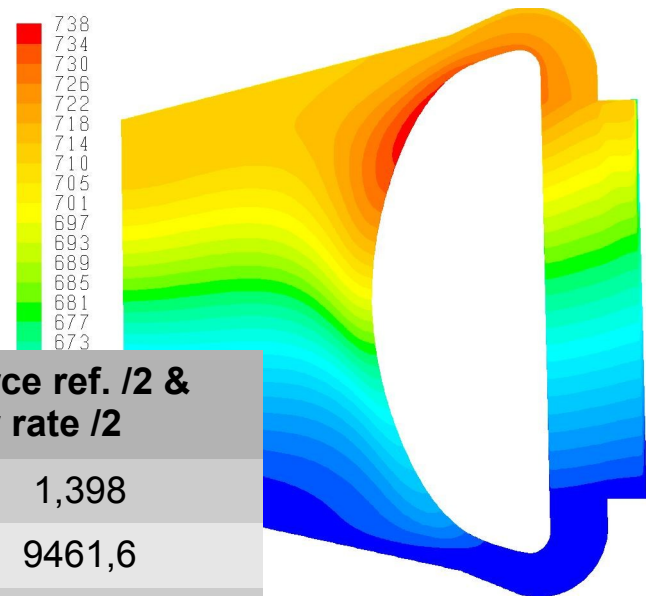


*Température très homogène  
Température maximale 6° seulement  
supérieure à la température de sortie du coeur*





# Sensibilité au point de fonctionnement



	Corrected source, curved blanket	Source ref. / 2	Source ref. / 2 & Flow rate / 2
Heat source (GW)	2,7959	1,398	1,398
Mass flow rate (kg/s)	18923,2	18923,2	9461,6
T_out (°C)	722	676	722
T_out – T_in (°C)	97	51	97
Pressure drop core (bar)	~ 0.1	~ 0.1	~ 0.03
T_max-T_out (°C)	6	4	16
Tmax_walls (°C)	728	680	738
Shear stress max (Pa)	790	790	230



Faible sensibilité au point de fonctionnement

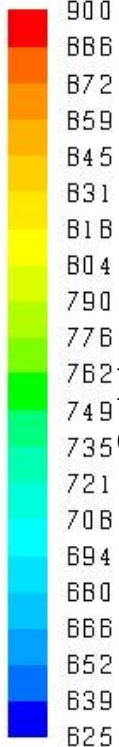
# Sensibilité à la géométrie

même coeur

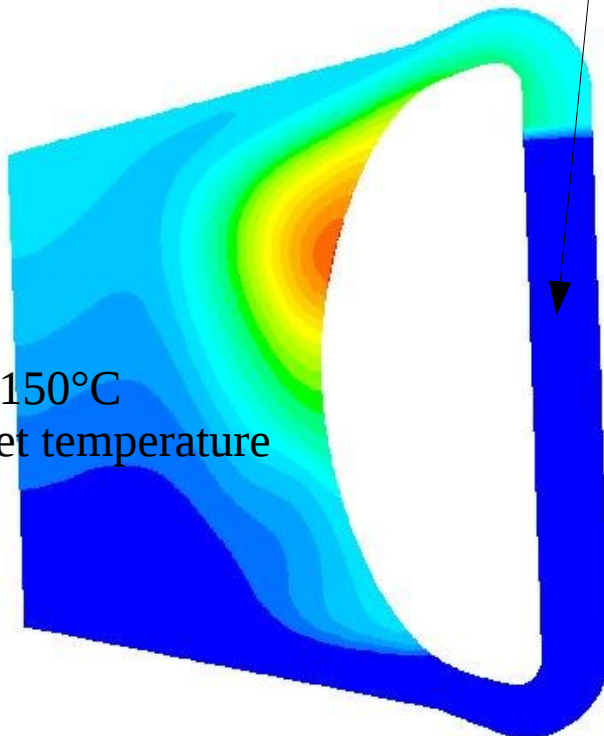
Volumes équivalents /  
échangeur  
différents



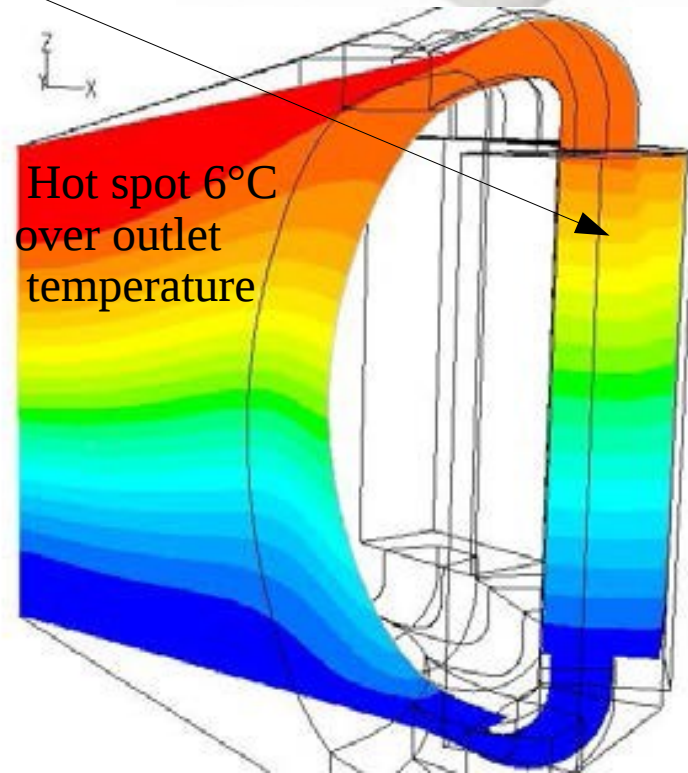
T(°C)



Hot spot 150°C  
over outlet  
temperature

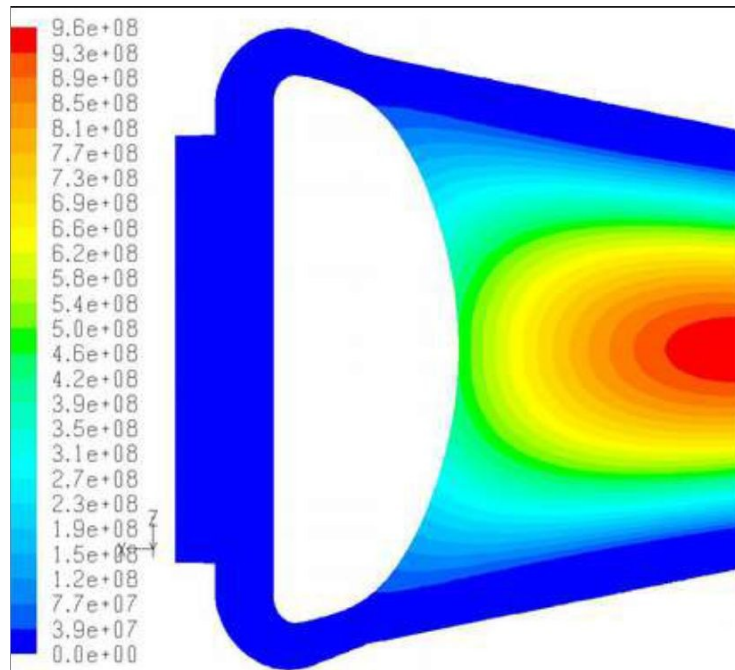


Hot spot 6°C  
over outlet  
temperature

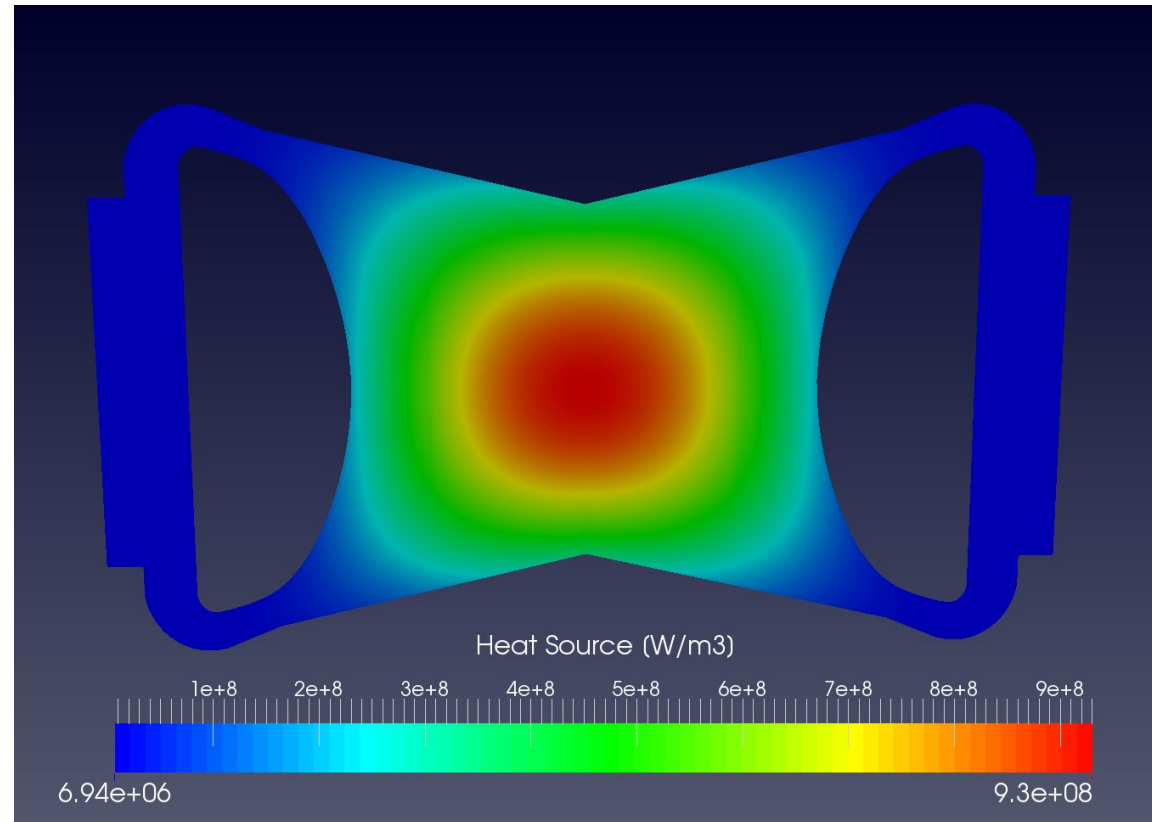


# Sensibilité à la source

Source (W/m<sup>3</sup>)  
issue du calcul en cylindre



et du calcul couplé

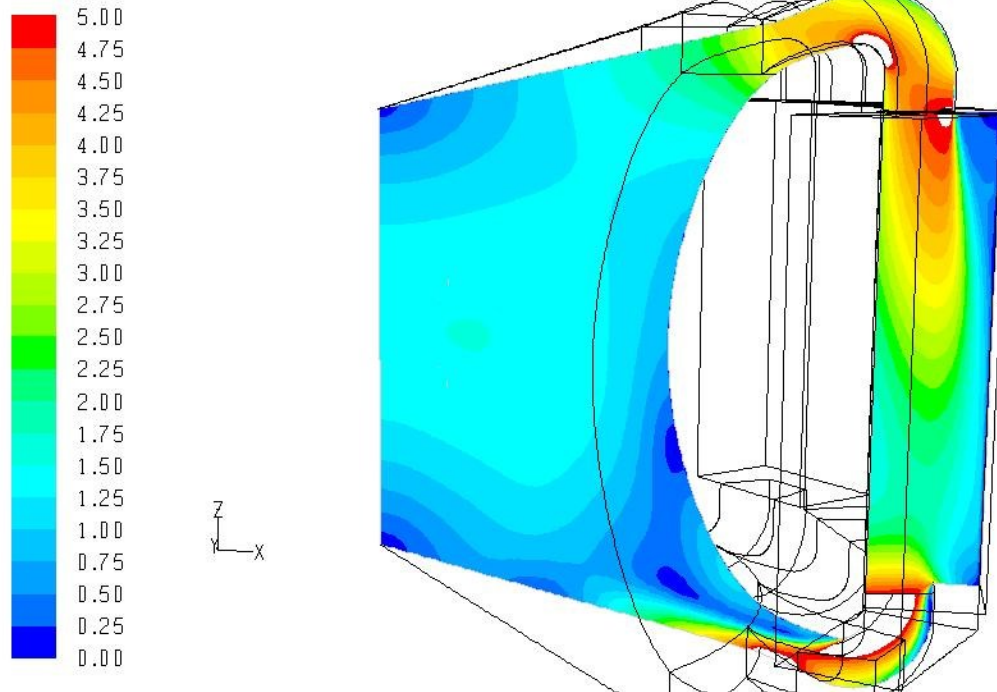


➡ *Toujours une forte sensibilité à la géométrie d'entrée  
ET aux choix technologique (pompe...)*

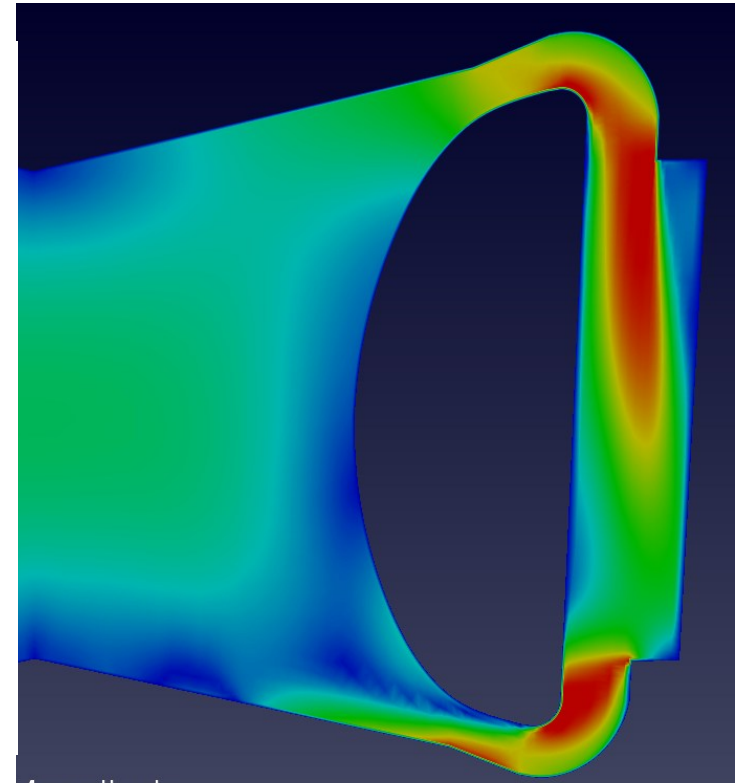


# Sensibilité à la source – Vitesse (m/s)

Source (W/m<sup>3</sup>)  
issue du calcul en cylindre

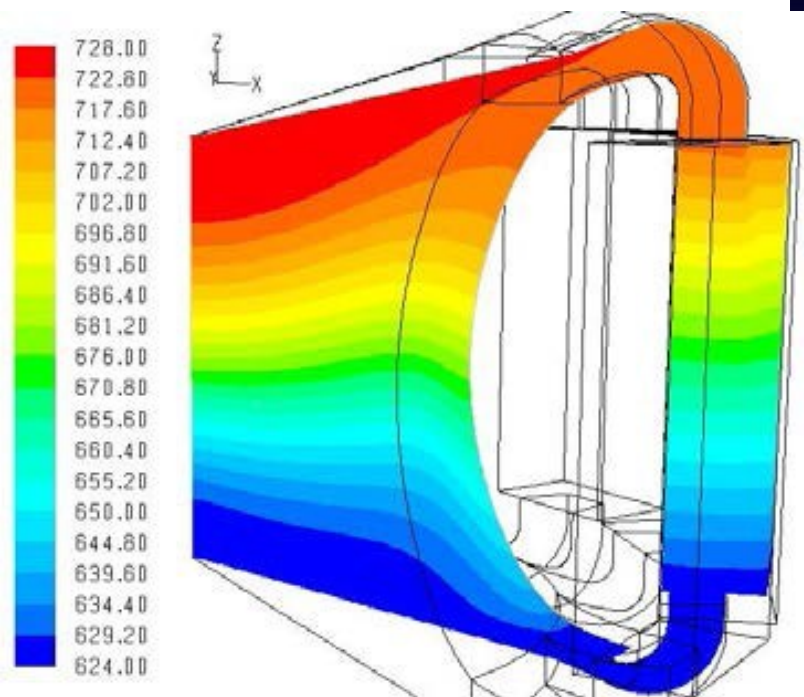


et du calcul couplé

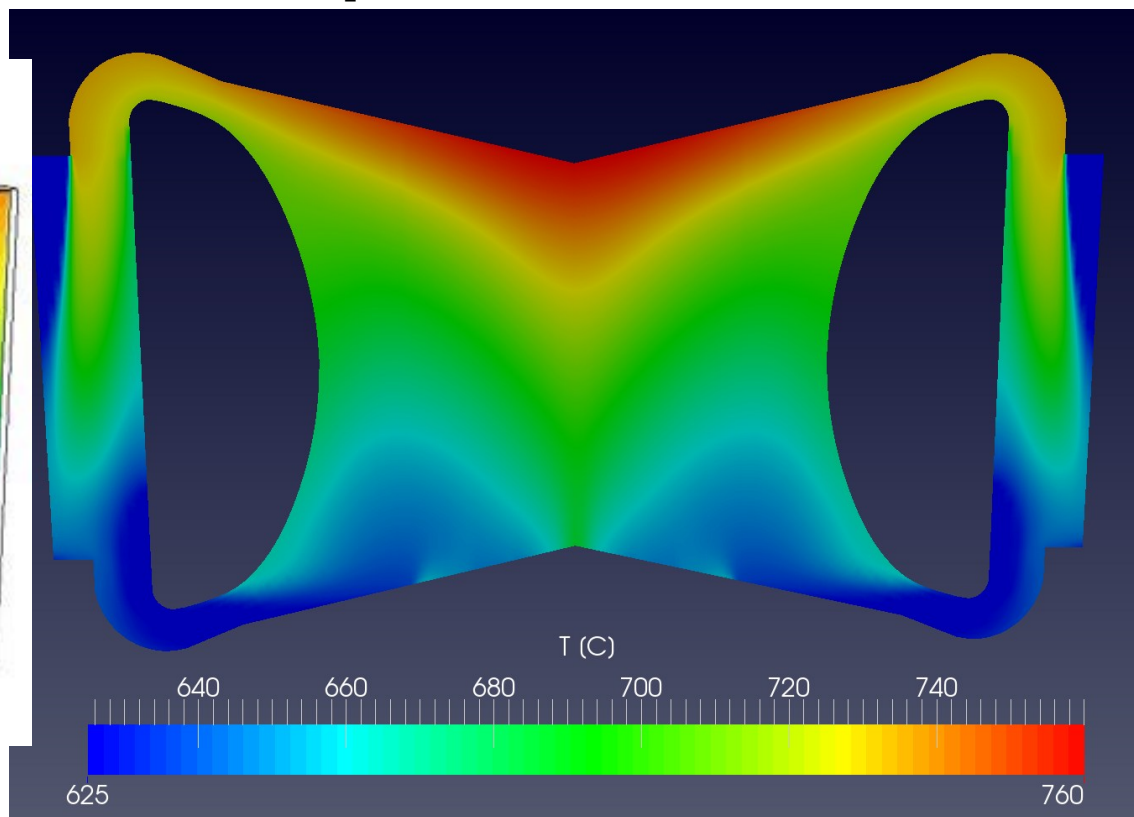


## Sensibilité à la source – température (C)

Source (W/m<sup>3</sup>)  
issue du calcul en cylindre



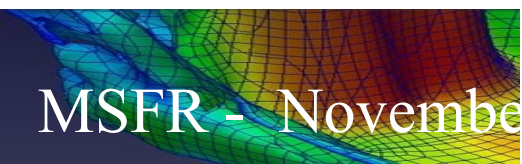
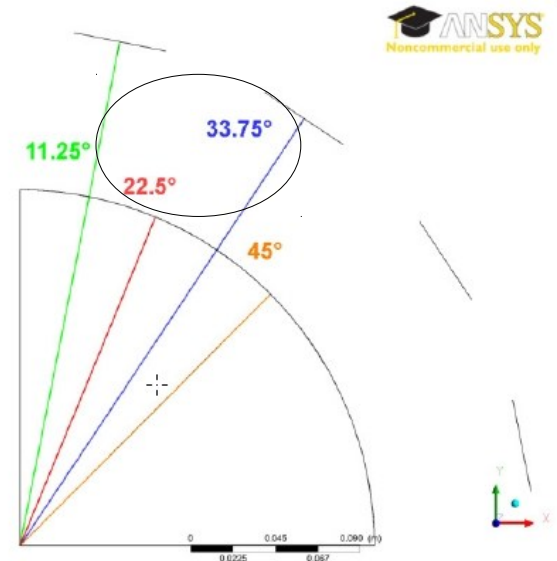
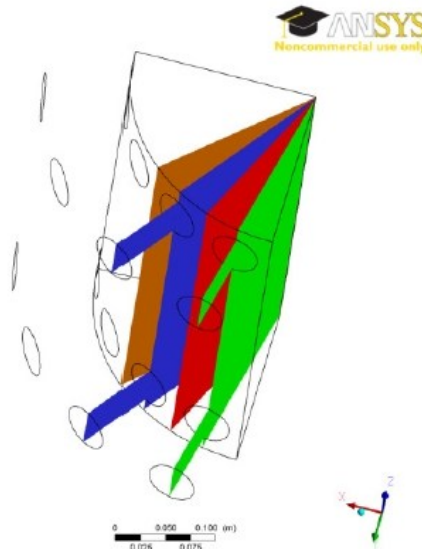
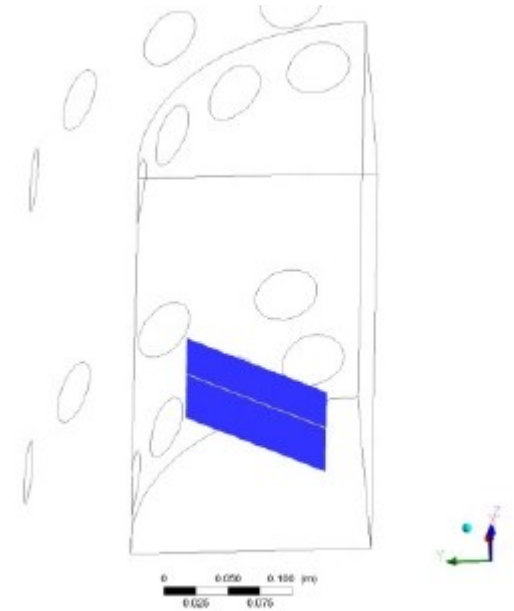
et du calcul couplé



➡ *Température maximale plus élevée de 30°*

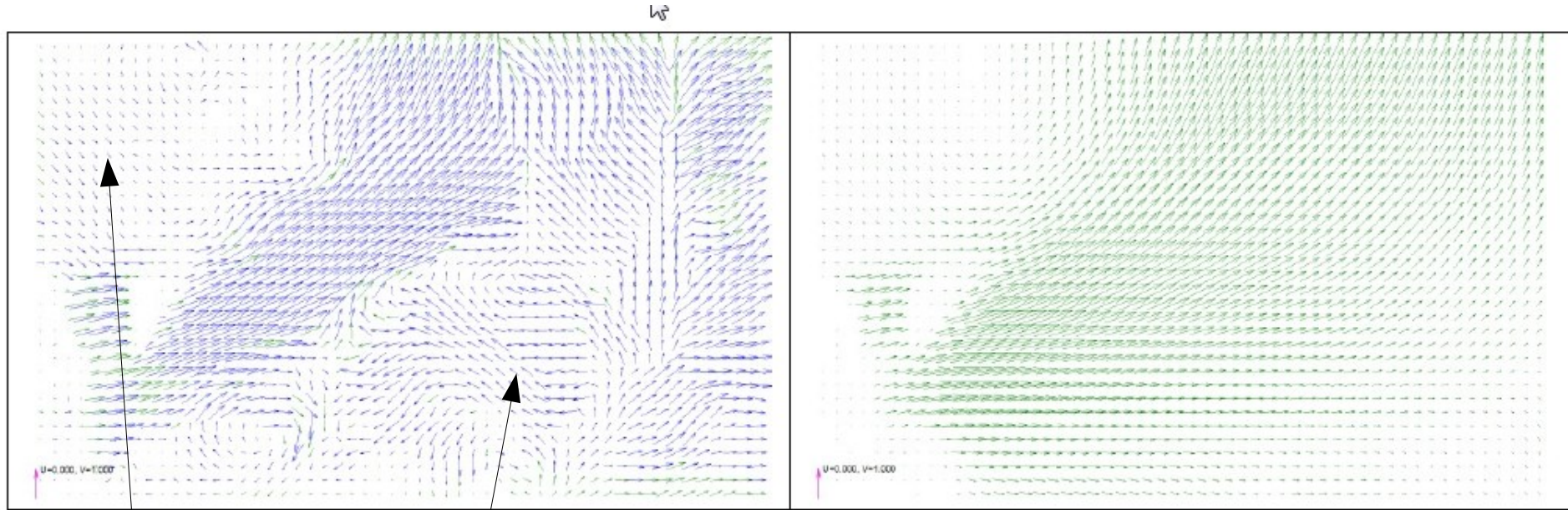


# Measurements from BME



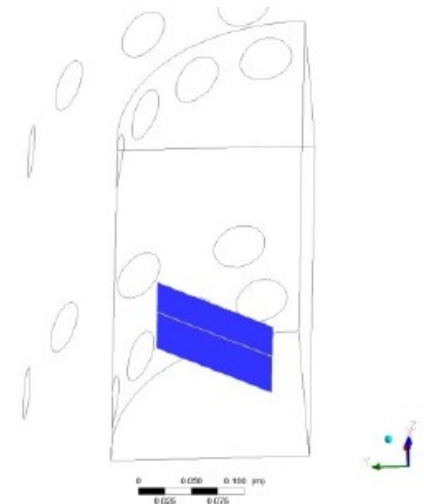


# Vitesses dans deux plans verticaux BME measurments



Small recirculations / turbulence

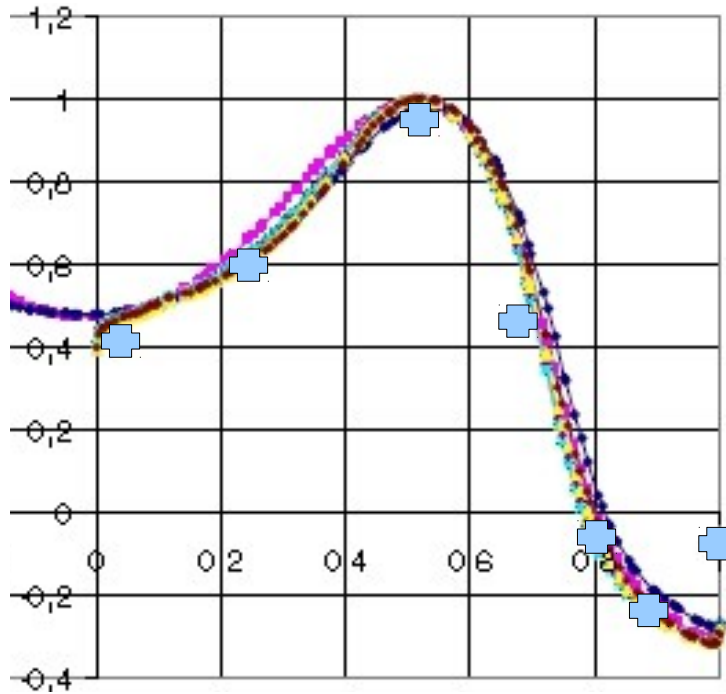
Large recirculation / core shape



# Some add to benchmark

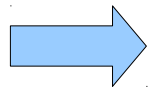
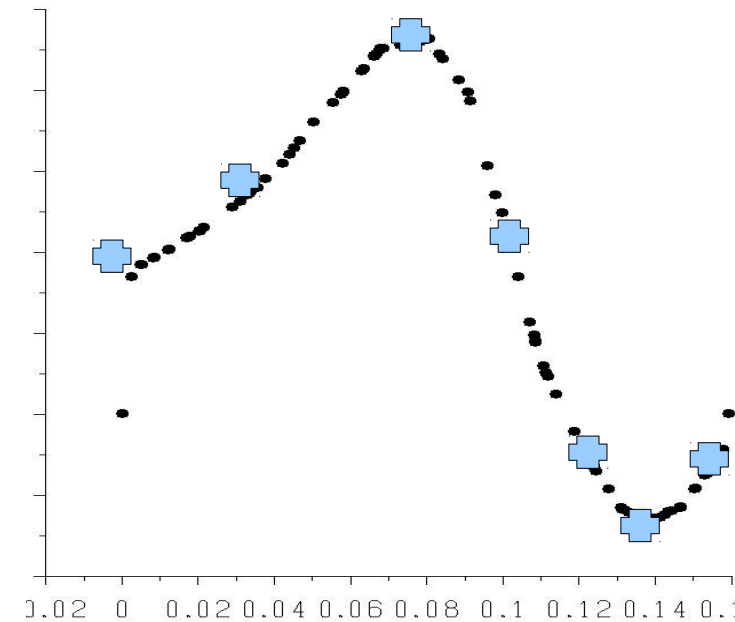
Comparison with simulation from BME

Simulation and measure from BME



Velocity (m/s) vs  $r/R$

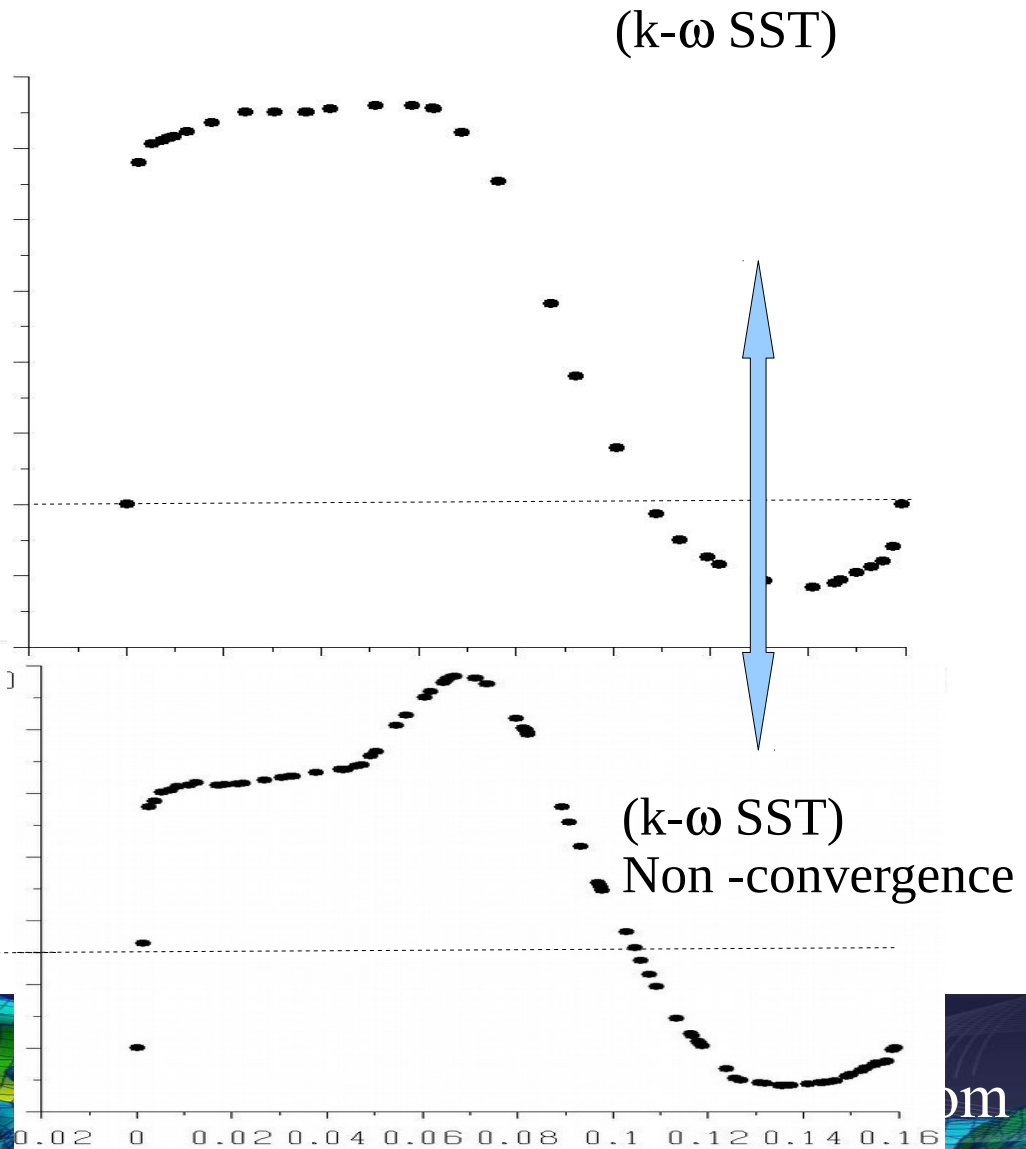
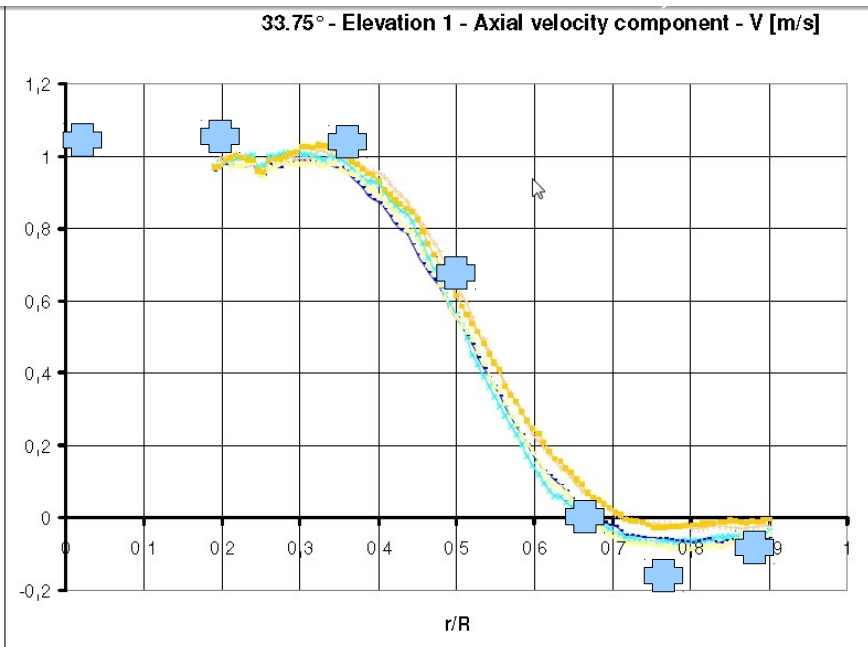
and from INOPRO  
(realizable  $k-\epsilon$ )



Very similar results

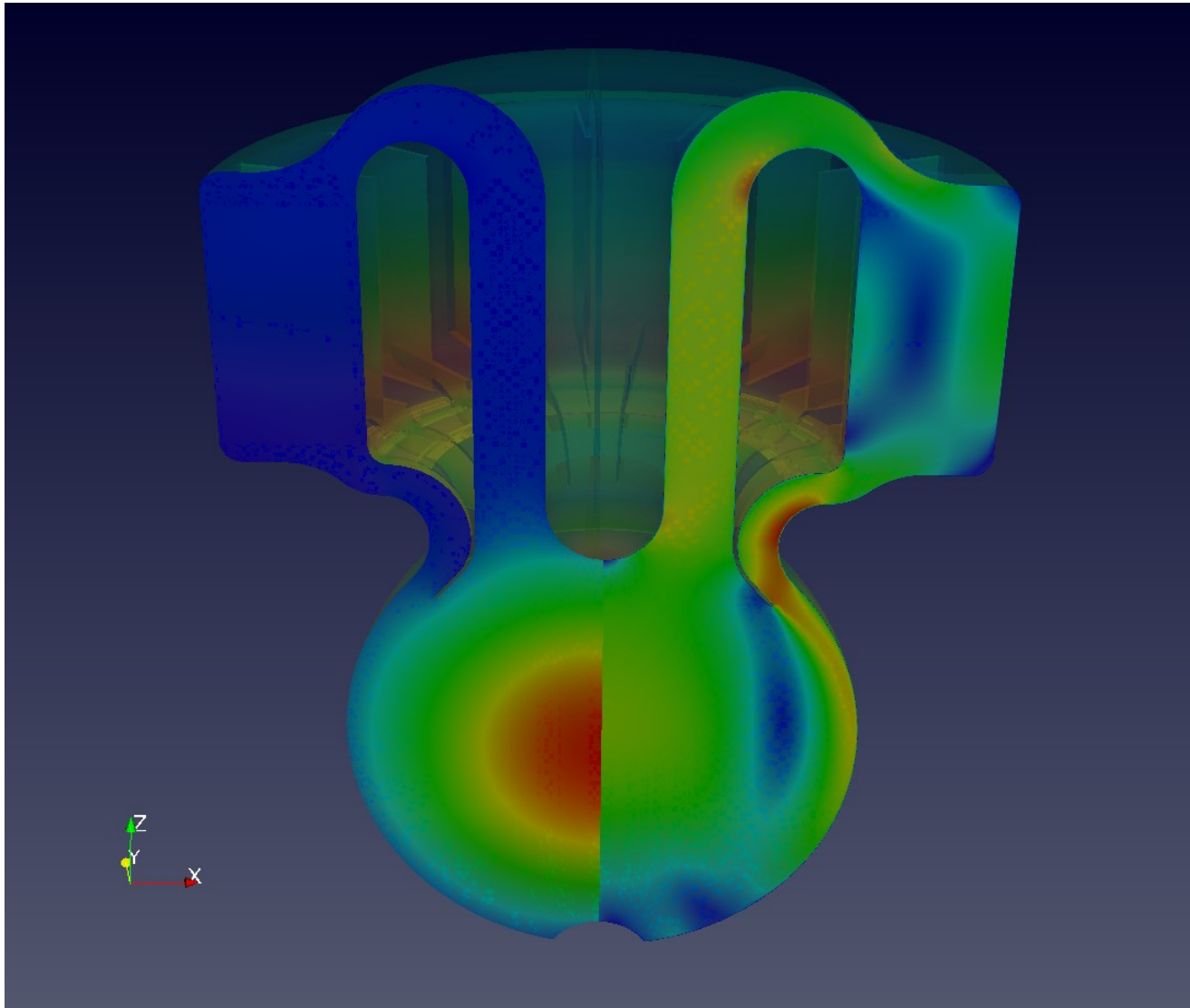
# Some add to benchmark

## Comparison with measurements from BME





# Autres idées....



# Conclusions

Le coeur de MSFR a été simulé (modèle RANS stationnaires)

La géométrie cylindrique présente des points chauds

Une optimisation de forme a été faite → absence de point chaud  
flux à priori stable

perte de charge faible ( $< 0,3$  bars dans le coeur)

efforts de cisaillement en paroi  $\sim 0,01$  bar

pression dynamique maxi sur les réflecteurs  $0,7$  bars

(pour la géométrie optimum)

Cela peut être vérifié par des modèles plus précis

L'écoulement dans le coeur est sensible aux conditions  
d'injection → nécessité de choisir la solution technologique pour  
confirmer un design