

# Optimisation de nos produits réfractaires grâce à la simulation numérique

Colloque Lunéville 2023

Hugues Lemaistre

Commission mixte GFC-SF2M



10/11 Mai 2023



# TABLE DES MATIERES

---

- 01** Introduction: Calderys. La simulation chez Calderys
- 02** Exemple n°1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche
- 03** Exemple n°2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur
- 04** Exemple n°3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

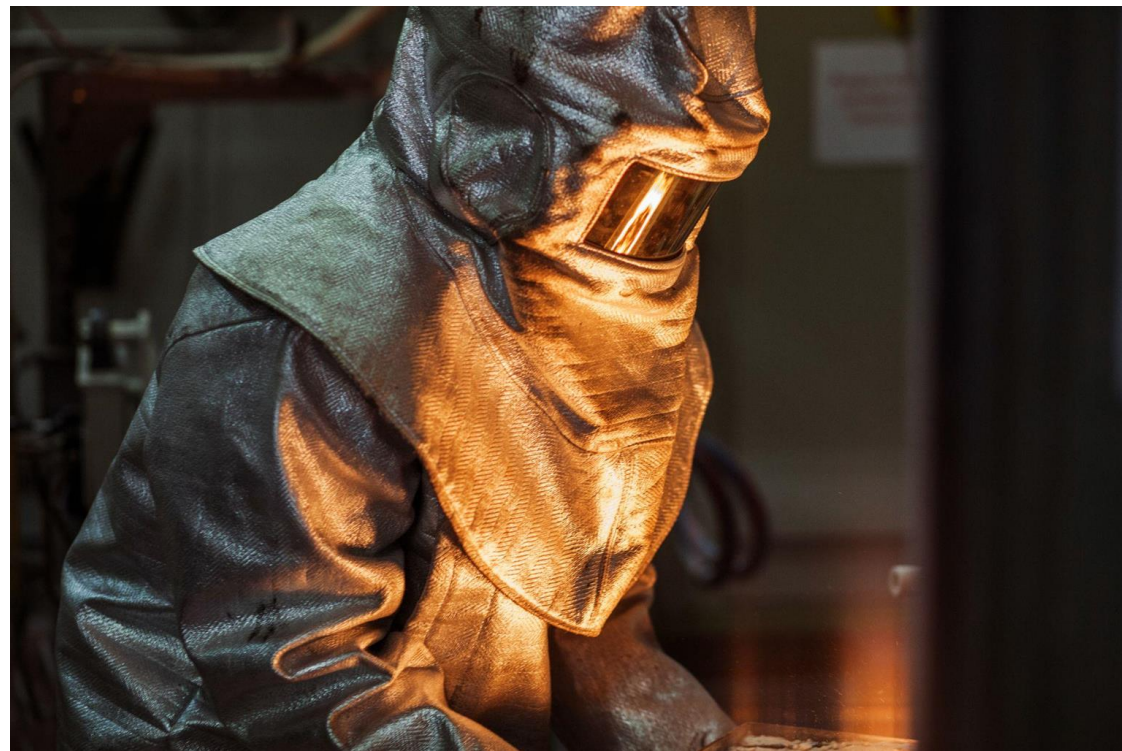
# A propos de Calderys

---

Calderys est un fournisseur mondial de premier plan pour les industries opérant dans des conditions de haute température

Le groupe est spécialisé dans la protection thermique des équipements industriels, avec une large gamme de produits réfractaires et de solutions avancées pour améliorer la coulée de l'acier, les flux métallurgiques et les procédés de moulage.

Notre réseau international d'experts assure une offre complète avec des services sur mesure



# Faits et chiffres

---

**Un des plus importants fournisseurs de réfractaires dans le monde**

.....  
**100 ans d'expérience**

.....  
**50 usines sur les 5 continents**

.....  
**6500 personnes et prestataires dans 30 pays différents**



**Portefeuille élargi de solutions allant des briques réfractaires et monolithiques, aux flux de coulée d'acier et aux solutions de sables de moulage**

# 100 ans d'expérience

● 1908

**Lafarge** invents and patents aluminous cement with refractory qualities – a precursor to monolithics refractories

● 1926

**Stollberg** is created in Mülheim, Germany, for the production of casting auxiliary materials (1926)

● 1938

**Lafarge** creates SECAR, subsidiary wholly devoted to refractories

● 1996

**Plibrico** joins the **Imerys Group**

● 2015

**Imerys** completes the acquisition of the main activities of **S&B** (incl. **Stollberg**). S&B's activities are renamed Imerys Metalcasting. Stollberg's activities become Imerys Steel Casting Fluxes

● 2020

Three acquisitions boost **Calderys'** operations in high-growth regions:

- Hysil, the leading Indian producer of calcium silicate boards.
- A majority stake of 60% in Haznedar Durer Refractories, a Turkish manufacturer of high-grade monolithic refractories and refractory bricks.
- Sunward Refractories, a Taiwanese producer of monolithics, bricks and tap hole clays

Beginnings

1920s – 1960s

1970s – 2010s

2010s - 2023

● 1914

In the US, William A.L. Schaefer develops the first monolithic refractory and creates the Pliable Firebrick Company, also known as **Plibrico**

● 1934

Silver & Baryte Ores Mining Co. S.A. (**S&B**) is founded on Milos Island, Greece

● 2004

**Imerys** acquires **Lafarge Réfractaires Monolithiques**  
**S&B** acquires **Stollberg**

● 2005

**Plibrico International & Lafarge Réfractaires** merge under the Imerys Group to form **Calderys**

● 2018

**Calderys**, **Imerys Metalcasting** and **Imerys Steel Casting Fluxes** are merged into Imerys' High Temperature Solutions (HTS) Business Area. The decision is made to rename HTS **Calderys**

● 2023

**Calderys** becomes a privately owned company combined with **Harbison Walker International**. Together they form a leading world-class refractories solutions provider.

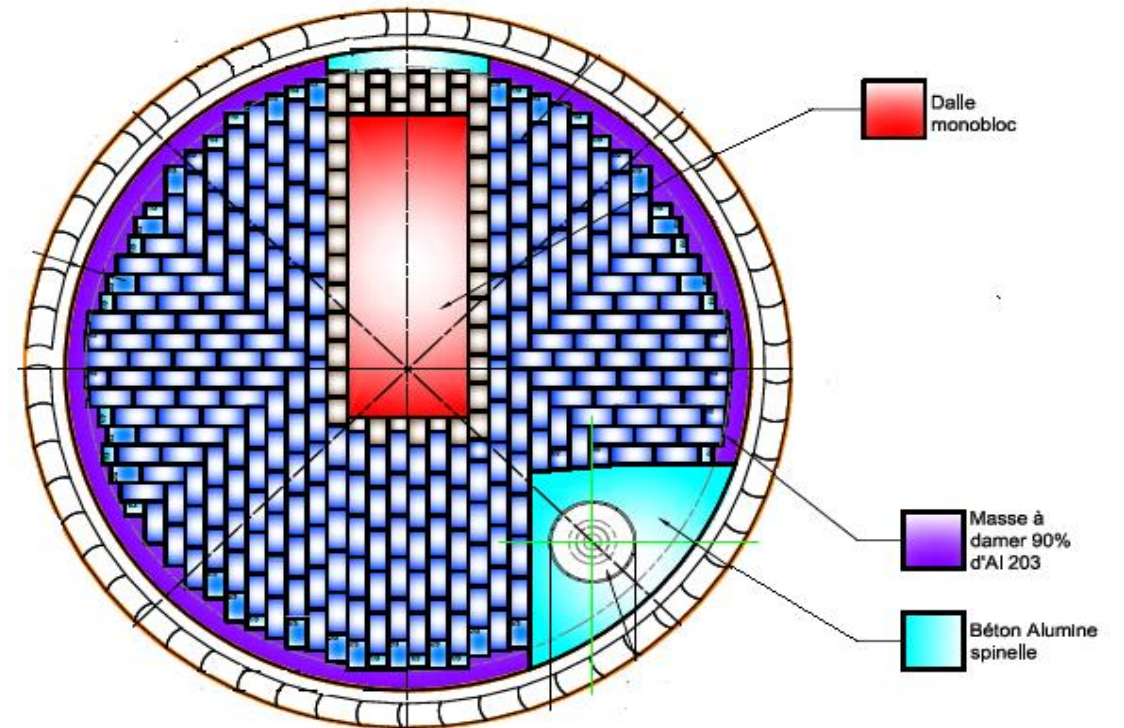
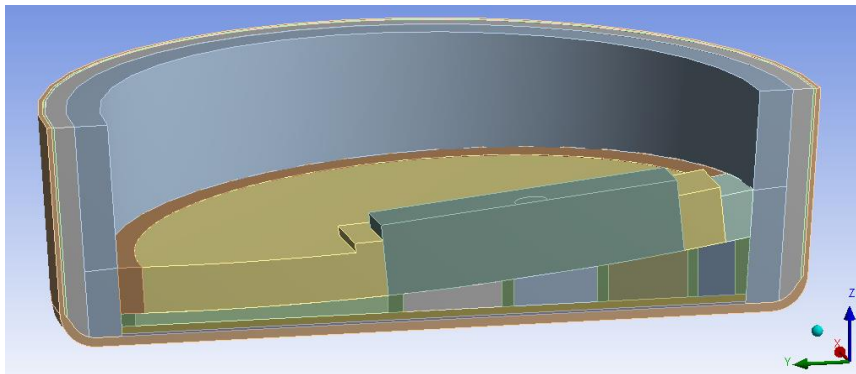
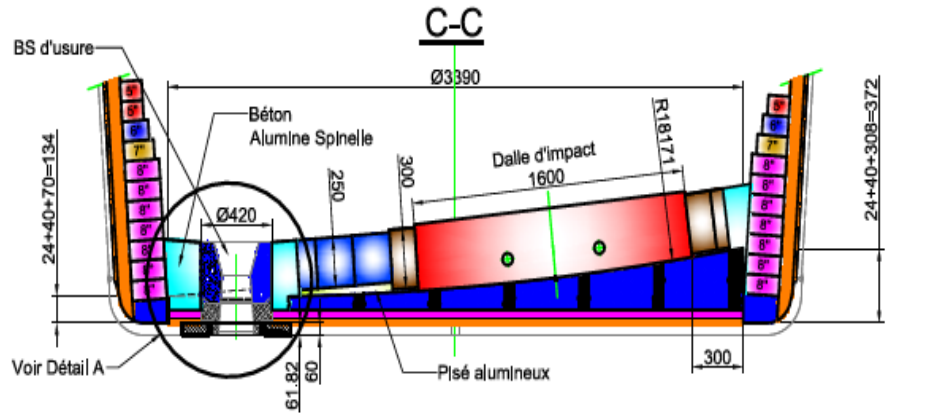
# Introduction sur la Simulation

---

- Un outil précieux pour mieux comprendre les problèmes de nos clients, optimiser la conception thermique et mécanique de nos offres, avoir une analyse concrète et précise des problèmes potentiels .
- Utilisation de Ansys Mechanicals depuis plus de 12 ans. Utilisation de Ansys Fluent depuis plus de 6 ans . Achat récemment du logiciel méthode élément discret, Rocky, pour la caractérisation des écoulements des matériaux granulaires.
- La difficulté des analyses provient essentiellement :
  - d'un comportement mécanique des matériaux réfractaires complexe et évolutif avec la température
  - d'une caractérisation complexe et très coûteuse
  - de données sur les métaux liquides peu nombreuses
  - d'une très grande diversité d'études
  - des études à court terme

# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

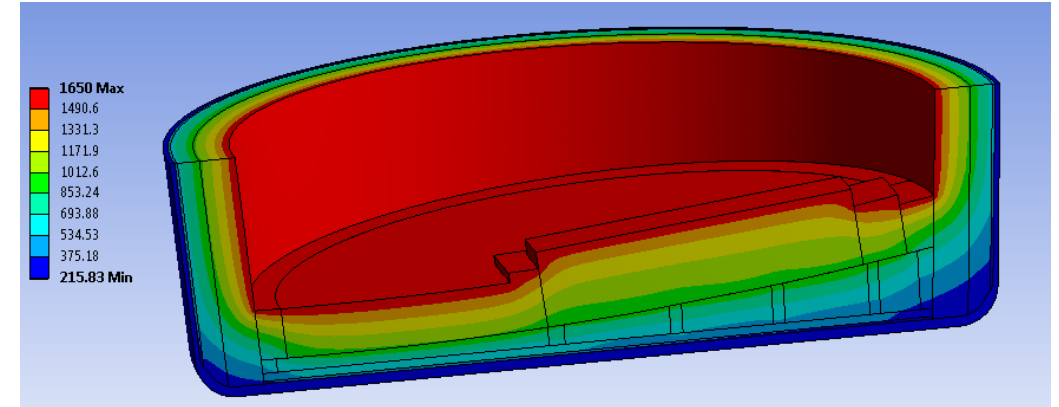
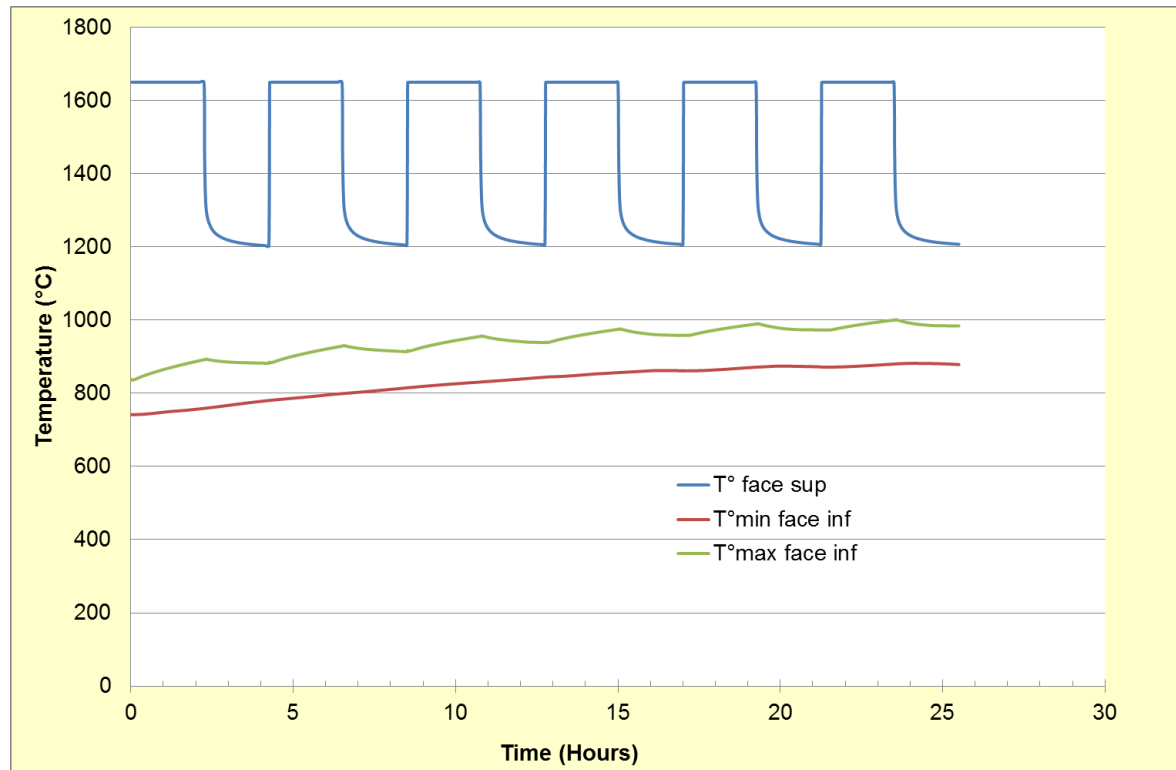
## Géométrie de la poche



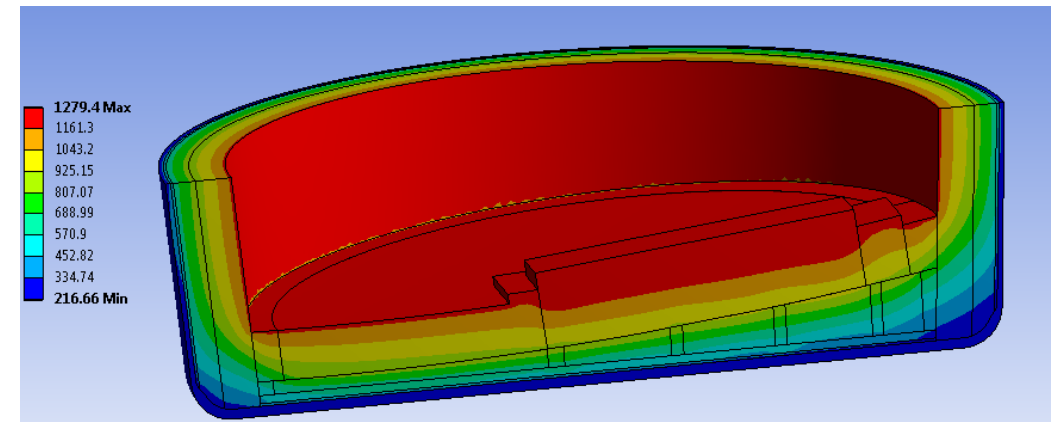
But de l'étude: La dalle d'impact doit atteindre 100 coulées

# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

Calcul thermique transitoire sur 6 cycles de coulées / inter coulées



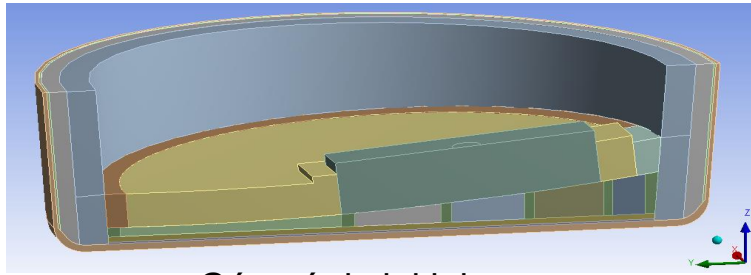
Champ thermique de la poche à la fin de la coulée n°6



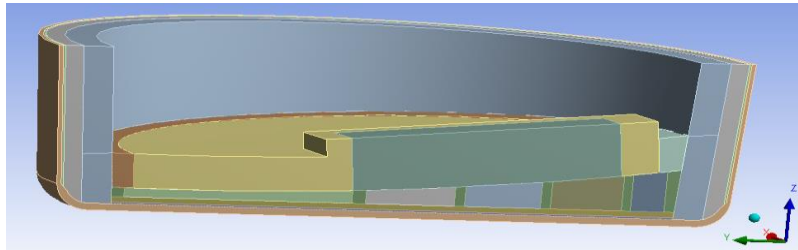
Champ thermique de la poche à la fin de l'inter coulée n°6



# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

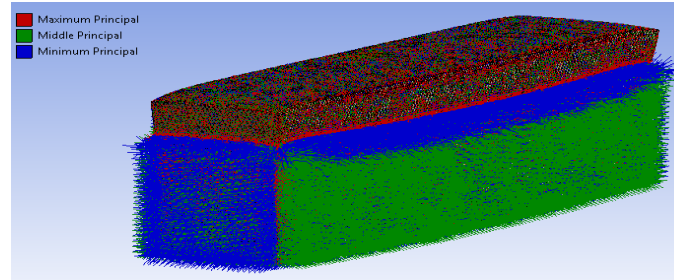


Géométrie initiale

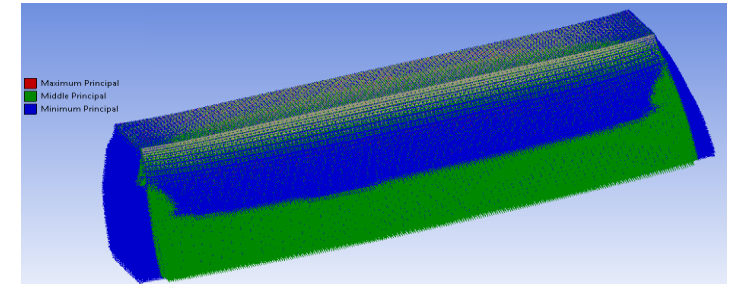
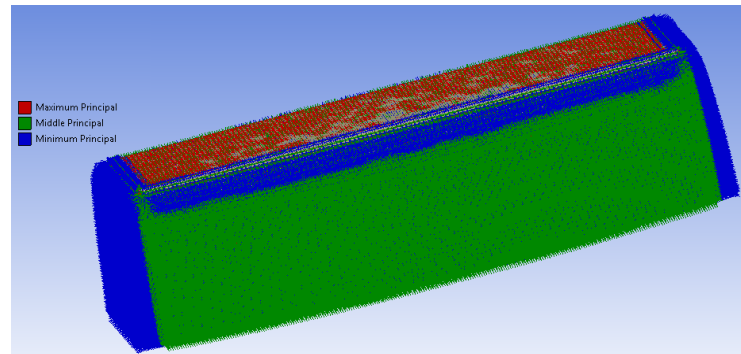
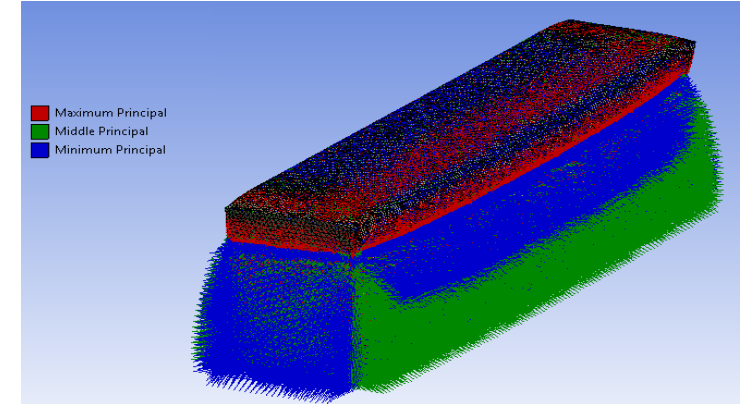


Géométrie modifiée

Vecteur de contrainte principale au début du premier remplissage (60s)

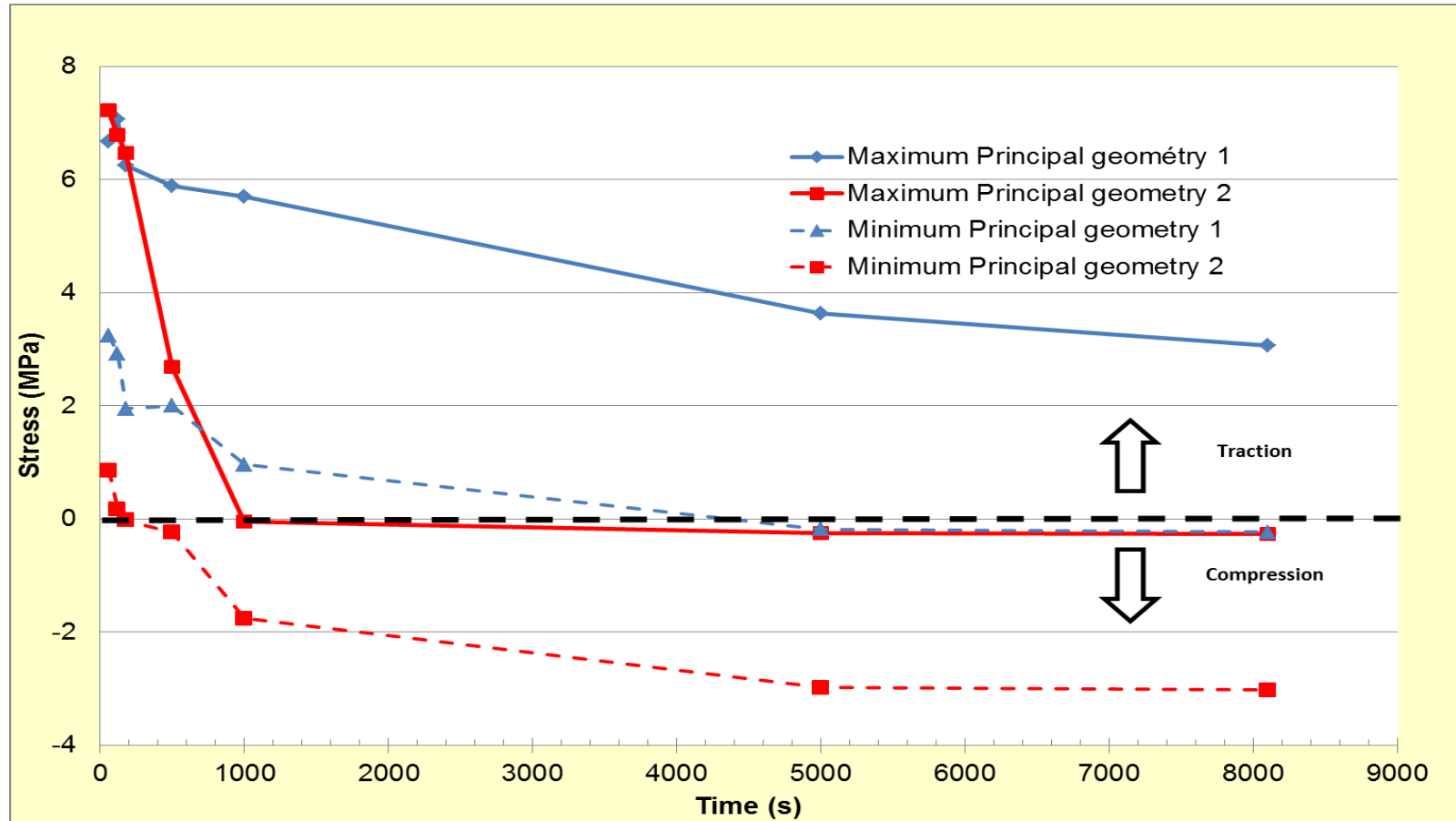


Vecteur de contrainte principale à la fin du dernier remplissage (8100s)



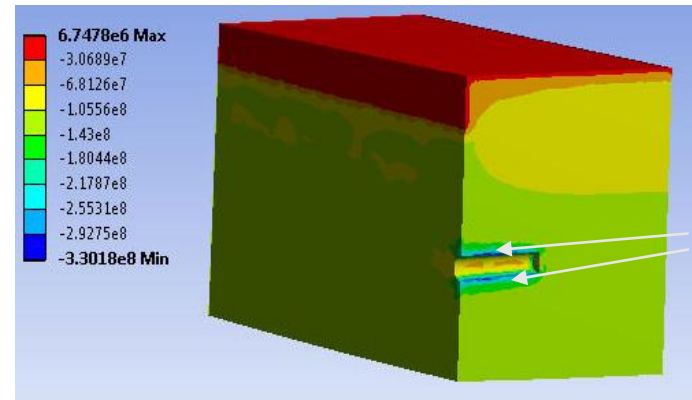
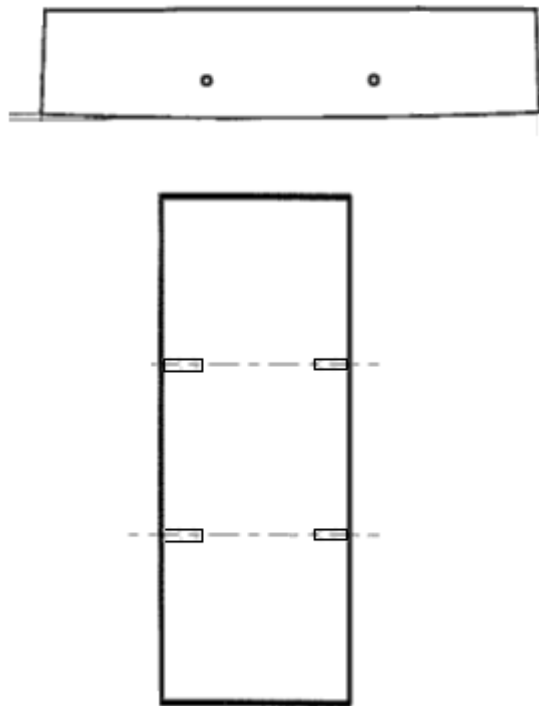
# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

Comparaison de l'évolution des contraintes sur la face chaude de la dalle d'impact.



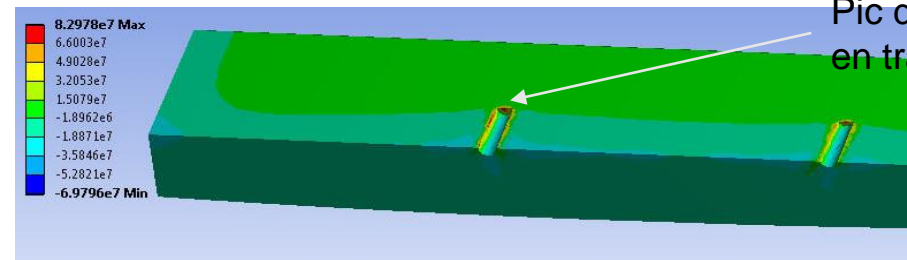
# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

## Influence de la présence de trous de manutention



Pic de contrainte en compression

Contrainte minimum principale at 60s



Pic de contrainte en traction

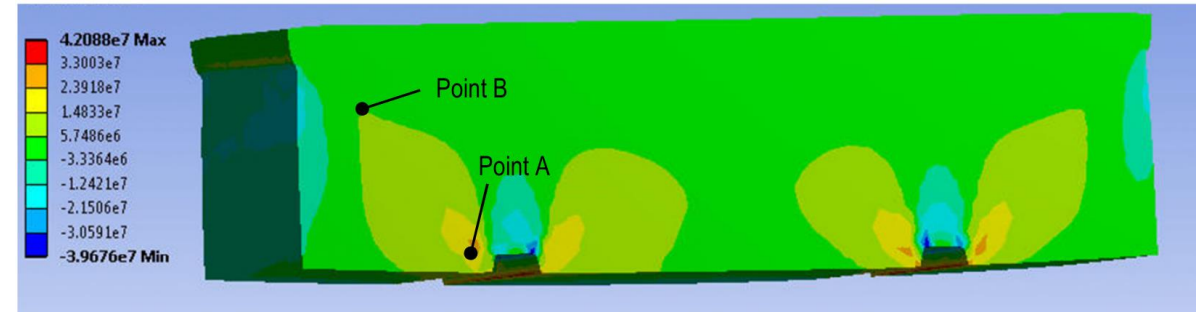
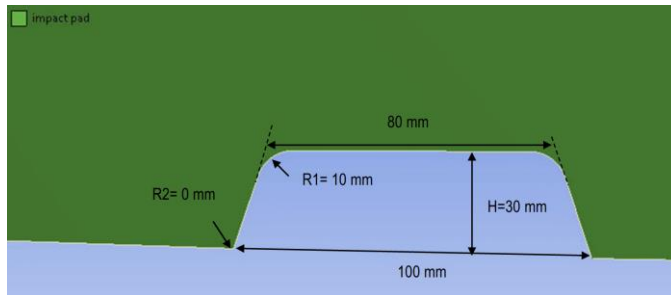
Contrainte maximum principale at 60s

# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche

## Remplacement des trous de manutention par des rainures en face arrière

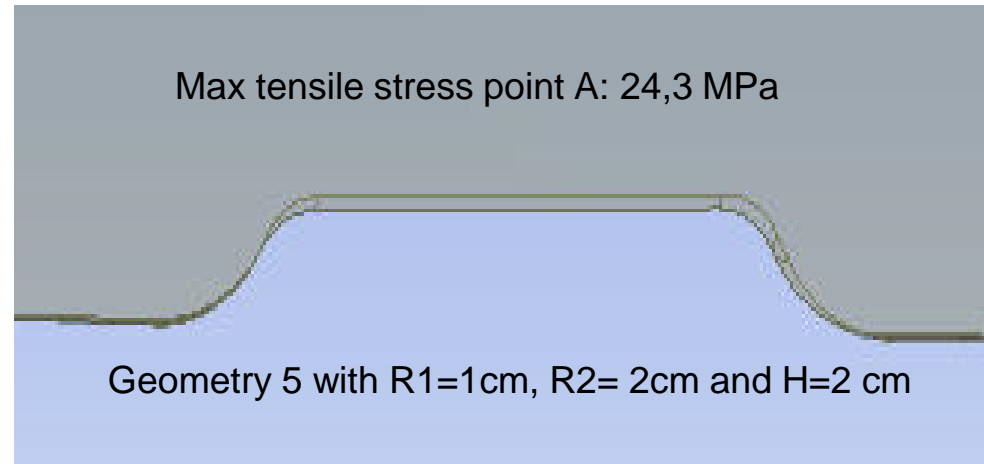


Contrainte maximum principale apparaissant sur la dalle d'impact a 60 s



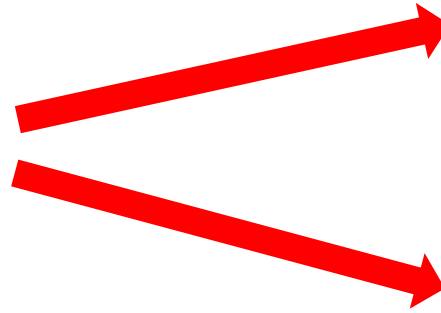
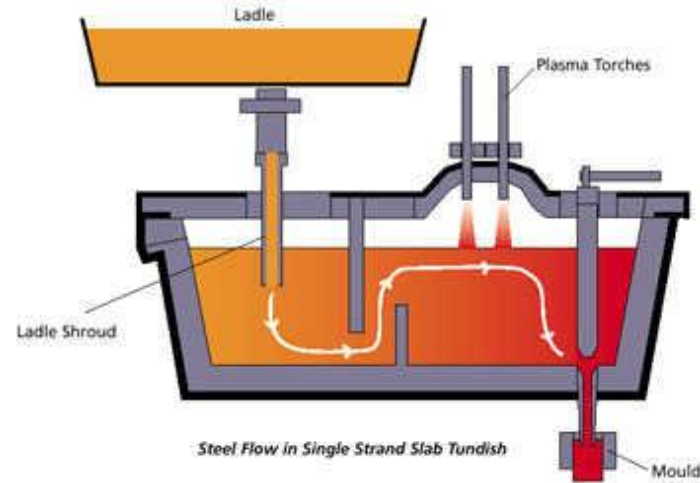
Contrainte maximum principale apparaissant sur la dalle d'impact a 8100 s

# Exemple 1: Optimisation de dalle d'impact dans une poche



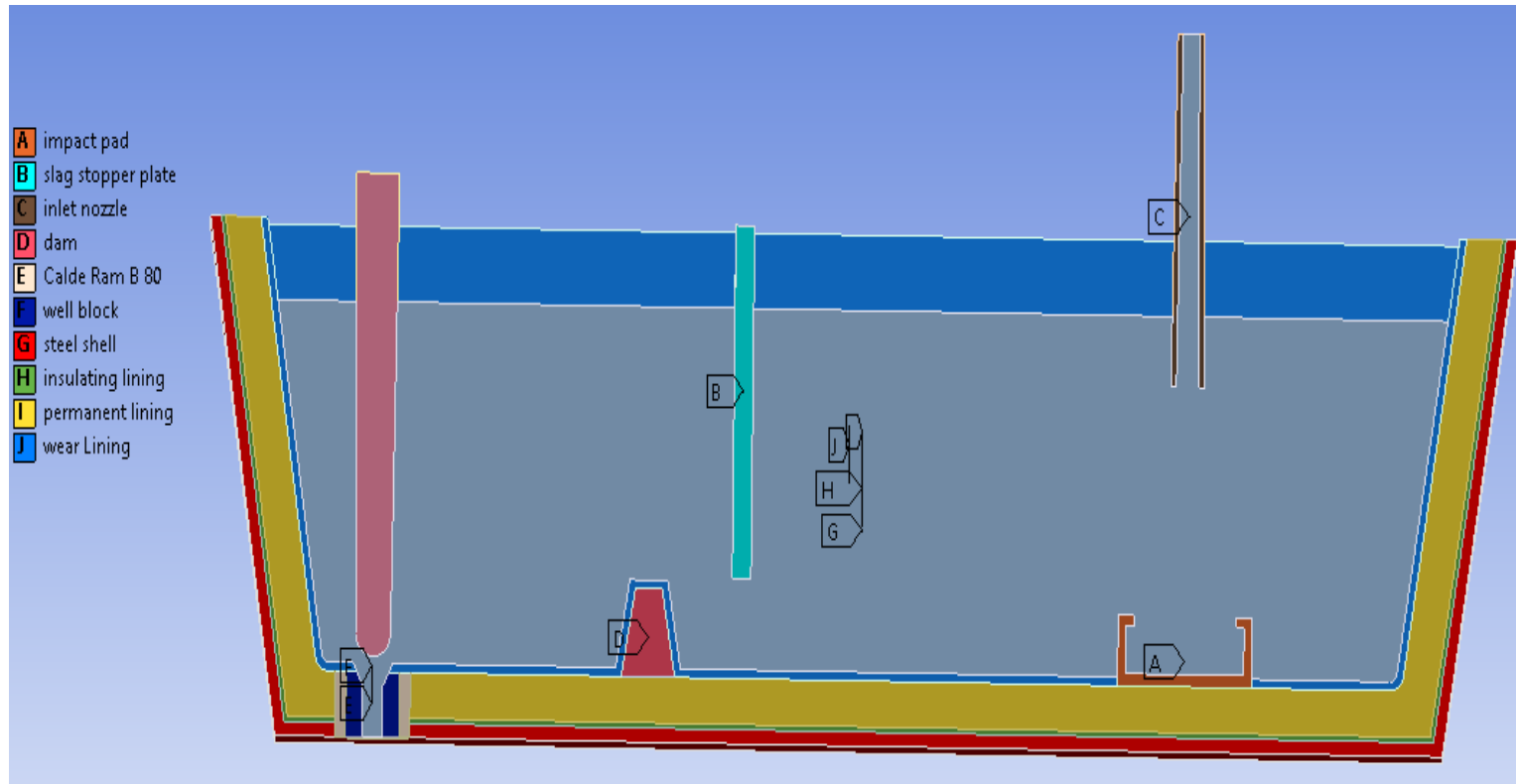
- Avant optimisations: 90 coulées maximales avec une dalle fissurée et des réparations régulières à chaud pour augmenter la durée de vie à 100 coulées
- Après optimisations: 100 coulées voire plus avec une dalle présentant une usure plus régulière et une dalle qui reste propre, avec quasiment aucune réparation !

# Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur



Optimisation du design et du positionnement de ces accessoires pour optimiser le traitement de l'acier liquide dans le répartiteur

## Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur



α Calcul Stationnaire,

α 1 phase

α Modèle Energie,

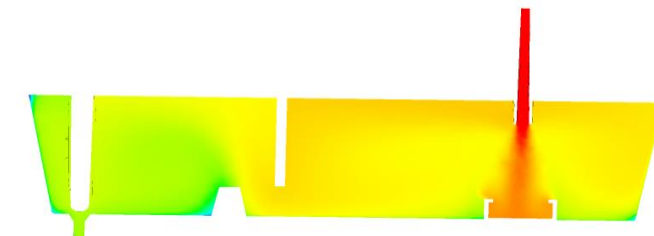
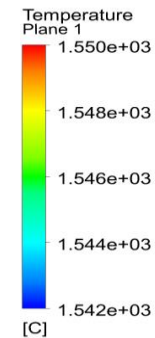
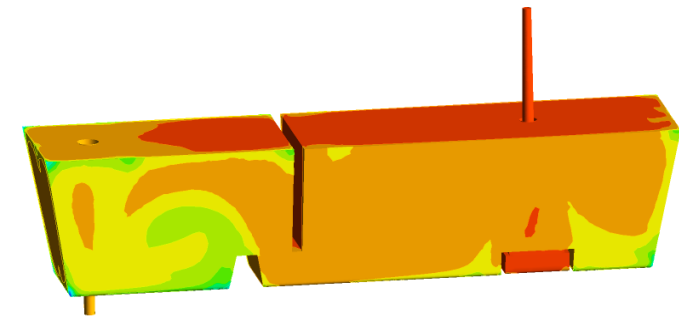
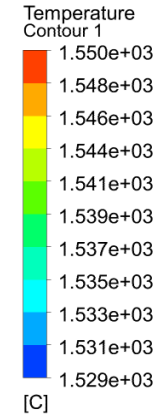
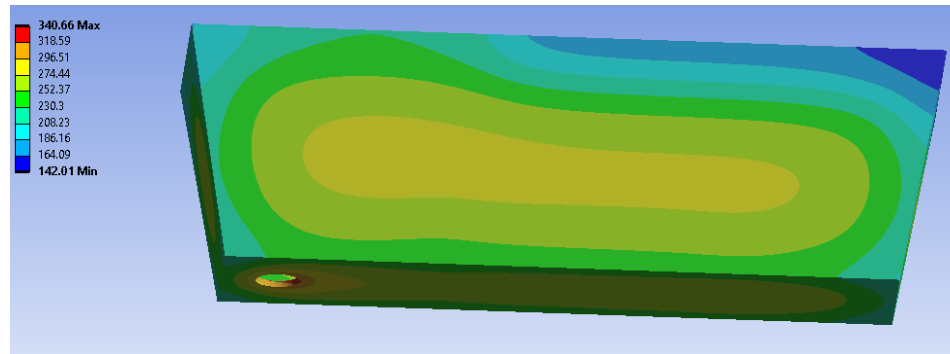
α Modèle visqueux  $K\epsilon$

α DPM

# Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur

Les paramètres que l'on va suivre:

- La température de l'acier liquide
- La température moyenne au trou de sortie
- La température de la carcasse métallique

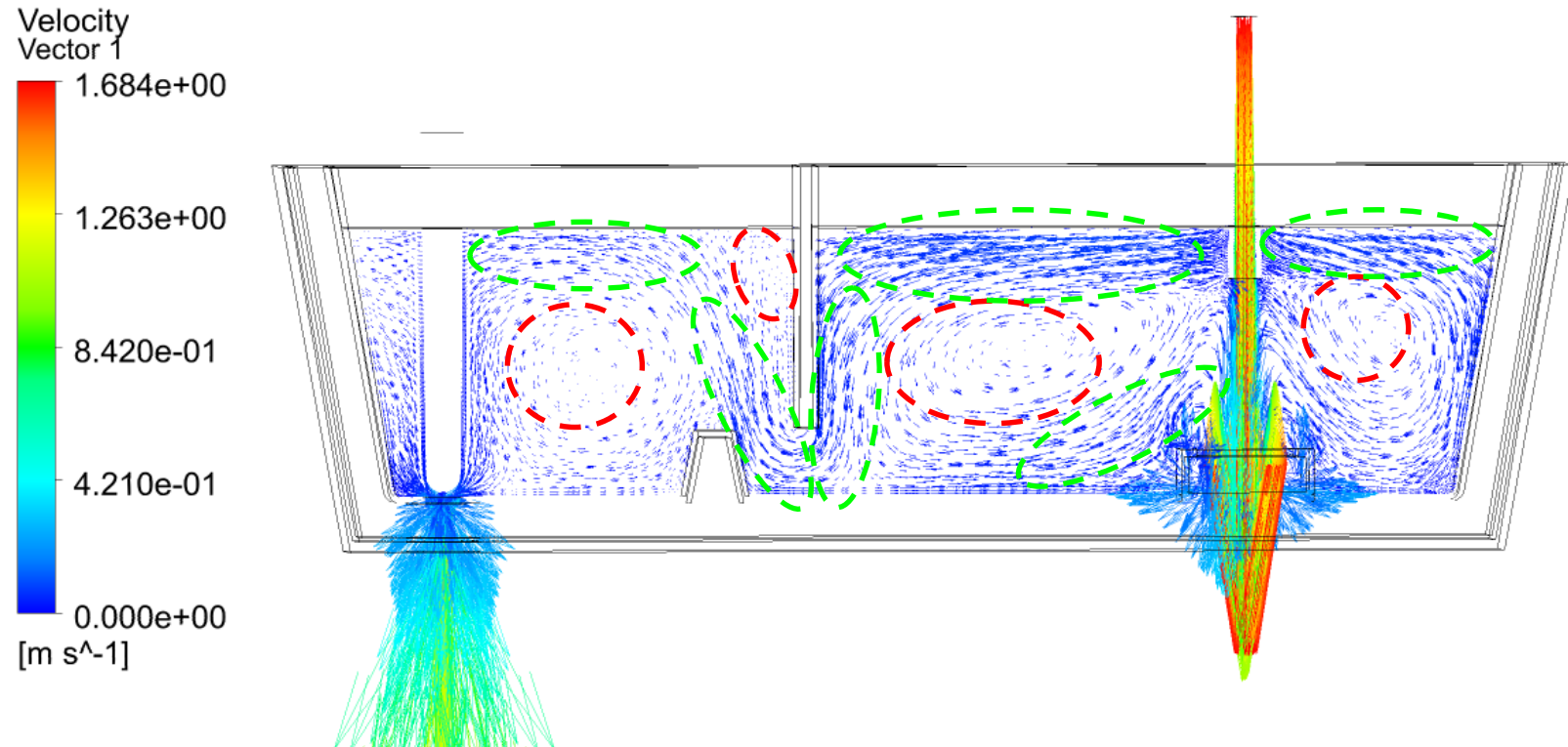




# Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur

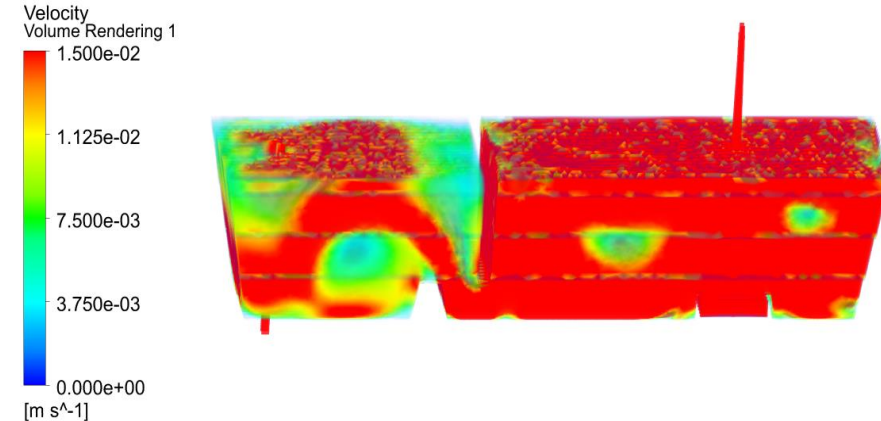
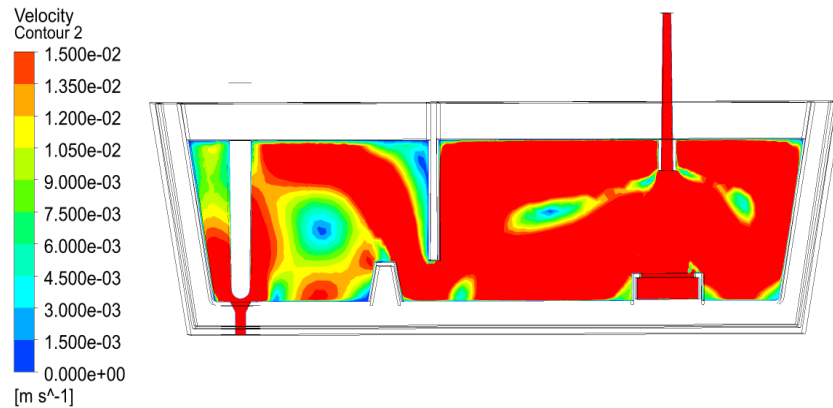
Les paramètres suivis:

- Le % de volume où le mélange est important (Mixing area)
- Le % de volume où le mélange est très faible (Dead area)

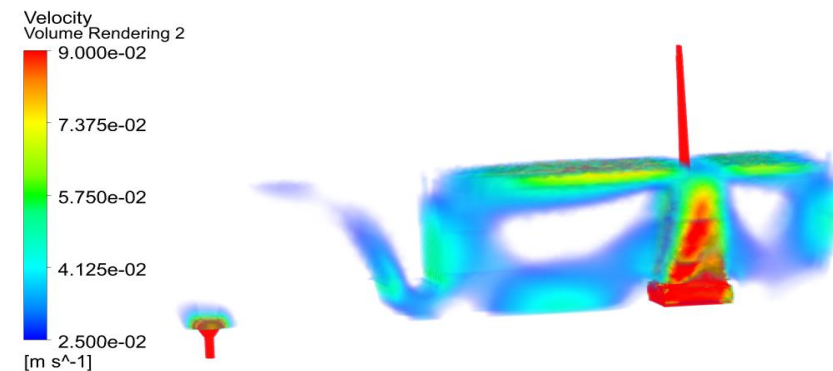
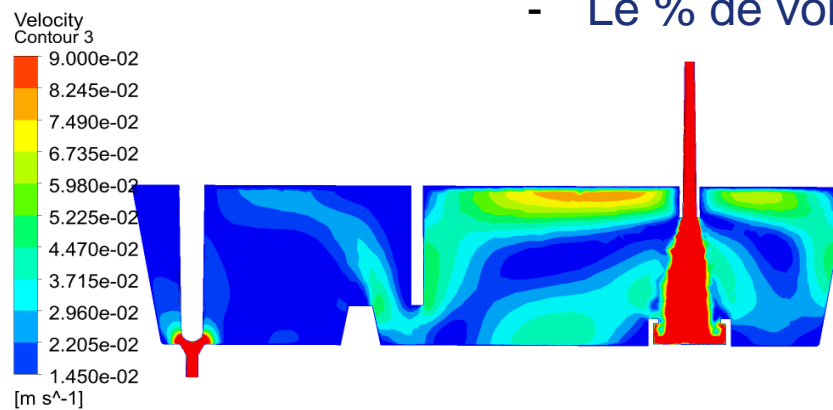


# Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur

- Le % de volume où le mélange est très faible



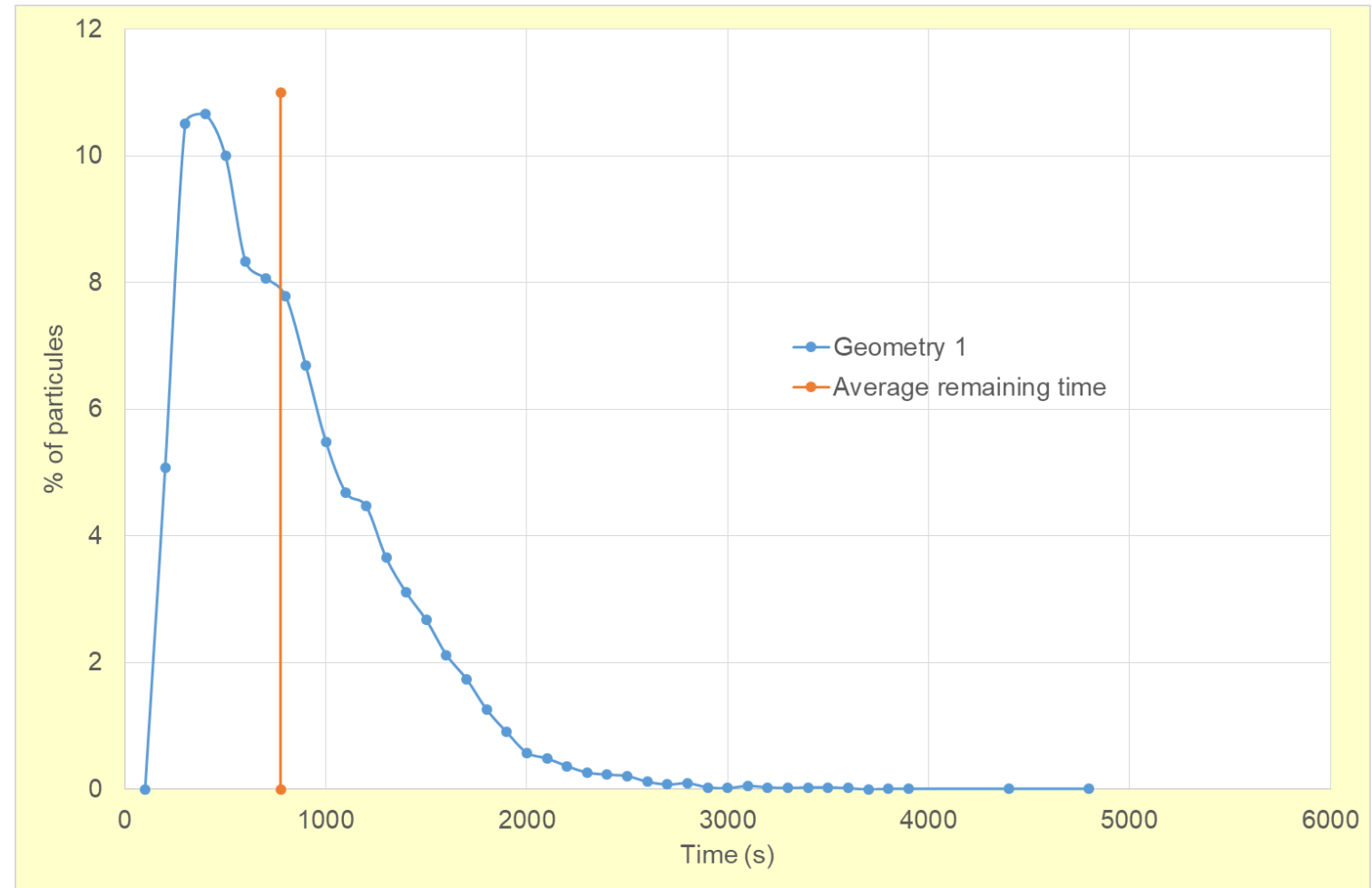
- Le % de volume où le mélange est important



## Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur

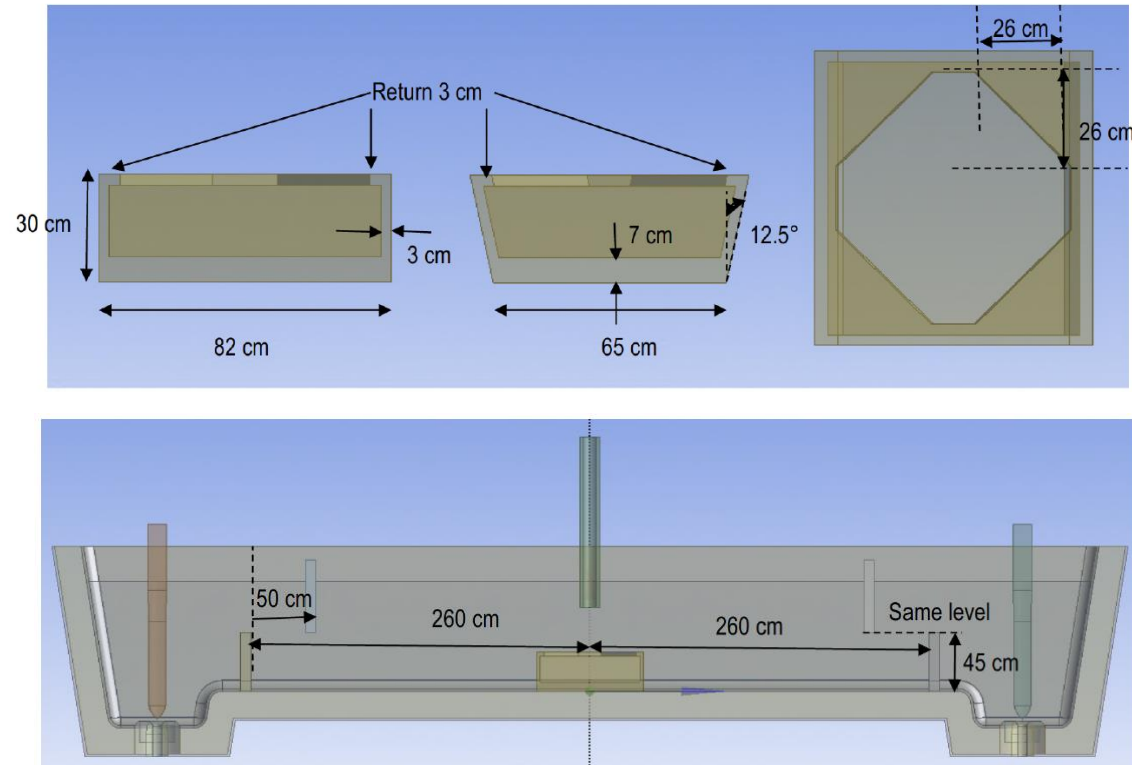
Les derniers paramètres suivis :

- Temps minimum dans le répartiteur
- Temps moyen dans le répartiteur
- La dispersion



## Exemple 2: Optimisation du flux d'acier liquide dans un répartiteur

Calderys propose une solution optimisée à chaque client. Elle est obtenue en comparant ces différents résultats sur un grand nombre de configurations (différentes géométries, différentes positions de barrages).



# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

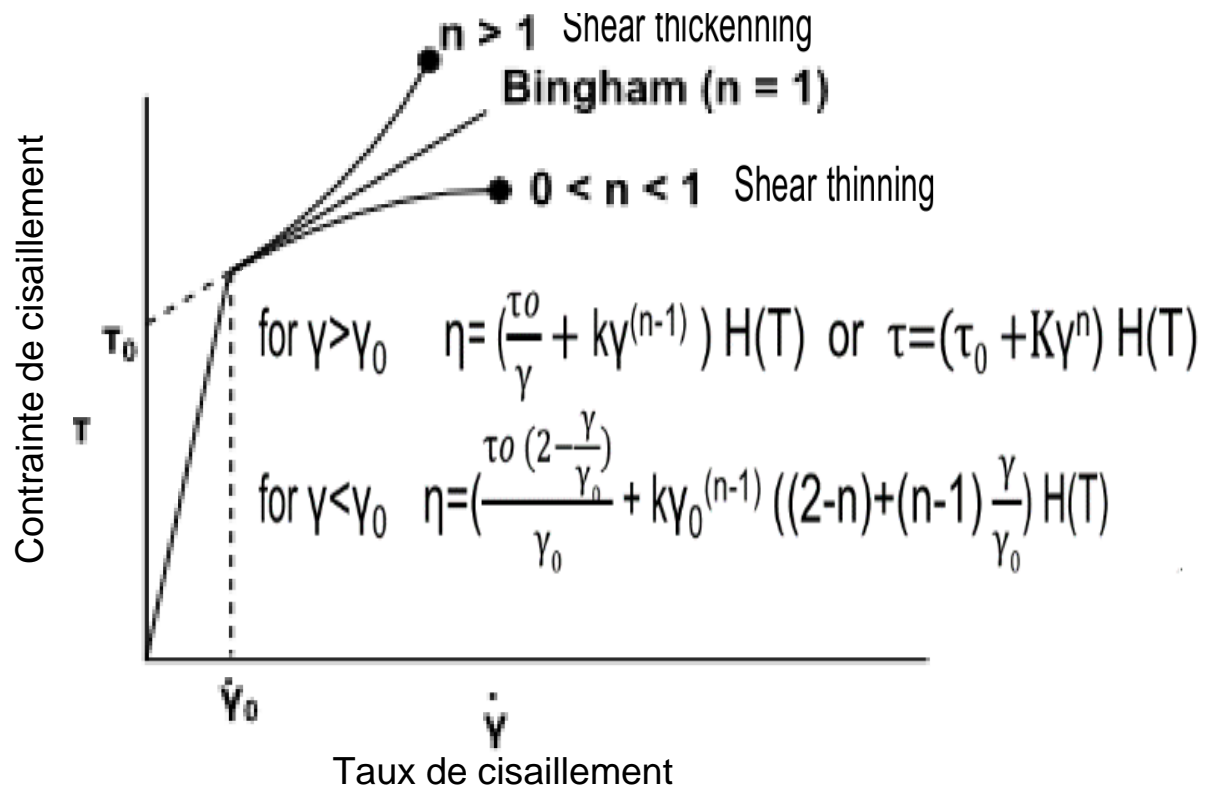
---

- La masse de bouchage: un matériau complexe avec des propriétés qui évolue avec la température
- L'observation de la masse in situ est impossible
- La simulation fluide semble un outils intéressant pour simuler ce qui se passe dans le trou de coulée



# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

Modèle Herschel-Bulkley: *Modèle dépendant du taux de cisaillement, mais aussi de la température*



With:  $\eta$  =viscosity  
 $\dot{\gamma}$  = Shear rate, and  $\dot{\gamma}_0$  critical shear rate  
 $k$ =Consistency index  
 $n$ = measure of the deviation of the fluid from Newtonian (Power law Index)  
 $H(T)$  is the temperature dependance law (Arrhenius law)

$$H(T) = \exp\left(\alpha \left( \frac{1}{T-T_0} - \frac{1}{T_c-T_0} \right)\right)$$

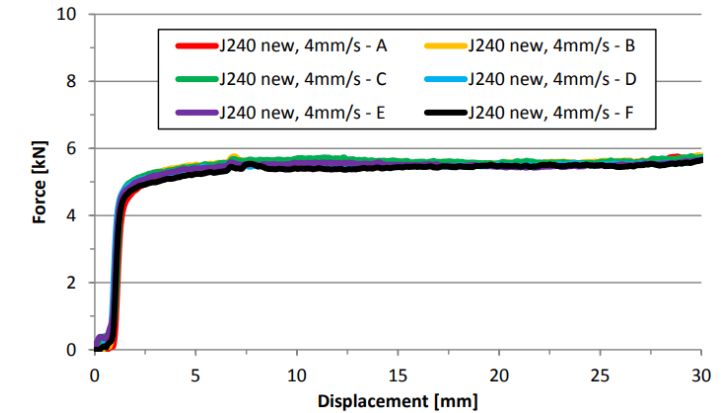
With  $\alpha = E/R$  activation energie/R  
 And  $T_c$  reference temperature

# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

1

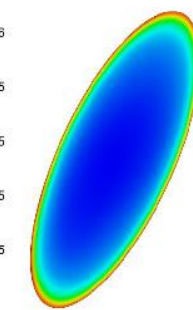
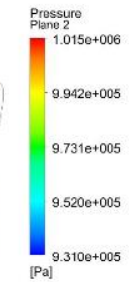
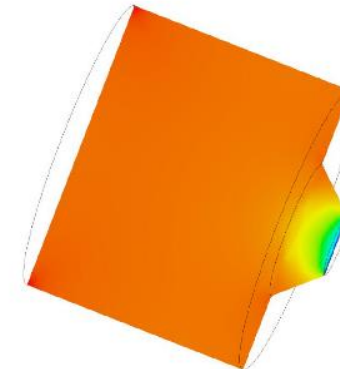
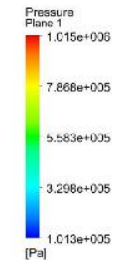
## Test d'extrusion à vitesse donnée

Mesure de la force et déplacement



2

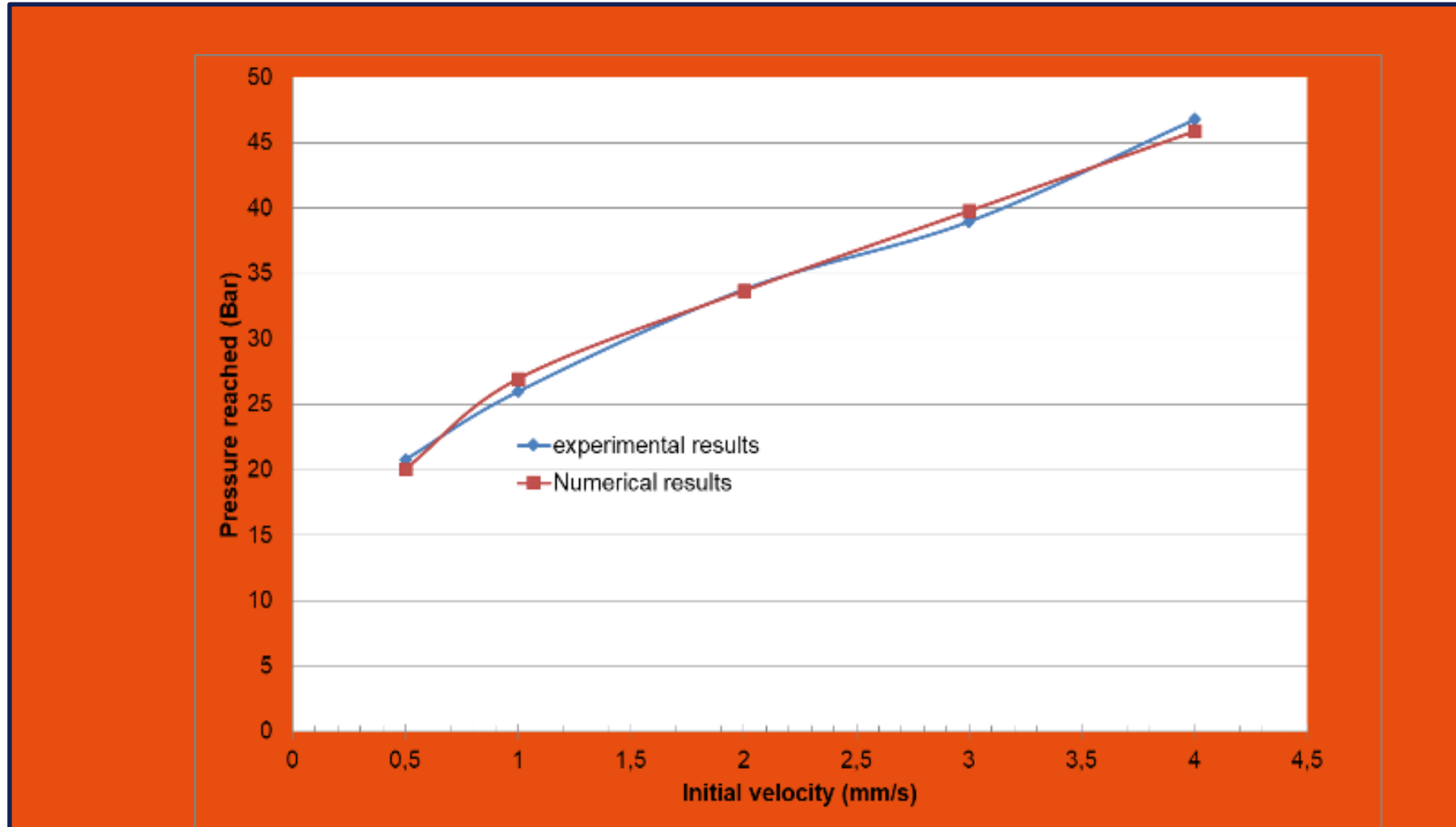
## On simule l'essai



3

## Définition des paramètres par méthode inverse

# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage





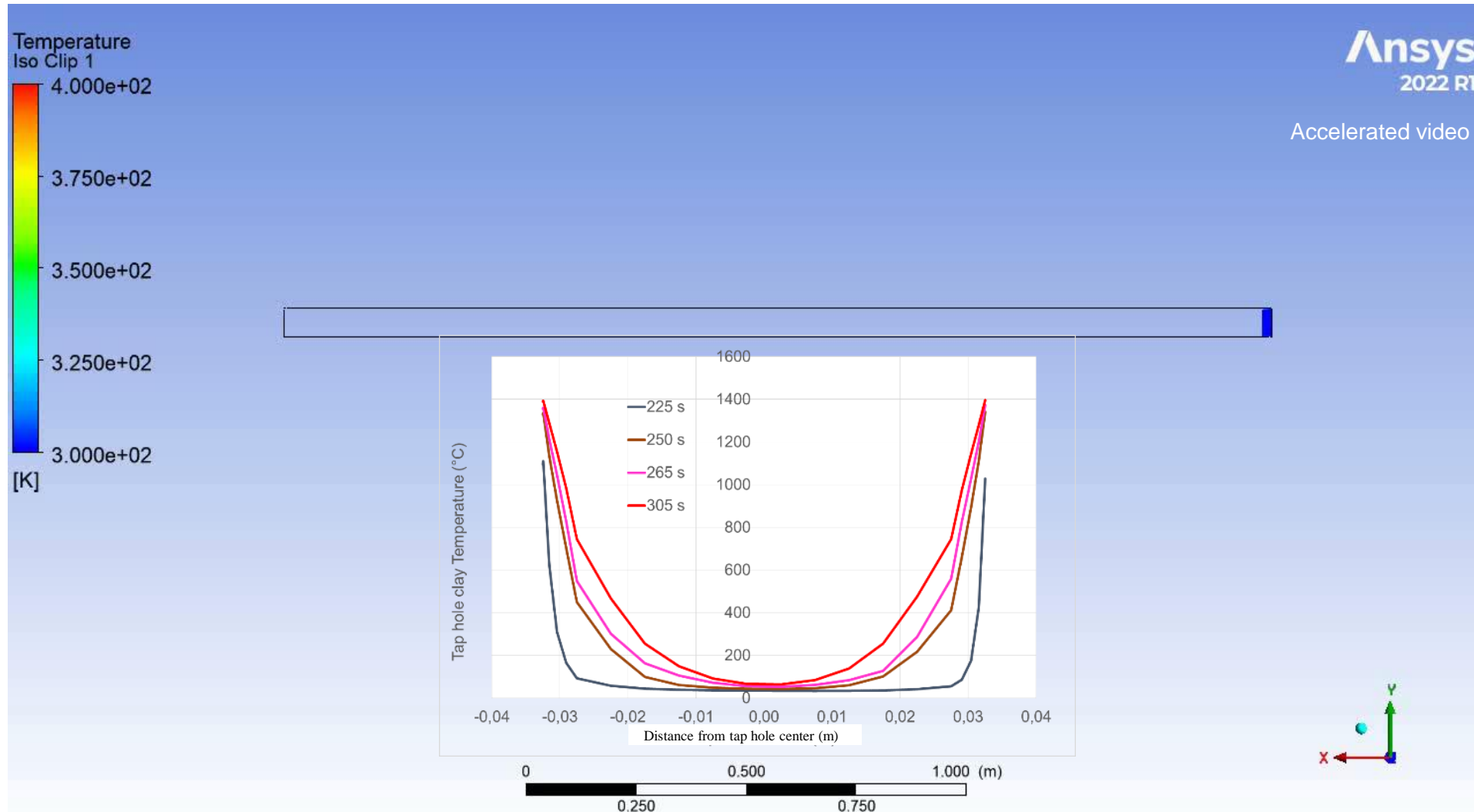
# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

---

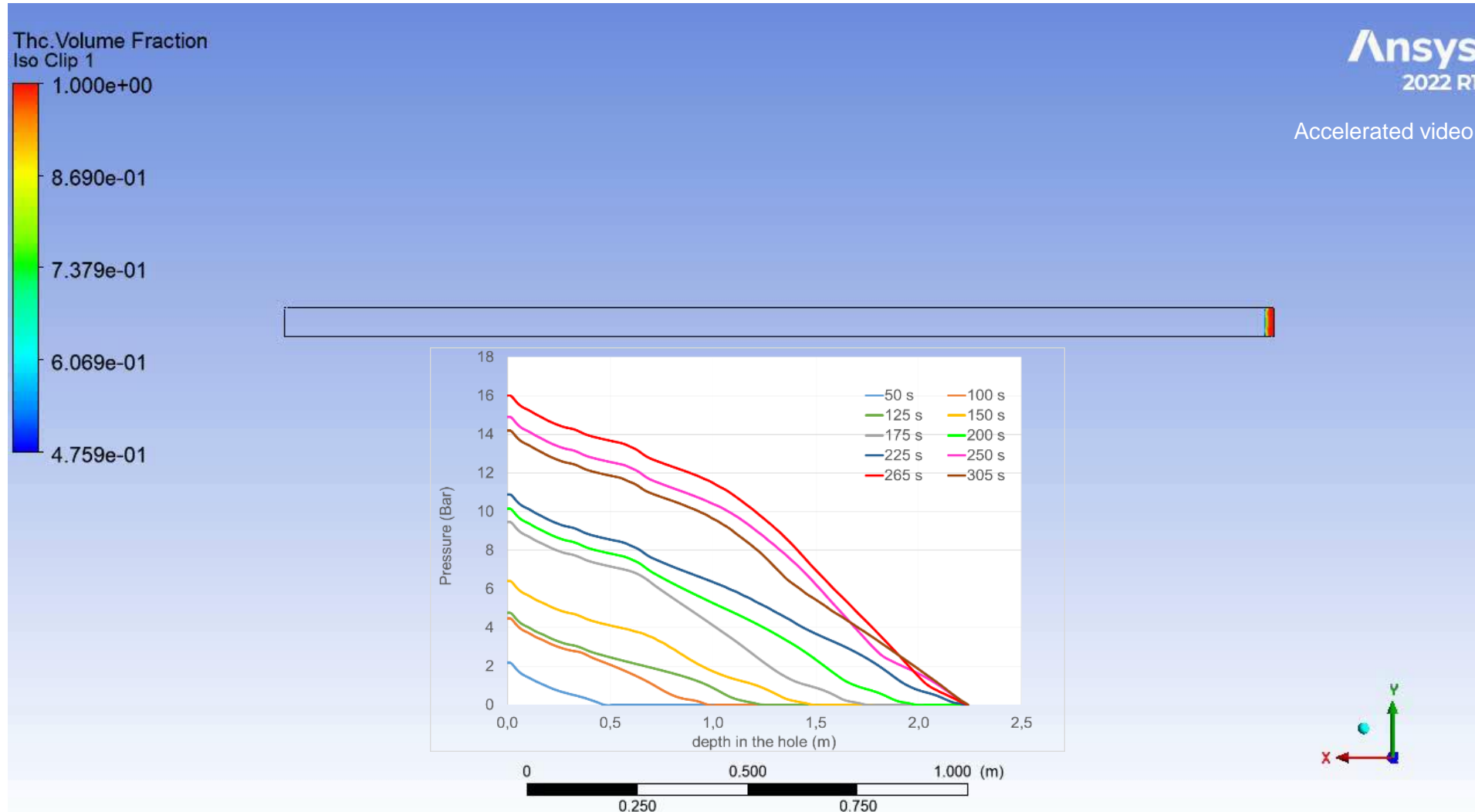
## Utilisation du modèle dans un trou de coulée:

- Longueur 2,25 m
- Diamètre 65 mm
- Inclinaison 15°
- Iron température: 1450 °C
- La masse de bouchage est injectée à 1 cm/s

# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

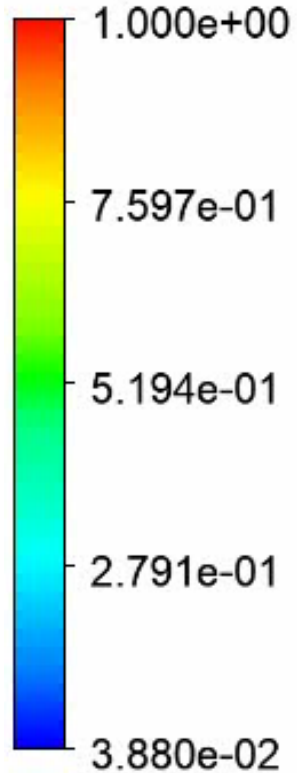


# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

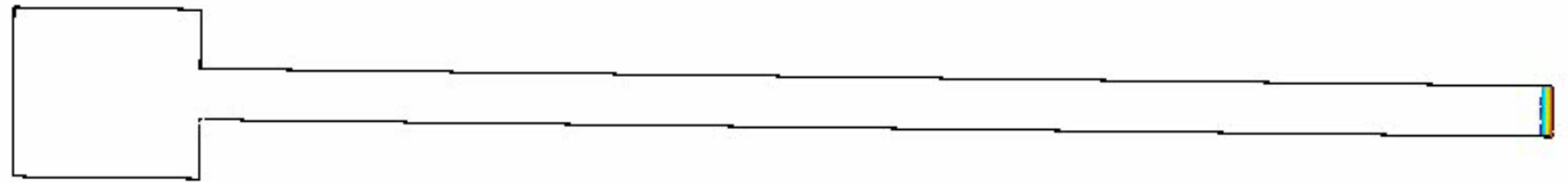


# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

The Volume Fraction  
Iso Clip 1



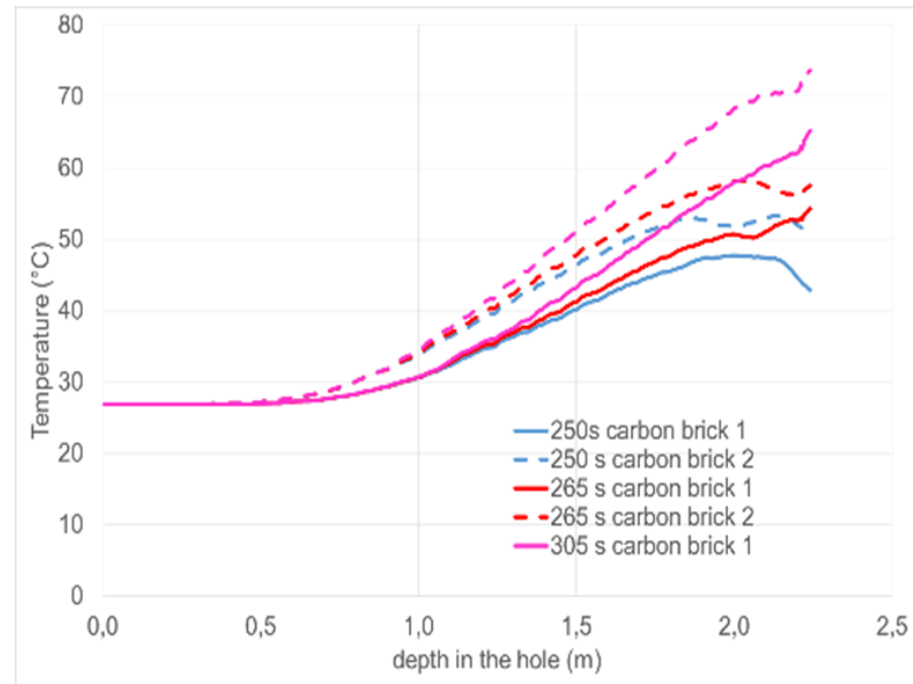
Evolution de la fraction volumique de la masse "plastique"



# Exemple 3: Simulation fluide d'une masse de bouchage

- Outil parfait pour voir l'influence du garnissage sur l'évolution des températures

Product	d (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)	C (J/kgK)
Carbon brick 1	1580	13.2	1800
Carbon brick 2	1960	37	1800



- Optimisation possible de nos matériaux, pour qu'ils soient adaptés aux conditions d'utilisations

# Thank you for your attention

---

Visit [www.calderys.com](http://www.calderys.com) for more information

or connect with us:



[www.linkedin.com/company/calderys/](http://www.linkedin.com/company/calderys/)

[www.facebook.com/calderys/](http://www.facebook.com/calderys/)