

27 novembre 2007

Clarisse Delalandre

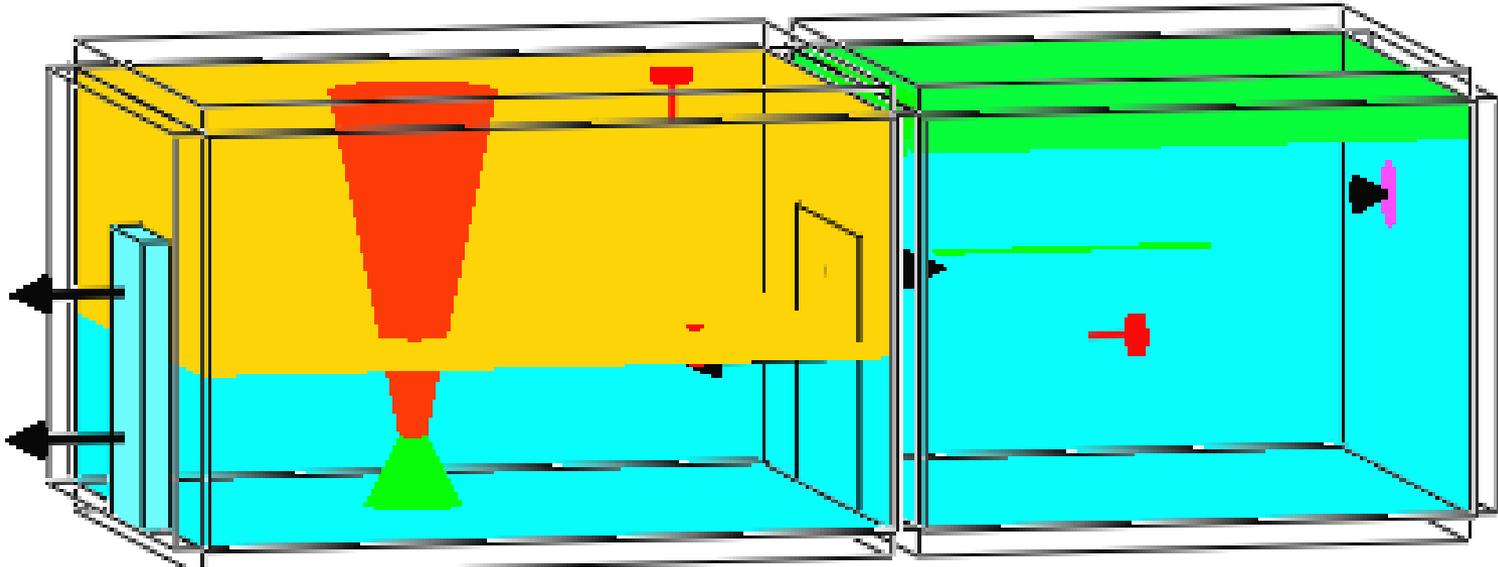
# Opportunité d'une version *Code\_Saturne*® INCENDIE

1ers Exemples de Calculs 3D d'incendie  
avec *Code\_Saturne*®

# Développement version Incendie *Code\_Saturne*®

## MAGIC

code à zone développé à EDF R&D depuis 15 ans  
maturité « industrielle » et reconnaissance internationale (EPRI)



## Limites

trop conservatif (T), manque info écoulement (bilan seulement, pas détail position foyer par ex ...)

# Développement version Incendie *Code\_Saturne*®

- Besoins de modélisation fine : écoulement air et fumées
- Besoins pour local grande dimension, géométrie complexe...

=> **passage à la CFD**

## Quelle politique CFD INCENDIE à EDF R&D ?

achat de code existant, co-développement, développement d'un outil propre

**NOTRE CHOIX** : développement sur la base de *Code\_Saturne*®

- code IPS, code industriel destiné à terme à l'ingénierie
- rationalisation des codes (*Code\_Saturne*® déjà au SEPTEN)
- maîtrise technique

# Développement version Incendie *Code\_Saturne*®

## Les plus

**Code gratuit open source déjà « industrialisé »**

### Modèles spécifiques

Turbulence  
Rayonnement  
Combustion  
Incompressible ou faiblement compressible

**Maillages tout type et géométries complexes**

### Conditions aux limites

Thermique paroi + ....

### Couplages

SYRTHES, *Code\_Aster*®, *Code\_Saturne*®

### Interface graphique

Mise en données et lancement des calculs

**Dossier de validation complet**

## Les moins

**Code généraliste en CFD**

- ⇒ temps de calcul + élevés
- ⇒ adaptation à l'incendie nécessaire

**Modèles de pyrolyse, de suies, détecteur, sprinkler, brouillard d'eau, couplage phénomènes...**

- ⇒ à introduire

**Dossier de validation incendie**

- ⇒ à bâtir

# A ce jour Modélisation STANDARD Code\_Saturne®

- **Modèle de combustion :**  
flamme de diffusion « chimie 3points » chimie infiniment rapide
- **Modèles de turbulence Standard Code\_Saturne®**
  - k-epsilon
  - k-omega !!!!!!!!!!!!!!!
  - LES
  - ...
- **Modèles Standard pour les transferts radiatifs :**
  - DOM
  - P1

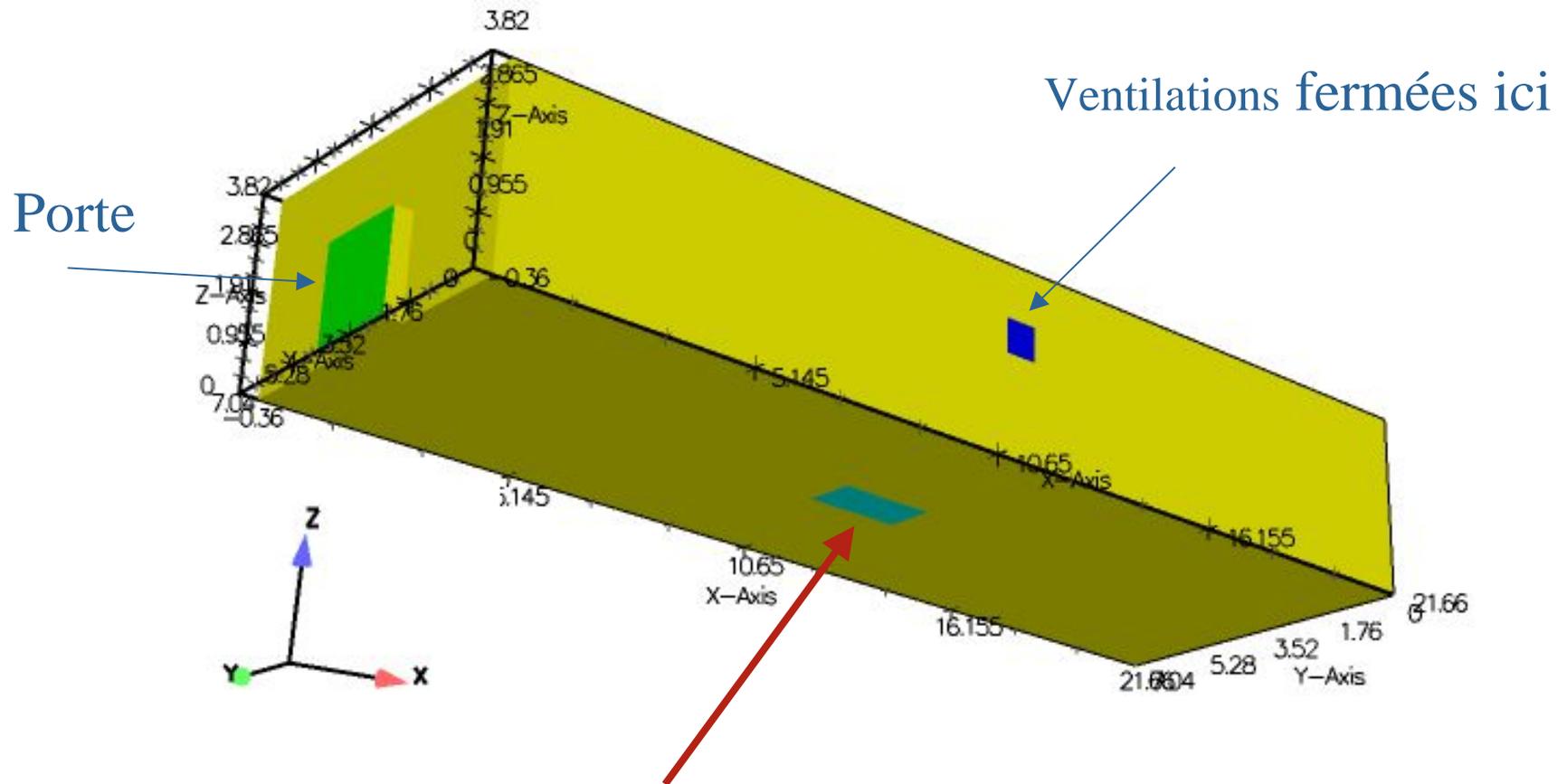
?? coefficients d'absorption

1

## Calcul d'un feu d'heptane (Benchmark NRC)

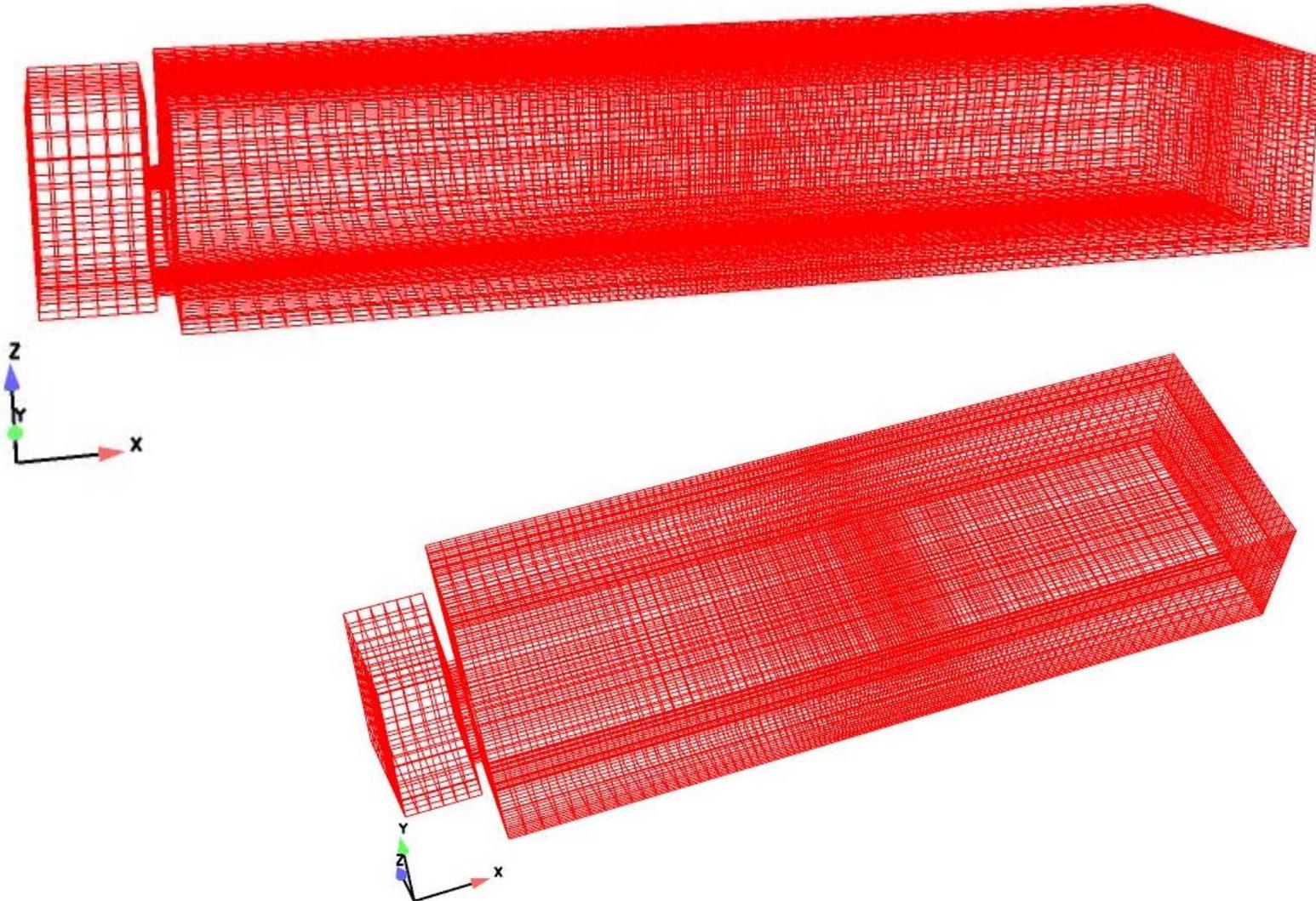
A partir de la version **Standard** de  
*Code\_Saturne*® Combustion

# 1.1 Configuration de calcul : hall de 21 m x 7 m x 3,8 m



**Feu de C7H16 de 2m x 1m au centre**

## 1.2 Maillage : exemple à 140 000 cellules



## 1.3 Conditions aux limites : données d'entrée du cas test 3 NRC

- **C7H16**                      =>      **PCI = 44,6 MJ/kg**
- **Puissance de feu =>      Cste pendant 28 mn = 1140 kW**  
  
   =>      **Débit de pyrolyse = 0,025 kg/s**

**HYPOTHESE : T « d'entrée » de l'heptane = 371 Kelvin (T ébullition)**

**=> vitesse du fuel en « entrée »**

- **Données pour les Parois : Conductivité(s) thermique(s),  
épaisseur(s) et émissivité(s)**
  
- **Cond. initiale : Air froid à 30 Celsius**

# 1.4 Données thermo : fichier dp\_C3P

10 Nombre de points de tabulation pour l'enthalpie (Température en Kelvin, Hfuel, Hoxydant, Hproduit en J/kg)

.3000E+03	-2.2620E+06	.1902E+04	-2.9088E+06
.6000E+03	-1.5397E+06	.3108E+06	-2.5742E+06
.9000E+03	-0.6677E+06	.6390E+06	-2.2122E+06
.1200E+04	0.3338E+06	.9860E+06	-1.8246E+06
.1500E+04	1.4432E+06	.1346E+07	-1.4180E+06
.1800E+04	2.6288E+06	.1716E+07	-9.9735E+05
.2100E+04	3.8757E+05	.2093E+07	-5.6632E+05
.2400E+04	5.1538E+05	.2476E+07	-1.2773E+05
.2700E+04	6.4609E+06	.2863E+07	3.1641E+05
3000E+04	7.8056E+06	.3252E+07	7.6477E+05

.10000	.02884	.02857
0.0621		
1		
.05	.05	.35
1.	2.	

**Masse molaire fuel, oxydant, produit**

**Fraction de melange a la stoechiometrie**

**Rayonnement**

(0 non ; 1 oui ; 2 modak ; 3 : comme 1 mais modele P-1 ; 4 : comme 2 mais modele P-1)

**Coeff. d'absorption fuel, oxydant, produits (pour rayonnement)**

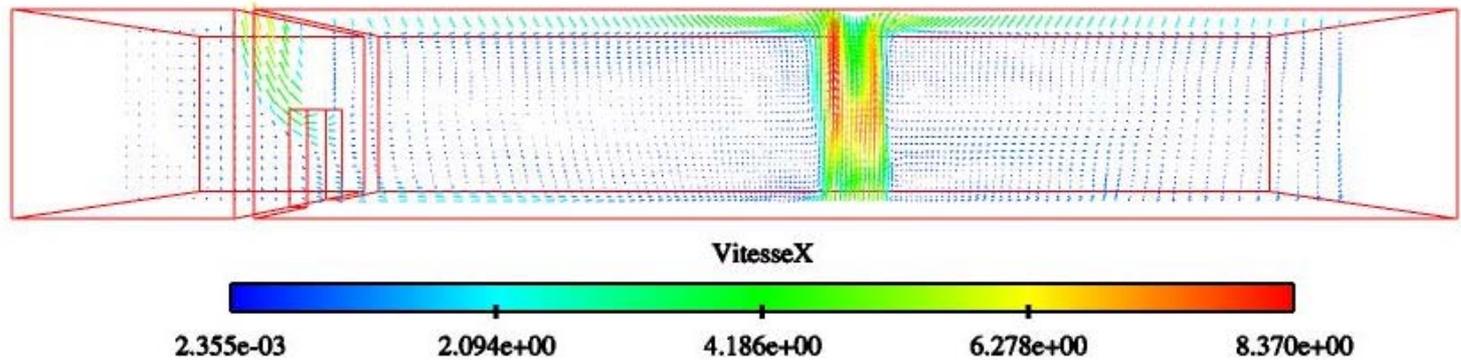
**Coeff. molaires de CO2 et H2O dans les produits (pour rayonnement)**

# 2

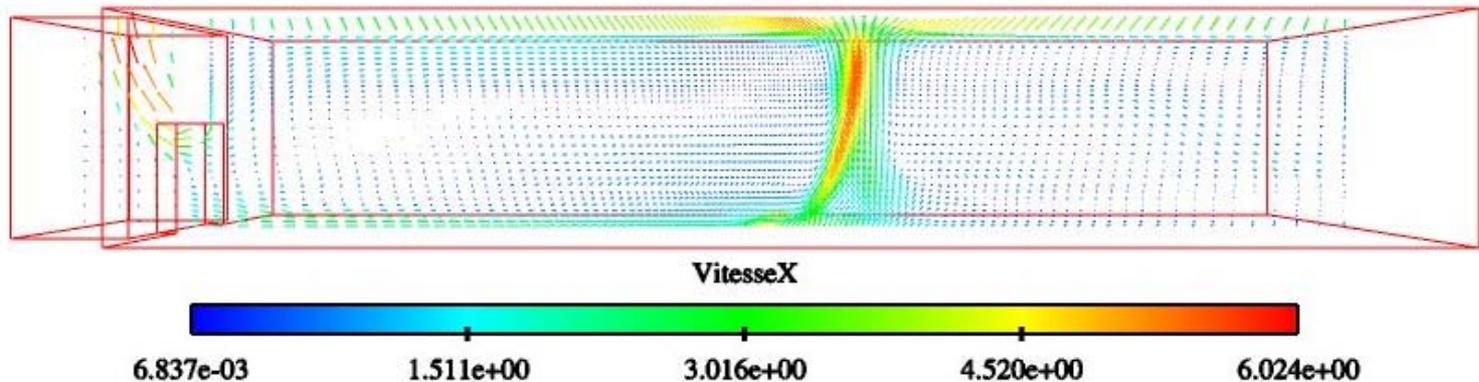
## Résultats de calculs d'un feu d'heptane Etude paramétrique

## 2.1 Influence du modèle de turbulence

### ➤ k-epsilon



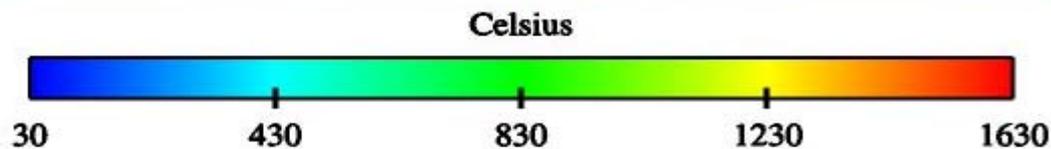
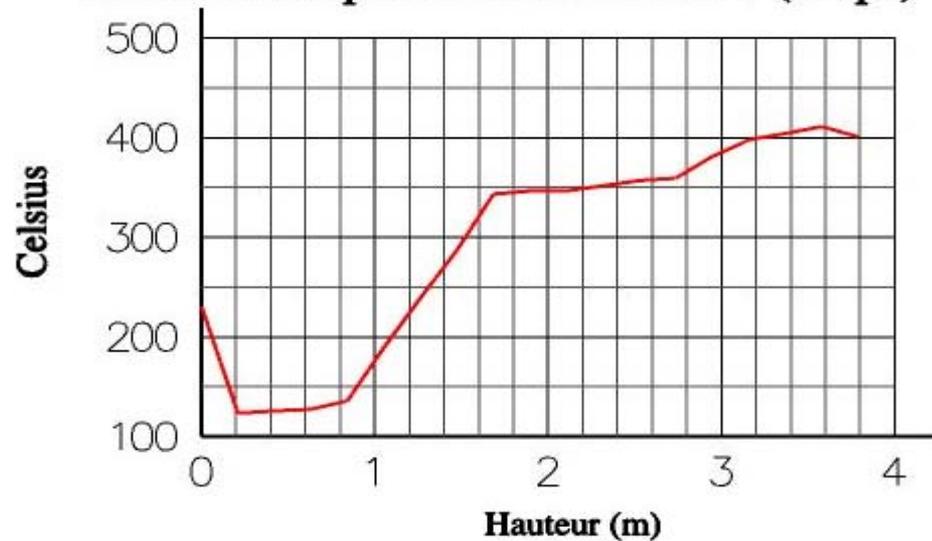
### ➤ k-omega



## 2.1 k-epsilon

k-epsilon

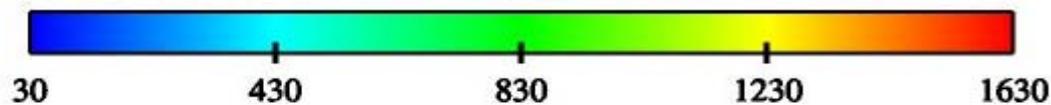
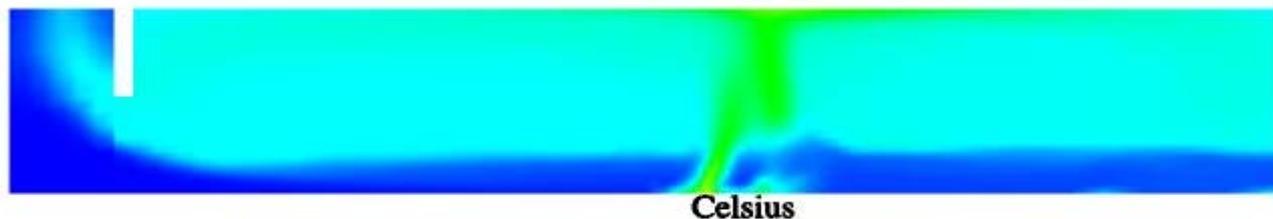
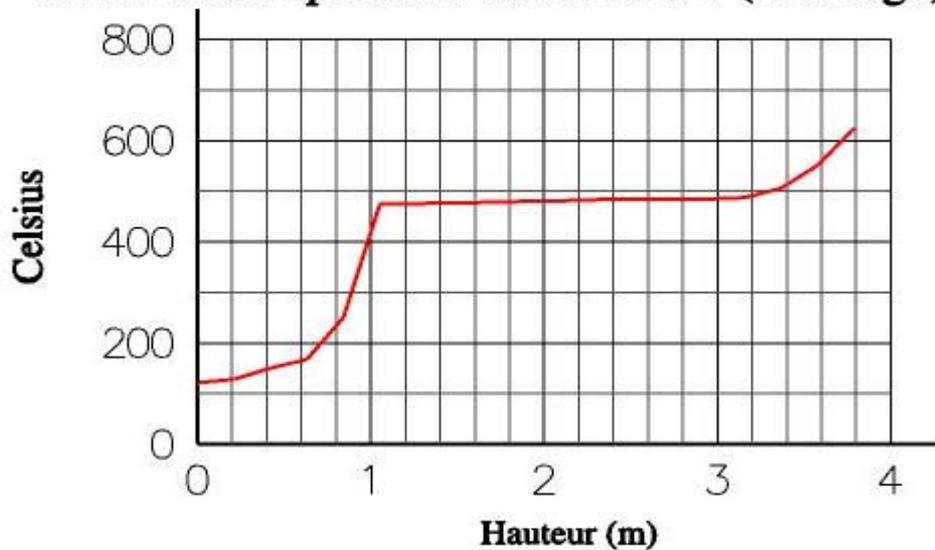
Profil de temperature sur 1 arbre 7 (k-eps)



## 2.1 k-omega

k-omega

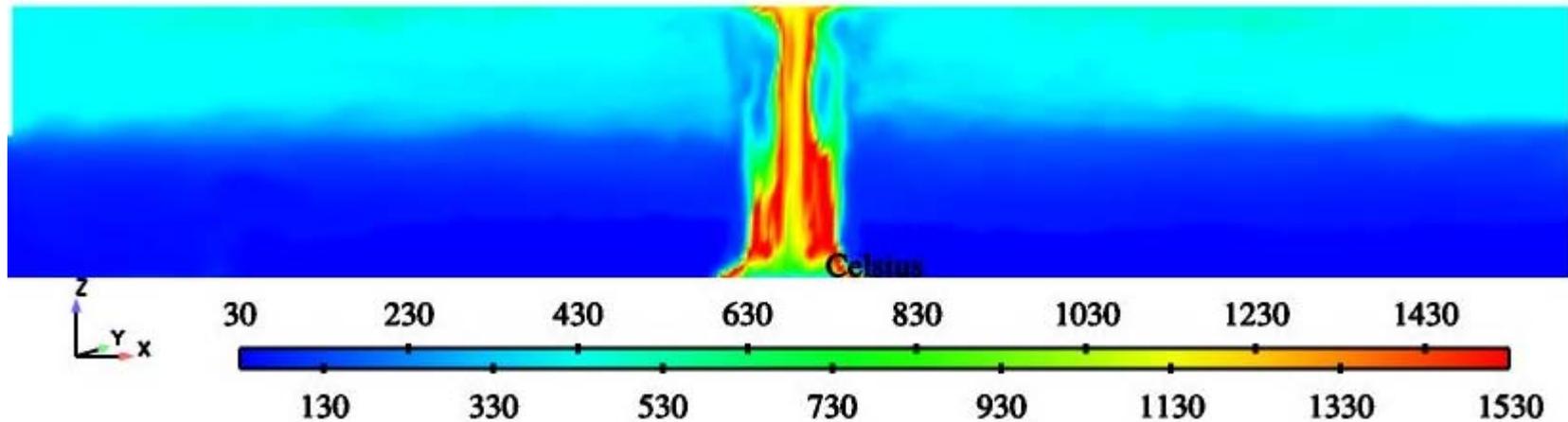
Profil de temperature sur l arbre 7 (k-omega)



## 2.1 Influence du modèle de turbulence

➤ LES : V LES !

ou LES avec maillage de 1,2 millions de cellules ?



## 2.3 Modélisation des Transferts Radiatifs

### DOM

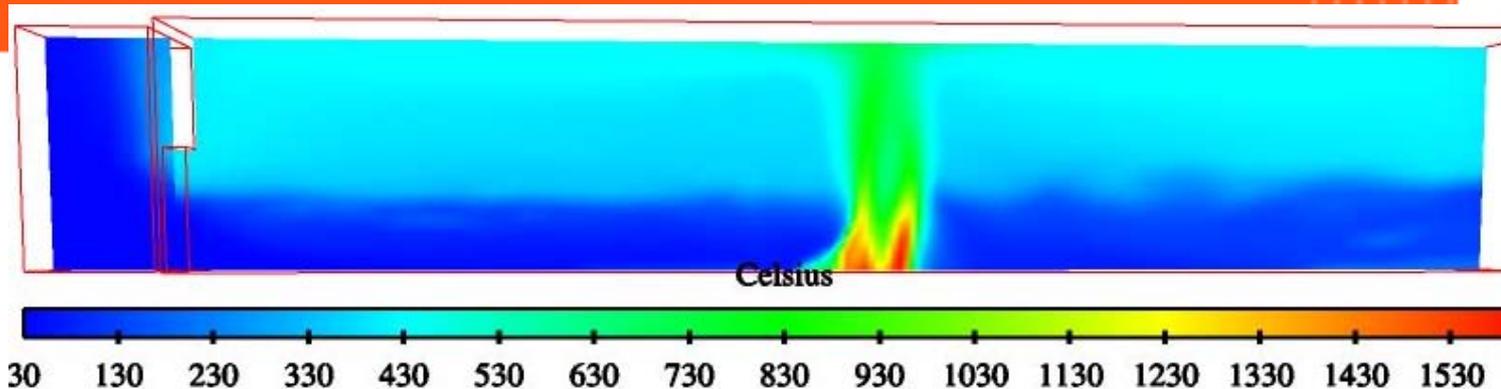
- Coefficient d'absorption variable :  
de 0,05 à 0,35 ou 0,9 m<sup>-1</sup>
- Coefficient d'absorption constant : 0,35 m<sup>-1</sup>

### P1

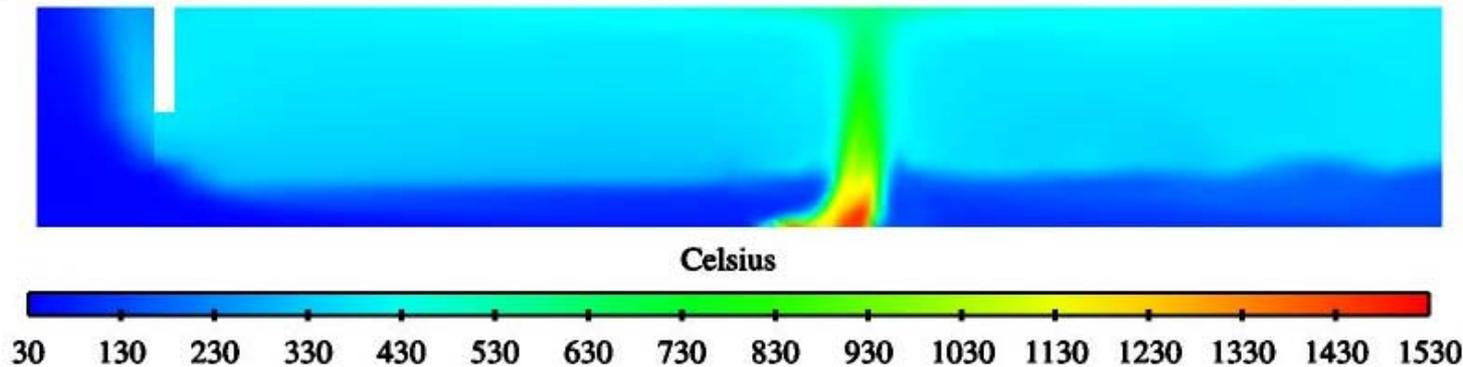
- Coefficient d'absorption constant : 0,35 m<sup>-1</sup>

## 2.3 Modélisation des Transferts radiatifs

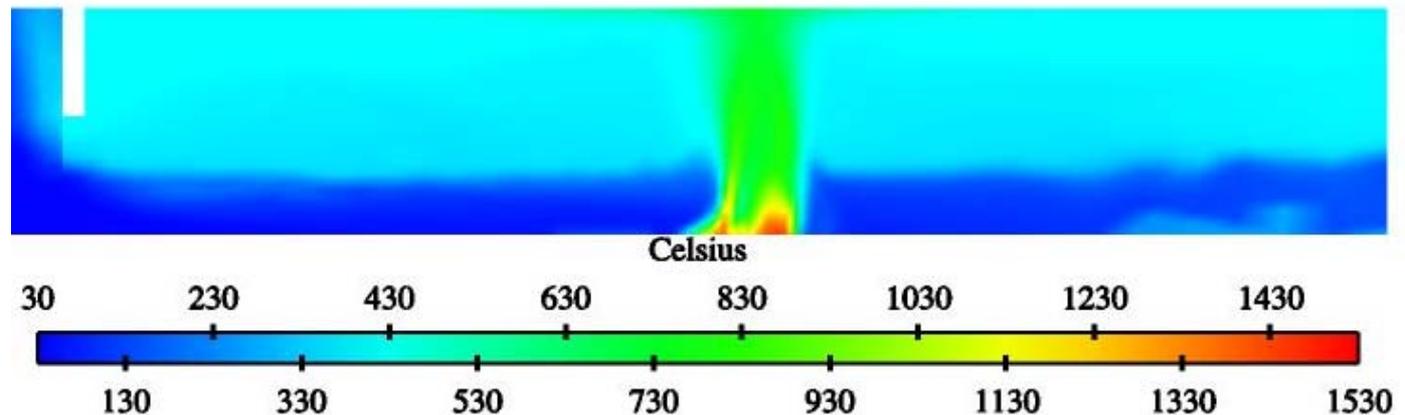
P1 :  
avec  
0,35 m-1  
partout



DOM :  
avec  
0,35 m-1  
partout

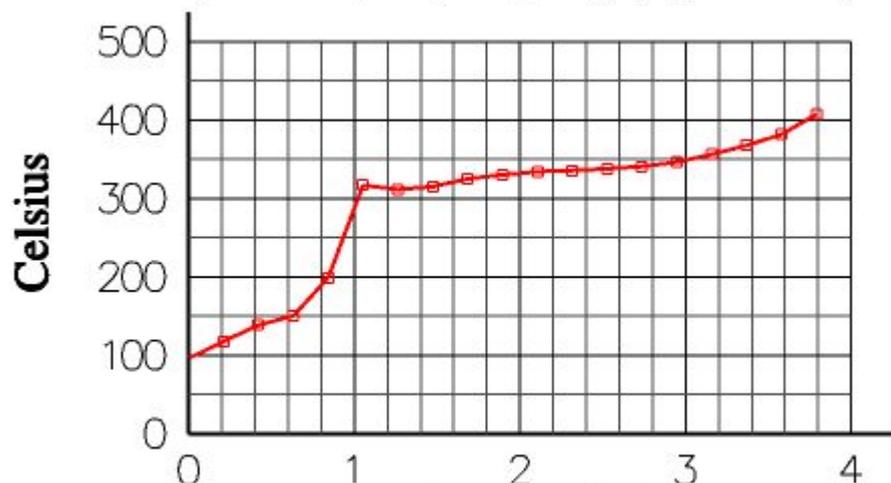
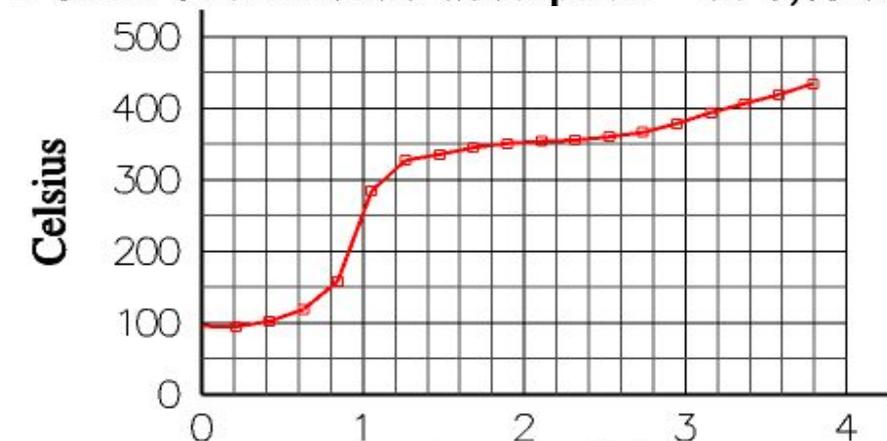


DOM :  
avec  
0,05 à  
0,35 m-1



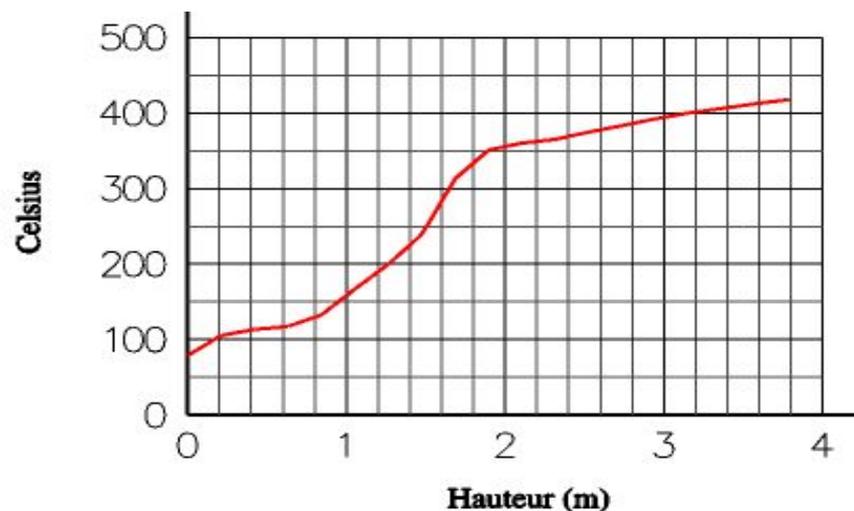
## 2.3 Modélisation des Transferts radiatifs

DOM : Coefficient d'absorption = de 0,05 a 0,35 m<sup>-1</sup>



DOM : Coefficient d'absorption = 0,35 m<sup>-1</sup>

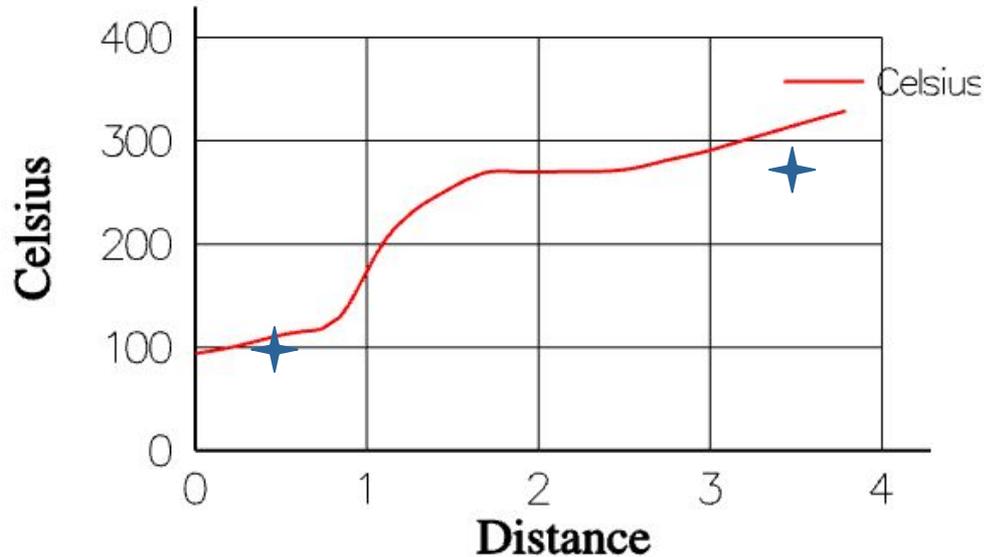
### Modele P1



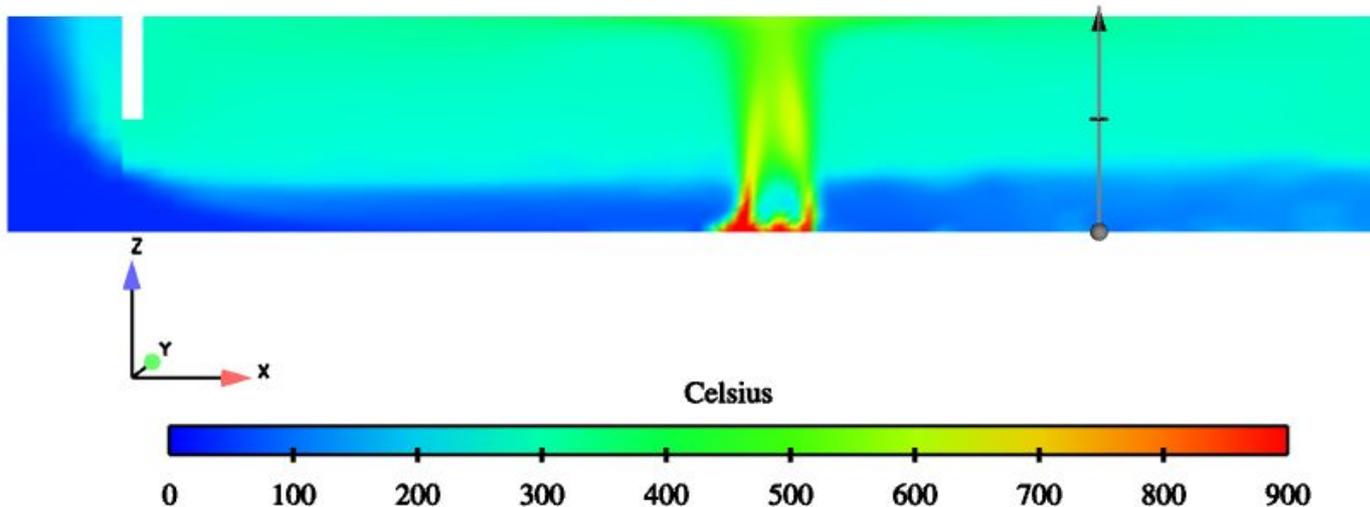
## 2.4 Résultats avec conductivité thermique paroi = 0,198 W/K/m et coefficient d'absorption produits = 0,9 m<sup>-1</sup>

t = 1505 secondes

### Celsius vs. Distance for line tool



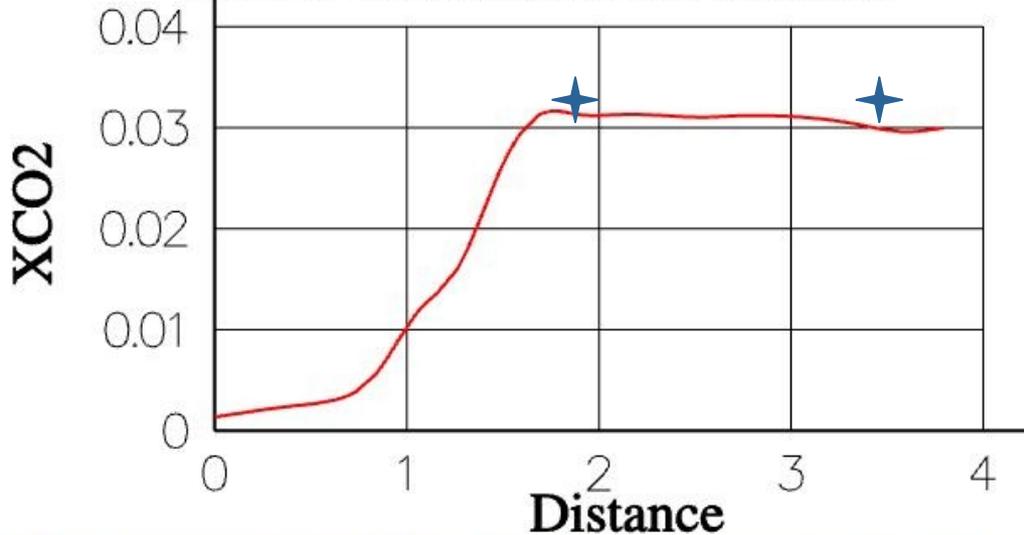
✦ Mesures



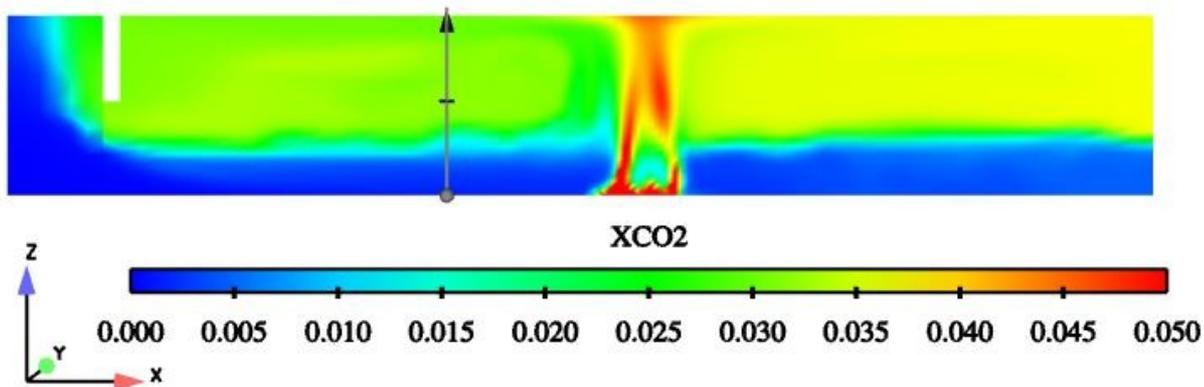
## 2.4 Résultats avec conductivité thermique paroi = 0,198 et coefficient d'absorption produits = 0,9 m-1

t = 1505 secondes

### XCO2 vs. Distance for line tool



★ Mesures



## 2.5 Temps calcul

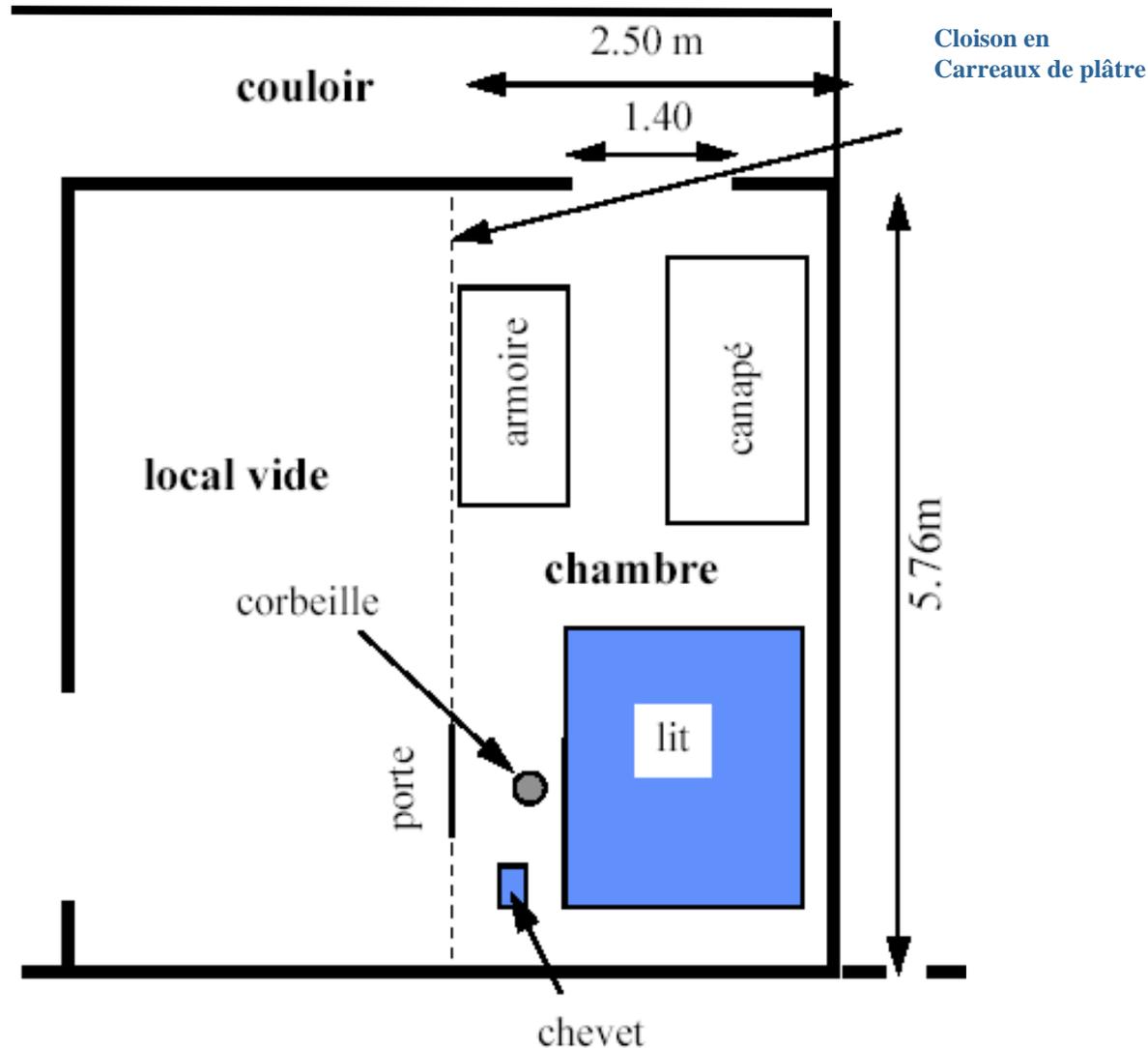
- fonction du pas de temps : avec pas de temps= 0,01s  
pas de temps=0,2 s
- fonction des modèles :  
ex DOM = 2 fois plus de temps que P1

**Estimation : 50 h de calcul sur un PC linux (2 processeurs)**  
**pour un calcul k-omega (dt = 0,2s) + P1**  
**pour un maillage de 140 000 cellules**  
**pour un feu de 30 minutes**

# 3

## Benchmark « feu dans une chambre d'hôtel » Point d'avancement et perspectives

# Chambre d'hôtel : données géométriques



# Chambre d'hôtel



# Chambre d'hôtel : données initiales !

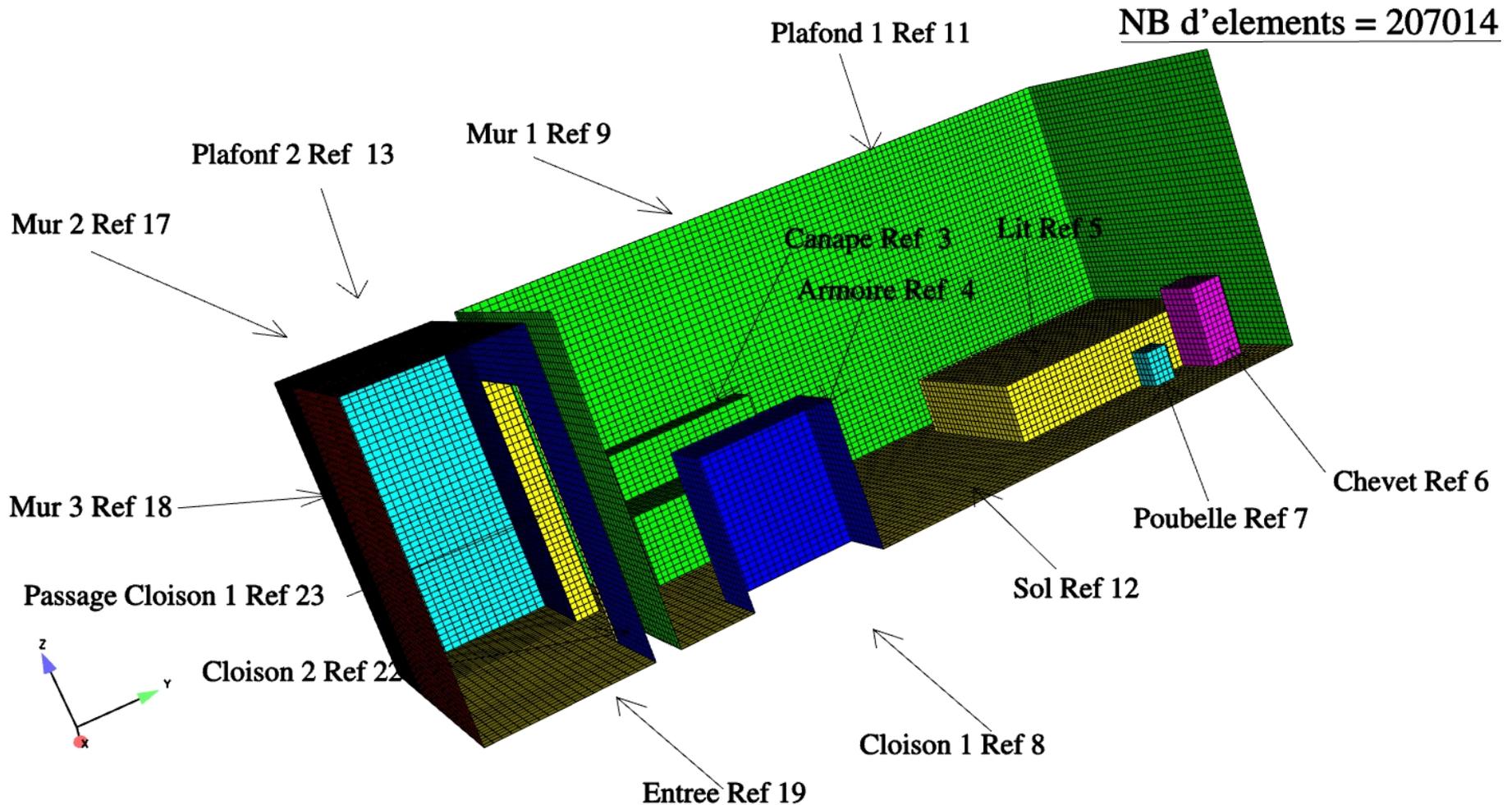


Développement du feu  
après 12 à 13 minutes  
quand  
matelas et tête de lit enflammés

# Développement version Incendie *Code\_Saturne*®



# Chambre d'hôtel : maillage



# Chambre d'hôtel : autres données du benchmark !

Parois extérieures des locaux : Béton cellulaire	Cloison interne : Carreau de plâtre	Plafond : Silico-calcaire
Cp= 850 J/kg/K Rho= 450 kg/m <sup>3</sup> Lambda = 0,15 W/m/k Epaisseur = 0,2m	Cp= 1250 J/kg/K Rho= 760 kg/m <sup>3</sup> Lambda = 0,20 W/m/k Epaisseur = 0,10m	Cp= 1000 J/kg/K Rho= 700 kg/m <sup>3</sup> Lambda = 0,10 W/m/k Epaisseur = 0,012 m

mobilier	Poids(kg)
Moquette	4.6
Lit	30.8
Sommier	74
Télévision	40.6
Commode	24.2
Matelas	18.6
Canapé	69.2
Table de chevet	22.6
Papier + Divers	1
Total	285.6

# Chambre d'hôtel : hypothèses

## Feu de matelas, bois, TV ?? données pour le calcul 3D ?!

- Recherche équipe incendie :  
PCI = 20 MJ/kg => calcul H(T) simplifié (très) !
- Scénario des feux déterminé grâce à MAGIC :  
débits de pyrolyse variable en temps sur lit puis commode + TV

## Nécessité de prise en compte inertie de la paroi

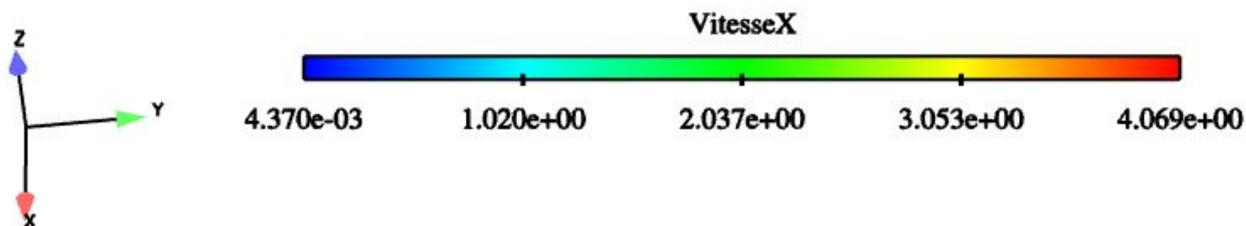
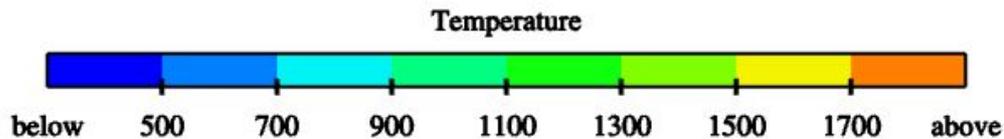
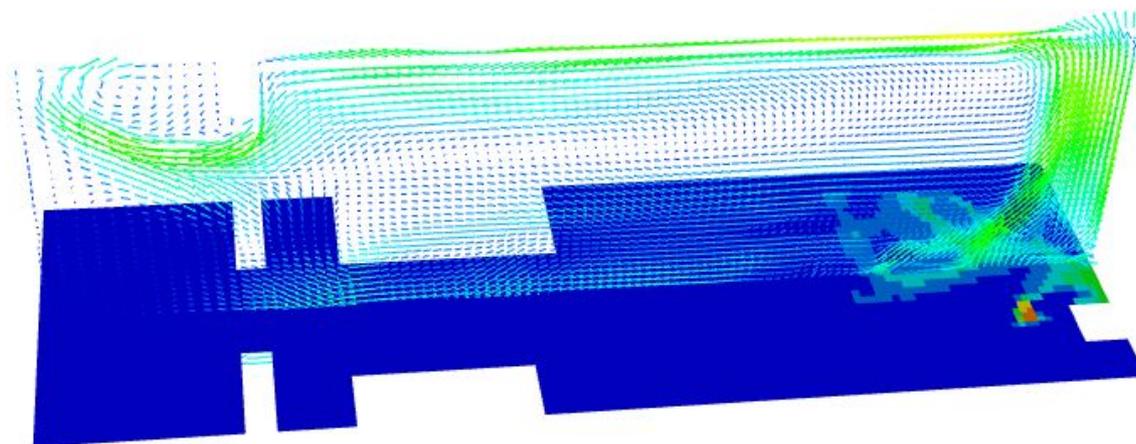
- Introduction du terme  $\rho C_p dT/dt$  dans le calcul la température de paroi dans le module de transfert radiatif :  
validation ?

## Les modèles précédemment retenus sont utilisés

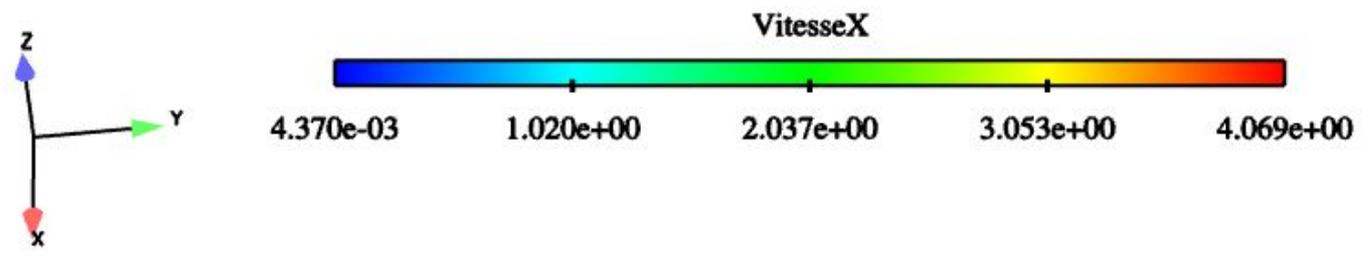
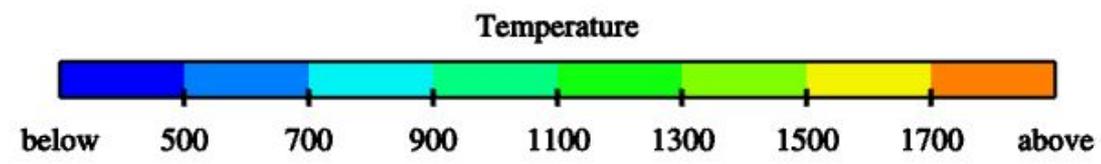
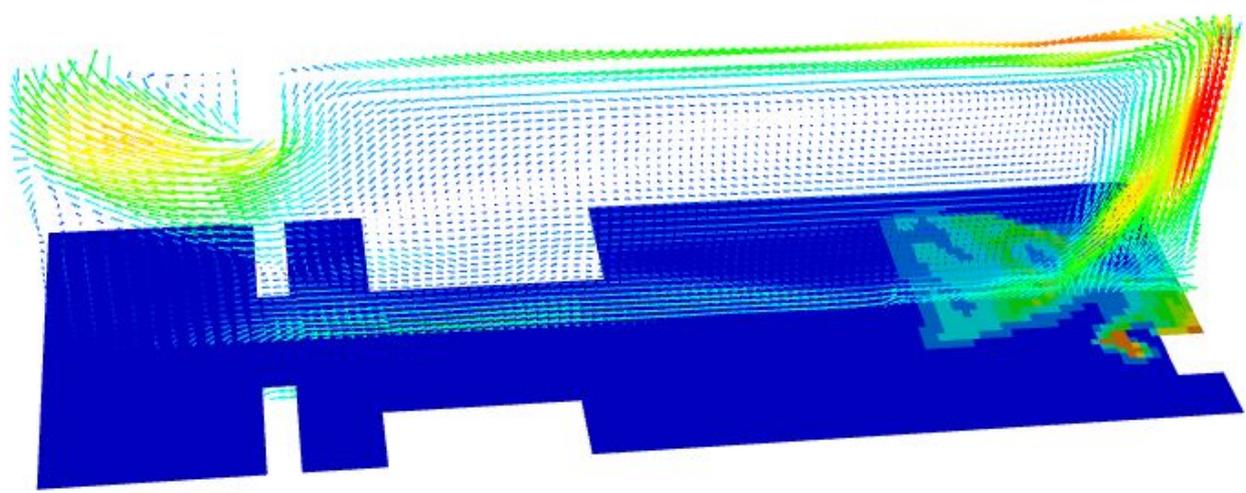
# Chambre d'hôtel : résultats (tout à fait préliminaires !)

t = 20 s

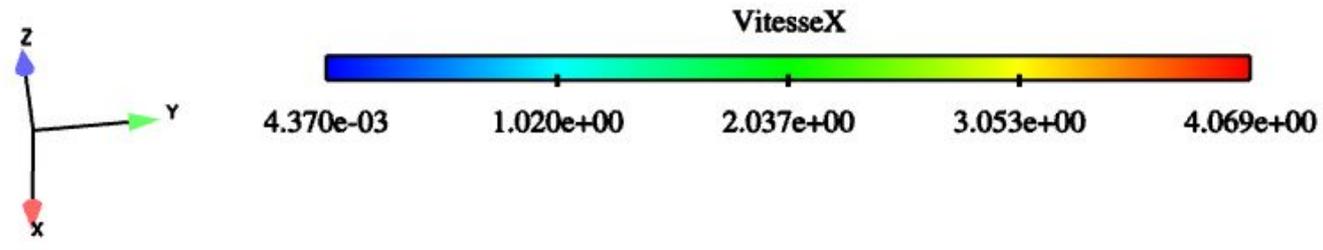
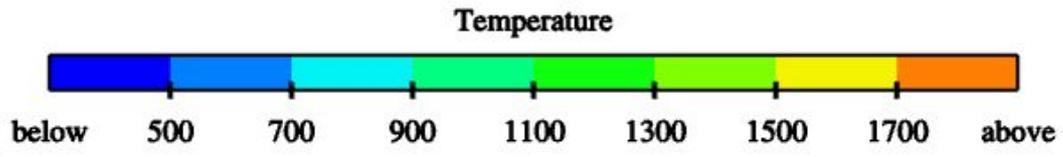
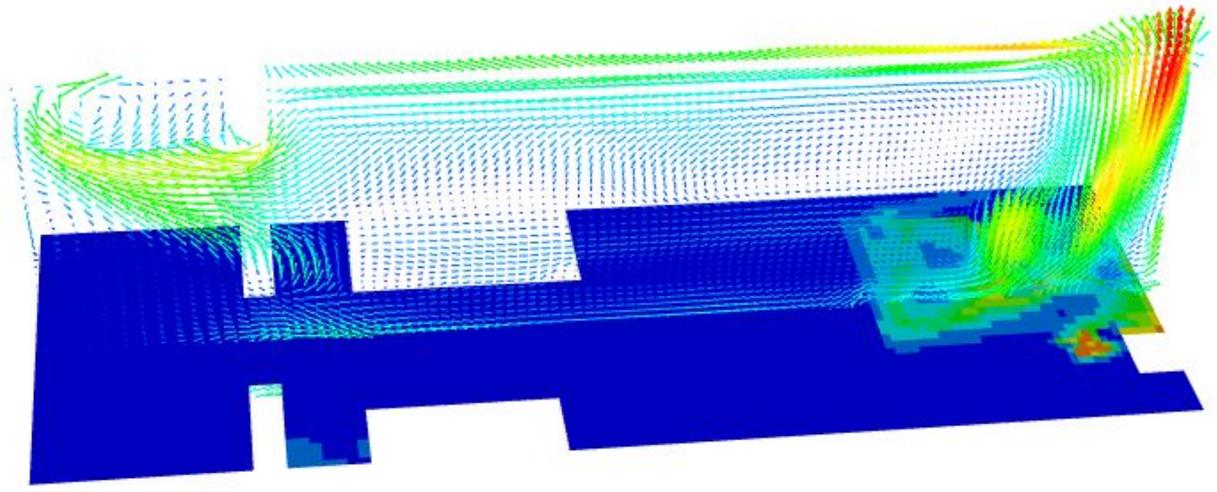
## Température (Kelvin) et Vitesse (m/s)



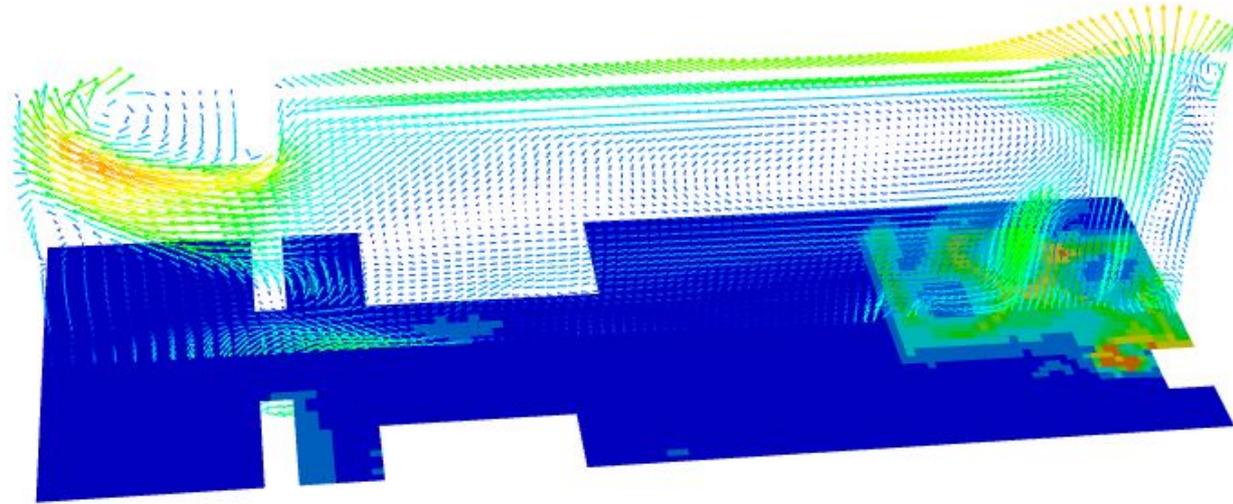
t = 40 s



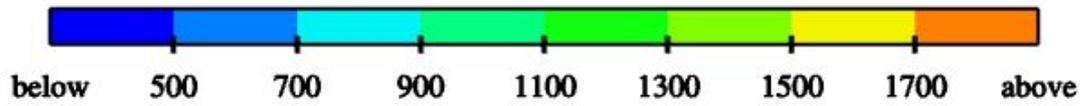
t = 60 s



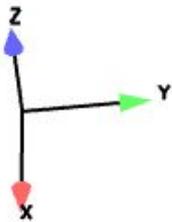
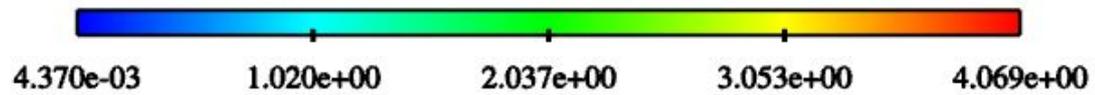
t = 80 s



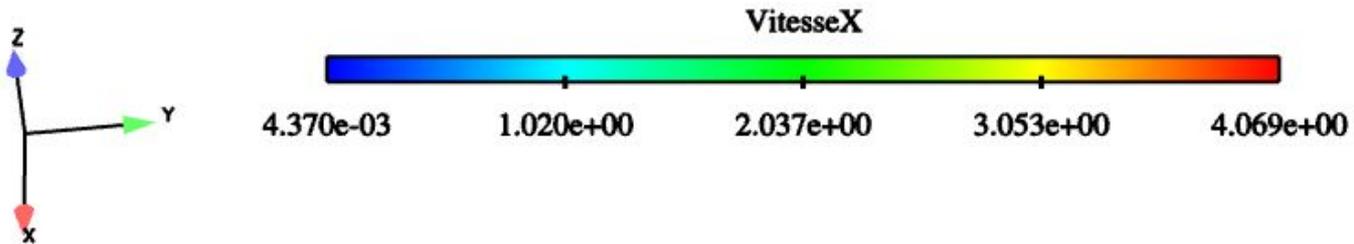
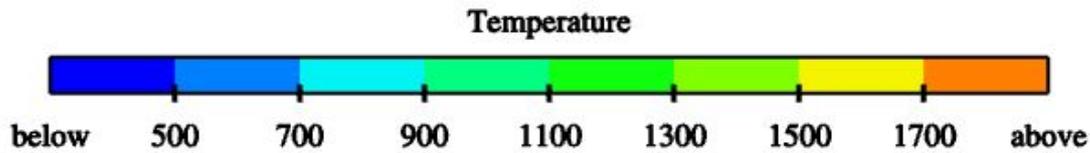
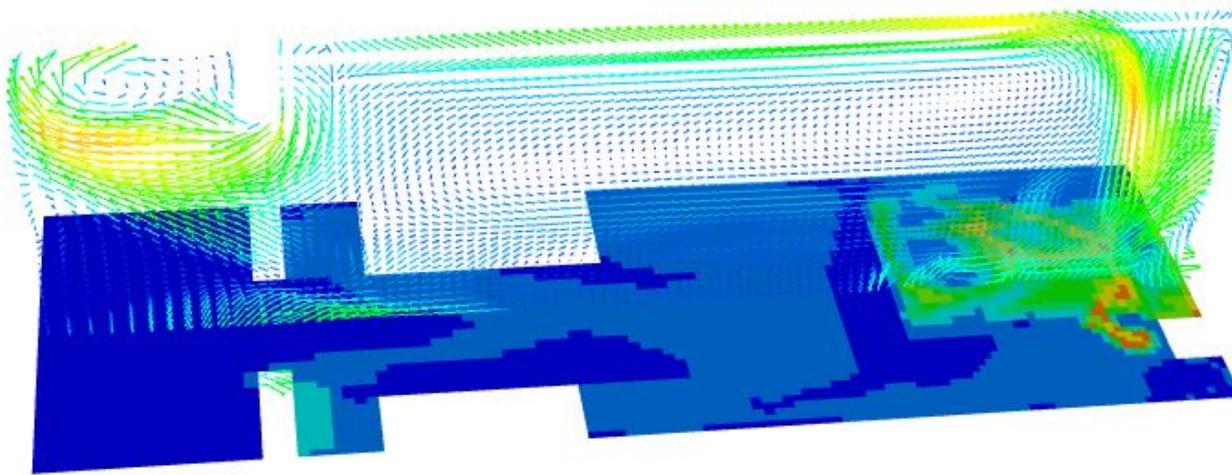
Temperature



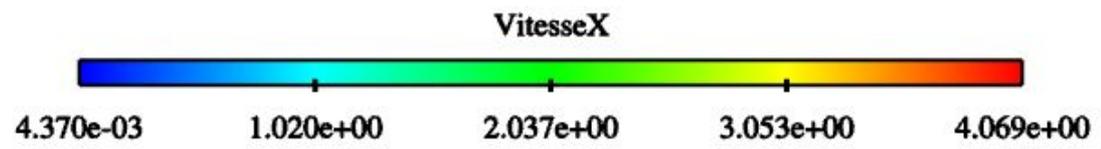
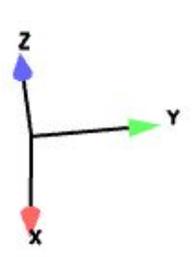
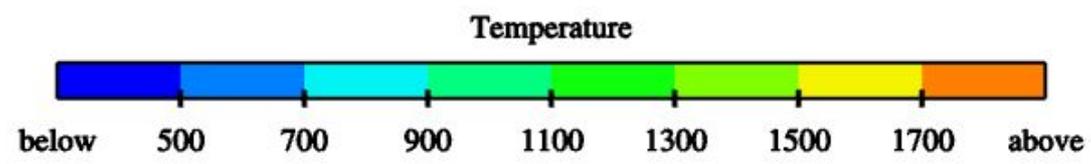
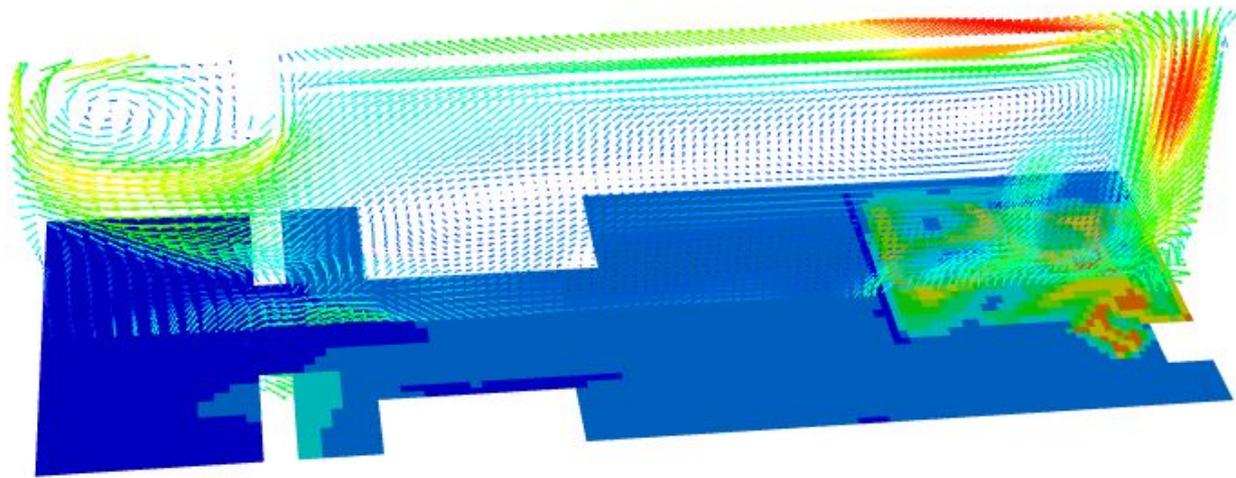
VitesseX



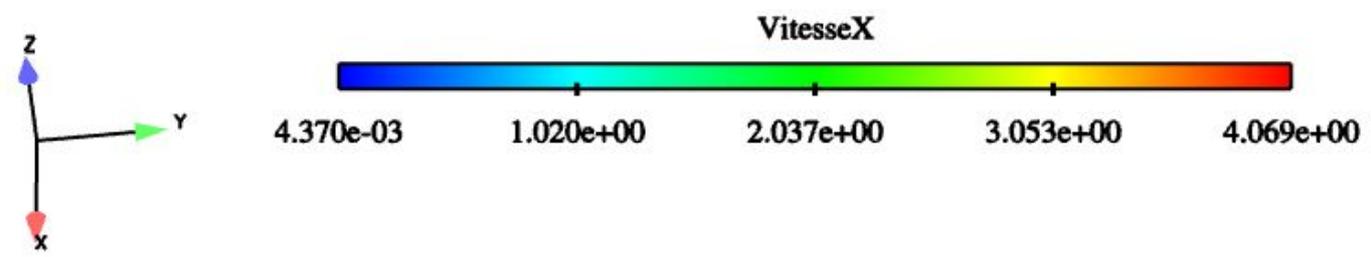
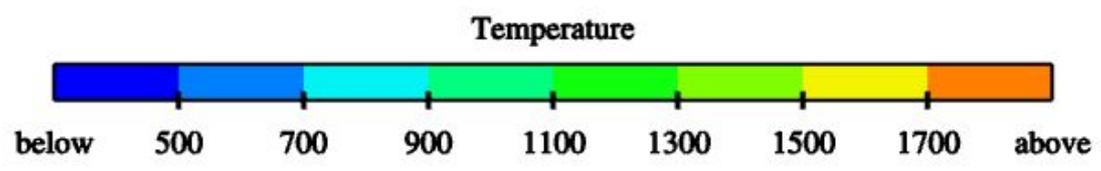
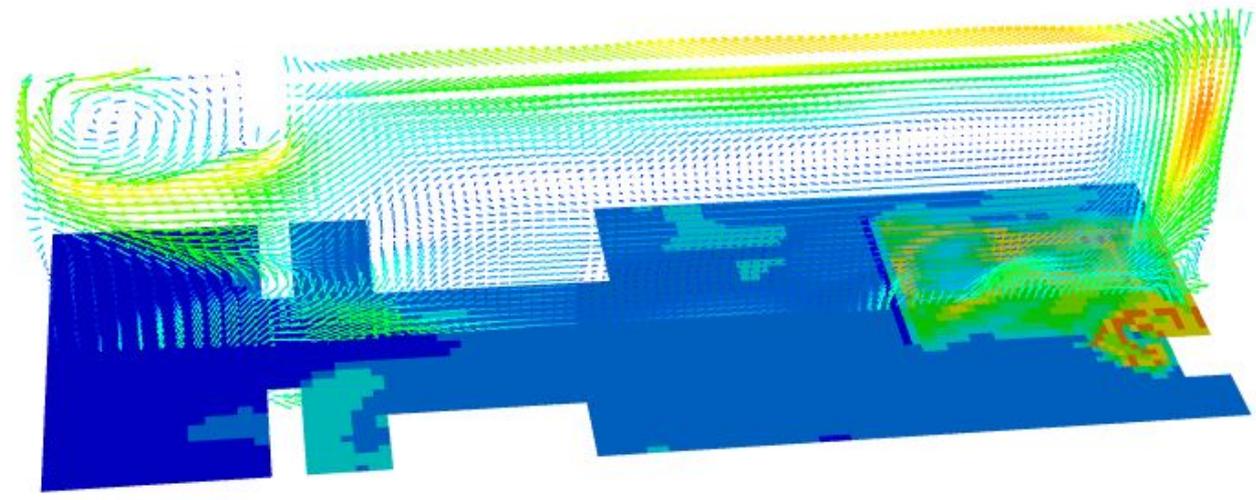
t = 100 s



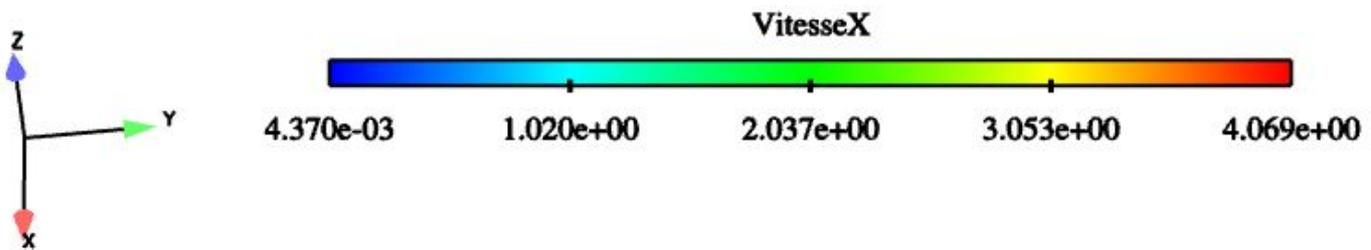
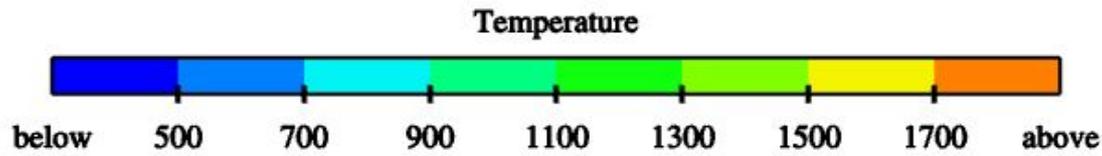
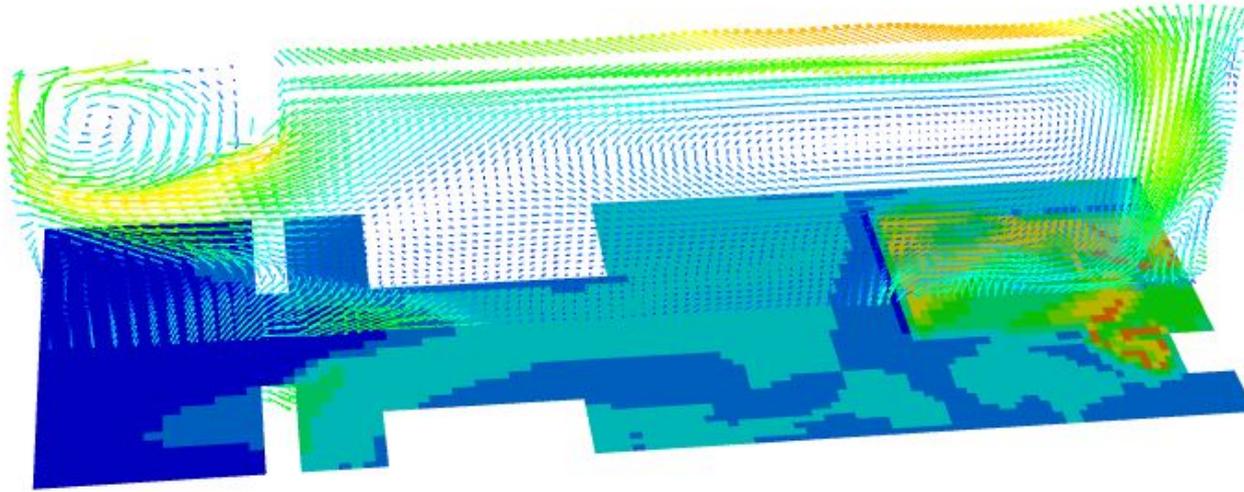
t = 120 s



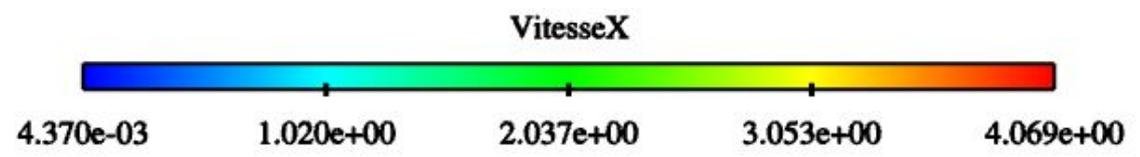
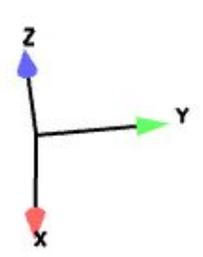
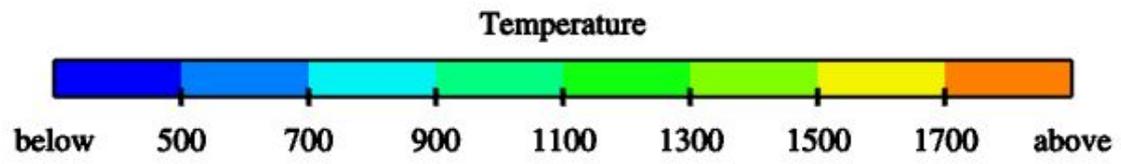
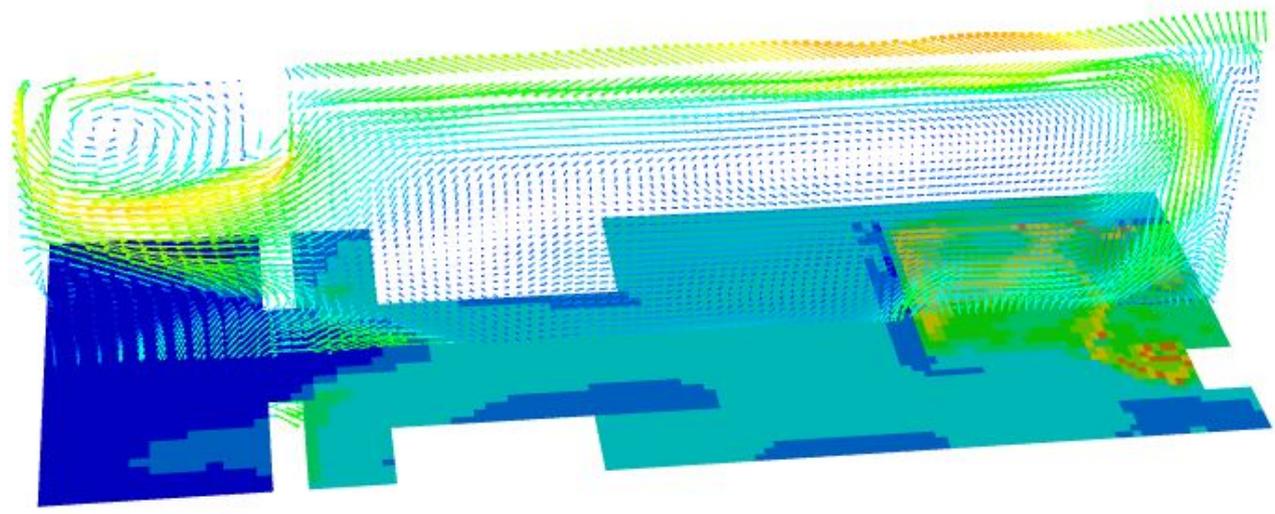
t = 140 s



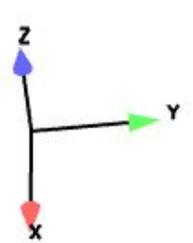
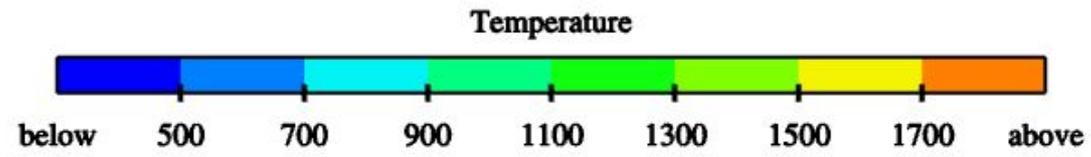
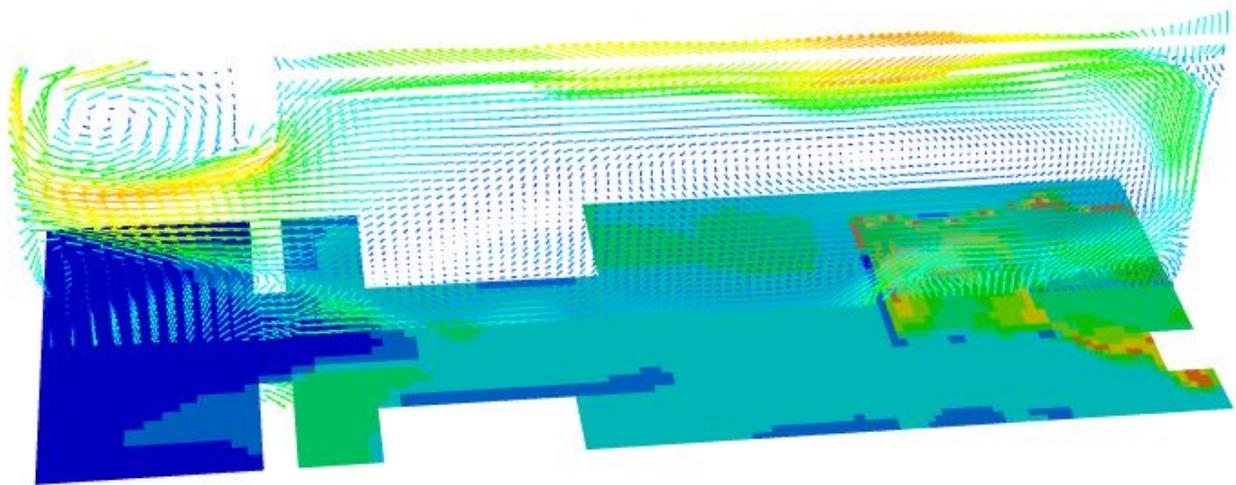
t = 160 s



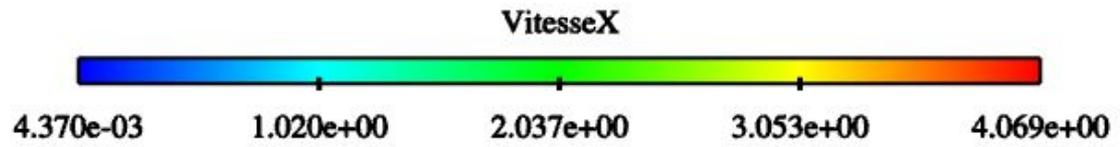
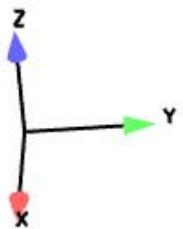
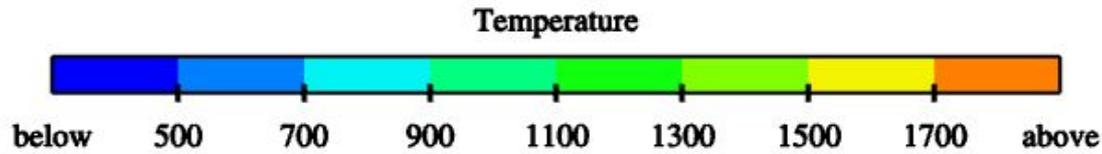
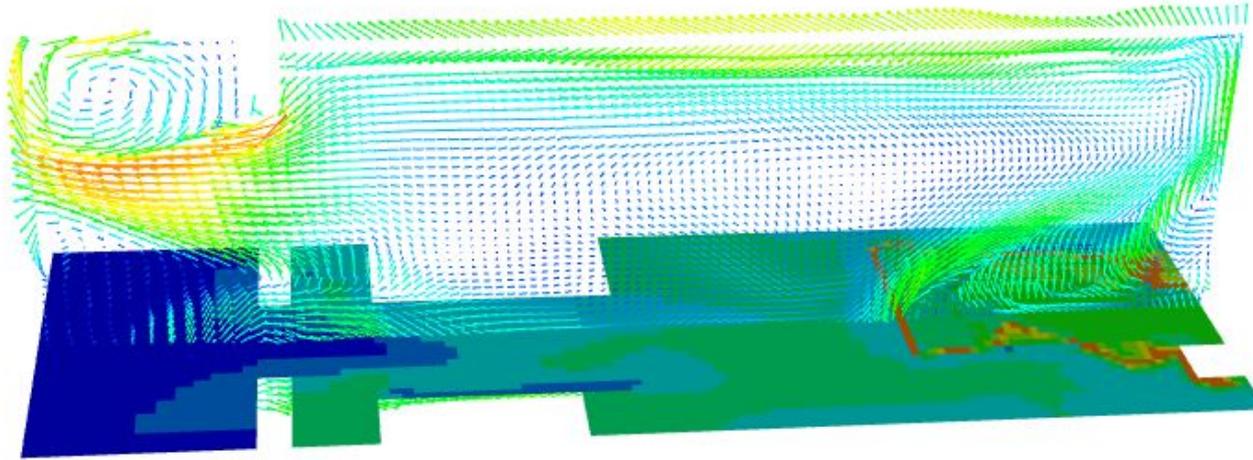
t = 180 s



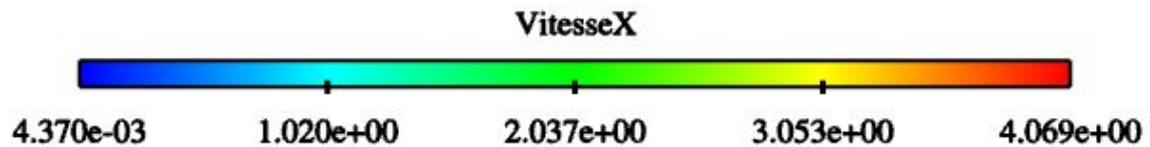
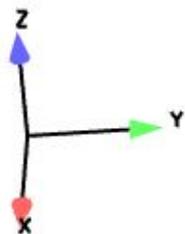
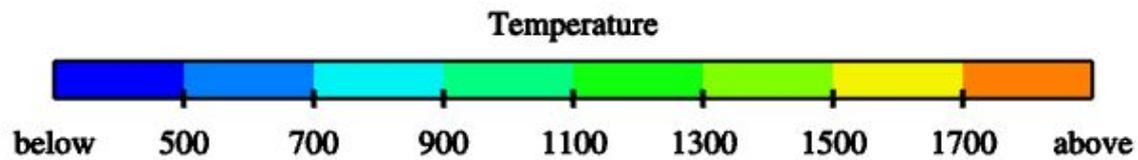
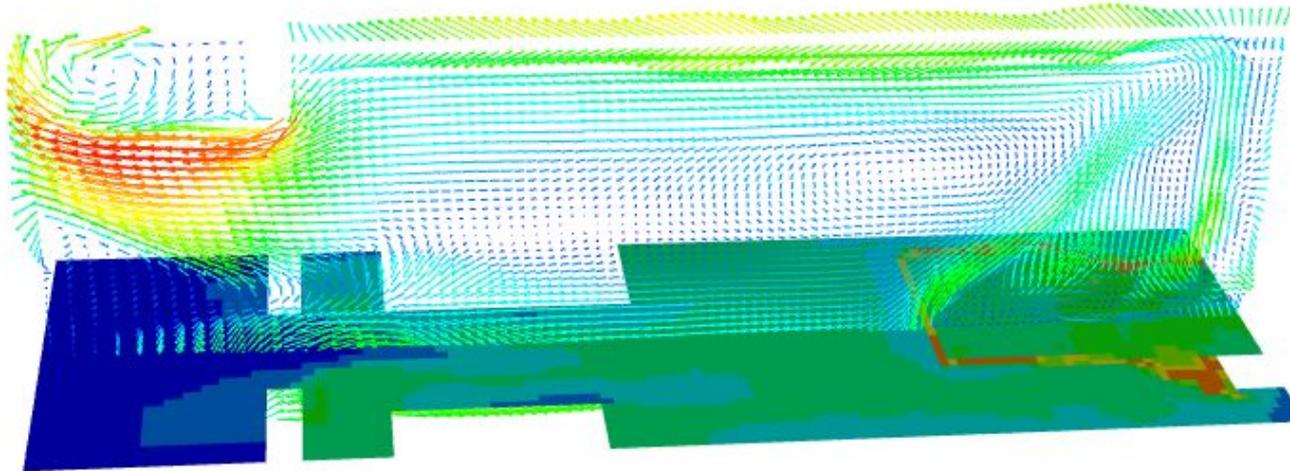
t = 201 s



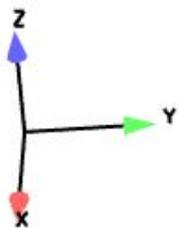
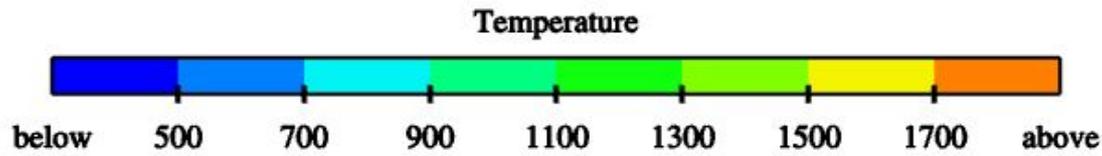
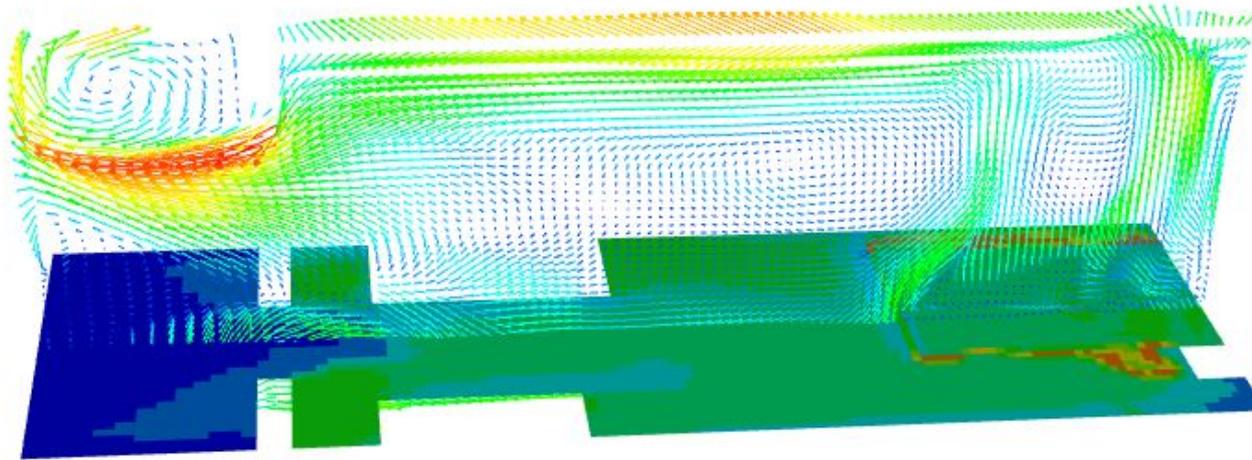
t = 221 s



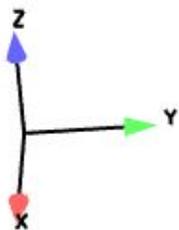
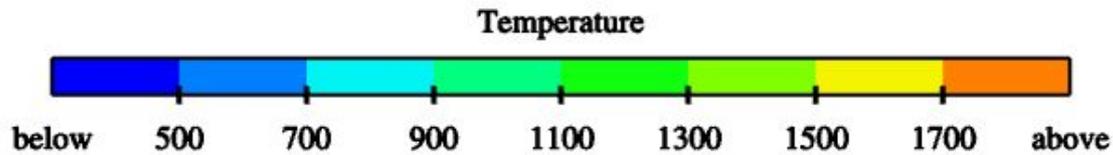
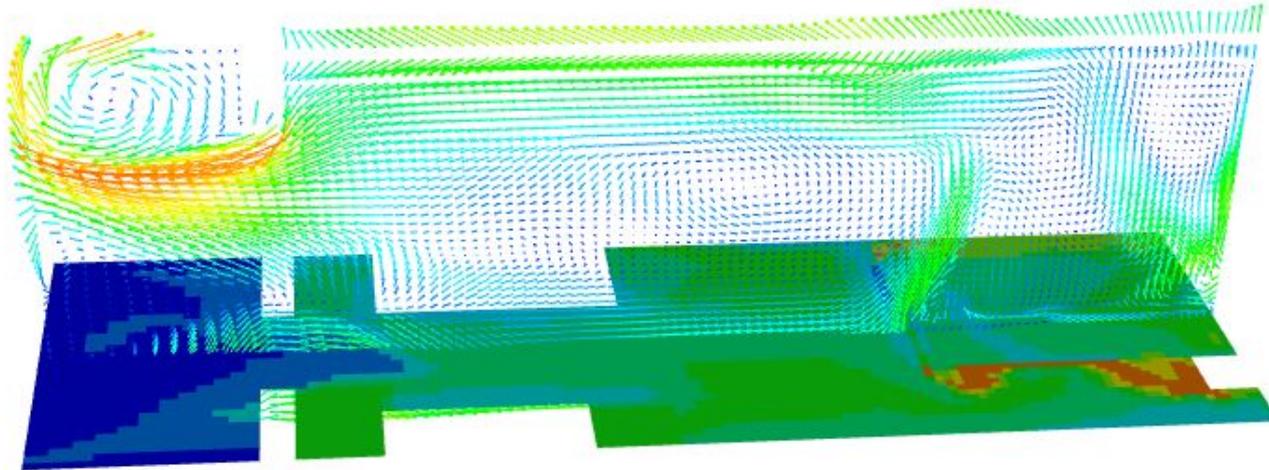
t = 241 s



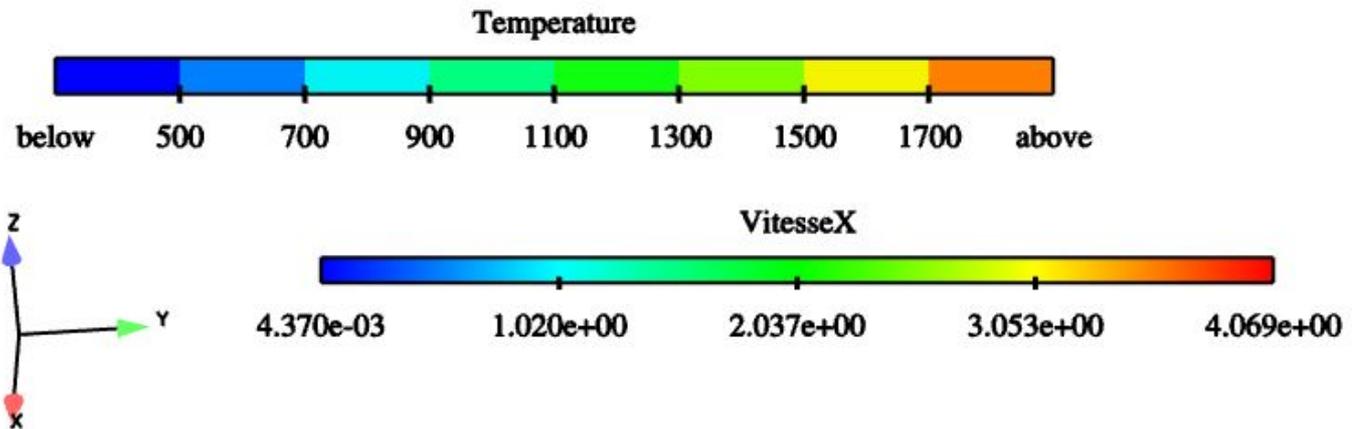
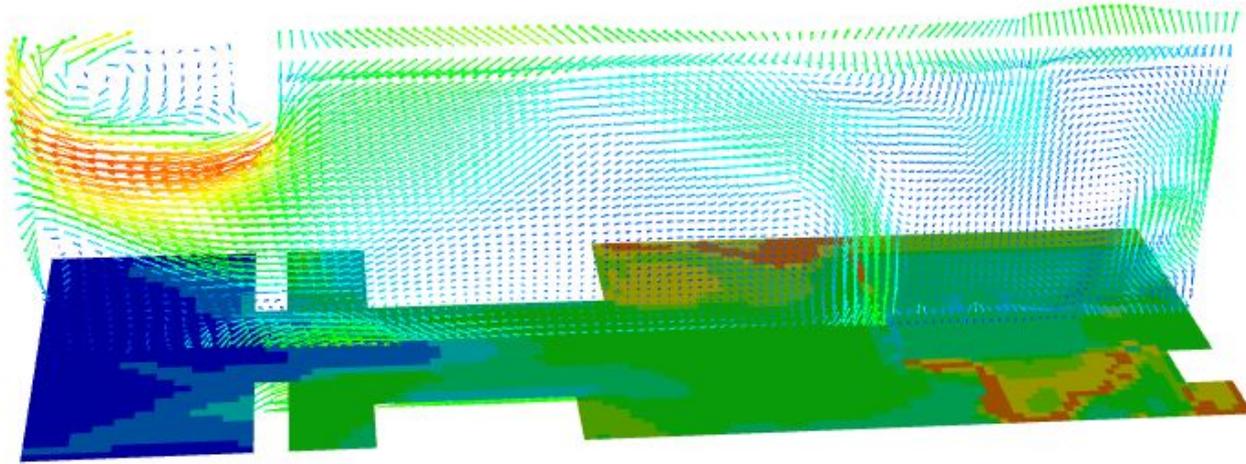
t = 261 s



t = 281 s



t = 301 s

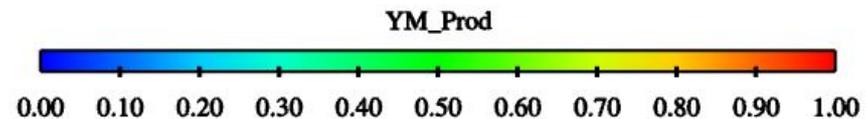
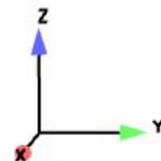


# Chambre d'hôtel : résultats (tout à fait préliminaires !)

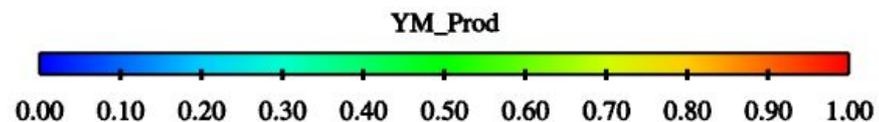
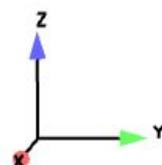
-2.5796+00

t = 20 s

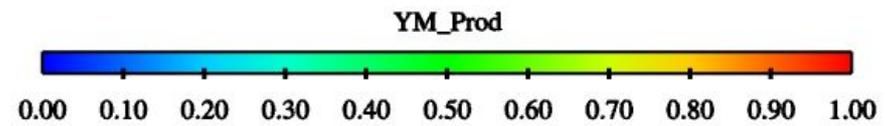
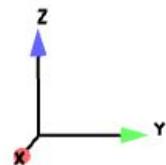
**Fraction massique de produit  
(kg/kg)**



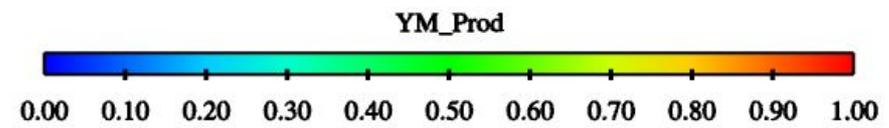
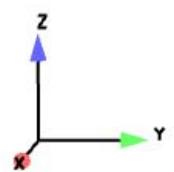
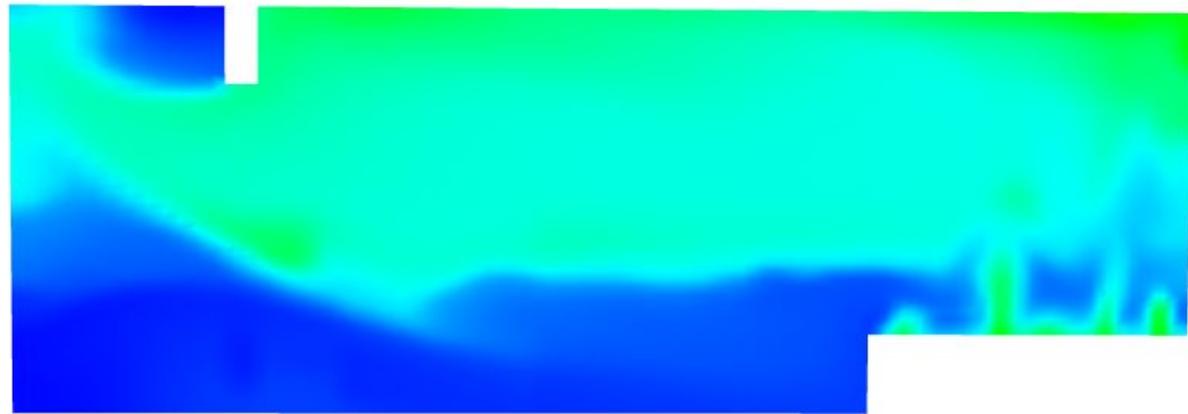
t = 40 s



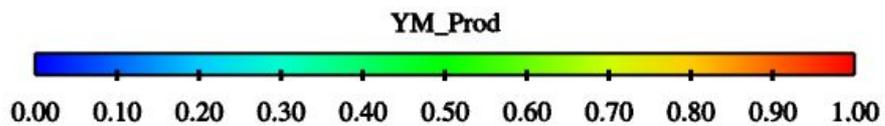
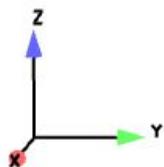
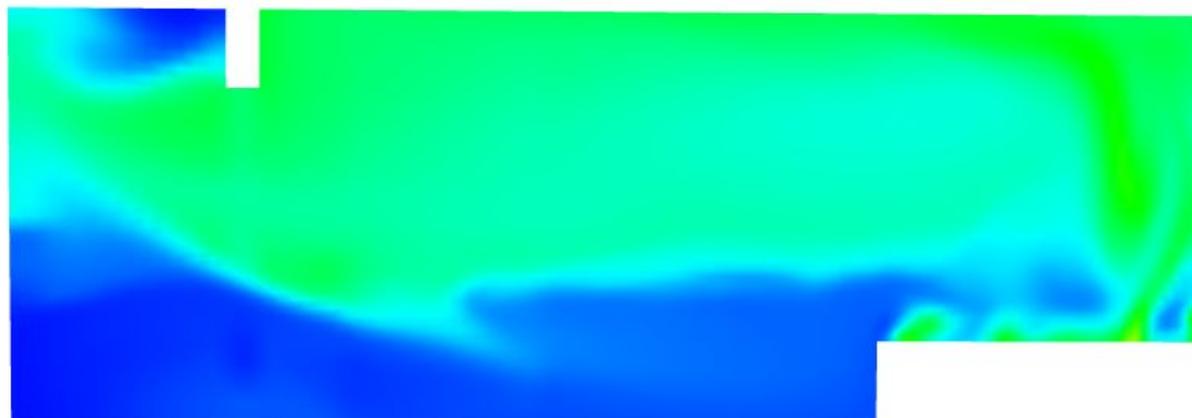
t = 60 s



t = 80 s

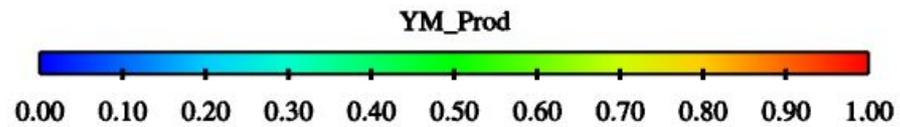
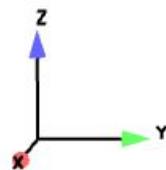
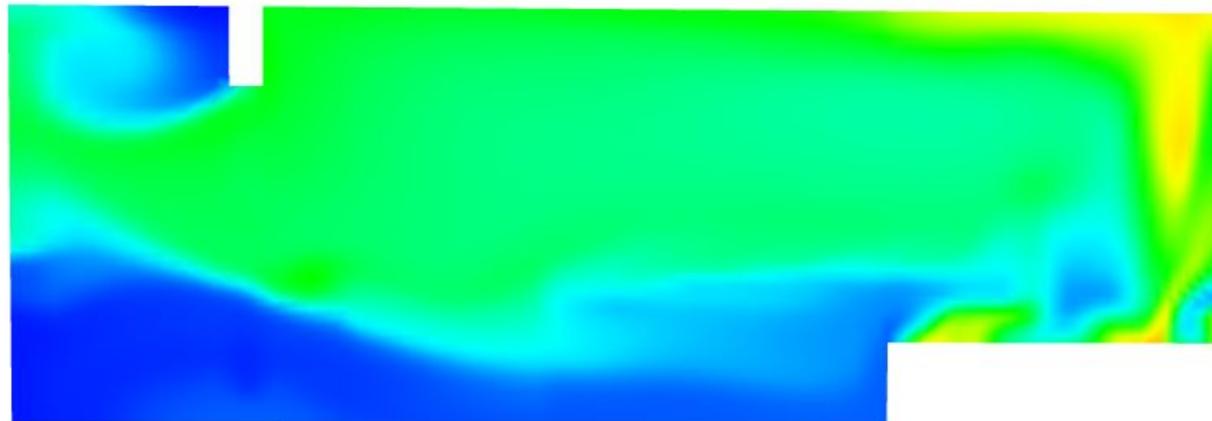


t = 100 s

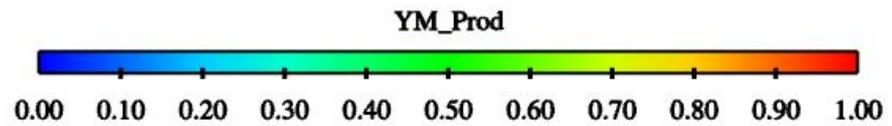
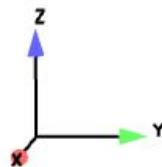
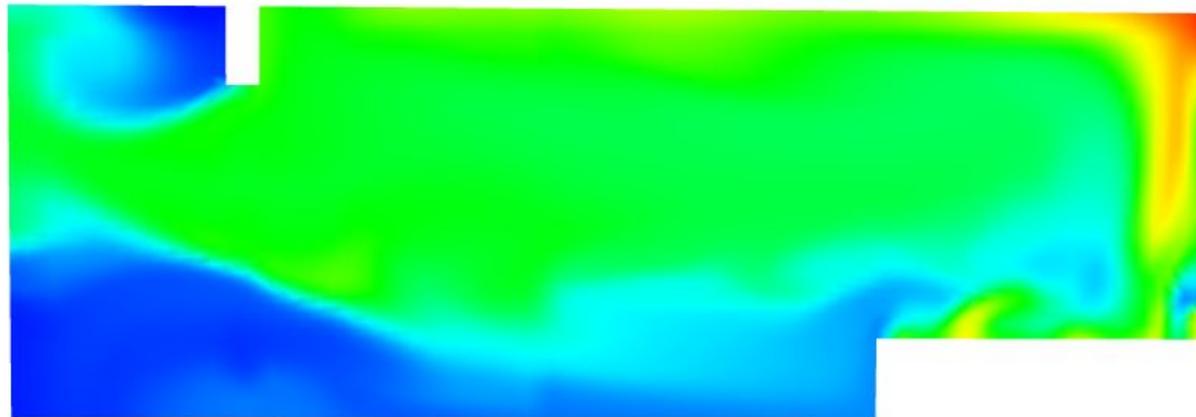


-2.579e+00

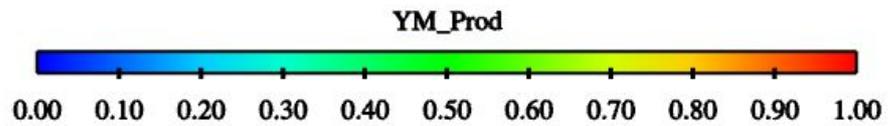
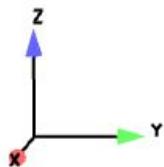
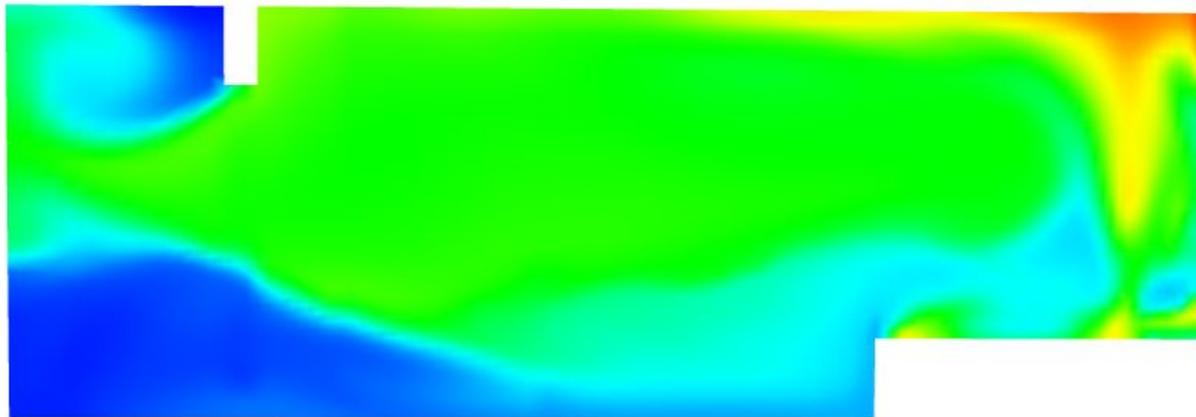
$t = 120 \text{ s}$



t = 140 s

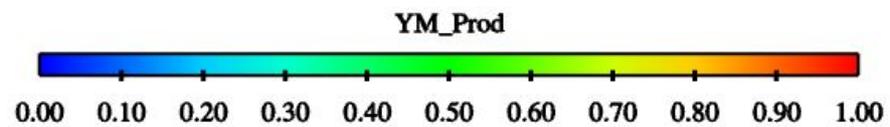
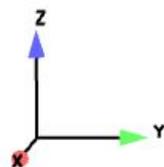
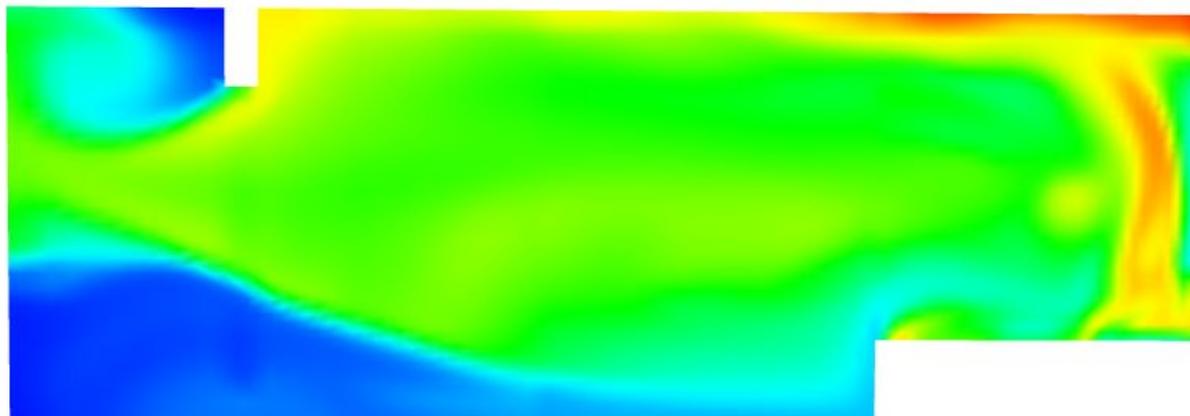


$t = 160 \text{ s}$



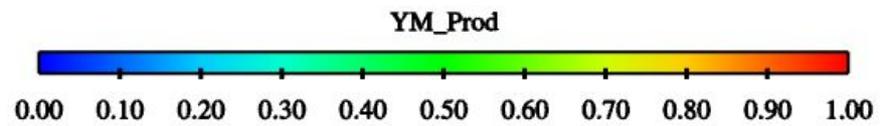
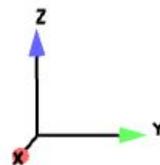
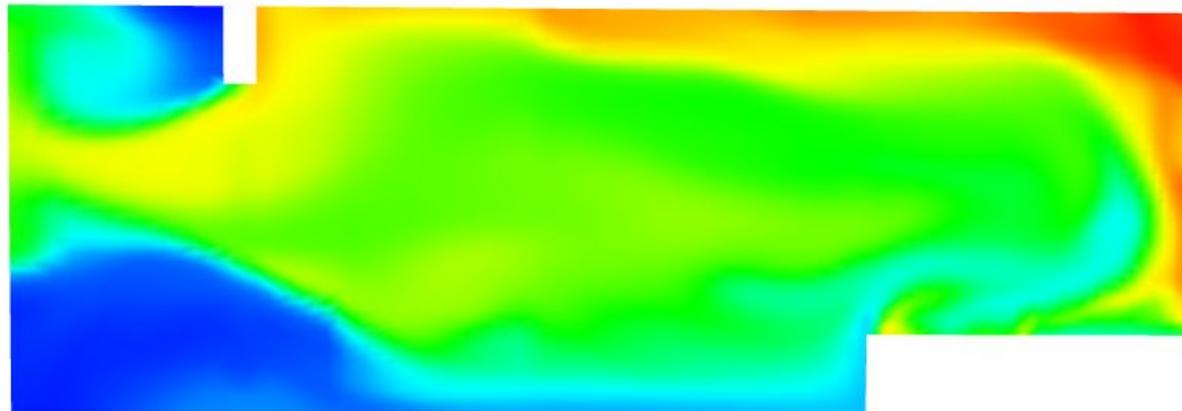
-2.519E+00

t = 180 s



-2.519E+00

t = 201 s



# Chambre d'hôtel : résultats (tout à fait préliminaires !)

Résultats peu réalistes : produits envahissent la chambre trop tôt ! ?



NM

**problème de données d'entrée (débit) ?  
flamme à bas nombre de Froude  
=> assurer débit convection + diffusion**

# 4

## A suivre ....

- Modèle 1D paroi ou simple prise en compte  $\rho C_p dT/dt$  paroi
- Dilatabilité
- CL flux total
- Pb données thermo
- Autres développements physiques : Modèles de pyrolyse, de suies, détecteur, sprinkler, brouillard d'eau, couplage ...
- Dossier de validation incendie  $\Rightarrow$  à bâtir

# VOUS N'AURIEZ VU AUCUN DE CES RESULTATS ...

**Sans l'équipe Incendie (ou ex) de I81 :**

Laurent GAY, Moëz BENFARAH, Robert GRACIA, Eric WIZENNE, Bernard GAUTIER

**Sans les spécialistes combustion (ou ex) de I81 :**

Sandro DAL-SECCO, Namane MECHITOUA, Mehdi OURAOU, Pierre PLION,

**Sans les « meilleurs »(ou ex) :**

Jean-Pierre SCHNEIDER, Guy MARTY

**Sans l'équipe de développement Code\_Saturne et en particulier :**

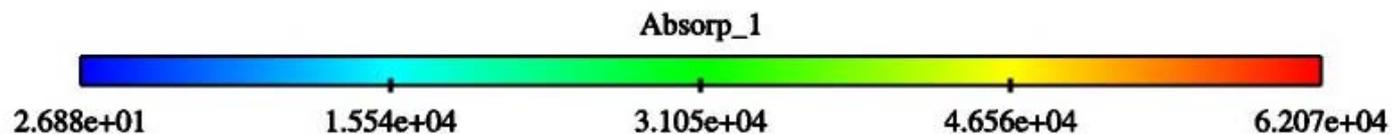
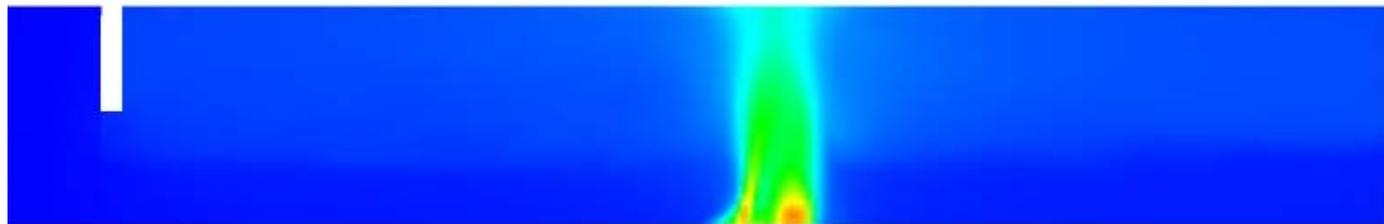
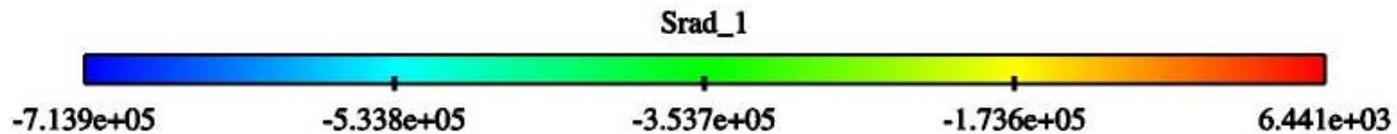
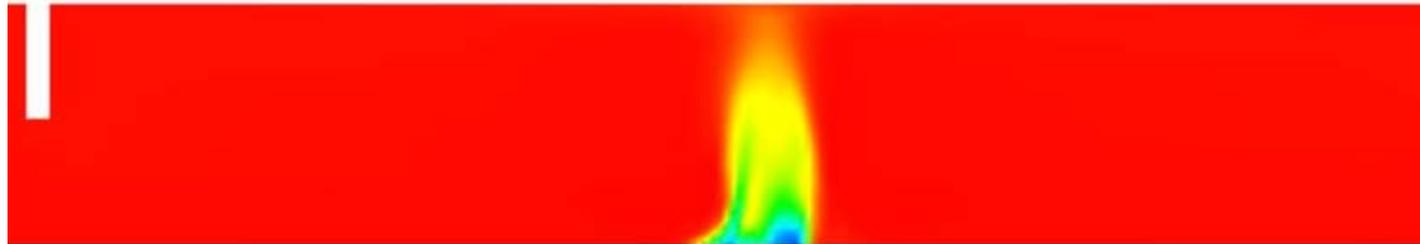
Marc SAKIZ, Jérôme BONNELLE, Alexandre DOUCE

Merci

	<u>Fire Dynamics Simulation</u> (référence)	Code_Saturne (challenger)	Risque à développer (fort, moyen, faible, Nul)
Combustion	+ (modèles généralistes « anciens » adaptés)	+++ (modèles généralistes)	Nul
	+++ Instationnaire avec effets d'accumulation de masse	-- (en cours)	Faible
Turbulence	++ LES pour la dynamique	+++ LES ou RANS	Nul
	- Pas de modélisation de sous maille pour les variables réactives	+ RANS (pas de LES)	Faible (pas nécessairement utile)
Thermique paroi et Rayonnement	+ Thermique paroi 1D	+++ Thermique paroi 1D/3D	Nul
	+ Rayonnement : DOM limité en direction et précision (20% du CPU)	+++ DOM (128 d = 70% CPU) ou P1	Faible
	+++ Modèle de suies	-- Pas de modèle de suie	Faible
Manoeuvrabilité (géométrie, composante métier, //, CPU) Niveau de confiance	-- Maillages structurés ++ interface métier (Data Base) - Parallélisme +++ vitesse d'exécution calée sur paramètres métiers	+++ Maillages arbitraires -- interface standard +++parallélisme massif --- vitesse d'exécution sur « petites configurations »	Moyen/Faible
	Cas de validation	<b>À CONSTITUER</b>	<b>FORT</b>

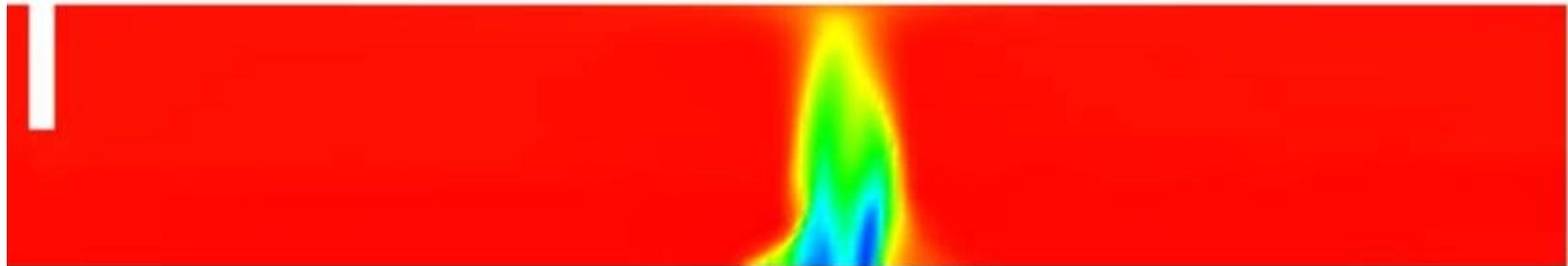
## 2.3 Modélisation des Transferts Radiatifs

DOM : avec Coeff d'absorption de 0,05 à 0,35 m<sup>-1</sup>

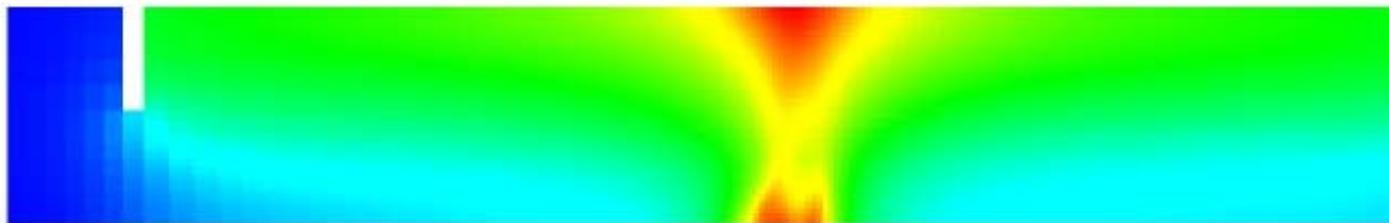
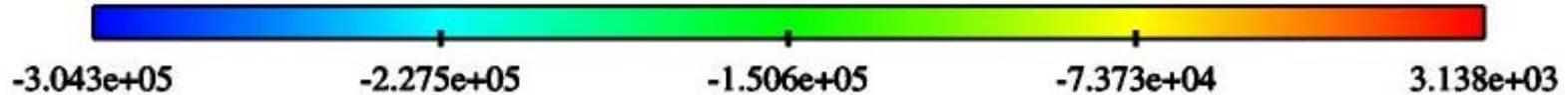


## 2.3 Modélisation des Transferts Radiatifs

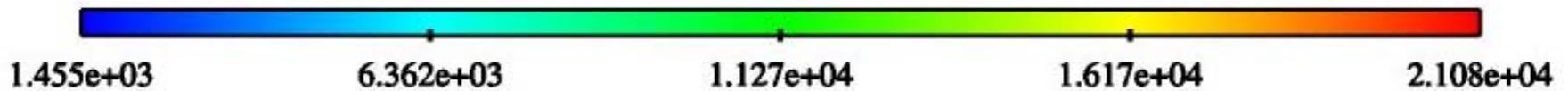
P1



Srad\_1

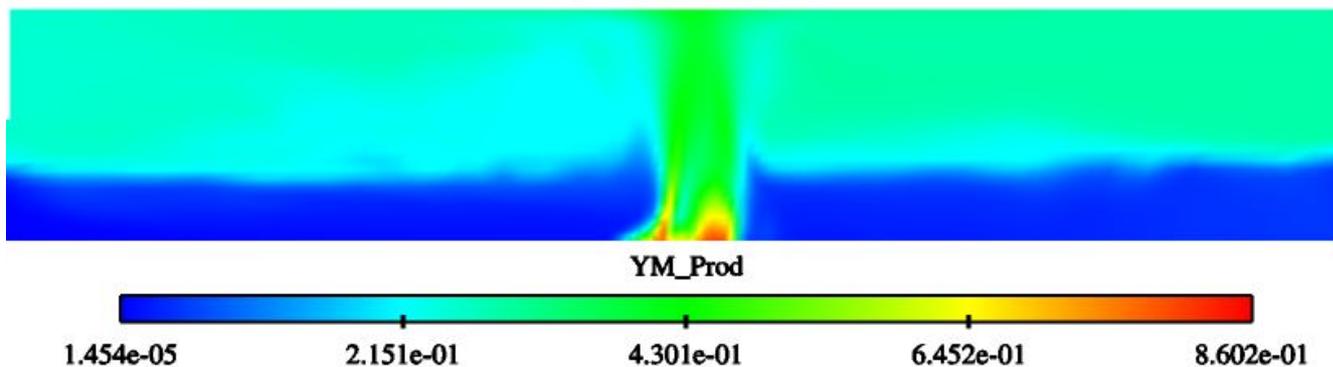


Absorp\_1



## 2.2 Modèle flamme

Après 565 s



Profil de température dans la flamme

