Canadian Boiler Society 2019 Education Days

Utilisation de la simulation numérique afin de diagnostiquer les défaillances du tube de chaudières

Présentateur :
Eric Duplain, ing., M.Ing.
Expert CFD, Brais, Malouin & Associés

Brais Malouin and Associates inc.

Énergie, combustion, transfert de chaleur et efficacité énergétique

Contexte

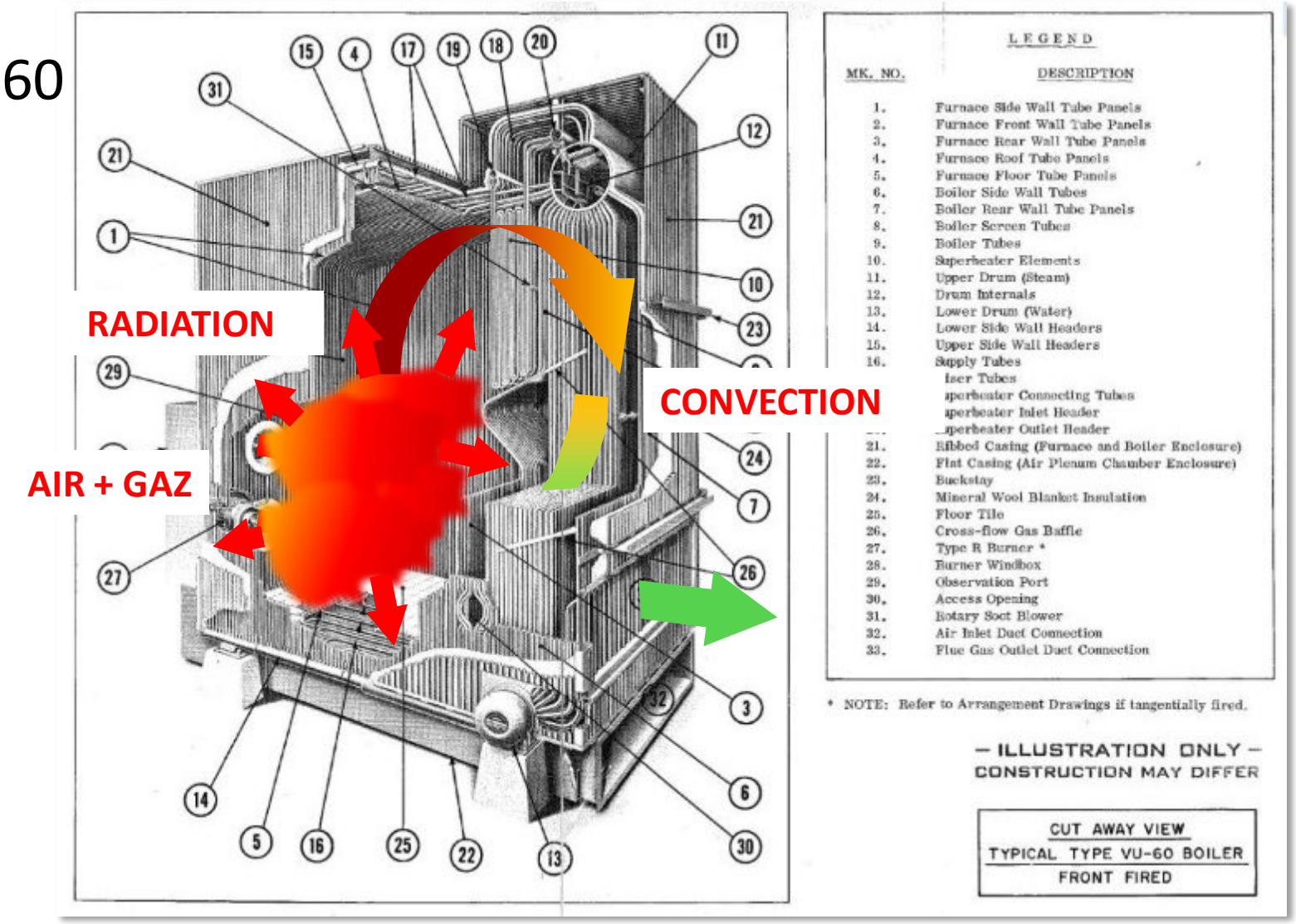
- Centrale électrique et de production d'eau
  - Construite en 1997
  - Production d'électricité et desalinization d'eau
  - Équipement investigué : Chaudière auxilière VU-60

Contexte

- Chaudière auxilière VU-60
  - Production : 369 ton/hr vapeur saturée
  - Pression d’opération : 22 bar
  - Vapeur utilisée pour le procédé de désalinisation d’eau
  - Mise en service en 1999
  - Combustible : Gaz naturel
  - 6 brûleurs frontaux (Front Fired)

Contexte

- Chaudière auxilière VU-60
  - Arrangement typique

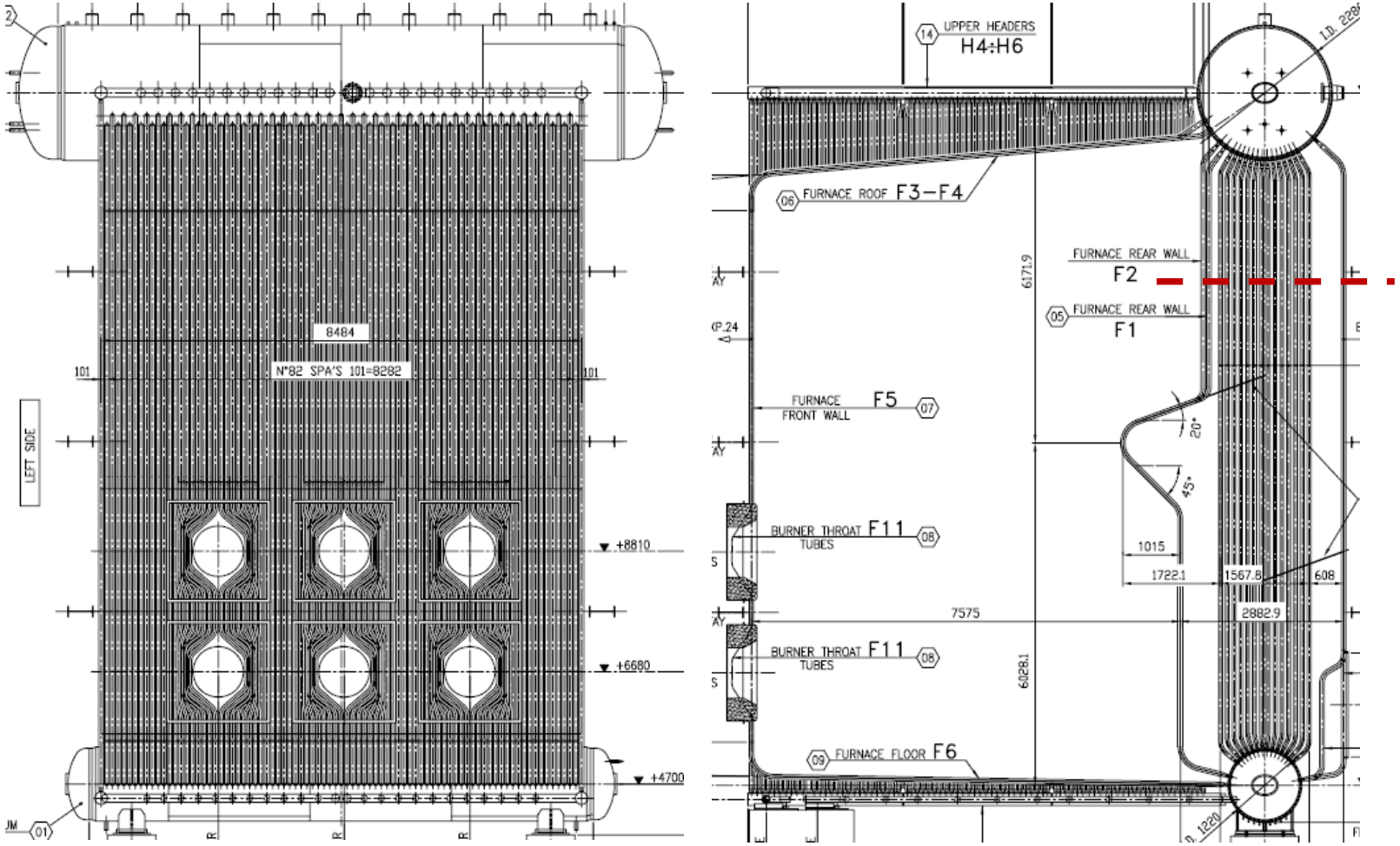


Contexte

- Chaudière auxilière VU-60
  - Depuis 2001, **plusieurs évènements de bris de tubes** à pleine capacité
  - Décembre 2017 : **plusieurs bris de tubes** dans la **banque de convection**
  - Ces bris ce sont produits suivant l'**arrêt d'une unité HRSG**
  - Cet arrêt du HRSG a entrainé une baisse de pression de vapeur de **16 à 9 bar**

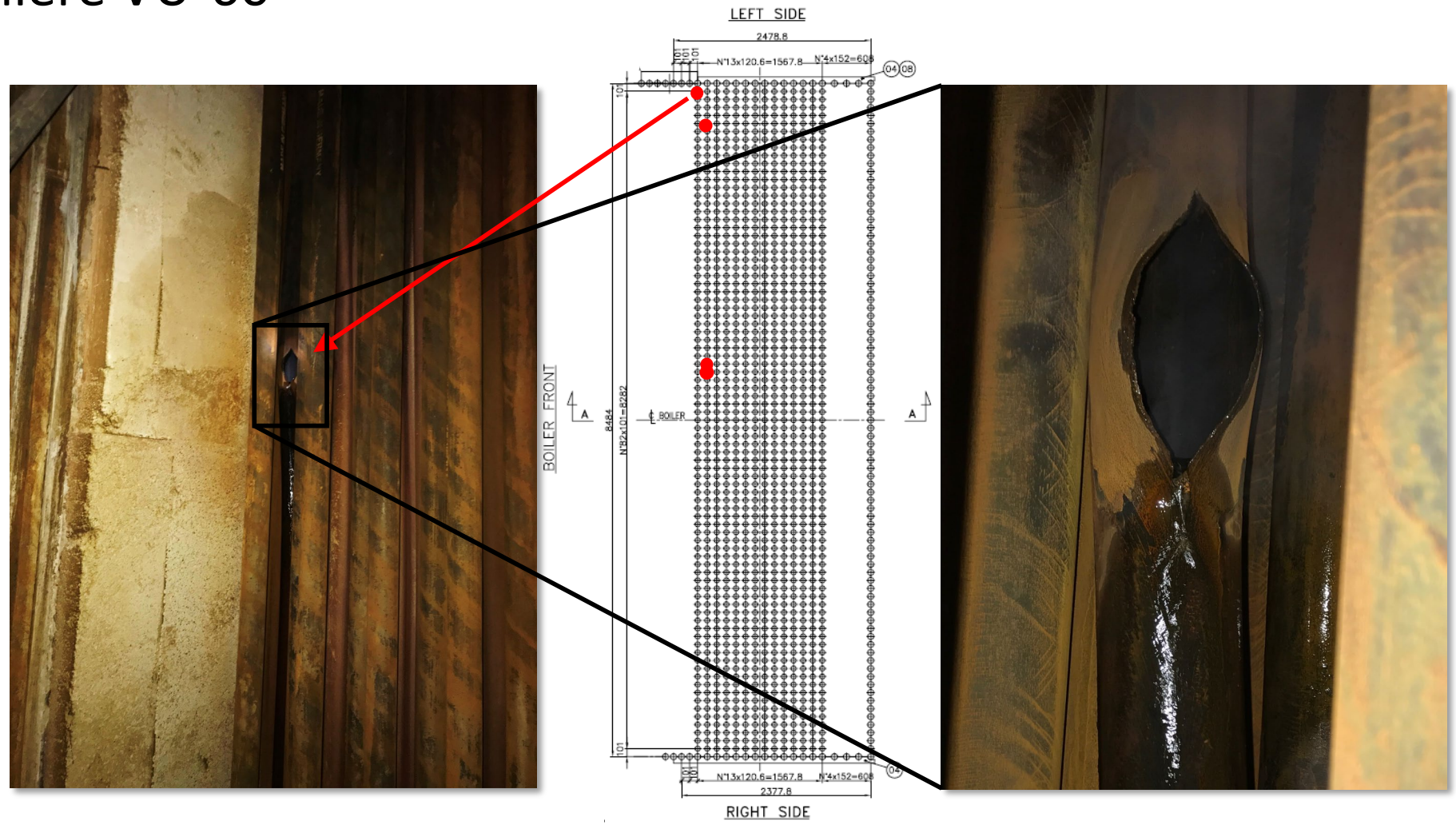
Contexte

- Chaudière auxilière VU-60
  - Dernier évènement : **2017**



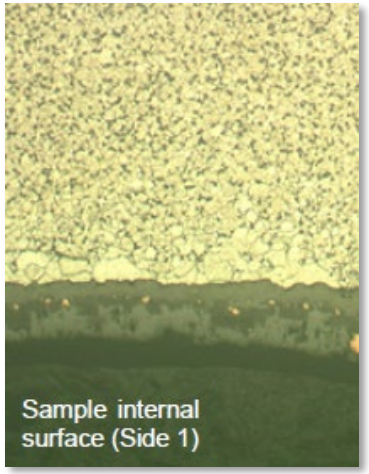
Contexte

- Chaudière auxilière VU-60
  - Dernier évènement : **2017**



Analyse préliminaire

- Surchauffe à long terme



- Micro fissures présentes sur la surface du tube
- Aucun dépôt interne
- Différence dans la structure des grains intérieur/extérieur
- Présence d'une épaisse couche d'oxyde

↓

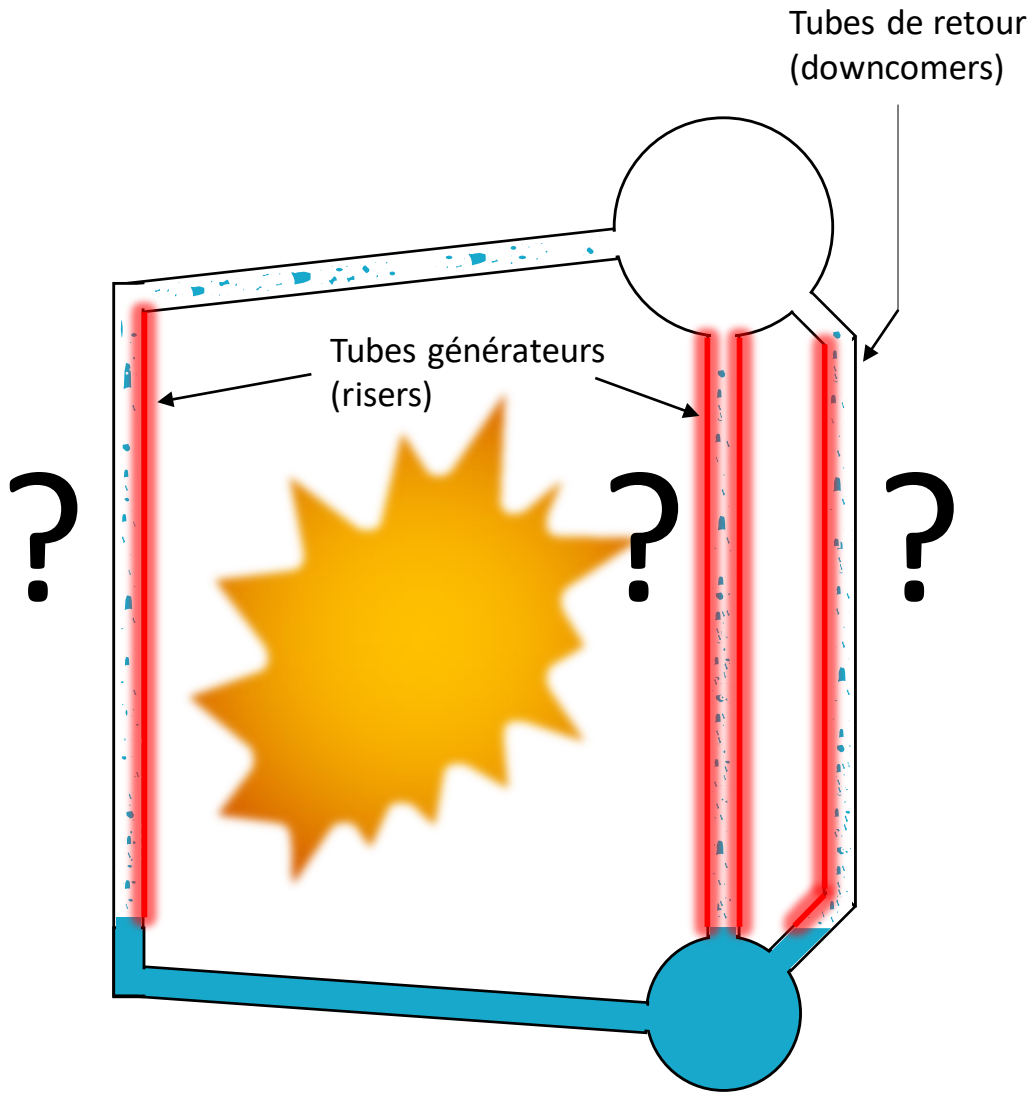
- **Indiquent une fatigue de longue durée (surchauffe)**

Analyse préliminaire

- Perte de pression de vapeur
  - Plusieurs évènements de bris de tubes dans la banque de convection
  - Les bris se sont produit suite à l'arrêt du HRSG
  - Pression de vapeur : 16 à 9 bar

L'EAU VA SE VAPORISER!

- Tubes de retour : Fraction de vide **0 → 93%**
- ↓
- Circulation arrêtée
- ↓
- Tubes ne sont plus refroidis
- ↓
- **Surchauffe**
- ↓
- **Bris à court terme**



Analyse préliminaire

- Surchauffe à court terme

Figure 3.2 Short-term overheating in which bulging occurred before rupture. Note the chisel-like rupture edges.

- Forme de l'ouverture indique une surfauffe rapide
- Perte de refroidissement = partie affaiblie d'un tube cédera en premier
- Consistent avec l'évènement de perte de pression
- Phénomène est connu et documenté (The NALCO Guide to Boiler Failure Analysis)

Analyse préliminaire

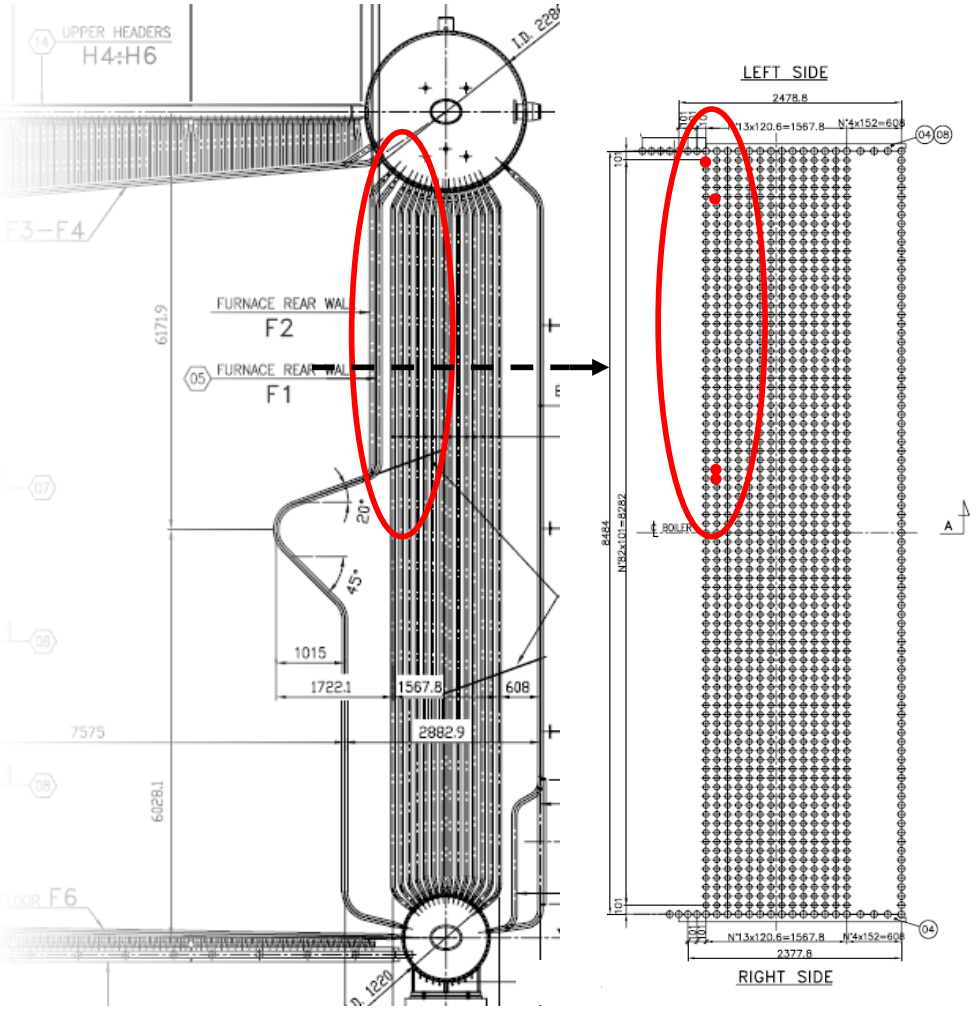
- Conception de la chaudière
  - Bris se produisent toujours dans les mêmes régions
  - Tubes affaiblis par surchauffe à long terme
  - Bris suite à la perte de pression de vapeur
  - Forme de la flamme?
  - Poi
  - Écoulement de fumées?

Analyze CFD de la combustion

↓

  - Circ
  - Rég es tubes adéquat?

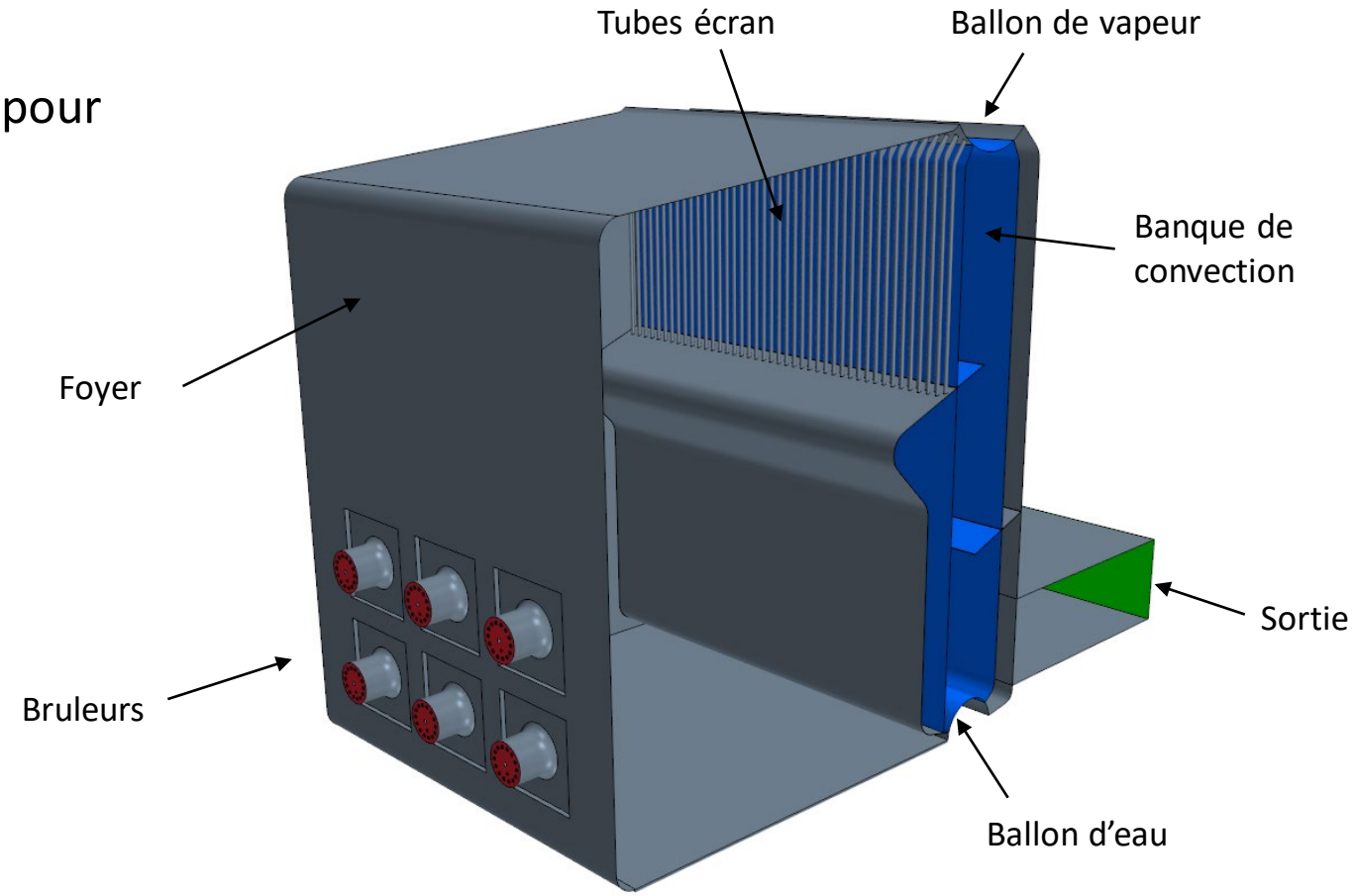
Analyze de la circulation eau/vapeur (code maison)



Analyze CFD de la combustion

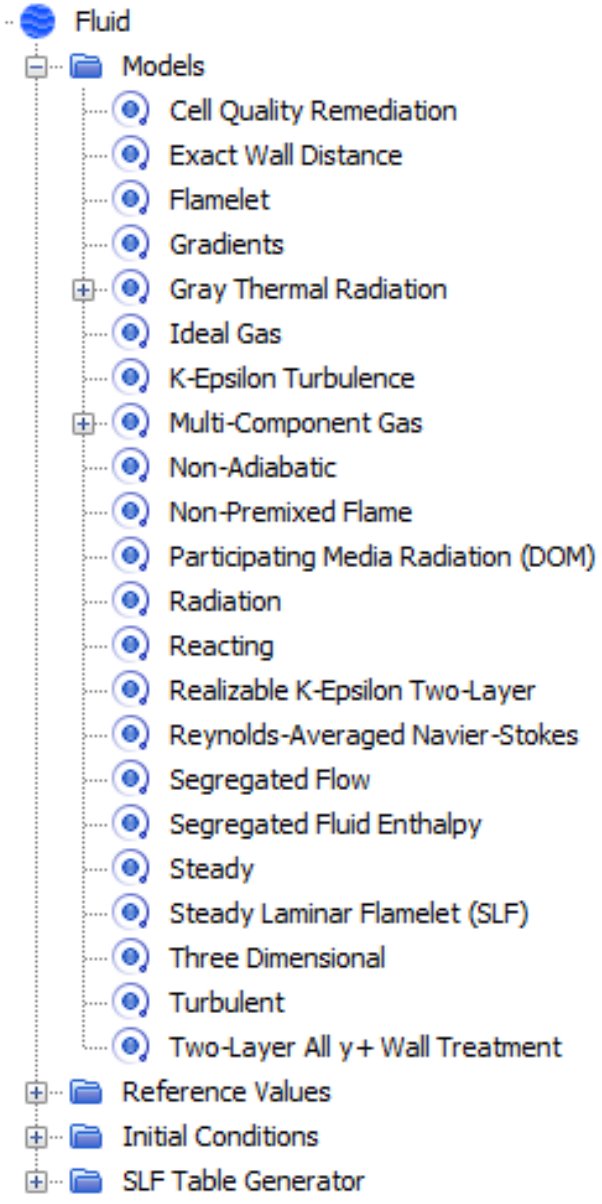
- BUT
  - Obtenir les champs d'écoulement et de température
  - Détecter les problems potentiels
  - Obtenir les flux de chaleur aux murs pour l'étude de circulation suivante

- CONFIGURATION
  - Domaine de calcul



Analyze CFD de la combustion

- CONFIGURATION : Physique
  - Air + gaz naturel (9 espèces au total)
  - Régime permanent
  - Modèle de turbulence : 2-Layer Realizable All y+ k-e
  - Flammes de diffusion (non pré-mélangé) → Modèle SLF
  - Modèle de radiation : Gray Thermal DOM avec milieu participant



Analyze CFD de la combustion

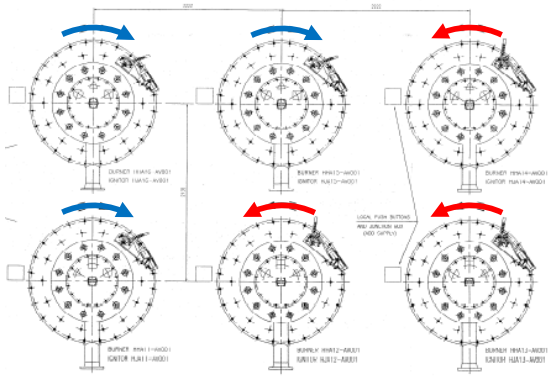
- CONFIGURATION : Conditions aux frontières

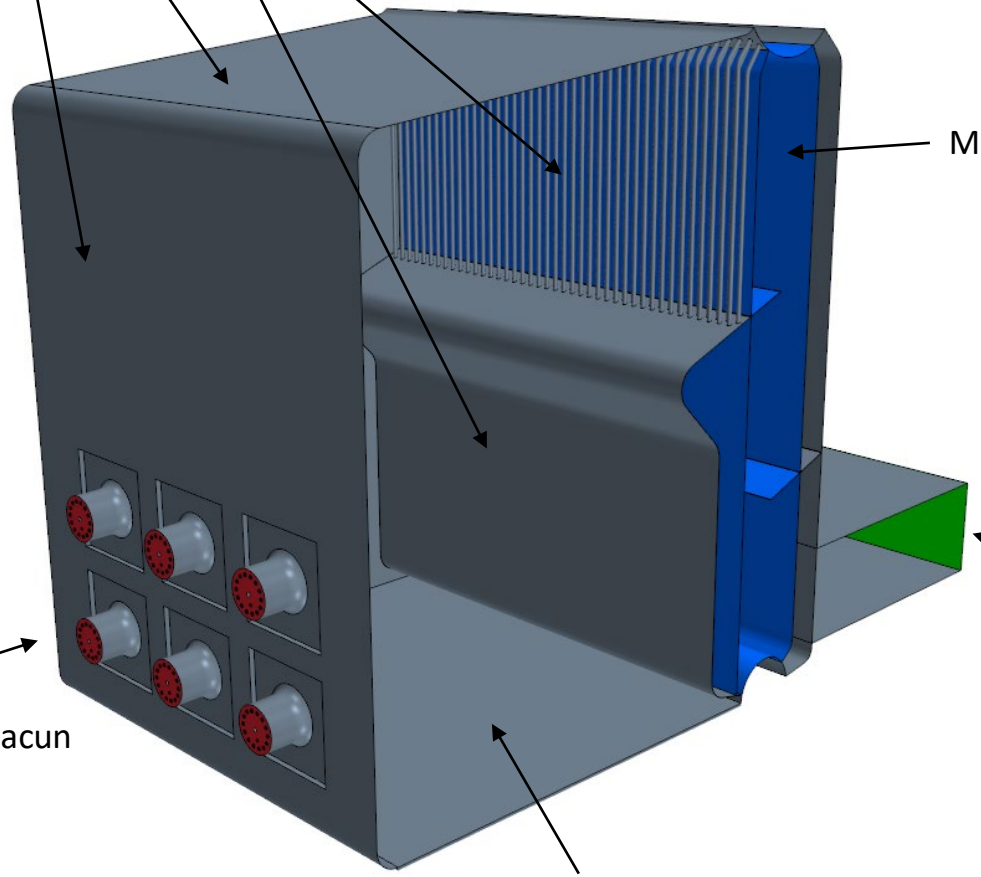
Autres surfaces adiabatiques
(sans transfert de chaleur)

Murs tubés : température fixe

Milieu poreux

Rotation aux entrées d'air





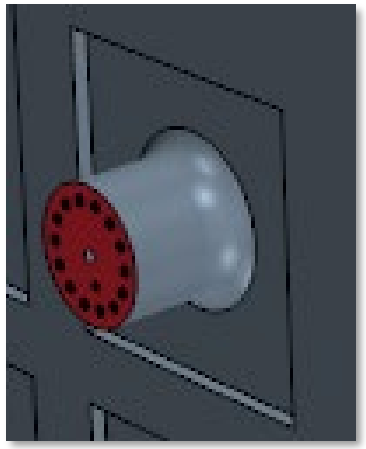
Sortie

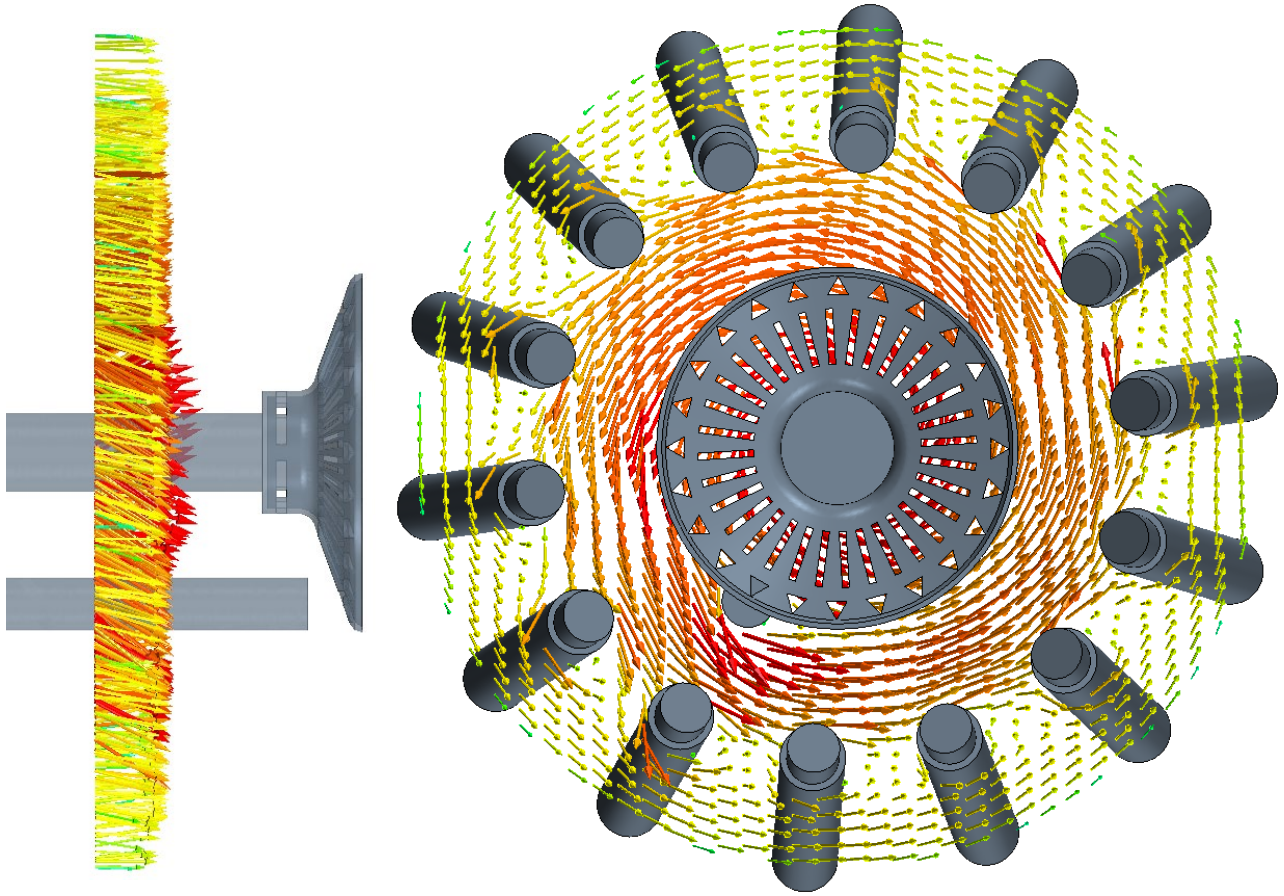
6 entrées d'air
14 injecteurs de gaz chacun

Plancher : température fixe + résistance (réfractaire)

Analyze CFD de la combustion

- CONFIGURATION : Conditions aux frontières



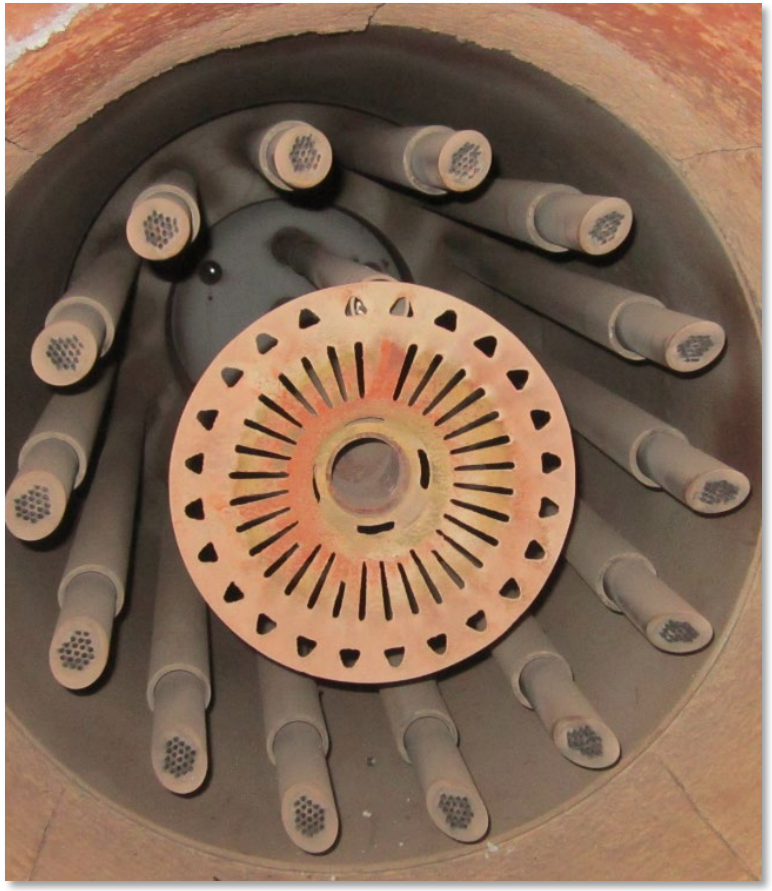


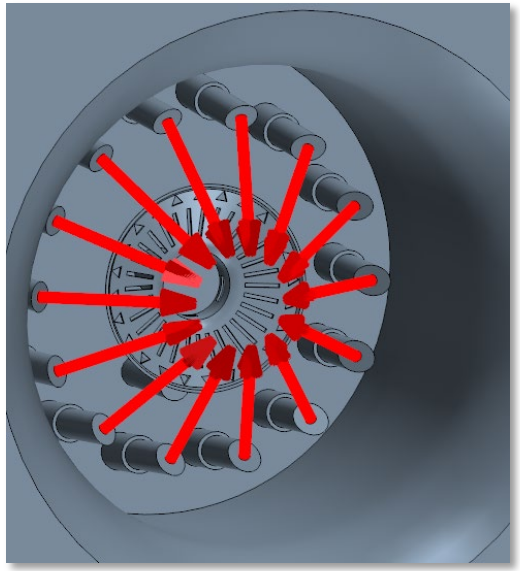
Analyze CFD de la combustion

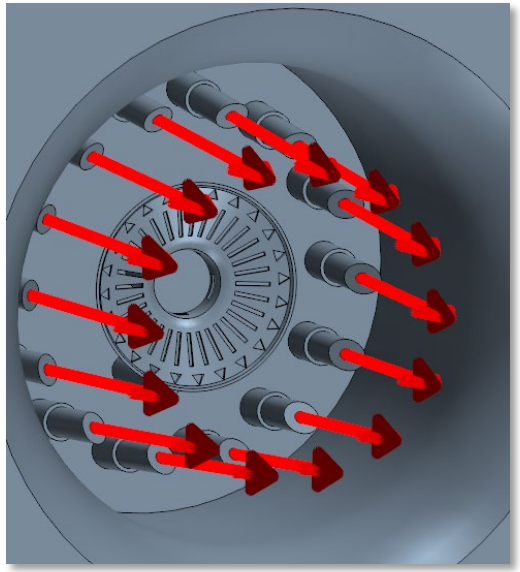
- CONFIGURATION : Conditions aux frontières
  - ➢Orientation exacte des injecteurs INCONNUE
  - ➢ Cas limites réalistes :

1- Vers le centre

2- Axial



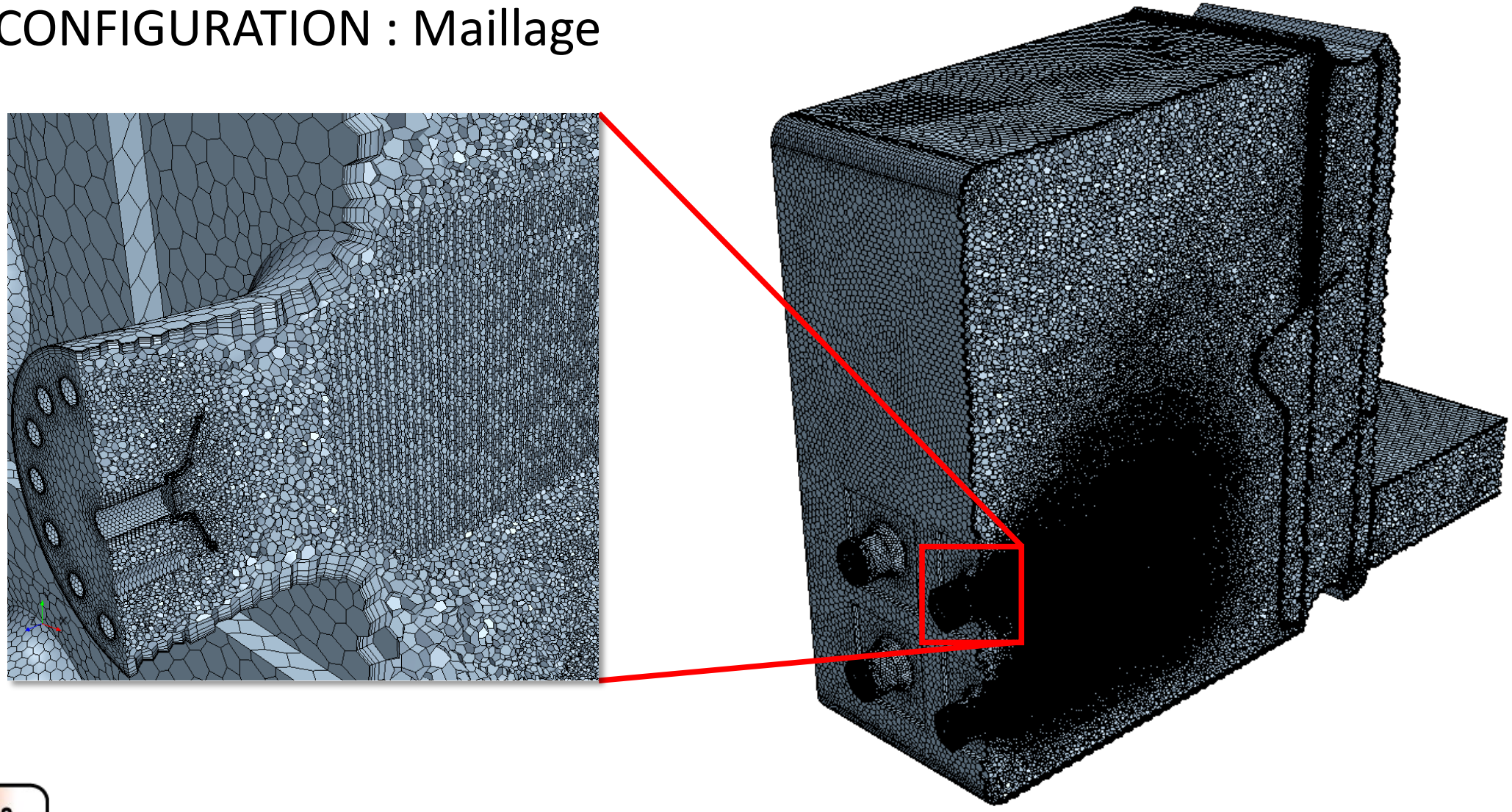




Analyze CFD de la combustion

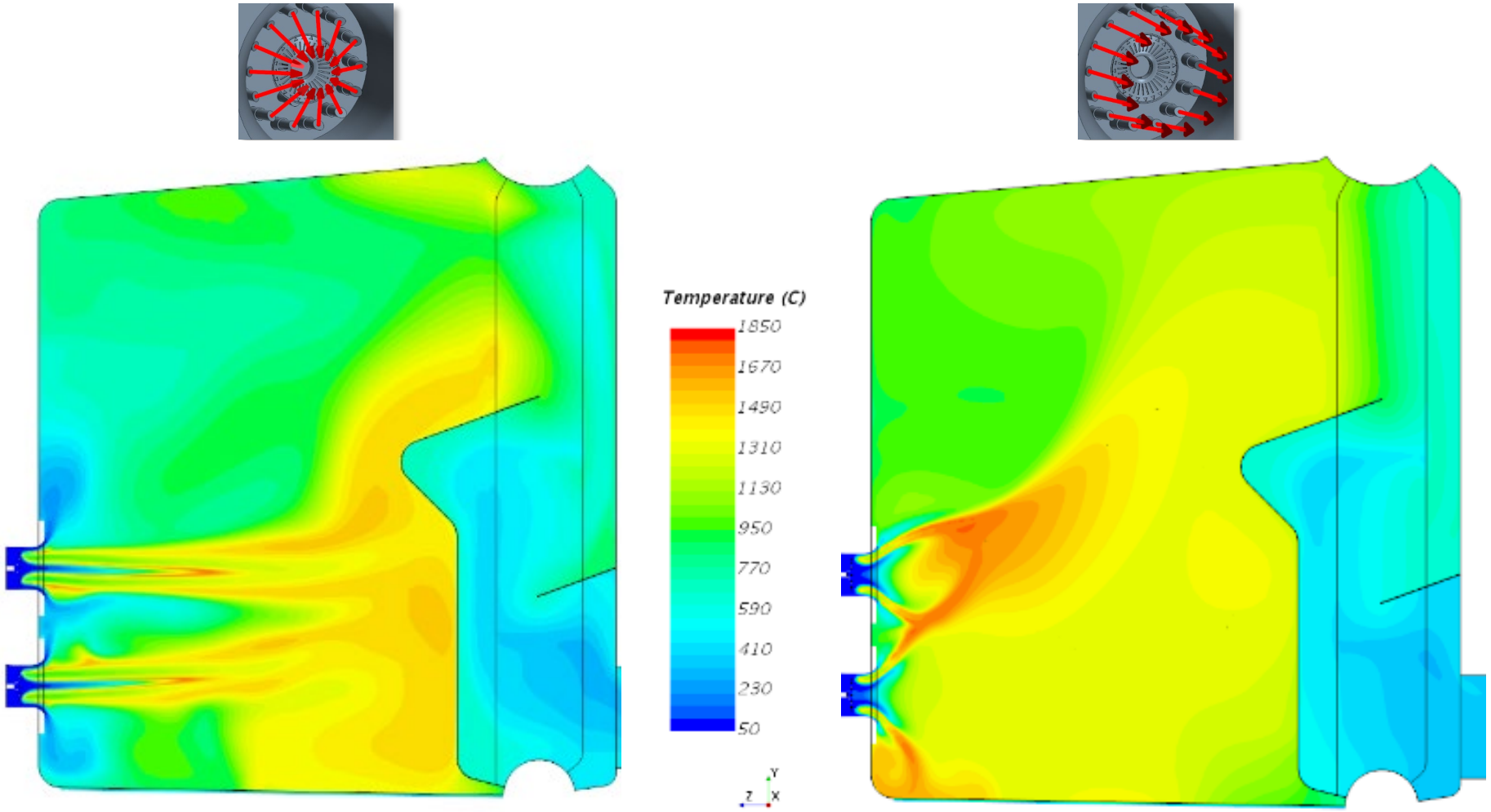
14M Cellules Polyédriques

- CONFIGURATION : Maillage



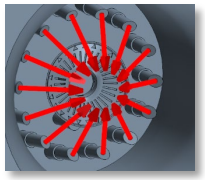
Analyze CFD de la combustion

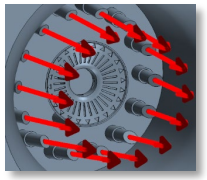
- RÉSULTAT : Température – brûleurs centraux

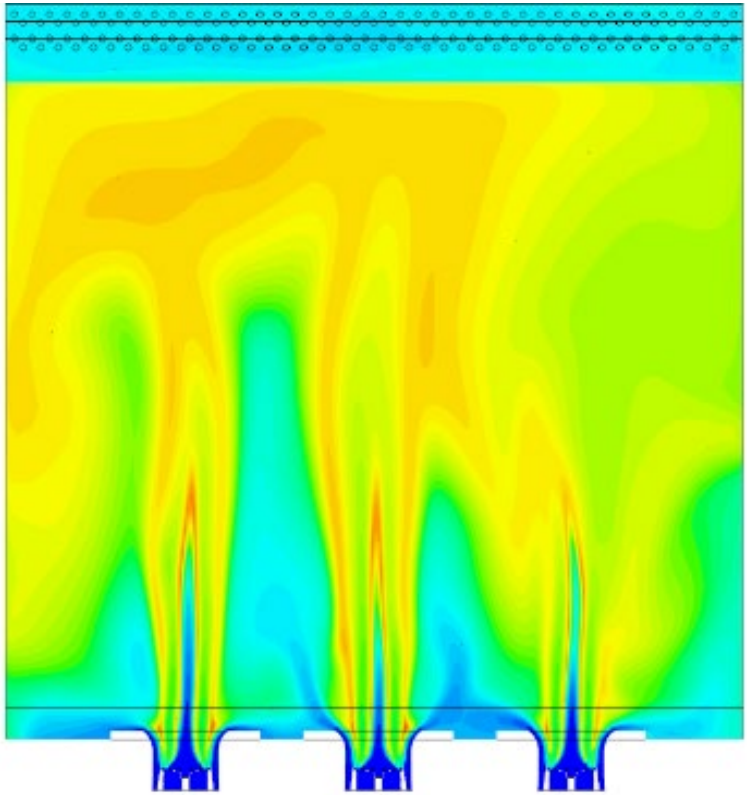


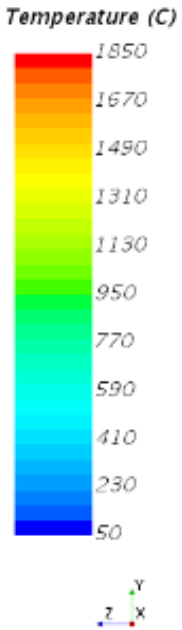
Analyze CFD de la combustion

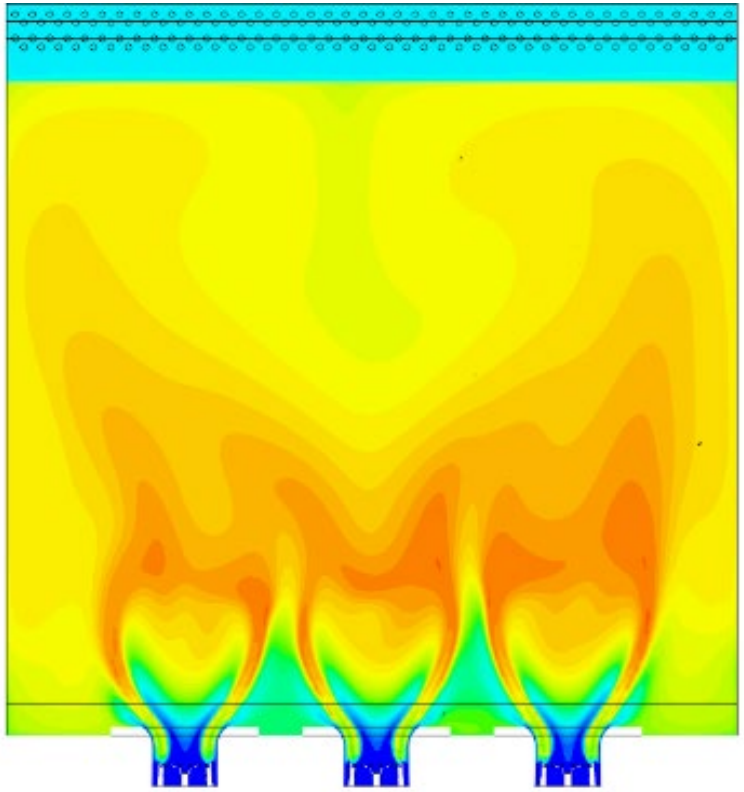
- RÉSULTAT : Température – brûleurs du haut





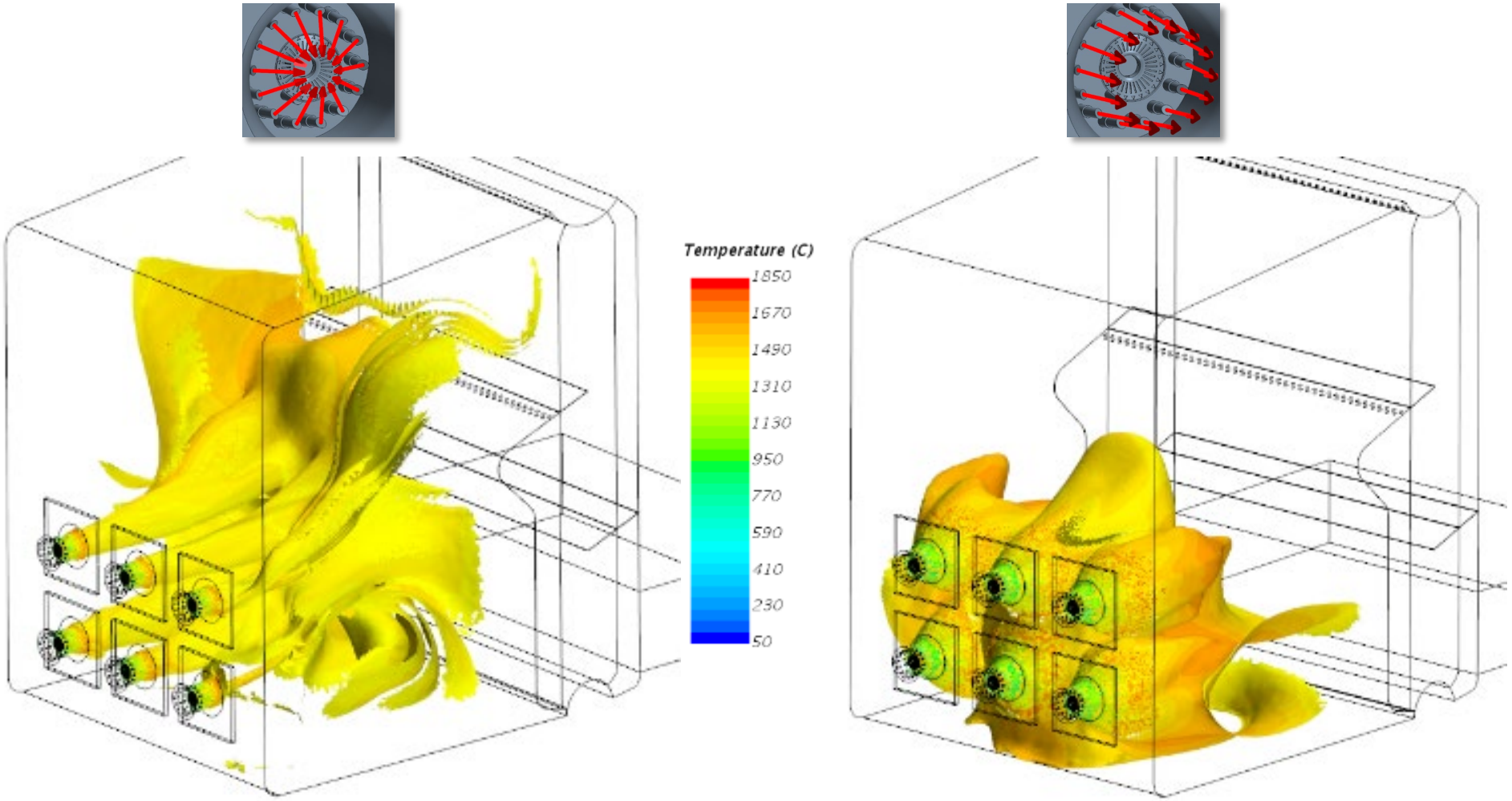






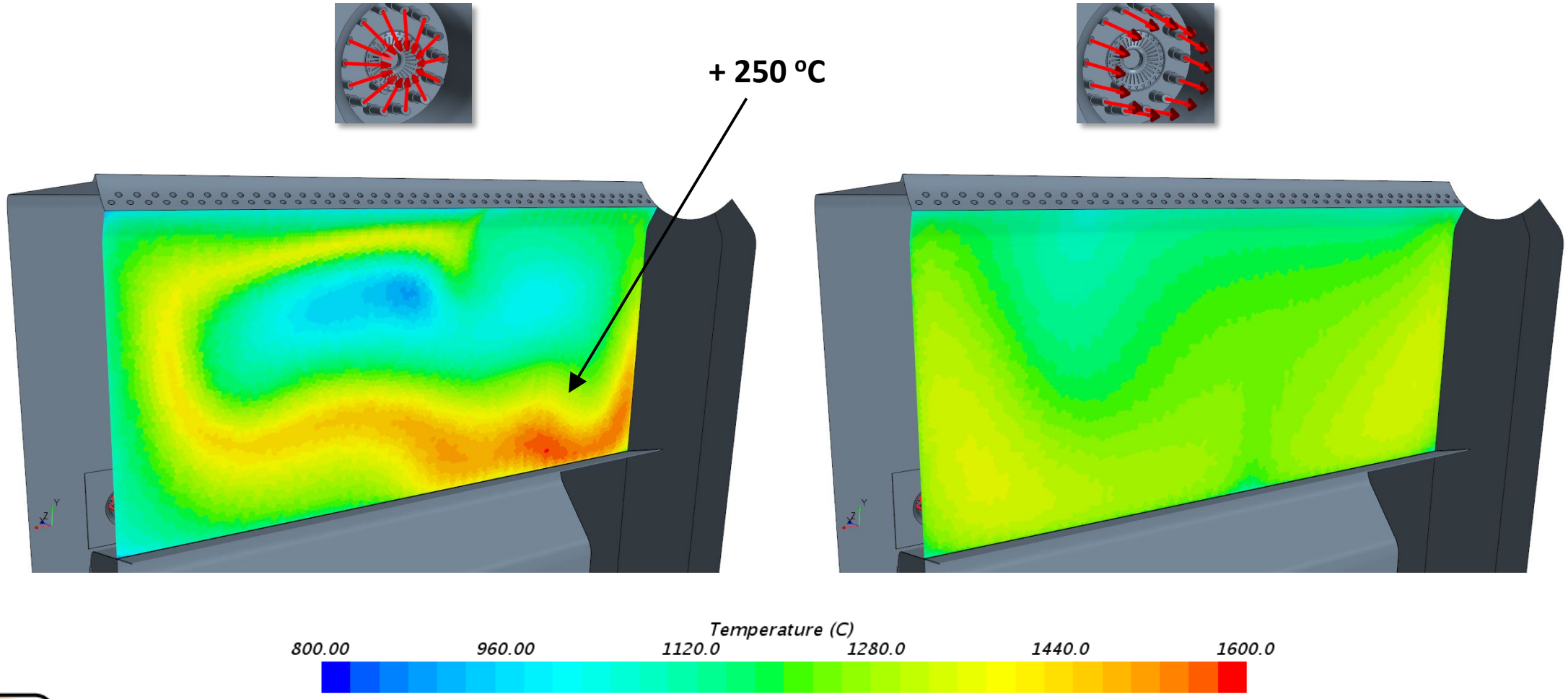
Analyze CFD de la combustion

- RÉSULTAT : Contours de flamme



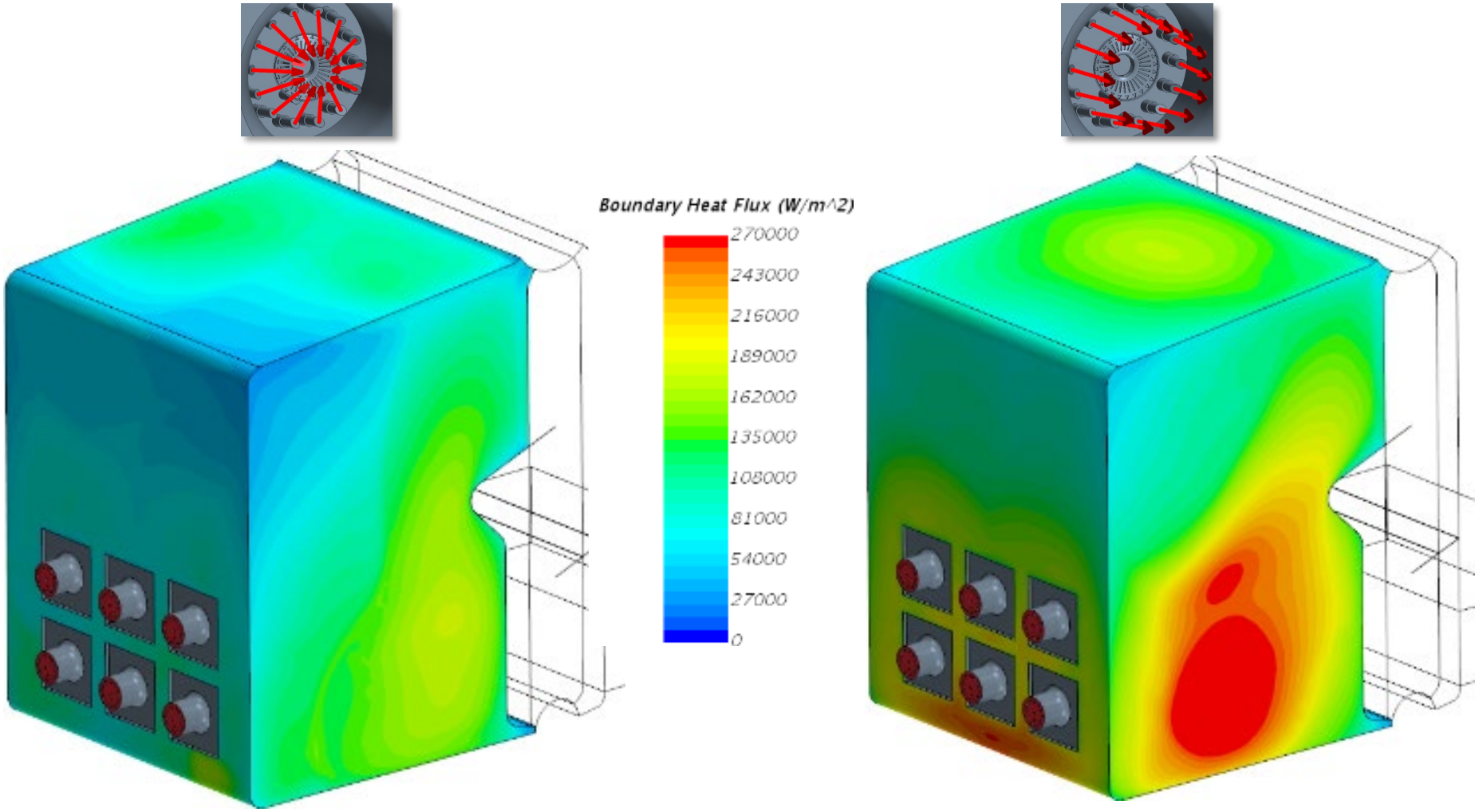
Analyze CFD de la combustion

- RÉSULTAT : Température – Entrée banque de tubes (près des bris de tubes)



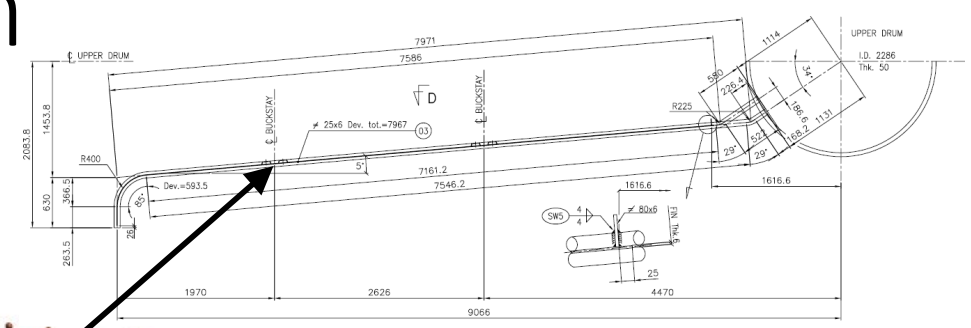
Analyze CFD de la combustion

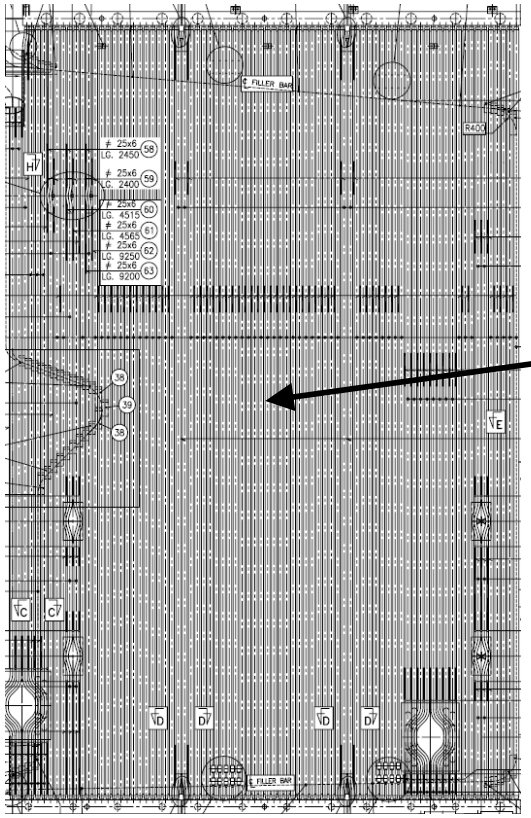
- RÉSULTAT : Flux de chaleur aux murs

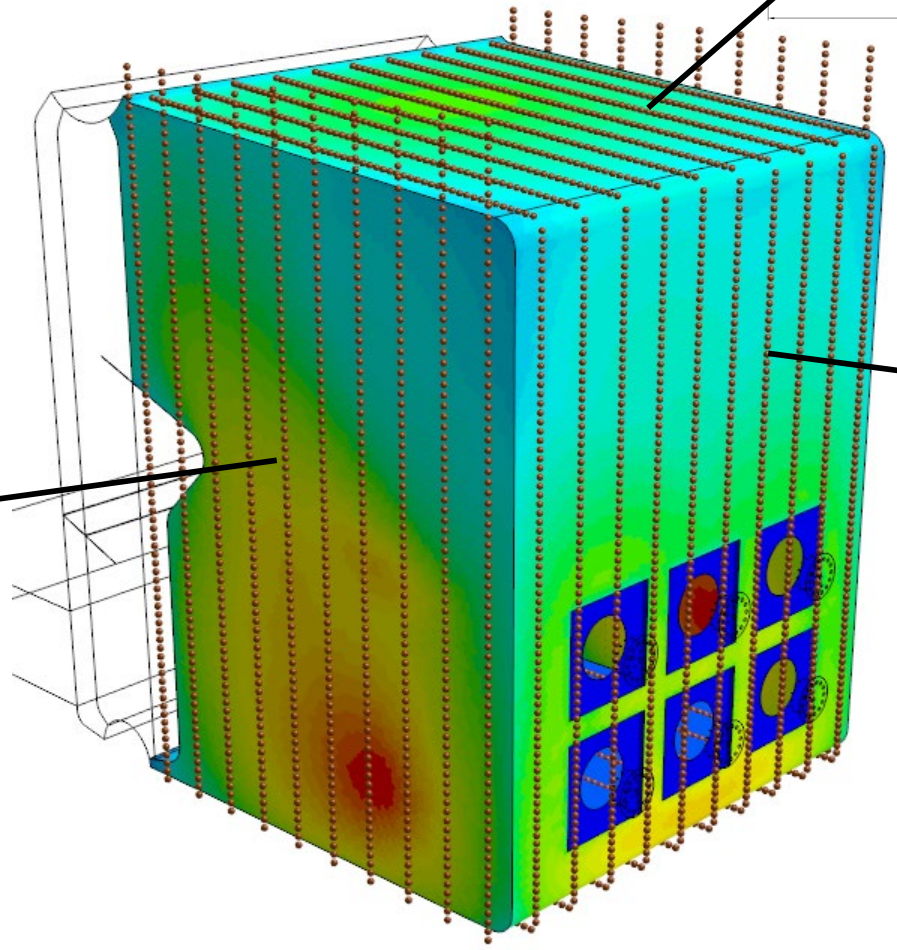


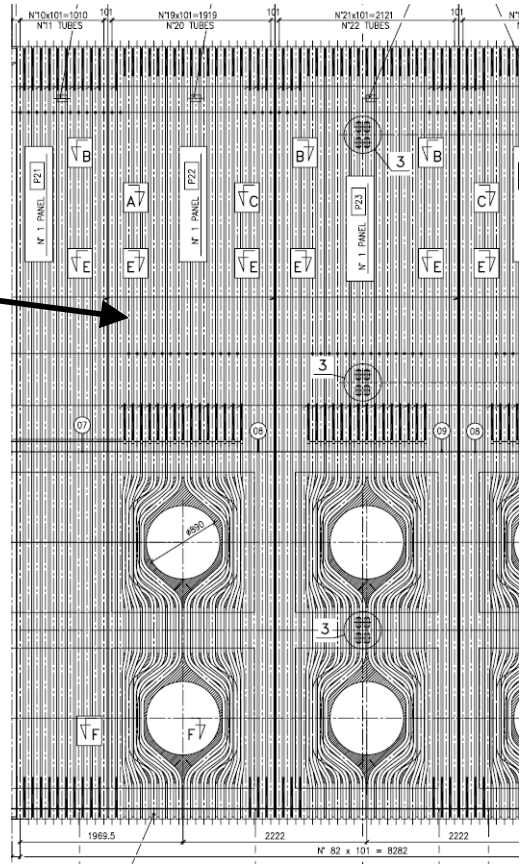
Analyze CFD de la combustion

- Flux de chaleur extraits de la CFD sont imposés sur les tubes



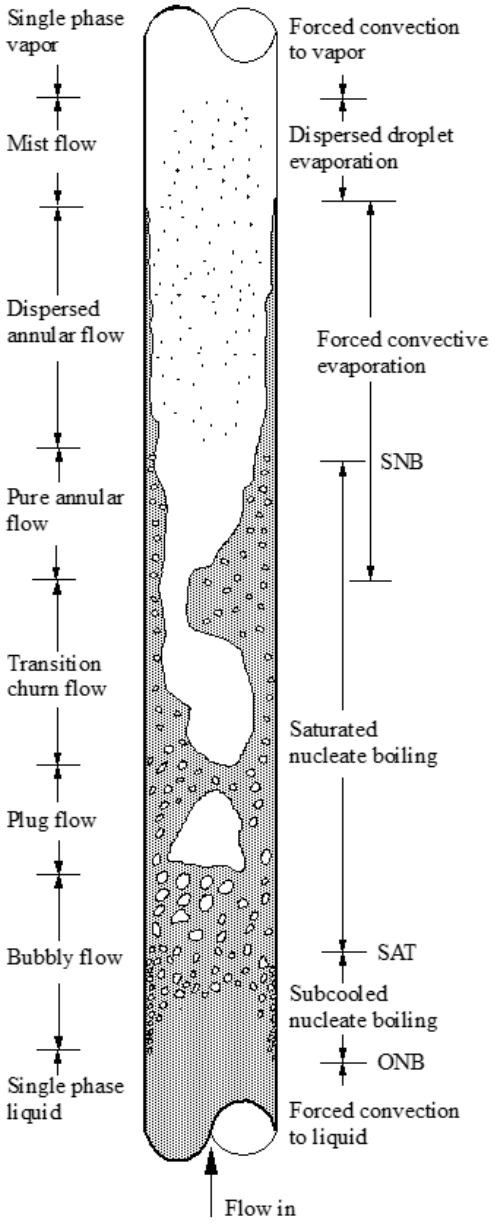






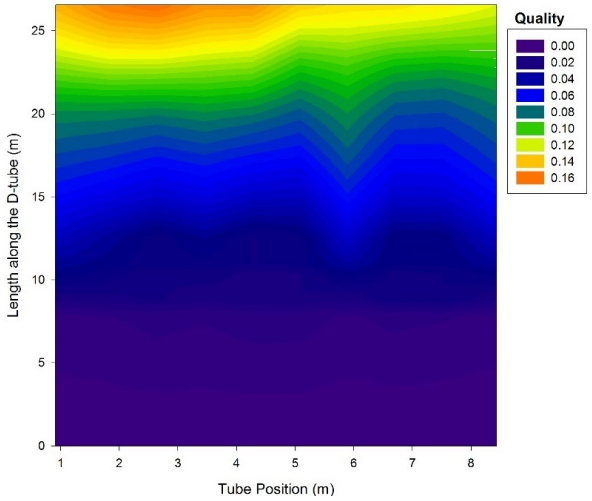
Analysis de circulation eau/vapeur

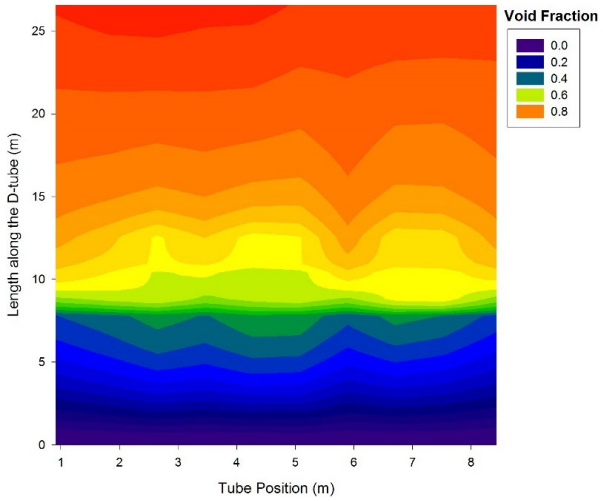
- Code maison
  - Calcul de l'écoulement diphasique et du transfert de chaleur dans chacun des tubes de la chaudière
  - Prédiciton des régimes d'écoulement pour des tubes horizontaux et verticaux
  - Modèle « Drift Flux » (1D, simple, rapide et précis)
  - Résoud tous les tubes sujets à
    - Flus de chaleur locaux
    - Perte de charge (dP) égale pour tous les tubes (Driving Head)
    - Calculs des tubes générateurs et de retour (Risers & Downcomers)
  - Validé avec 10k points de mesure
  - Résultats incluent :
    - Qualité
    - Fraction de vide
    - Vitesses
    - Circulation totale
    - Débits
    - Température de surface des tubes
    - Régimes d'écoulement

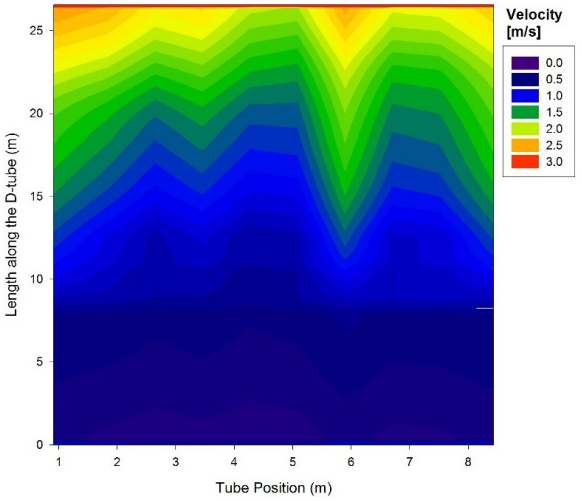


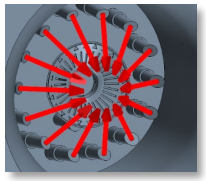
Analysis de circulation eau/vapeur

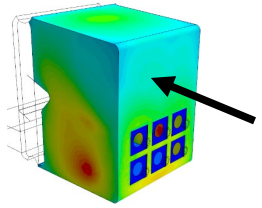
- RÉSULTAT : Écoulement dans les murs - Plafond/Devant/Plancher

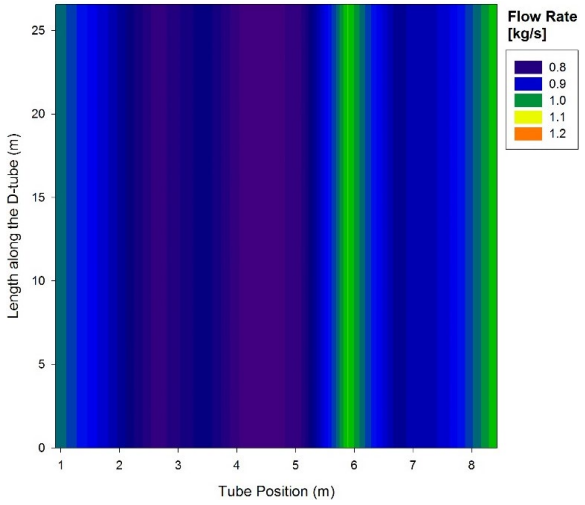


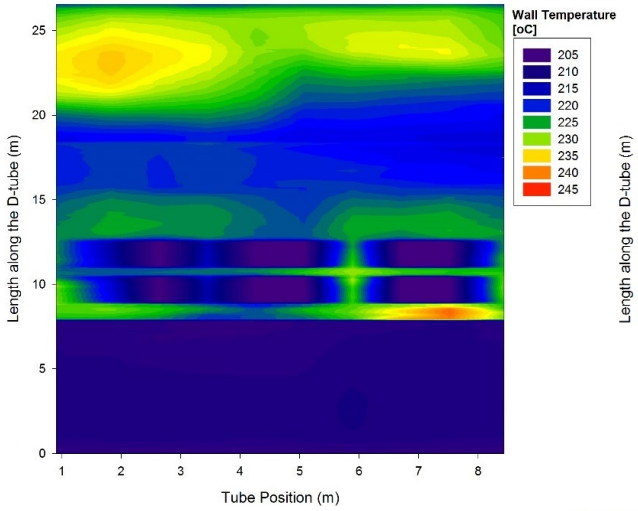


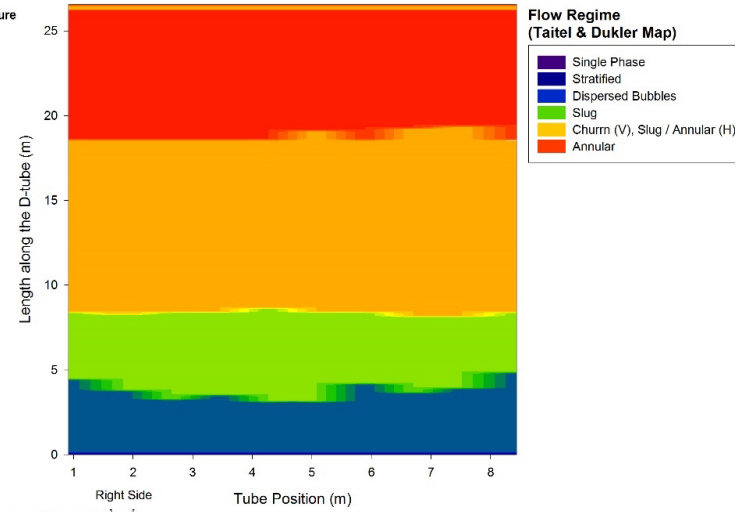






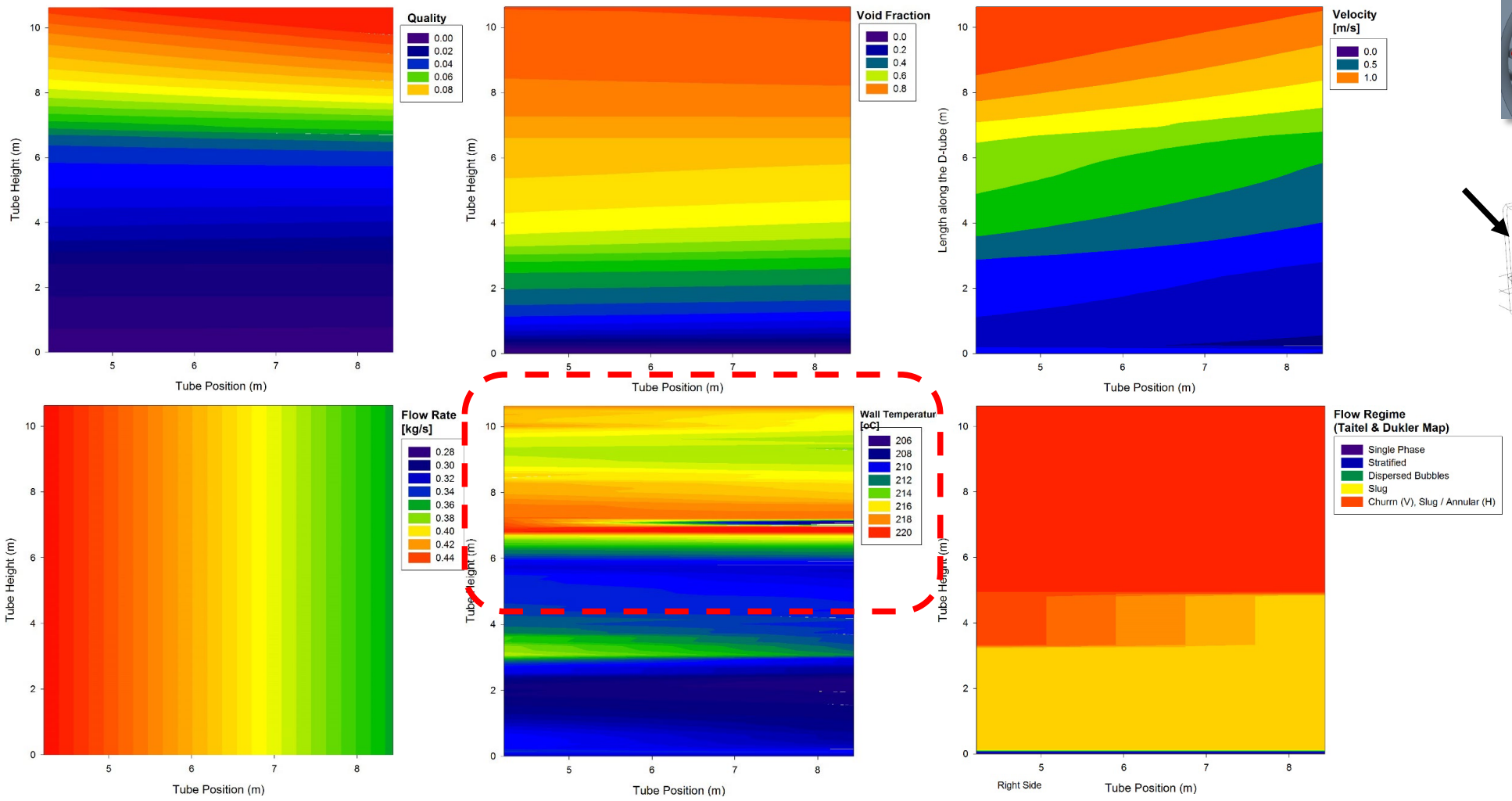


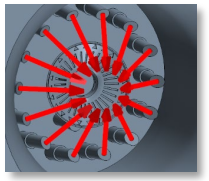


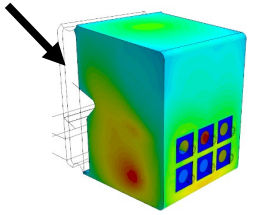


Analysis de circulation eau/vapeur

- RÉSULTAT : Écoulement dans les murs - Banque de tubes





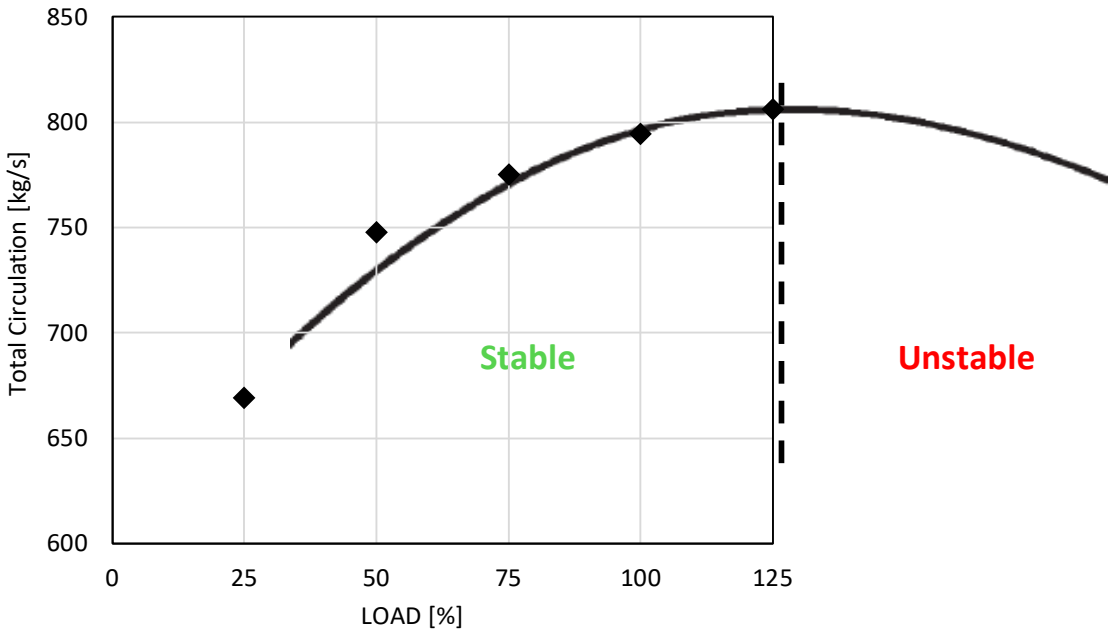


Analysis de circulation eau/vapeur

- RÉSULTAT : Circulation totale

Total Circulation =

$$\sum Steam + Water$$

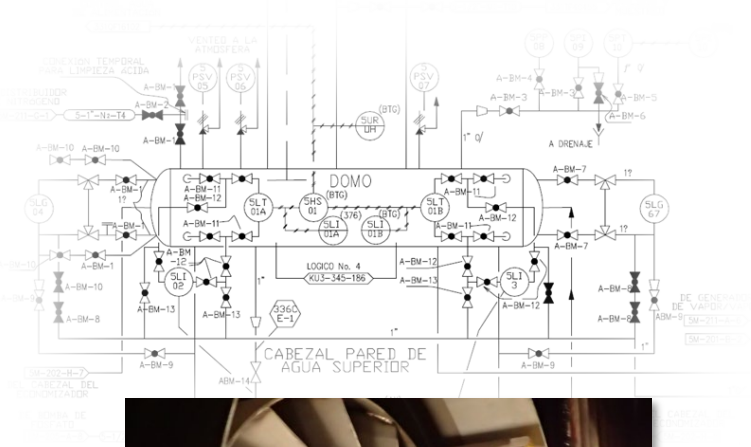


- Taux d'accroissement de la circulation diminue avec la charge!
- ALARME! Dangeureusement près de la zone d'opération instable!
- La circulation n'est que de 40% de la circulation recommandée pour une VU-60, doit augmenter!

Recommandations

De l’analyse préliminaire

- Prévenir de futures pertes de pression en installant un système de contrôle de la pression

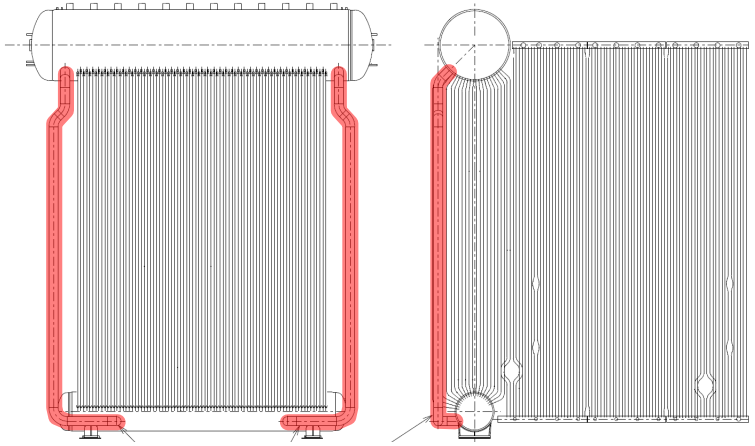


De l’analyze CFD de la combustion

- Éiminer les points chauds à l’entrée de la banque de tubes en ajustant ou changeant les brûleurs

De l’analyse de circulation eau/vapeur

- Accroitre la circulation en ajoutant des “downcomers” externes



Merci

Eric Duplain, ing., M.Ing.

Compagnie: Brais, Malouin & Associés
Courriel: eduplain@bma.ca