

L.P.S.C

Simulation thermo-hydraulique pour un projet de réacteur de génération IV

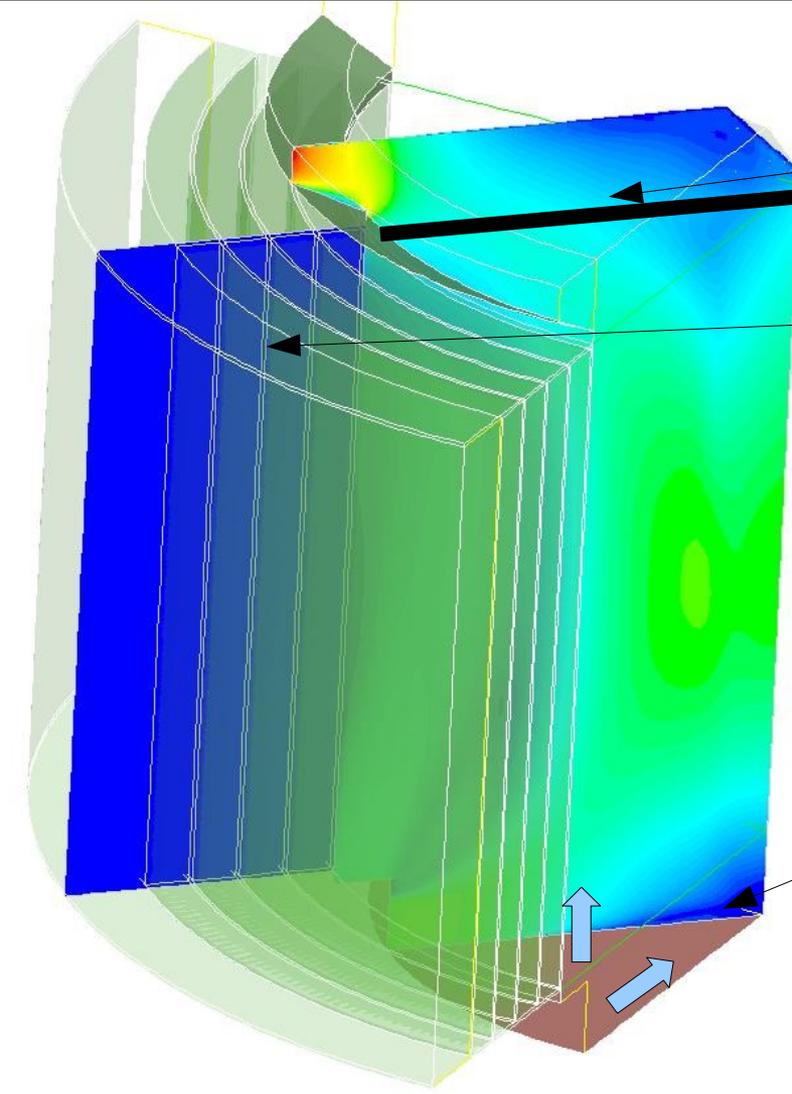
Phase 2: comparaison de géométries du réacteur.

Olivier Geoffroy – Hervé Rouch
3 Février 2010

Hypothèses, calculs

- Conclusion 1ere phase: forte sensibilité de l'homogénéité thermique à l'injection
- But de la phase 2 : Déterminer la configuration du réacteur la moins sensible à l'injection
- 3 cas ont été traité:
 - Réacteur avec une géométrie de rapport $H/D = 1$ (cas HD1)
 - Réacteur avec un rapport $H/D = 1$, mais un débit doublé (cas HD1b)
 - Réacteur avec un rapport $H/D = 2$ (cas HD2)
- La source thermique totale dans le coeur est de :
 - 2.79586 GW dans le coeur pour le cas $H/D = 1$
 - 2.80778 GW dans le coeur pour le cas $H/D = 2$
- Sa repartition est donnée par la neutronique
- Le débit nominal est de 29.5 T/s, (double pour HD1b)
- La température d'entrée est de 1000 °K
- La source thermique dans la couverture est prise en compte. Cependant la convection du sel dans la couverture fait l'objet d'un traitement séparé.

Géométrie



L'homogénéité en température est contrôlé en partie haute du coeur

La couverture et le b4c sont pris en compte

Dans cette phase on optimise le profil de vitesse à l'injection (et non une forme d'injecteur)

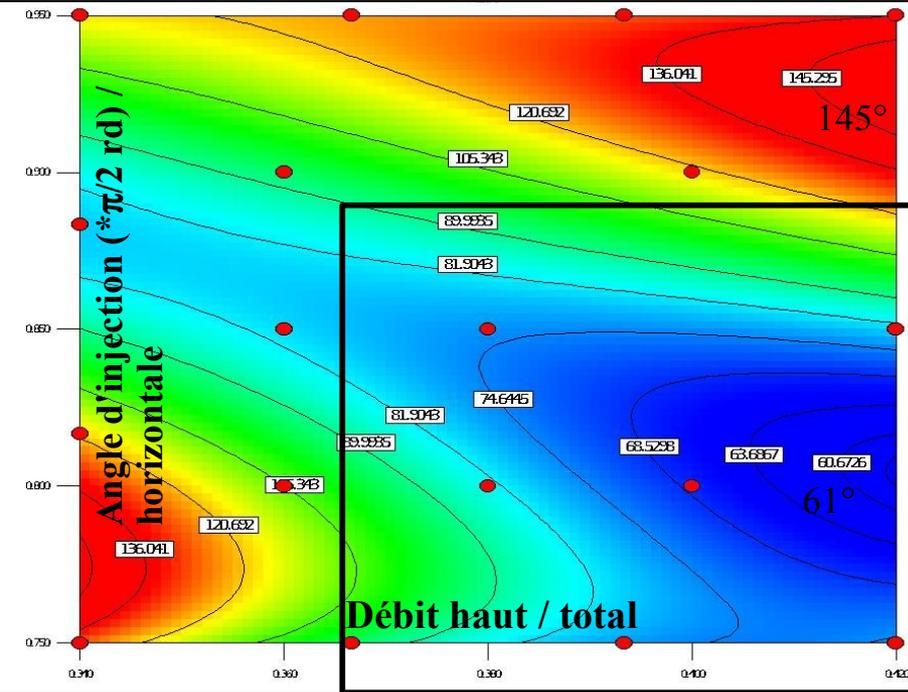
Le profil d'injection est définis en deux zones, soient 3 paramètres d'optimisation:

- 1 répartition de débits
- 2 directions d'injections.

1^{er} résultat : la première injection est toujours horizontale

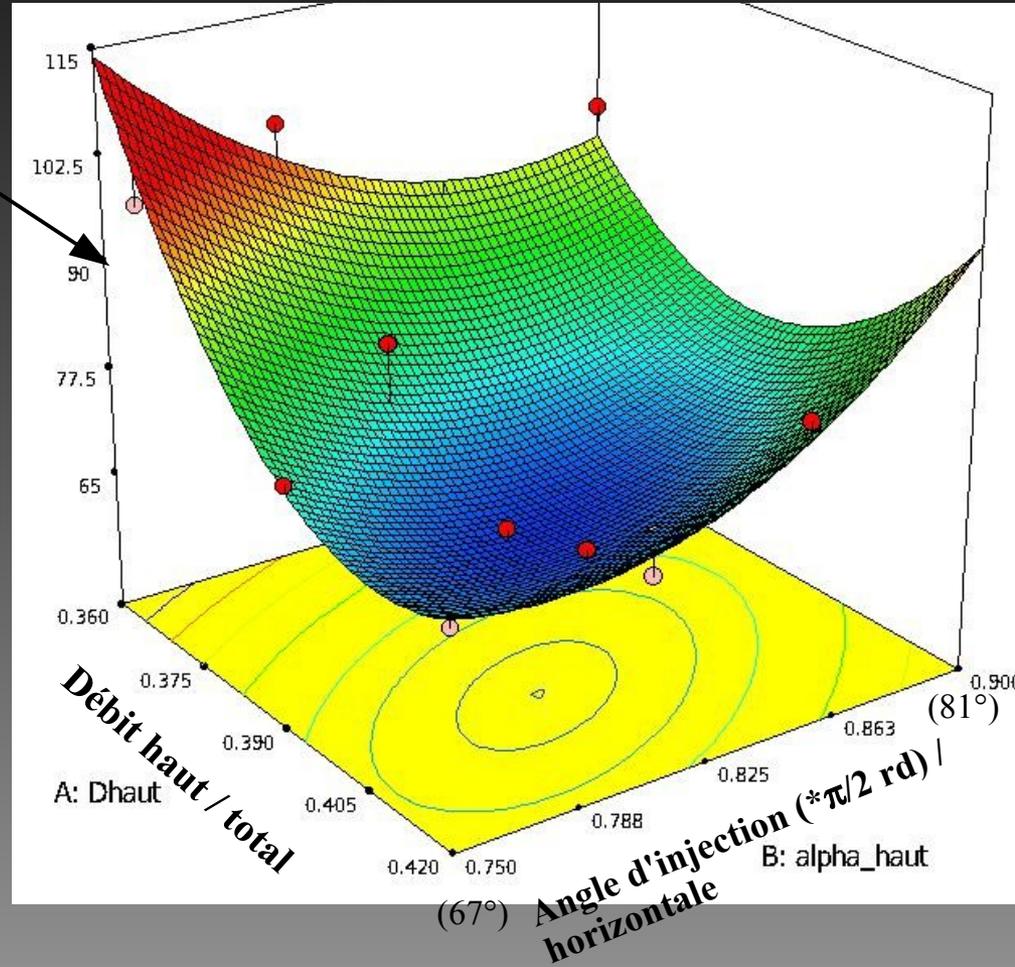
Cas HD1

Recherche profil optimum



Le meilleur profil donne un écart de température maximal de : 65°.

La température moyenne de sortie est de : 1090 K



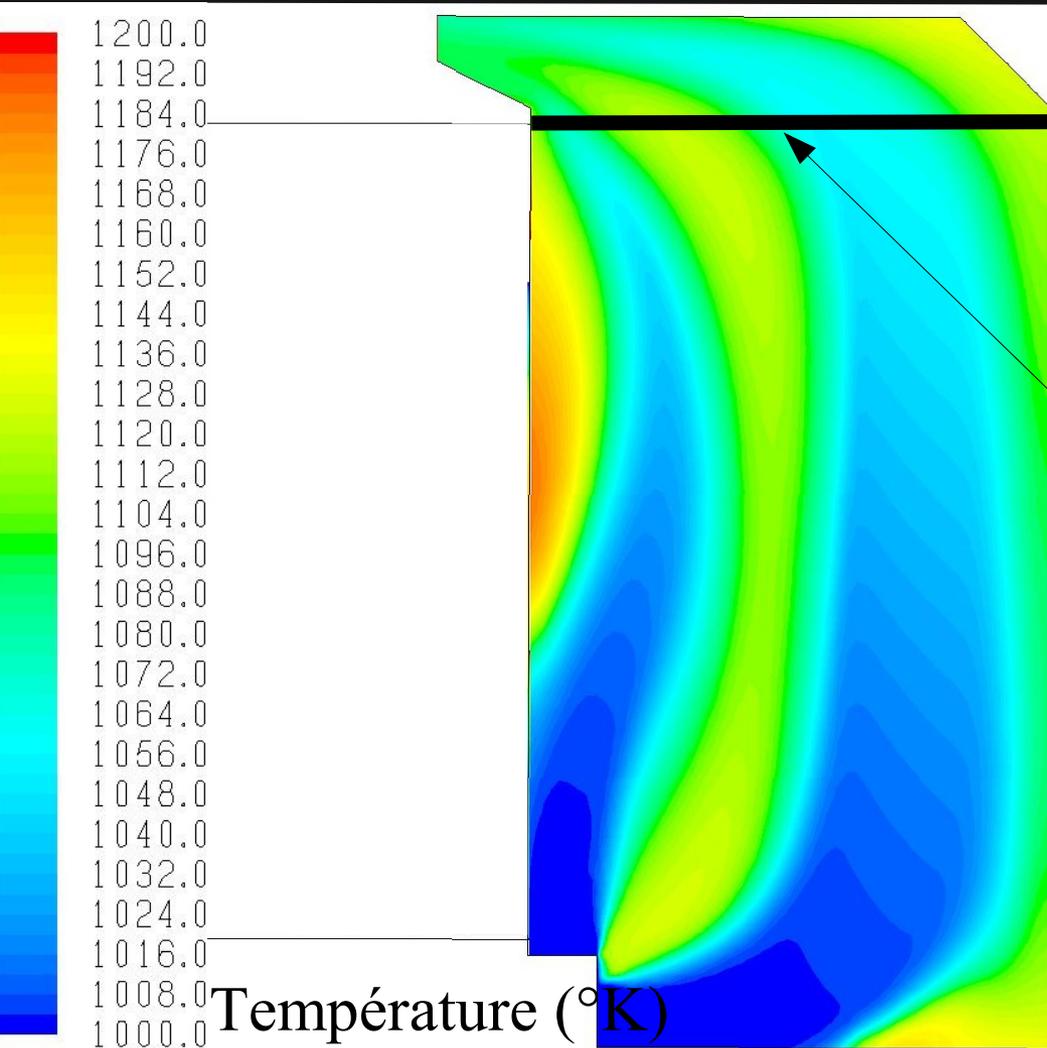
Écart maximal de température à la sortie du cœur

Écart minimum: 65 °C

→ Une zone de meilleur profil est isolée

Température (K) profil optimum

cas HD1



Rappel phase 1,
DT=15°C avec:

- injection 3 zones
- Design déflecteur dans le plenum haut

DT=65°C

On observe 3 zones plus chaude dans le coeur:

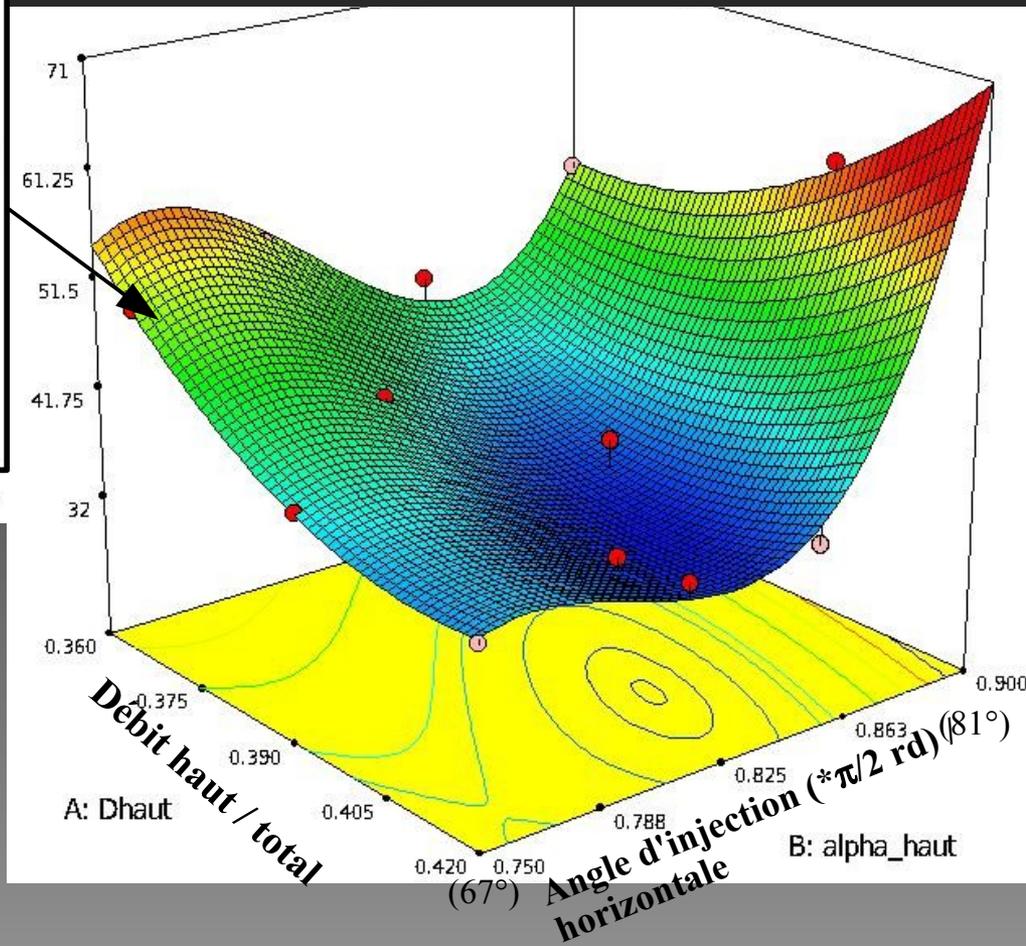
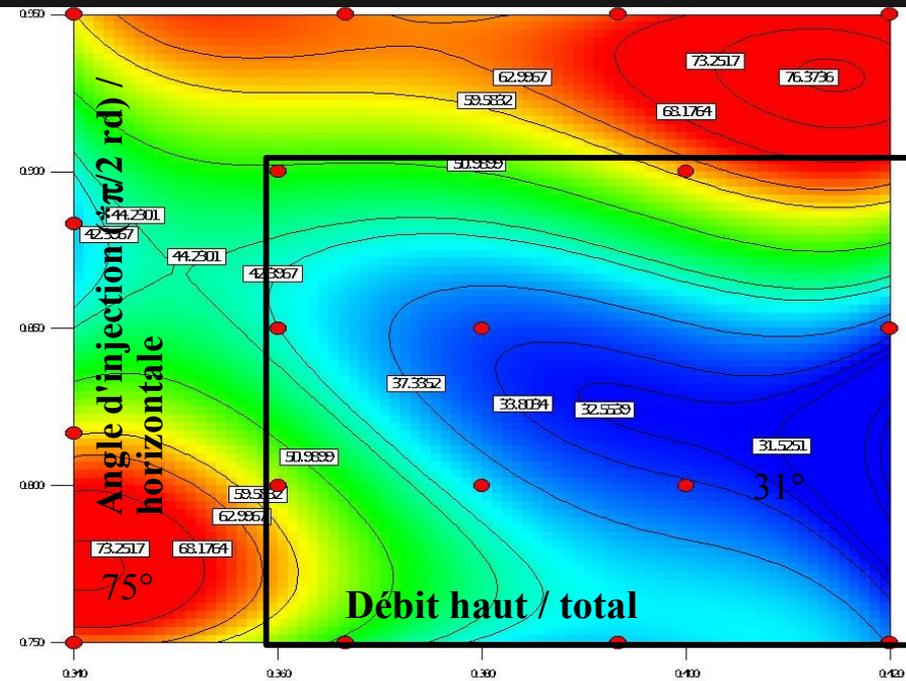
- contre la paroi externe (interface coeur/couverture)
- entre les 2 zones d'injection
- au centre, principalement en bas et en haut.

Cas HD1B – débit double

Recherche profil optimum

Le meilleur profil donne un écart de température maximal de : 32.2° .

La température moyenne de sortie est de : 1045°K



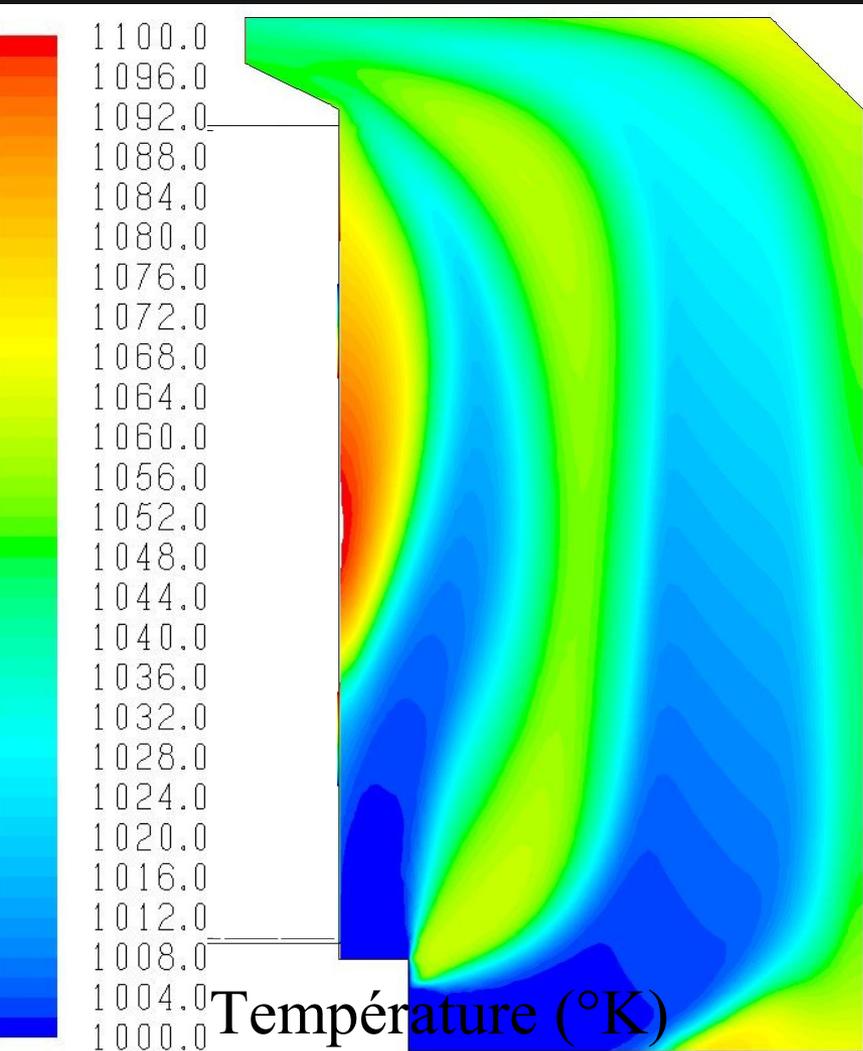
Écart maximal de température à la sortie du coeur

Optimum 32°

Sensibilité moindre au débit

Sensibilité plus forte aux directions

Température (K) profil optimum cas HD1 b (débit double)



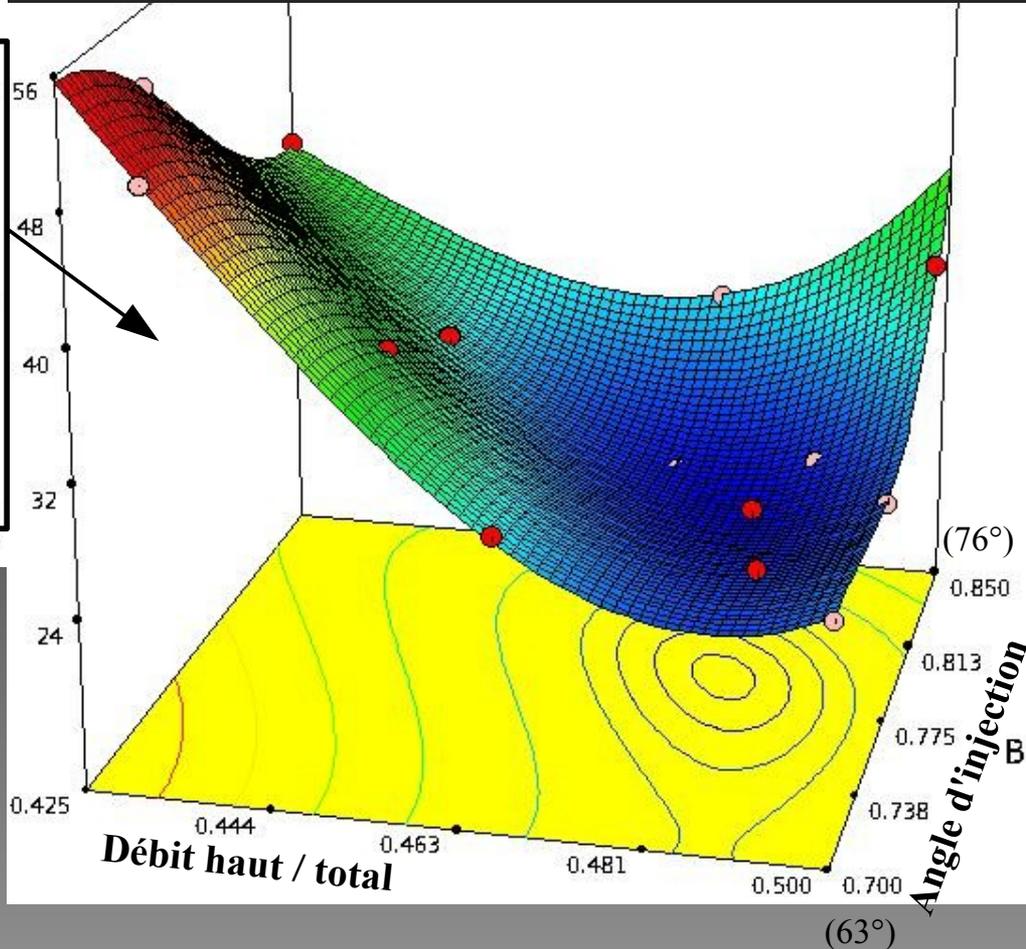
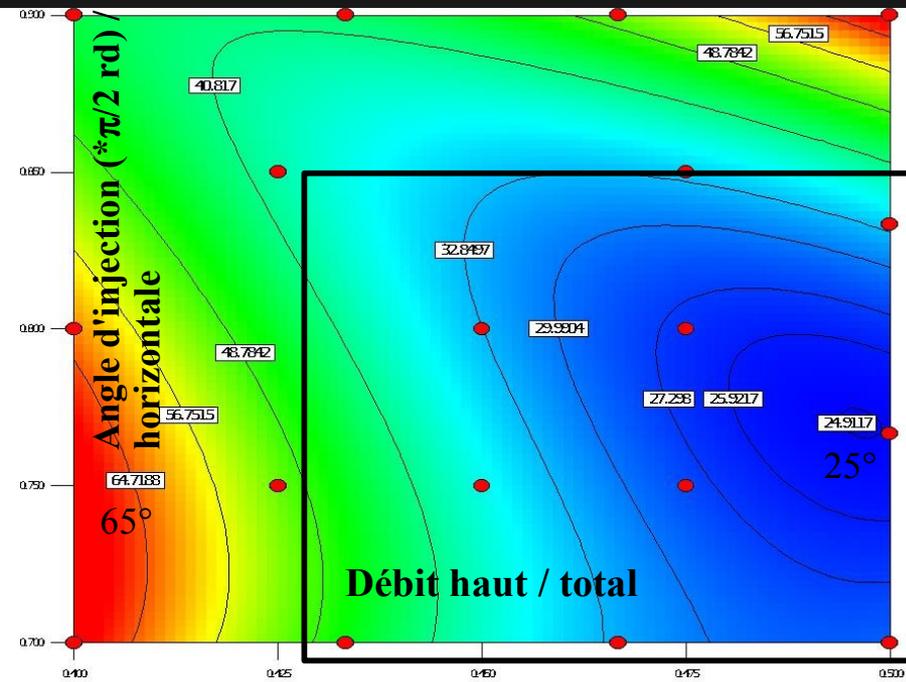
Résultats très similaire au cas HD1.

Cas HD2 (H/D=2)

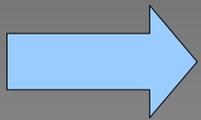
Recherche profil optimum

Le meilleur profil donne un écart de température maximal de : 24.8°.

Température moyenne de sortie est de: 1091 °K



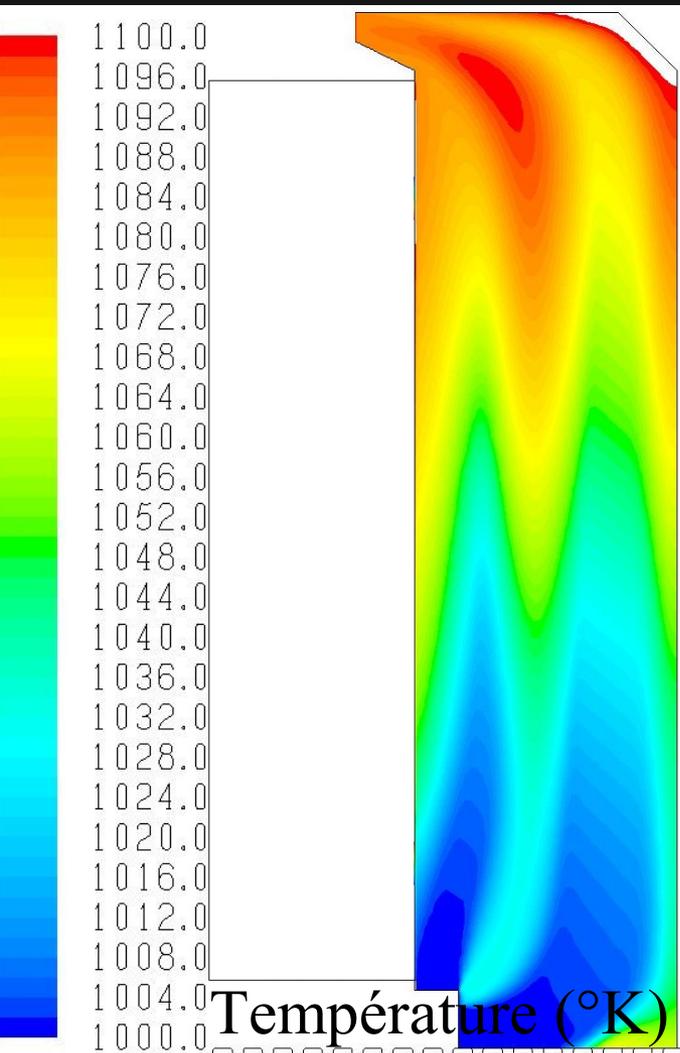
Écart maximal de température à la sortie du cœur



Optimum 24.8°
Moindres sensibilités

Température (K) profil optimum

cas HD2 (H/D=2)



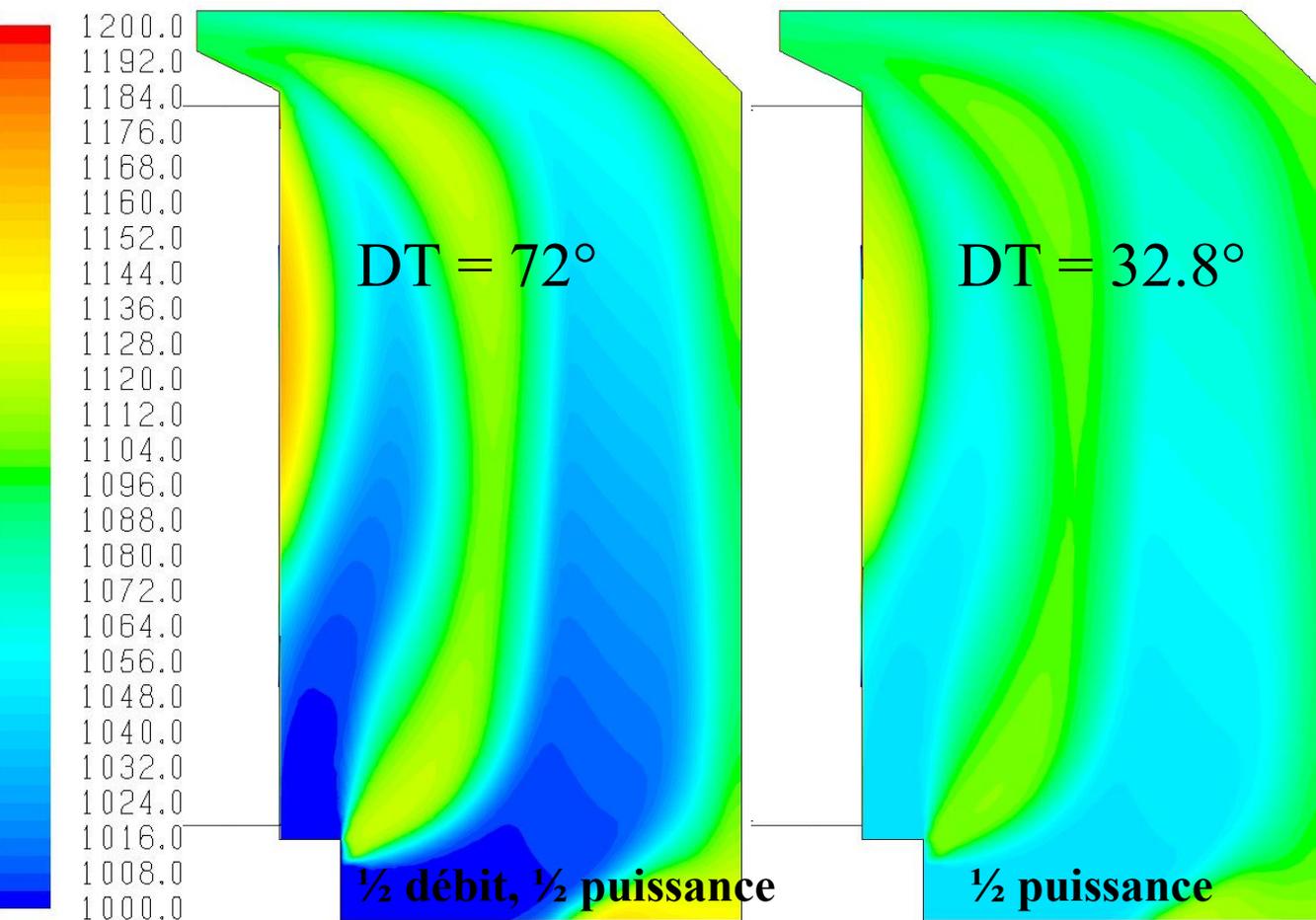
La zone chaude est principalement en haut du cœur

- au centre.
- sur une couronne.

Sensibilités débit et puissance

A partir optimum HD1 (même injection)

Température (°K)



1/2 débit, 1/2 puissance :

L'écart maximal de température passe de 65° à 72°

On dégrade légèrement l'homogénéité du réacteur.

La température moyenne en sortie est toujours de 1090 °K

1/2 puissance, T entrée ajustée :

La température d'entrée est de 1045 °K pour une sortie à 1090 °K.

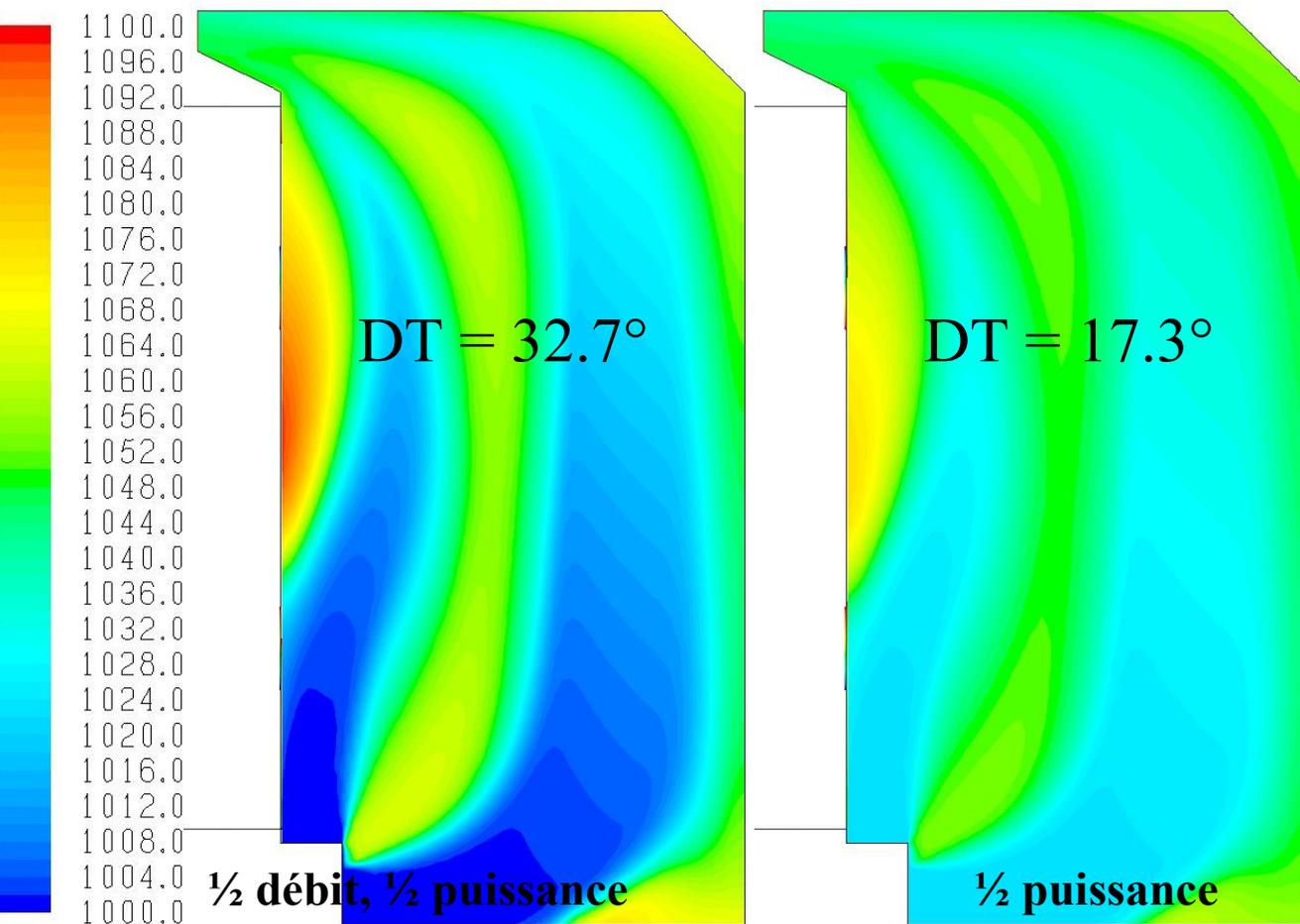
L'écart de température passe à 32.8°

On améliore fortement l'homogénéité.

Sensibilité débit et puissance

A partir optimum HD1 b (même injection)

Température (°K)



1/2 débit, 1/2 puissance :

L'écart maximal de température passe de 32.2° à 32.7°

On ne modifie pas l'homogénéité du réacteur.

La température moyenne en sortie est toujours de 1045 °K

1/2 puissance, T entrée ajustée :

La température d'entrée est de 1022.5 °K pour une sortie à 1045 °K.

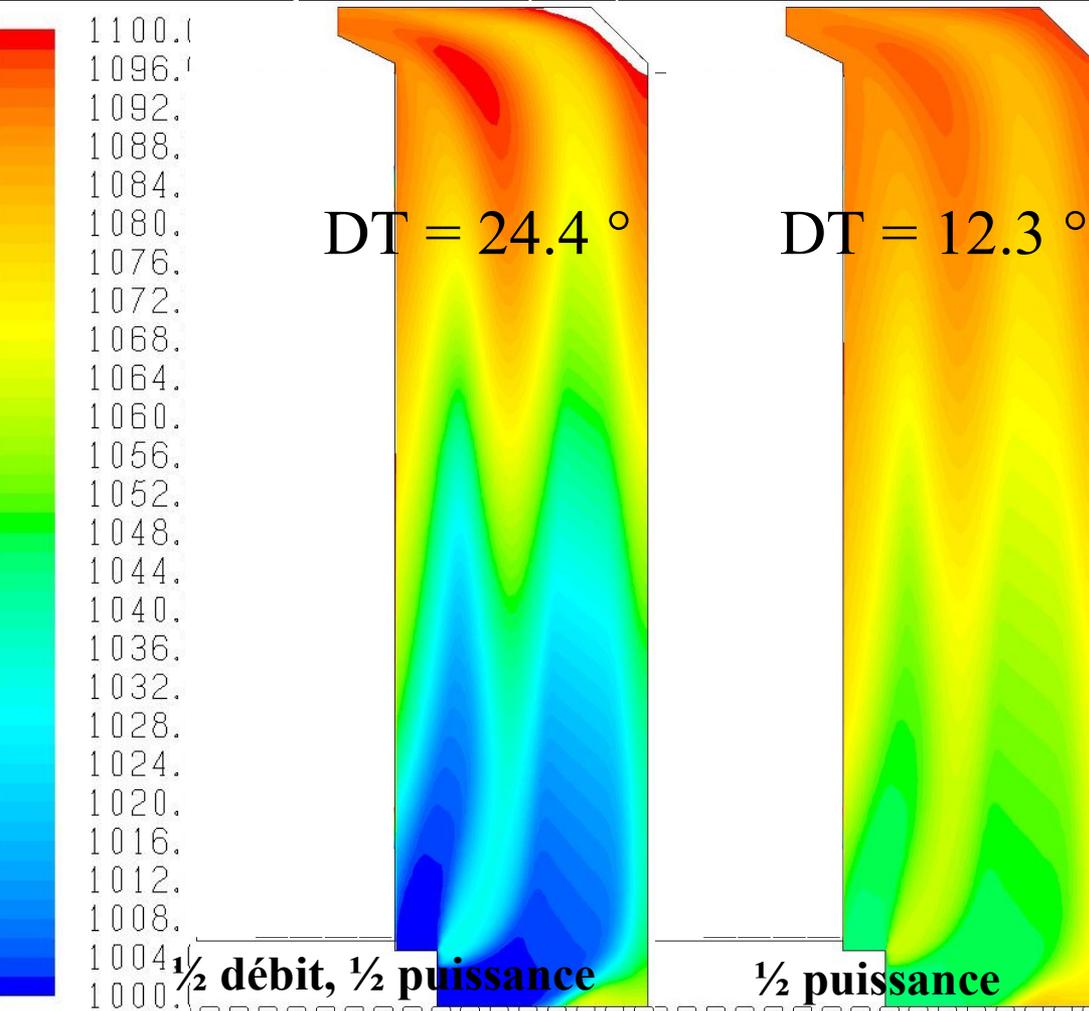
L'écart de température passe à 17.33°

On améliore l'homogénéité.

Sensibilité débit et puissance

A partir optimum HD2, (même injection)

Température (°K)



1/2 débit, 1/2 puissance :

L'écart maximal de température passe de 24.8° à 24.4°

On ne modifie pas l'homogénéité du réacteur.

La température moyenne en sortie est toujours de 1091 °K

1/2 puissance, T entrée ajusté :

La température d'entrée est de 1045 °K pour une sortie à 1091 °K.

L'écart de température passe à 12.3°
On améliore l'homogénéité.

Synthèse / sensibilités

	cas	Q thm. (MW)	Débit (T/s)	T entrée (K)	T sortie (K)	DT opt. (°C)	Écart de débit (fract. Total) optimum dégradé de 5°C	Écart d'angle (*p/2 rd) optimum dégradé de 5°C
HD1	référence	2795,86	29,5	1000	1090	65	+ - 0.005	+ - 0.02
	½ débit, ½ puiss.	1397,93	14,75	1000	1090	72	n/a	n/a
	½ puiss	1397,93	29,5	1045	1090	32,8	n/a	n/a
HD1b	référence	5591,72	59	1000	1045	32,2	+ - 0.01	+ - 0.02
	½ débit, ½ puiss	2795,86	29,5	1000	1045	32,7	n/a	n/a
	½ puiss	2795,86	59	1022,5	1045	17,33	n/a	n/a
HD2	référence	2807,78	29,5	1000	1091	24,8	+ - 0.025	+ - 0.05
	½ débit, ½ puiss	1403,89	14,75	1000	1091	24,4	n/a	n/a
	½ puiss	1403,89	29,5	1045	1091	12,3	n/a	n/a

Conclusions / sensibilités

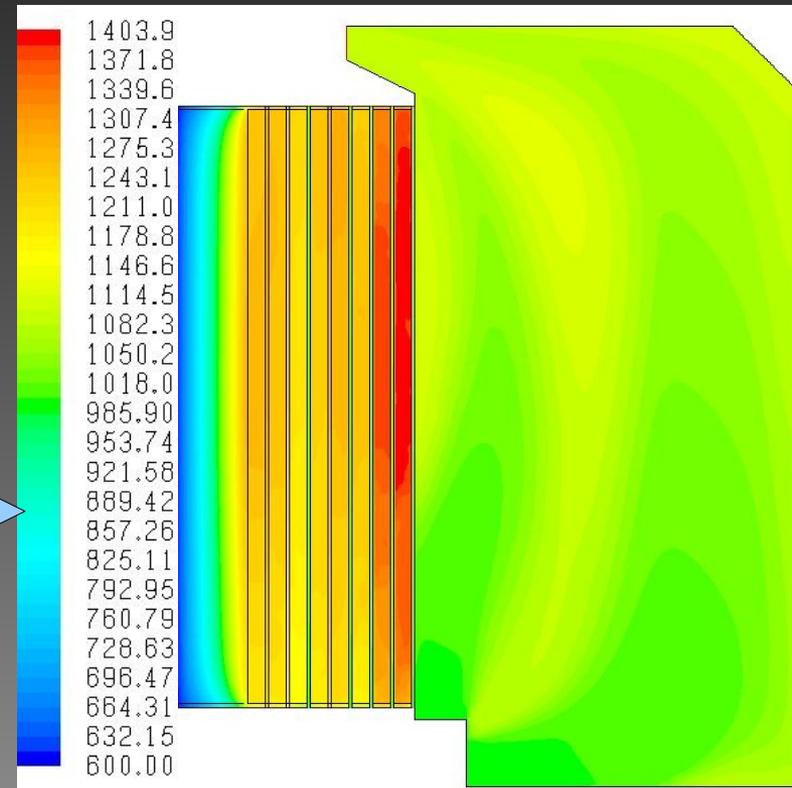
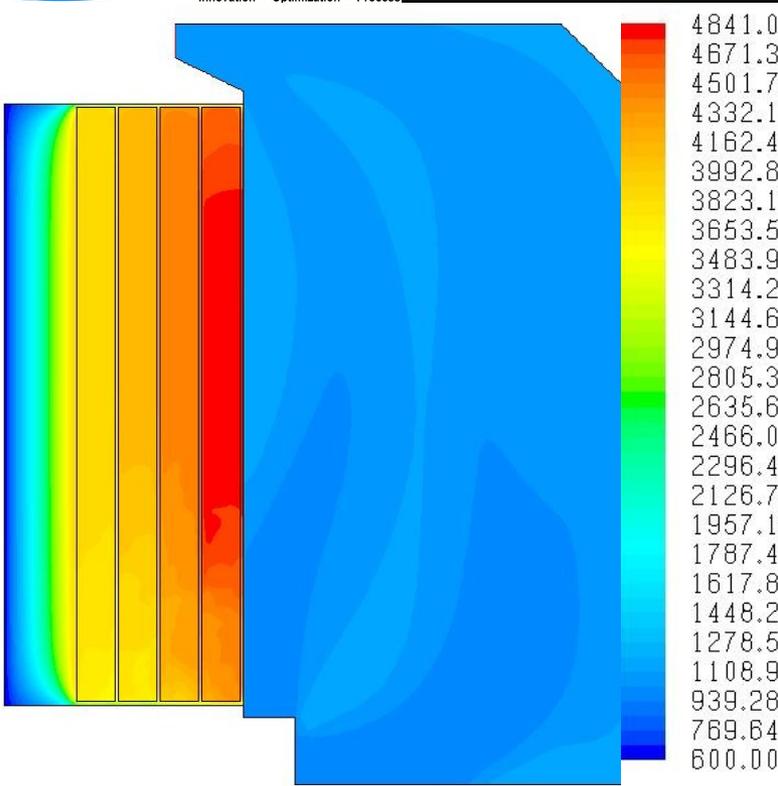
- L'homogénéité semble proportionnelle à la puissance,
- Les sensibilités à l'injection et au débit varient dans le même sens:
 - Cas le plus sensible: HD1 (H/D=1 débit nominal 29,5T/s)
 - Intermédiaire : HD1b (H/D=1 débit doublé)
 - Cas le moins sensible HD2 (H/D=2 débit nominal)
- Une prise en compte précise de la couverture doit être faite.

Couverture, problématique

Le terme source de 8.98 MW dans la couverture entraîne une augmentation importante de la température:

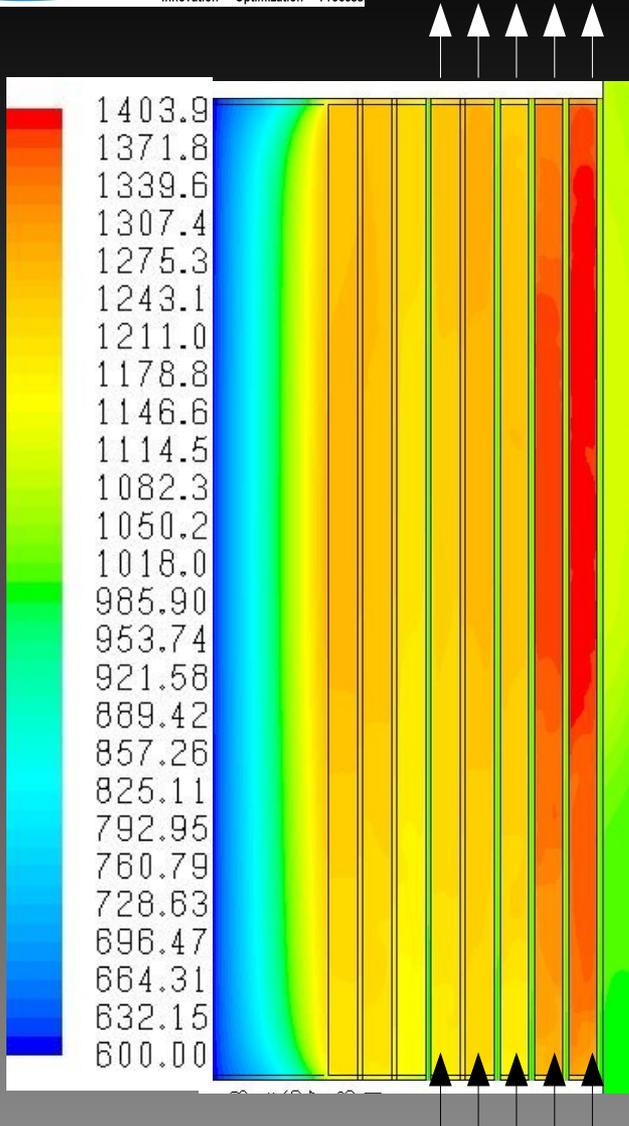
- Rayonnement – semi-transparence non pris en compte
- hors validité modèle

Un moyen d'évacuation du flux thermique doit donc être mis en oeuvre dans la couverture .



Sur l'image ci contre, un flux de sel a été injecté dans des veines, afin d'évacuer une partie du flux thermique. La couverture a été découpé en tranches de 10cm d'épaisseur. La température dans la couverture n'atteint « que » 1400 °K

Solution possible, couverture, champ de température (°K)



Solution 1°:

On injecte dans 5 veines du sel à 1000 °K (même température que pour le coeur), à la vitesse de 0.1 m/s.

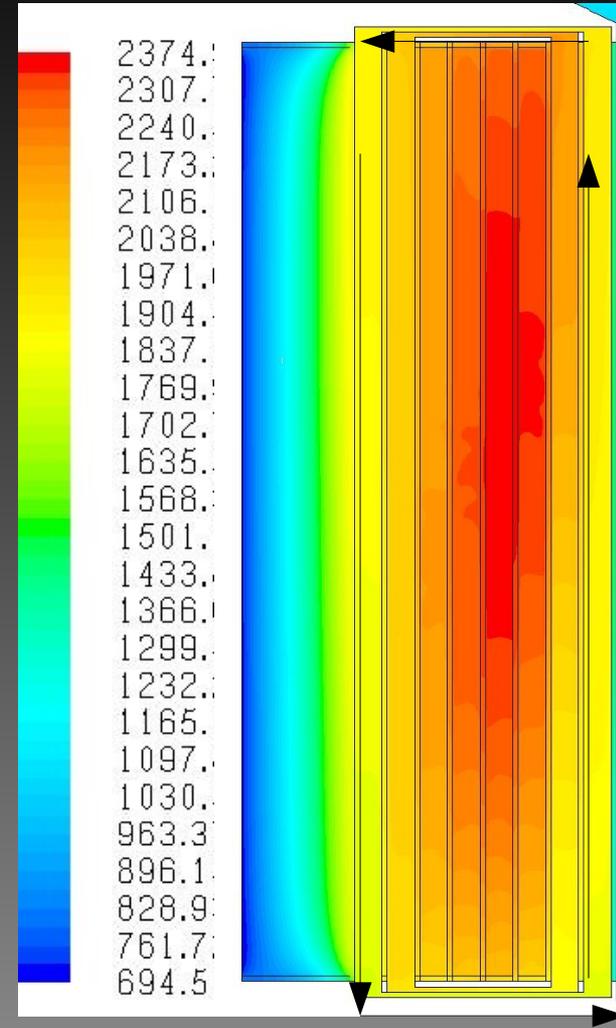
Le débit total passant dans la couverture est de 162 kg/s, soit environ 0.5% du débit total.

La température moyenne du sel a la sortie des veines est de 1100 °K environ

Solution 2°:

On permet une circulation entre les différentes parties de la couvertures. La seule convection naturelle limite la température de la première couche à 2100K.

Solution 3°: on mixte la solution 1 et 2, non étudiée



Conclusions

- Les sensibilités de l'homogénéité thermique à l'injection du sel et à la forme du cœur ont été caractérisées
- Cette sensibilité diminue avec le débit et le rapport de forme H/D
- La température atteinte dans la couverture, non brassée est très élevée.
- Des solutions existes pour limiter cette température