MIG Verre - Modélisation des fours

Simon Lamaze - Corto Beck - Girardet Grégoire -Fraenkel Paul

25 novembre 2024

1 Introduction

Ce mini-projet traite de la modélisation et de l'optimisation énergétique des fours à verre. La compréhension des phénomènes physiques qui prennt place dans un four est essentielle à l'optimisation des procédés.

Voici un four à fusion :

2 Déroulement de la simulation

Tâche 1 : positionnement du problème :
Conditions limites, conditions initiales, mise en équations

Tâche 2 : prise en main des outils de calcul
Maillage, cluster, post-traitement, CIMLIB, vitesse des calculs

Tâche 3 : Calcul sur un cas à voûte chaude
Obtenir un cas convergé, bilan énergétique

Tâche 4 : Calcul sur un cas à voûte plus froide
Same

Tâche 5 : Bilan du gain énergétique et des émissions carbone

On utilise le logiciel Paraview pour visualiser les résultats. Visualiser la propagation d'un champ pour définir le temps de résidence. Faire plusieurs calculs avec des tailles différentes.

3 Positionnement du problème

- Les équations que nous nous appliquerons à résoudre seront les suivantes :

3.1 Equations de Navier-Stokes et thermique

- Les équations que nous nous appliquerons à résoudre seront les suivantes :

$$\begin{cases} \vec{\nabla}.\vec{V} = 0 \qquad \textit{conservation de la masse} \\ \rho_0 \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\rho_0 \beta (T - T_0)\vec{g} + \vec{\nabla}[2\eta(T)\vec{D}] - \vec{\nabla}P \qquad \textit{conservation du 'momentum'} \\ \vec{D} = \frac{1}{2}[\vec{\nabla}\vec{V} + (\vec{\nabla}\vec{V})^t] \\ \rho[C_p + \Delta H_r \frac{d\alpha}{dT}]\frac{DT}{Dt} = \vec{\nabla}(\lambda_{eq}(T)\vec{\nabla}T) + \sigma_e(T)(\vec{\nabla}\phi)^2 \qquad \textit{equation de la chaleur} \end{cases}$$

3.2 Puissance électrique

On se place dans le cas uniphasé, en réalité, dans l'industrie le régime est triphasé, plus de calculs en annexes.

$$P_{eq} = \int_\Omega \sigma_e(T)(\vec{\nabla}\phi)^2 \, dV = \int_\Omega \vec{\nabla}[\sigma_e(T)\vec{\nabla}\phi] \, dV$$

par intégration par partie et loi de conservation du potentiel ($\vec{\nabla}^2\phi = 0$). Le théorème de Green-Ostrogradski donne :

$$P_{eq} = \phi_{elec} \int_{\partial elec} \sigma_e(T)\vec{\nabla}\phi \cdot \vec{n} \, dS$$

Car le potentiel est constant = ϕ_{elec} à la rontière des électrodes.

3.3 Expressions des différentes grandeurs et constantes

Le taux de conversion α est une sigmoïde : fonction d'erreur de Gauss

- On modélise la dépendance de la viscosité à la température par une loi de type VFT (Vogel-Fulcher-Tamman)

$$\eta(T) = 10^{A_\eta} e^{\frac{ln(10)B}{T - T_\eta}} \qquad log(\eta) = A_\eta + \frac{B}{T - T_\eta}$$

- La dépendance de la masse volumique est :

$$\rho(T) = \rho_0(1 - \beta\Delta T) \qquad \beta = -\frac{1}{\rho_0}\frac{d\rho}{dt}$$

- La dépendance de la conductivité électrique est :

$$\sigma_e(T) = A_e e^{\frac{-B_e}{T}}$$

- Dérivée particulaire : (importante en méca flu)

$$\frac{DG}{Dt} = \frac{\partial G}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla})G$$

- Pour calculer le temps de résidence, à savoir la réponse à un échelon C en entrée :

$$\phi_C = \oiint_S C\vec{u} \cdot \vec{n}\, dS \qquad \phi = \oiint_S \vec{u} \cdot \vec{n}\, dS \qquad \langle C \rangle = \frac{\phi_C}{\phi}$$

La distribution des temps de résidence, à savoir la réponse à un dirac, est donnée par

$$E(t) = \frac{d\langle C \rangle}{dt}$$

3.4 Etat aux frontières

Les flux thermiques sont donnés par les lois de Newton et Stefan aux parois et surfaces libres. le batch est introduit à iso température. on considère les transfert thermiques de Boltzmann seulement pour la surface libre. On peut calculer les flux aux frontières par la loi de Newton sur les transferts conducto-convectifs.

$$\phi_{wall} = h_{wall}(T - T_\infty) \qquad \phi_{haut} = h_{haut}(T - T_{haut}) + \epsilon\sigma(T^4 - T_{haut}^4)$$

4 Prise en main du langage et des logiciels de visualition