

# Design thermohdraulique du cœur du MSFR

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

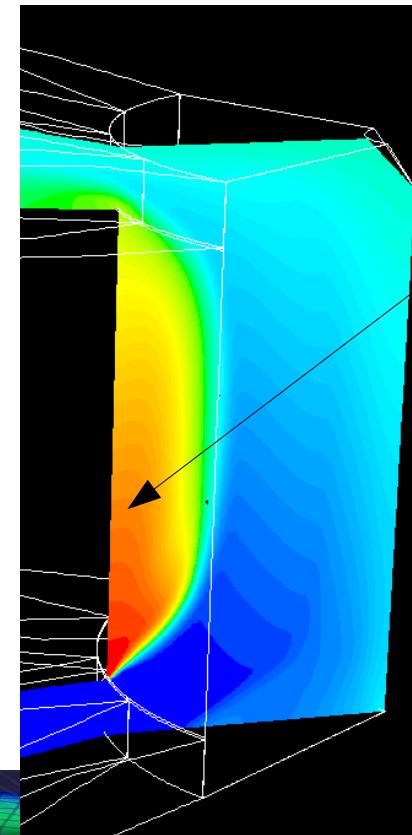
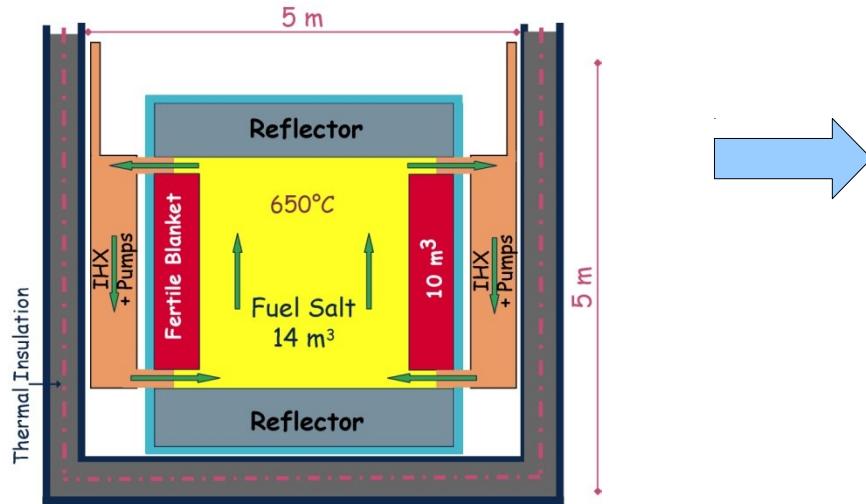
Hervé Rouch

# Objectifs

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

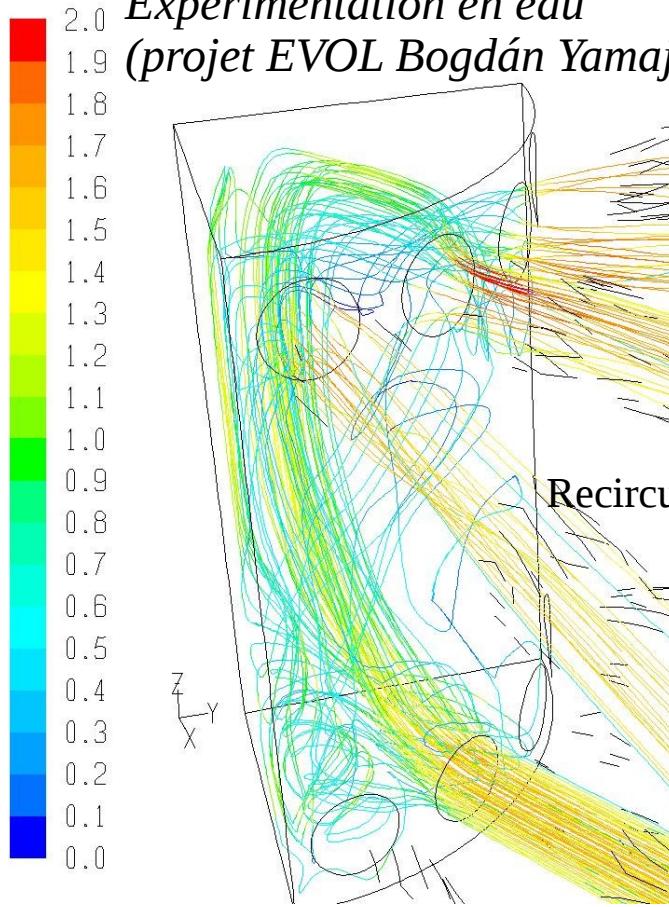
*Principe calculs: neutronique → sources thermiques → thermohydraulique*

*Principe géométrique: cœur cylindrique*



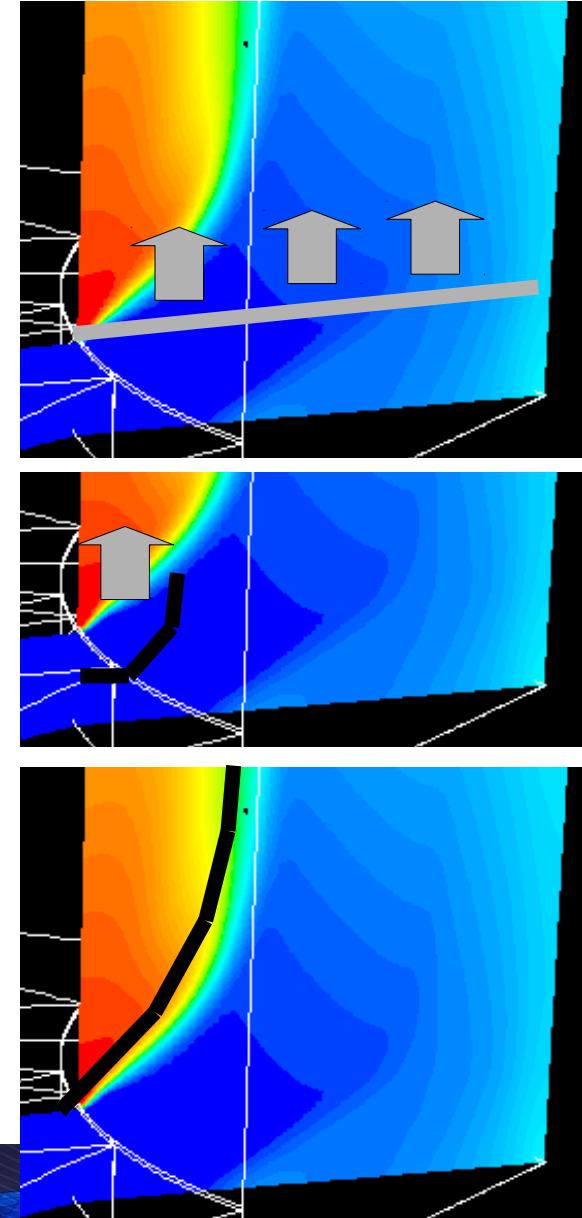
# Homogénéité spatiale

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



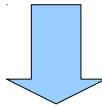
Suppression  
recirculation

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

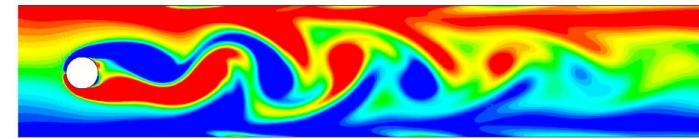
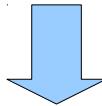


# Homogénéité temporelle

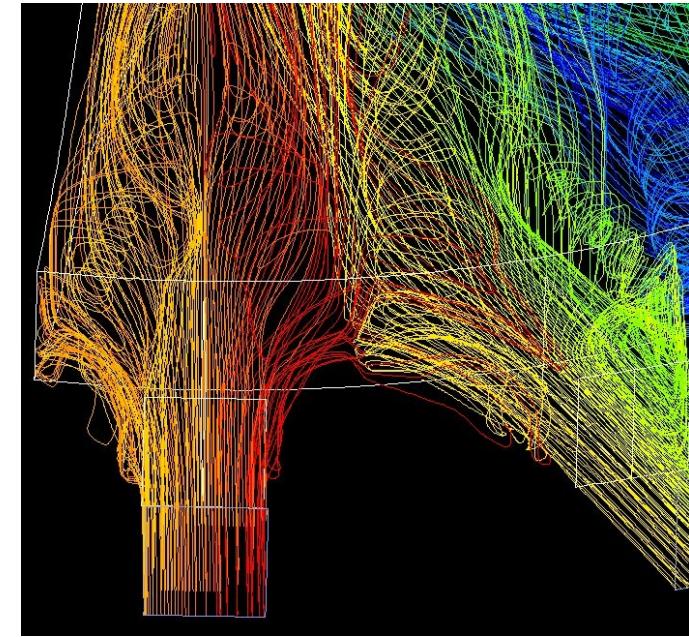
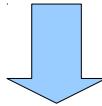
*Instabilités dynamiques*



Hétérogénéités spatiales et temporelles



Simulation plus complexes et incertaines,  
imprécises



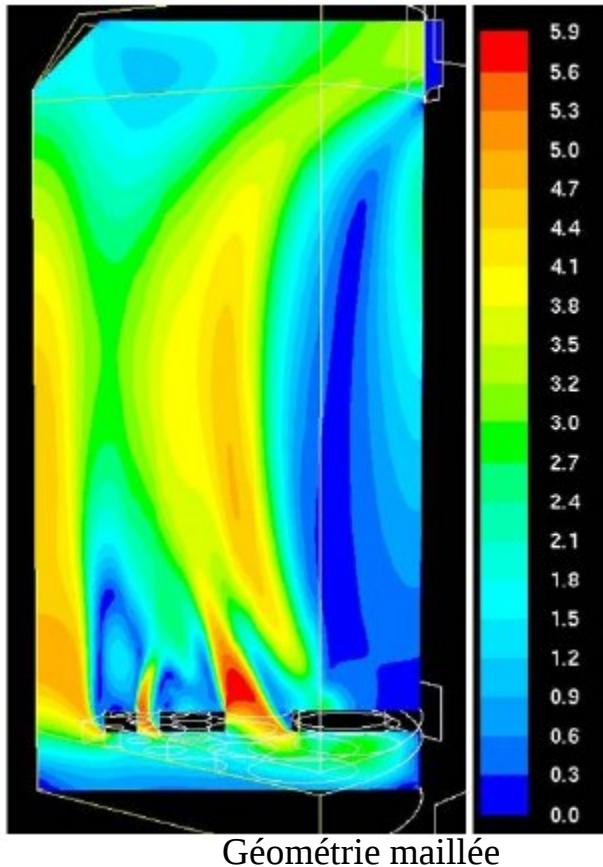
Choisir des écoulements stables  
Eviter les obstacles / angle

## Hyothèses / démarche

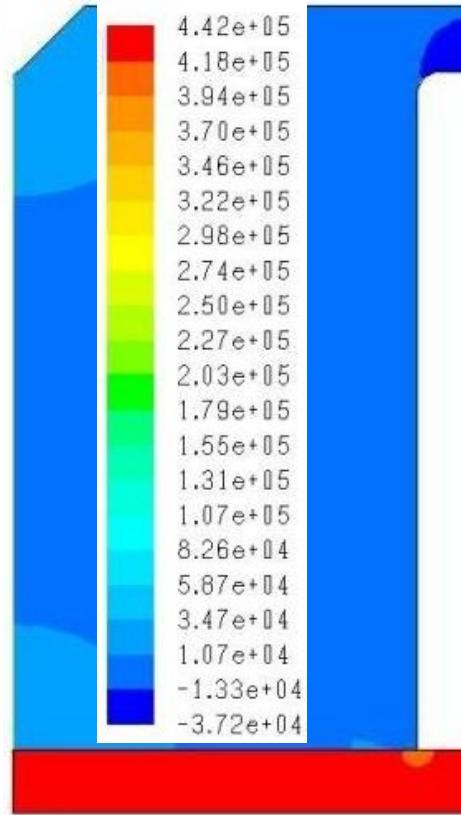
- *Point de fonctionnement donné (30T/s, +100°C)*
- *Sel supposé connu → possibilité de sensibilité*
- *Source thermique supposée connue (couplage faible)*  
→ *possibilité de couplage fort*
- *Simulations stationnaires*  
→ *possibilité de vérification transitoire*
- *Modèle de turbulence RANS*  
→ *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

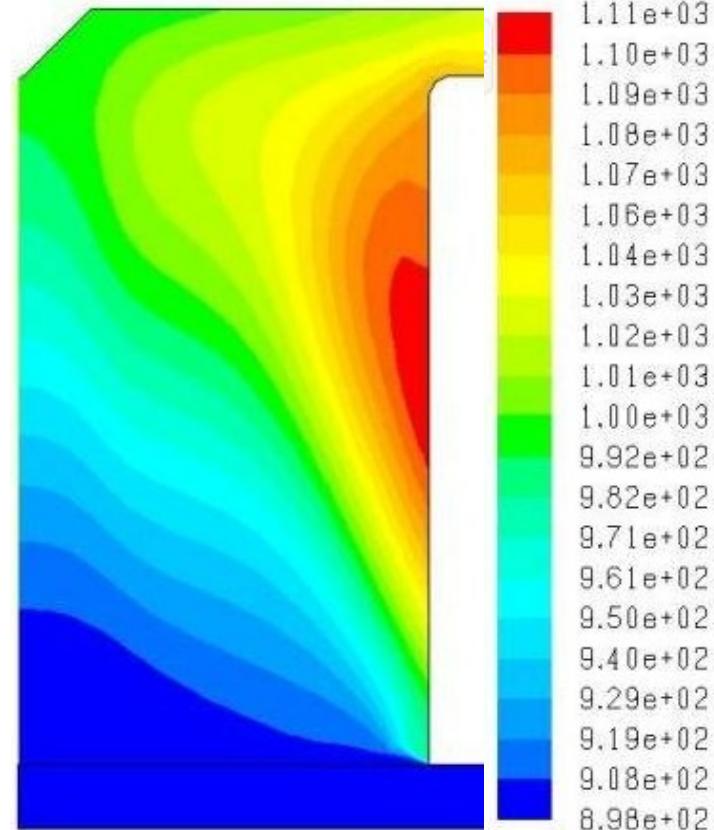
Vitesse (m/s)



Pression (Pa)



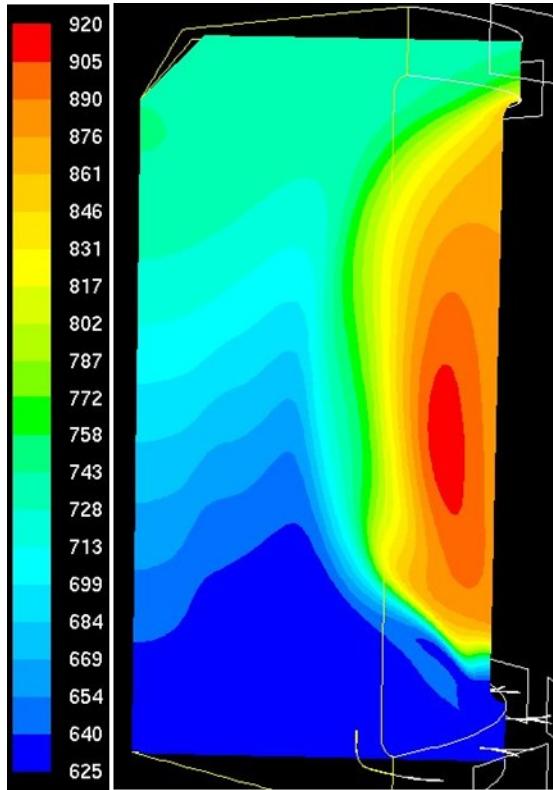
Température (K)



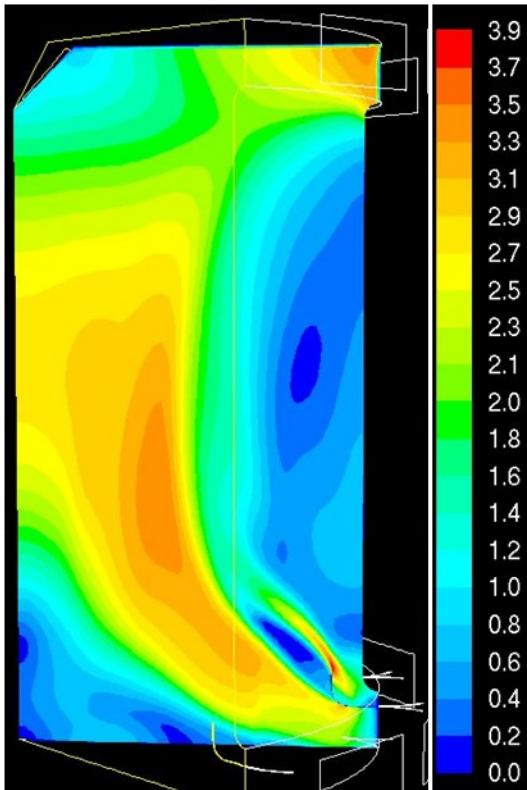
*Même avec une perte de charge importante : 4 bar,  
l'homogénéité thermique n'est pas suffisante*

# Deflecteurs

Température (C)



Vitesse (m/s)



*Il subsiste une recirculation  
+200°C*

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



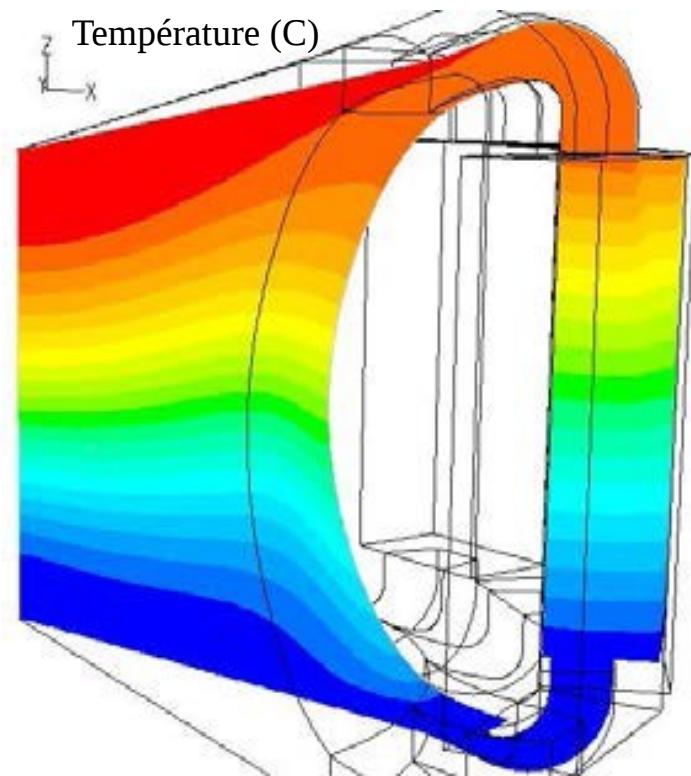
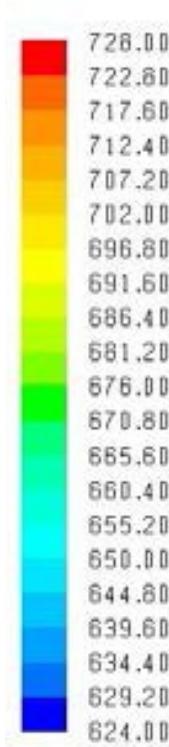
*Optimisation possible, mais...  
Très forte contraintes sur les déflecteurs  
Forte sensibilité au point de fonctionnement*

## Forme entrée et couverture

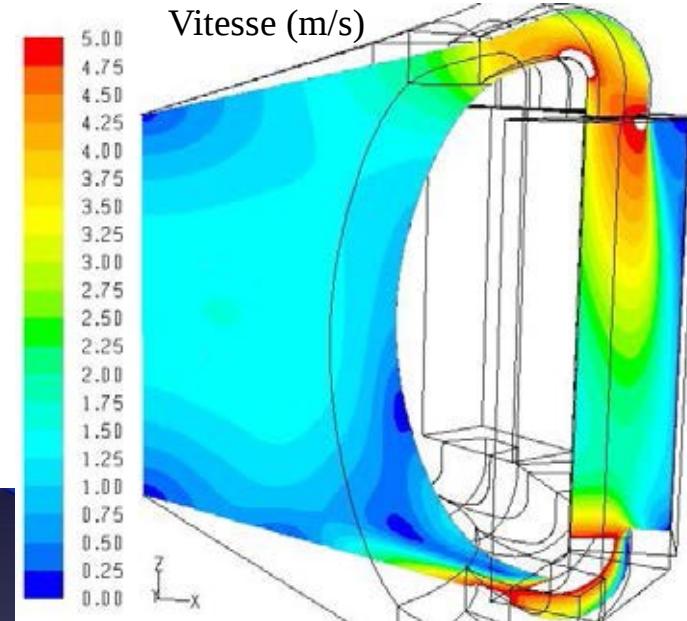
Forme optimisée



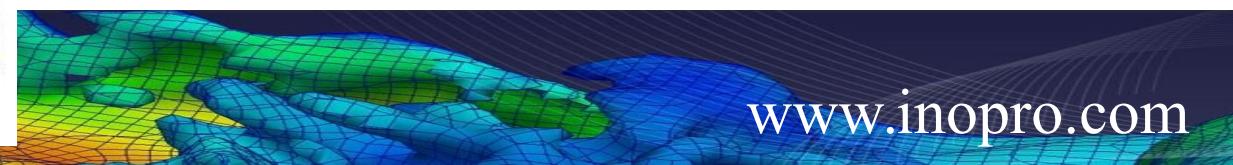
Source issue du  
calcul pour le  
cylindre  
(homothétie)



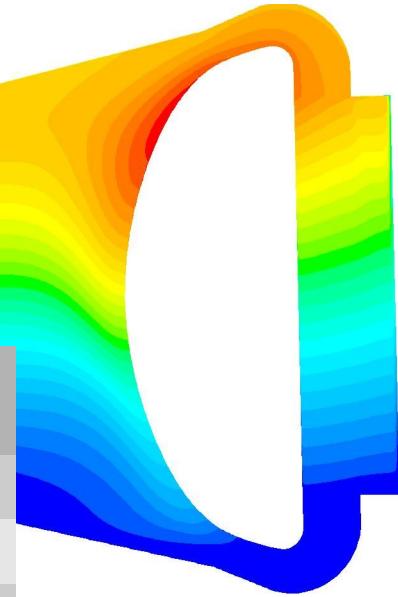
Vitesse (m/s)



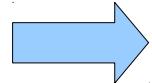
*Température très homogène  
Température maximale 6° seulement  
supérieure à la température de sortie du cœur*



# Sensibilité au point de fonctionnement



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

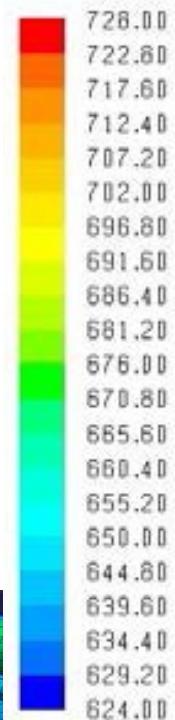
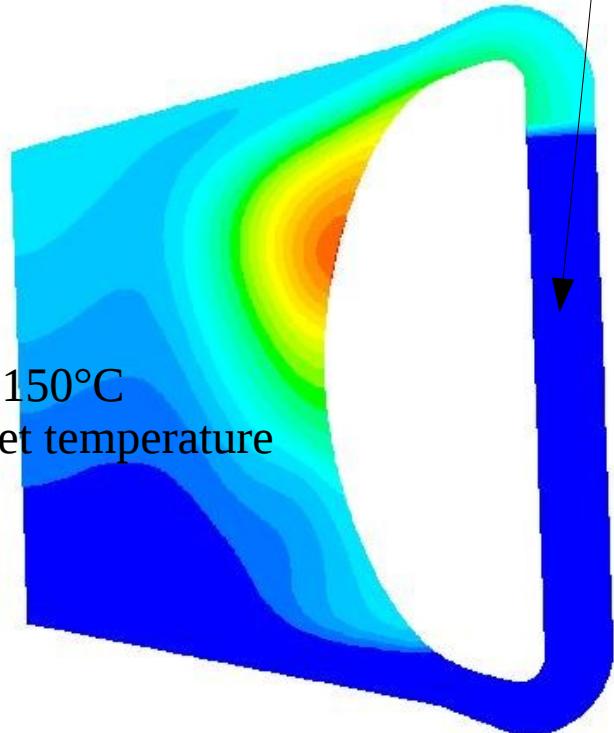
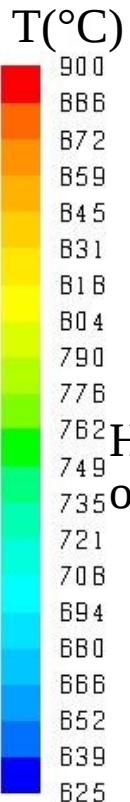


Faible sensibilité au point de fonctionnement

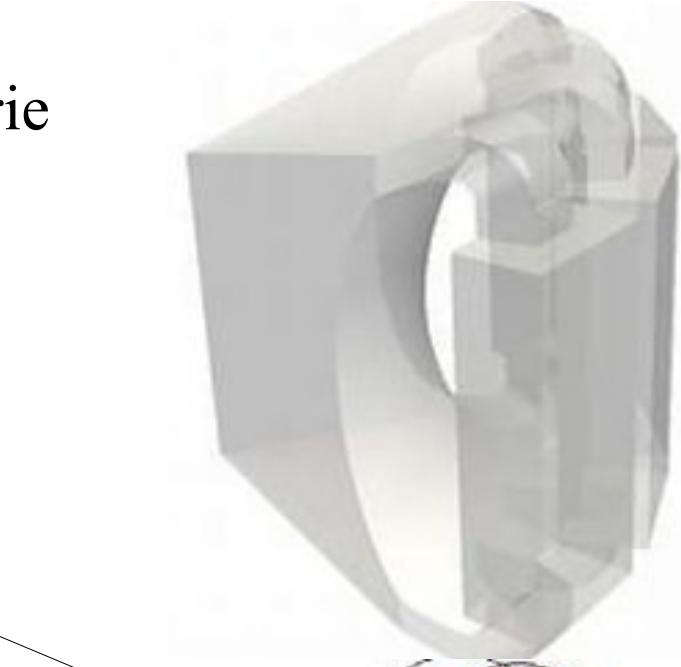
# Sensibilité à la géométrie

même cœur

Volumes équivalents /  
échangeur  
différents

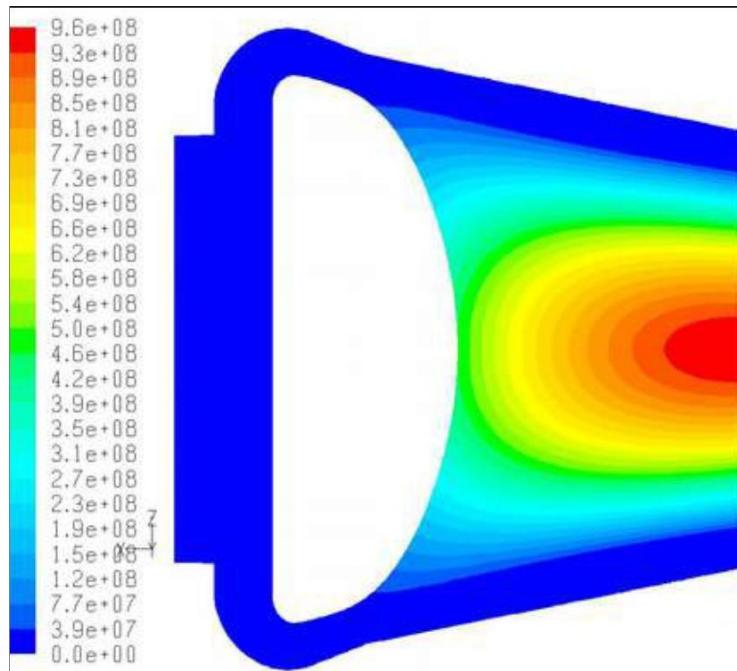


Hot spot 6 $^{\circ}$ C  
over outlet  
temperature

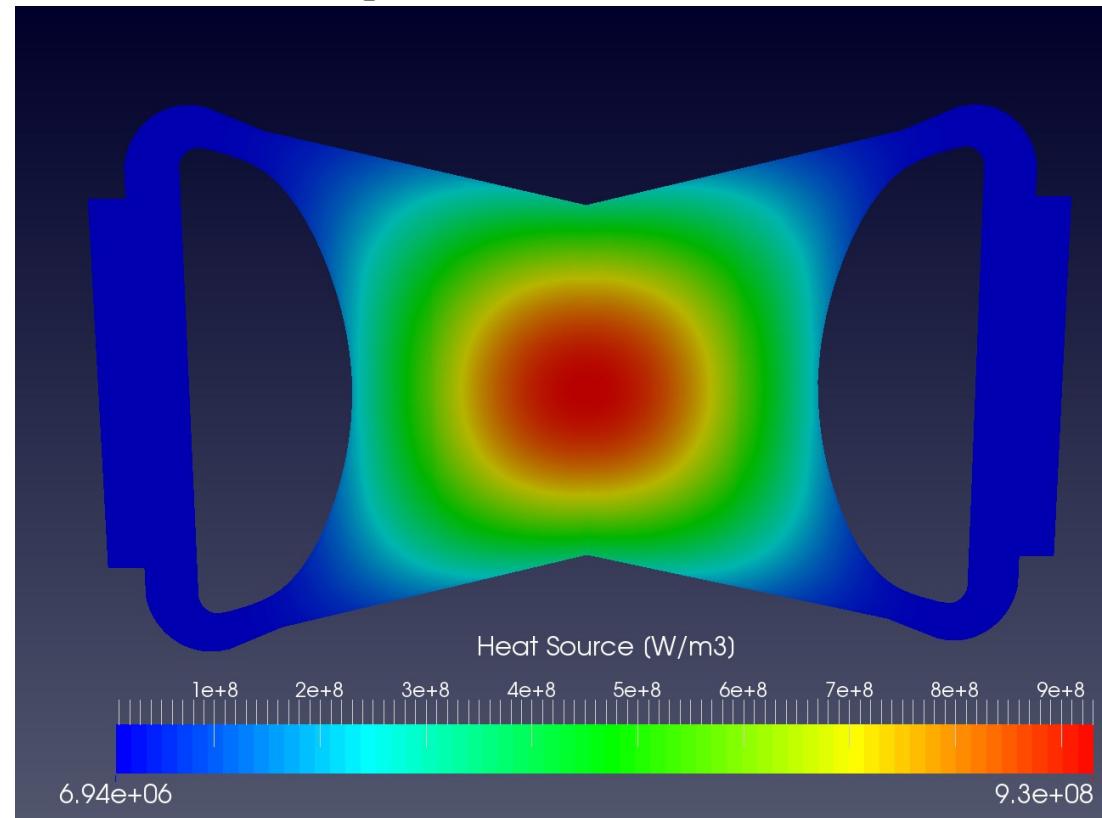


## Sensibilité à la source

Source (W/m3)  
issue du calcul en cylindre



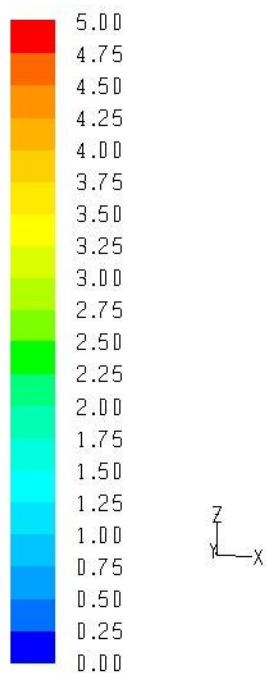
et du calcul couplé



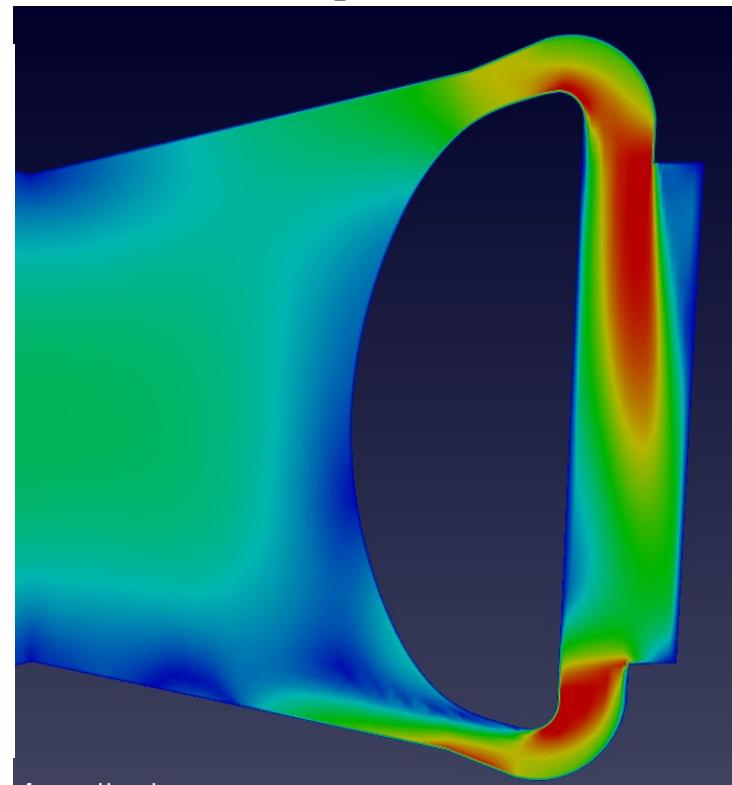
→ *Toujours une forte sensibilité à la géométrie d'entrée  
ET aux choix technologique (pompe...)*

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

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

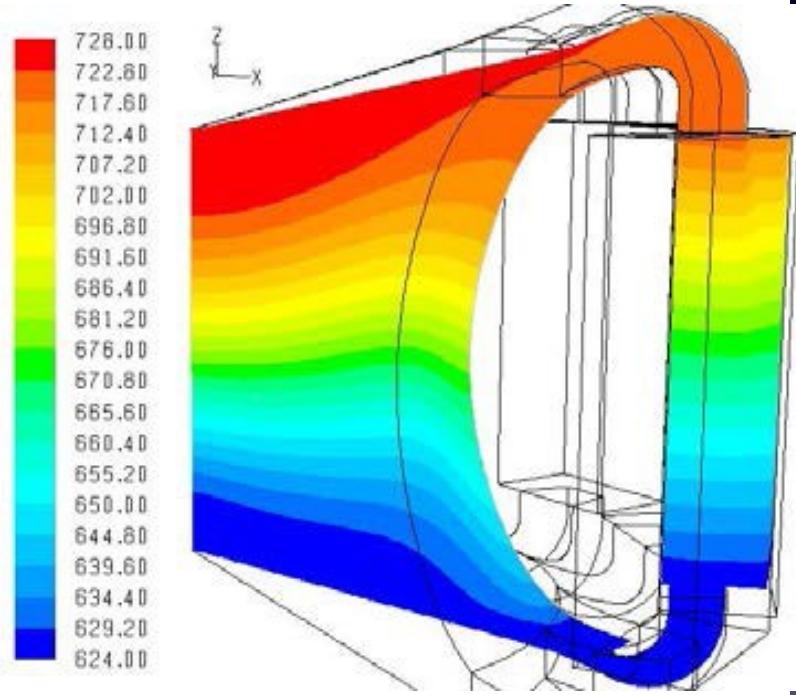


et du calcul couplé

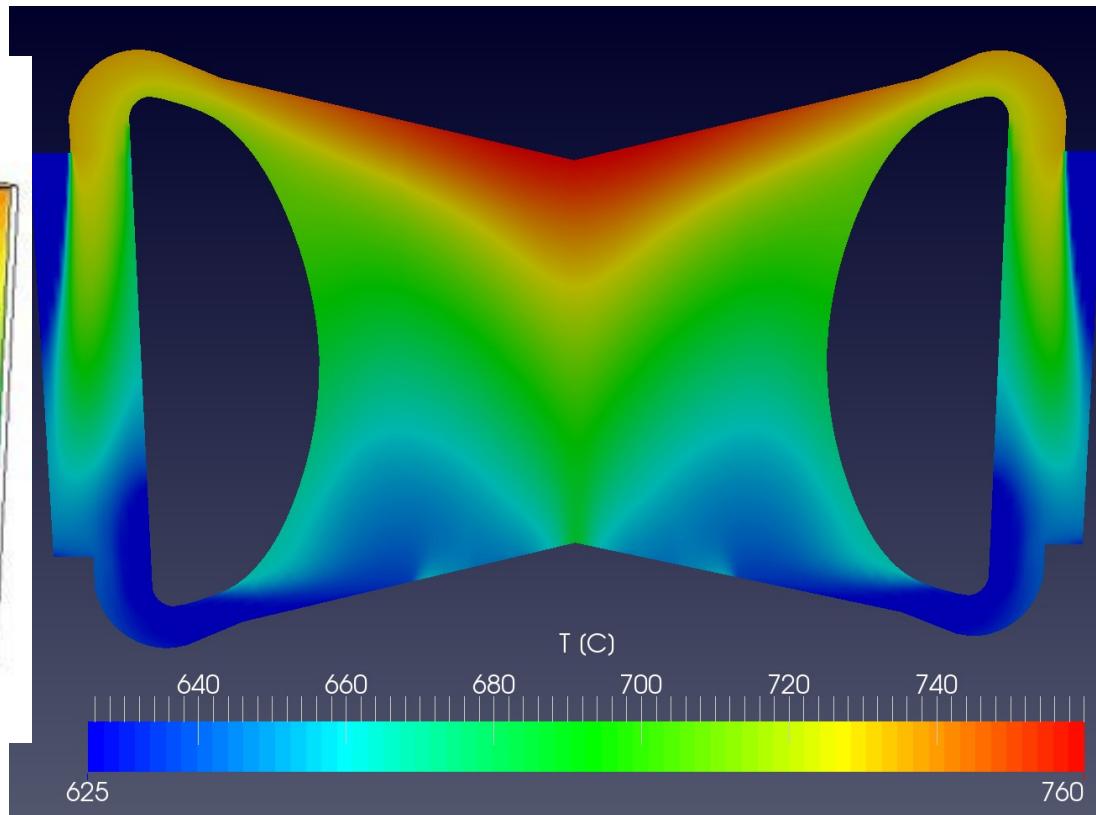


## Sensibilité à la source – température (C)

Source (W/m3)  
issue du calcul en cylindre

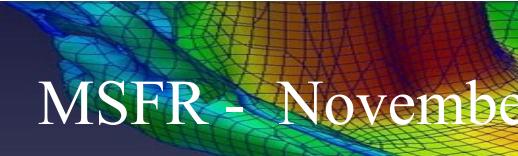
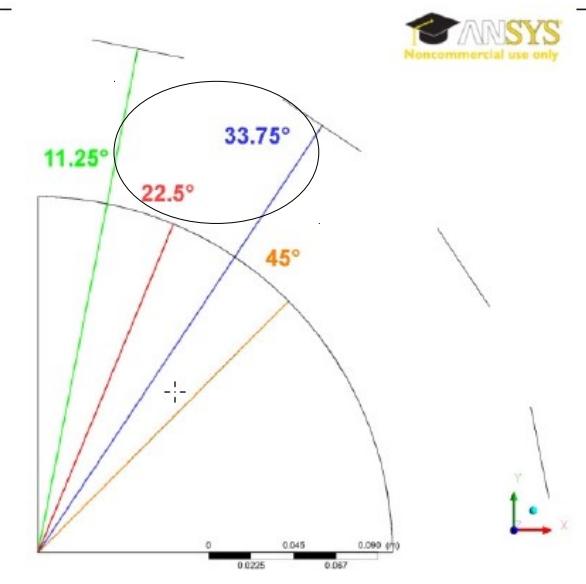
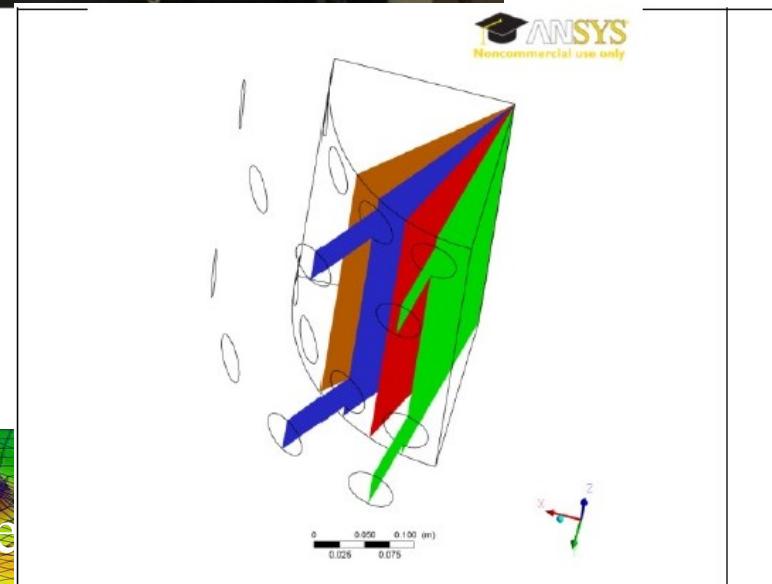
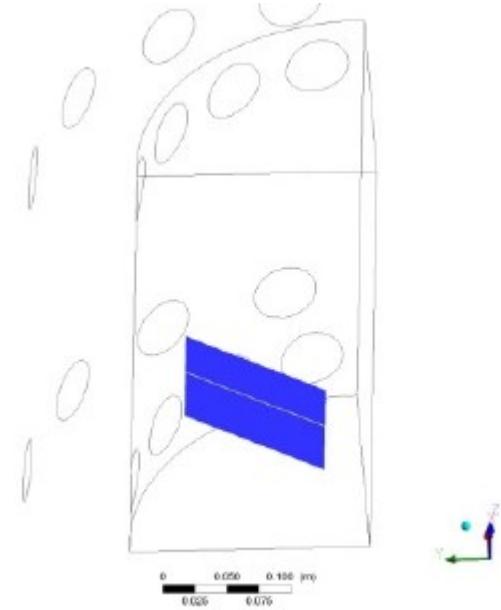


et du calcul couplé



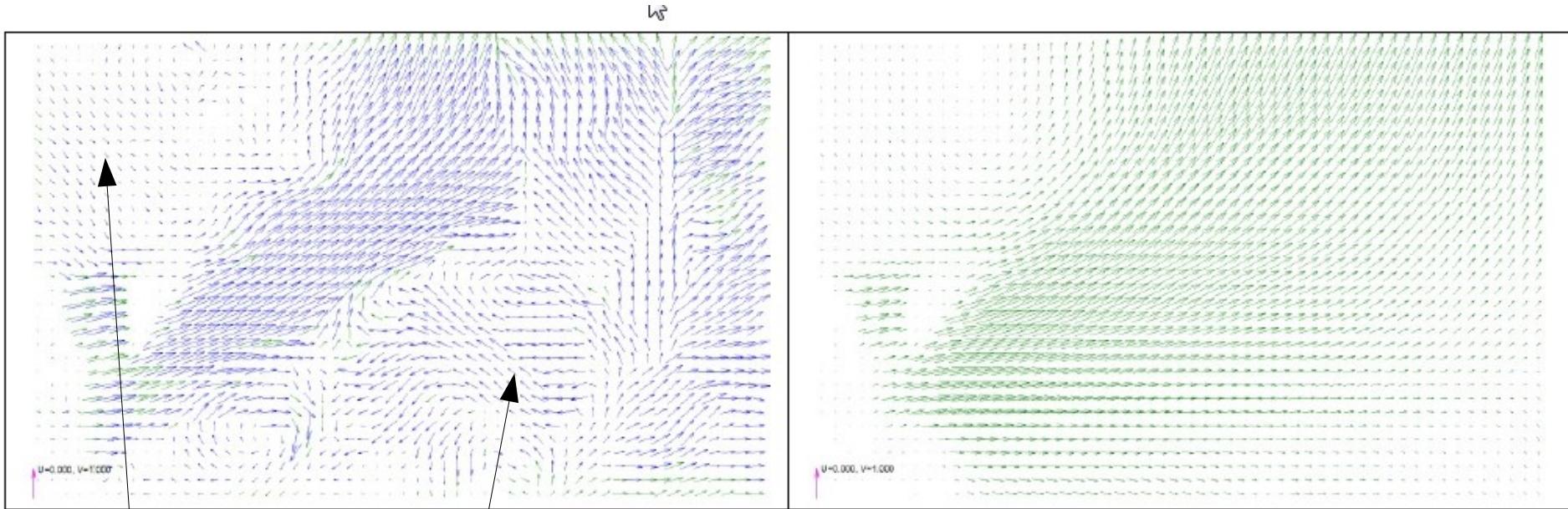
→ *Température maximale plus élevée de 30°*

# Measurements from BME



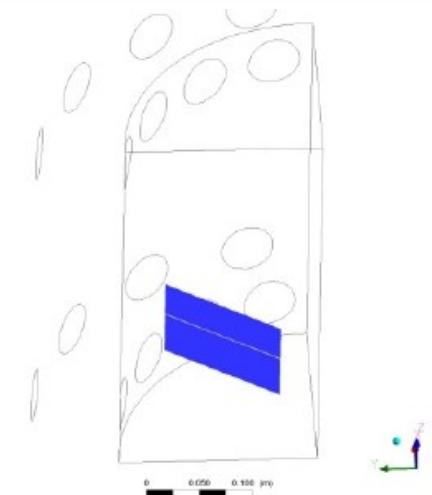
MSFR - November

# Vitesses dans deux plans verticaux BME measurements



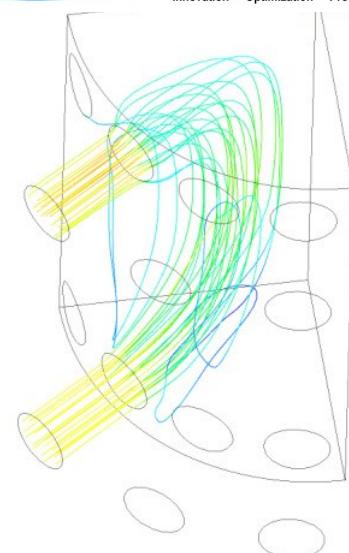
Small recirculations / turbulence

Large recirculation / core shape

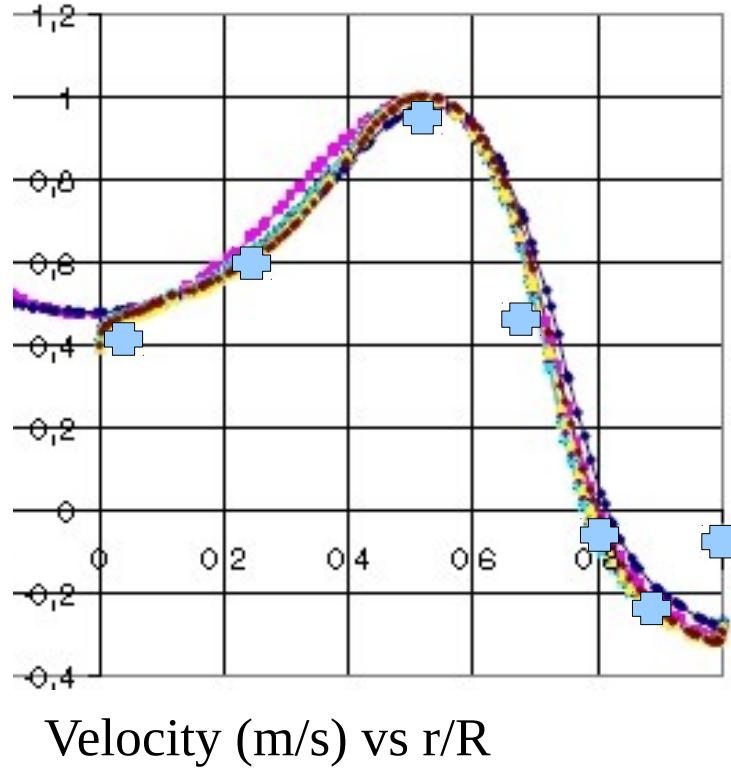


# Some add to benchmark

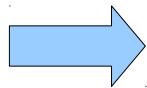
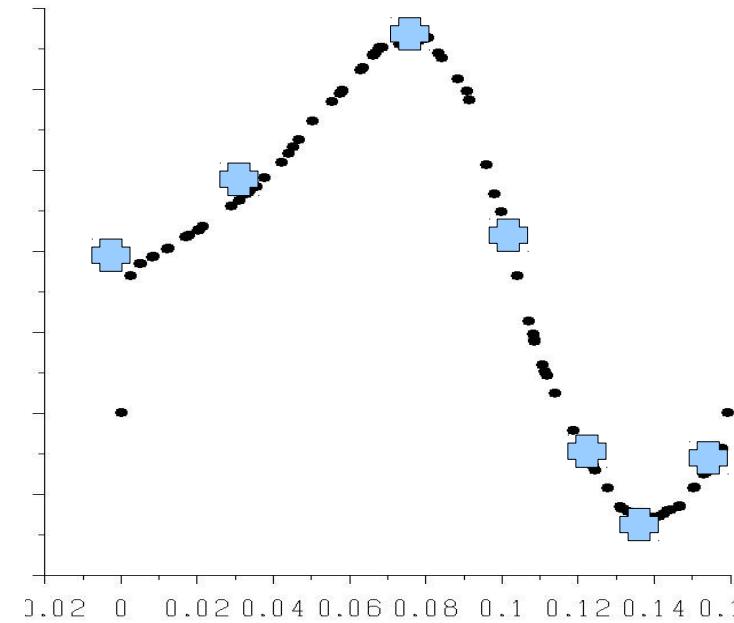
## Comparison with simulation from BME



Simulation and measure from BME



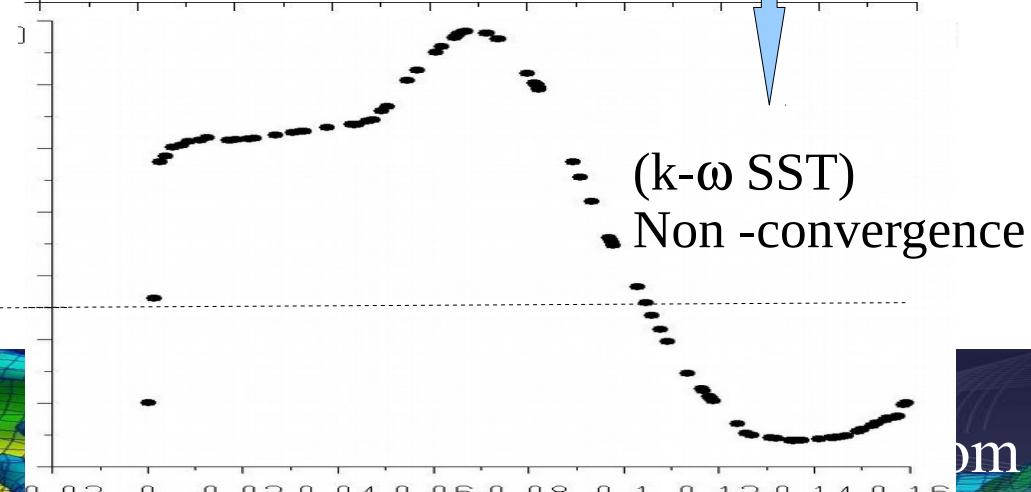
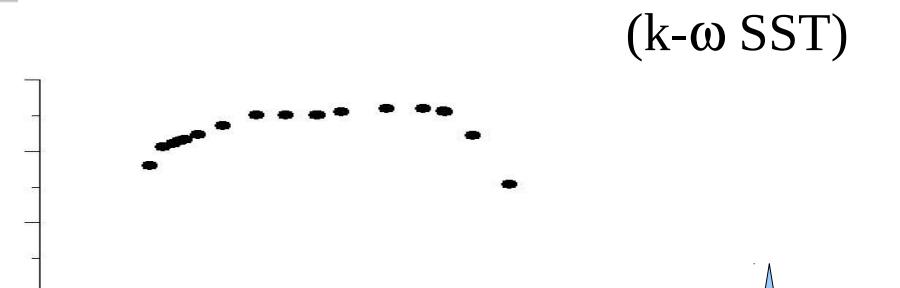
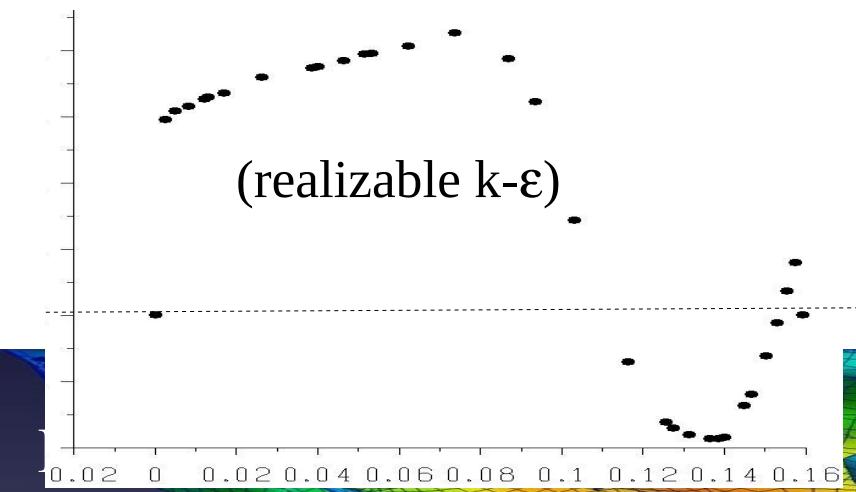
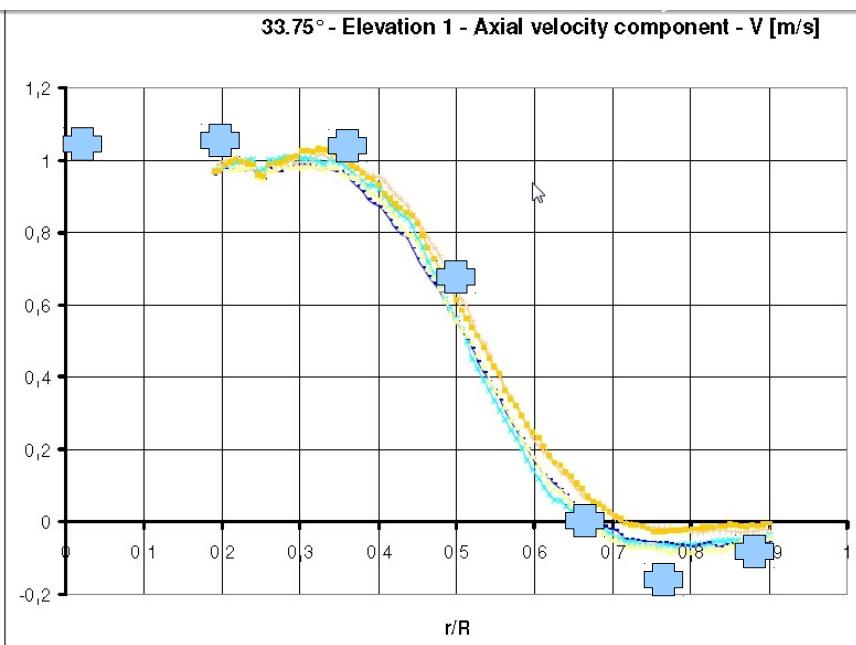
and from INOPRO  
(realizable  $k-\varepsilon$ )



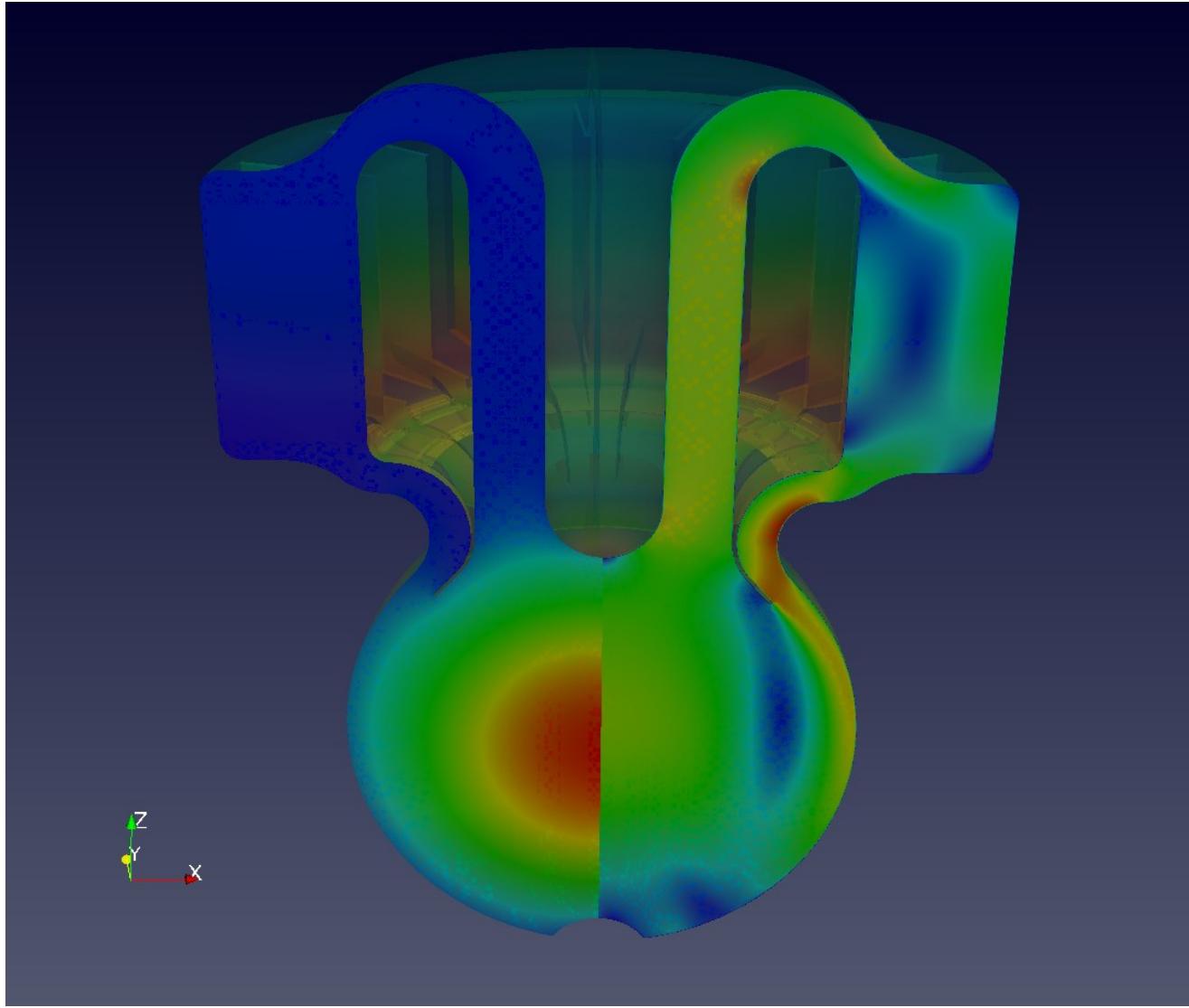
Very similar results

# Some add to benchmark

## Comparison with measurements from BME



# Autres idées....



# Conclusions

Le cœur 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 (<0,3bars dans le cœur)

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

pression dynamique maxi sur les reflecteurs 0,7bars  
(pour la géométrie optimum)

Cela peut être vérifier par des modèles plus précis

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