

## Séance de Travaux Dirigés 7

### *Estimation des déperditions thermiques d'un bâti*

#### Objectifs de cette séance

1. mener une analyse couplée aérodynamique/thermique pour simuler l'échauffement d'un bâti simplifié soumis à des conditions extérieures venteuses,
2. mettre en place les différentes physiques et matériaux associés,
3. étudier les deux modes d'échange convectif : naturel (interne) et forcé (extérieur),
4. générer des interfaces pour coupler les physiques,
5. générer une source de chauffage dissipant une puissance  $\mathcal{P}(conv)$ ,
6. estimer les niveaux de déperditions thermiques associées aux murs et au toit.

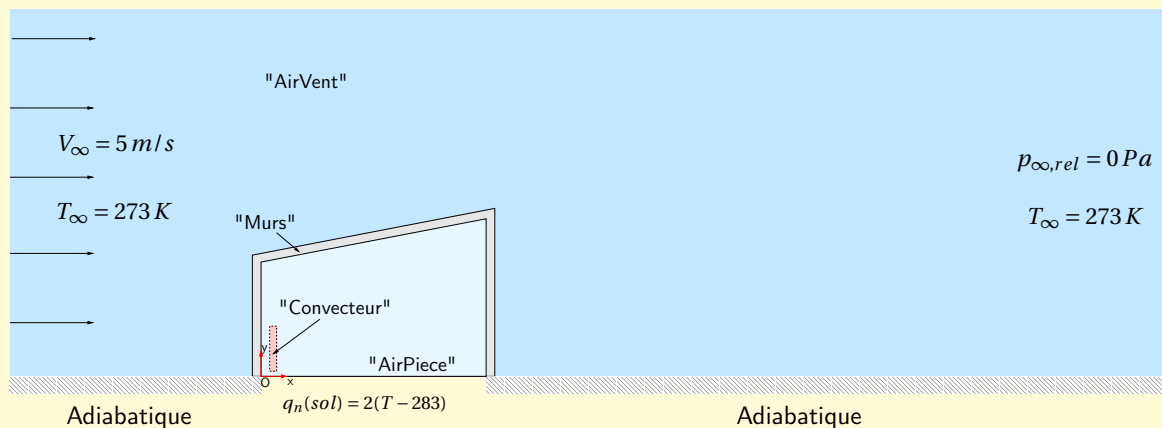


Figure 1 – Echange thermique au sein d'un bâti simplifié

Quatre domaines sont considérés et nommés :

- "AirPiece" constitué d'air,
- "AirVent" constitué d'air,
- "Convecteur" constitué d'Aluminium (Al) dissipant une puissance  $\mathcal{P}(conv) = 1000 \text{ W}$ ,
- "Murs" constitué de béton passif (Concrete).

**Toutes les températures sont données en Kelvin (K).**

Les conditions aux limites pour le domaine "AirVent" sont :

- écoulement extérieur lié à des conditions venteuses  $V_{\infty} = 5 \text{ m/s}$  et de température  $T_{\infty} = 273 \text{ K}$ ,
- sortie à la pression relative  $p_{\infty,rel} = 0 \text{ Pa}$  et de température  $T_{\infty} = 273 \text{ K}$  en cas d'écoulement retour,
- sol extérieur supposé adiabatique.

La seule condition à la limite pour le domaine "AirPiece" est une condition d'échange convectif entre l'air de la pièce et le sol de température  $T_{sol} = 283 \text{ K}$  et qui s'exprime d'après :

$$\mathbf{q} \cdot \mathbf{n}|_{sol} = 2(T - 283)$$

Enfin, les frontières communes deux-à-deux aux différents domaines, sont les interfaces de couplage entre l'aérodynamique et l'équation de la chaleur dans le matériau.

## Création de la géométrie

Celle-ci est réalisée en quatre étapes en définissant les contours successifs du :

1. volume d'air 2D contenu dans la pièce : "AirPiece",
2. des murs délimitant les contours externes de la pièce : "Murs",
3. d'un convecteur simplifié sollicité par un apport volumique (source) : "Convecteur",
4. volume d'air extérieur pour simuler des conditions venteuses : "AirVent".

La procédure à adopter consiste à superposer les quatre domaines en les associant chacun à une CAO (*Sketch*) distincte.

Pour créer la CAO associée au domaine "AirPiece", les étapes sont ci-après succinctement rappelées :

1. Ouvrir l'outil CAO-3D,
2. Editer un *Sketch* dans le plan XY,
3. Générer le contour en respectant les cotations illustrées ci-dessous,
4. Valider et renommer "SketchAir" le *sketch* nouvellement créé,
5. Extruder le plan "SketchAir",
6. Renommer "AirPiece" le *Body* qui vient d'être créé,
7. Nommer toutes les frontières ainsi que le plan 2D ( $z = 0$ ) pour pouvoir l'extraire.

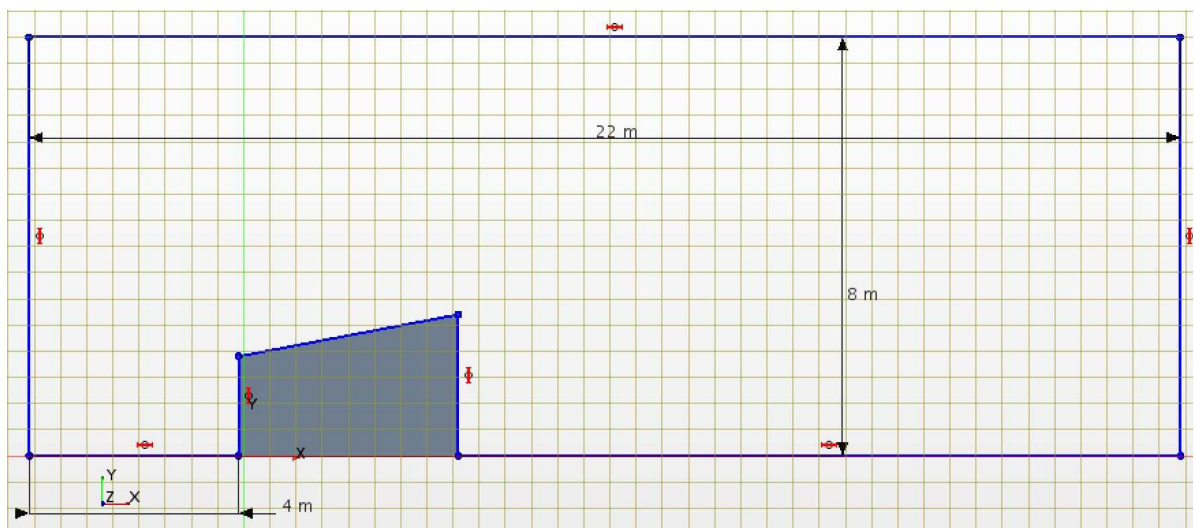
Renouveler les étapes 2 à 7 pour les trois autres domaines que vous nommerez respectivement "Convecteur", "Murs" et "AirVent" en respectant les dimensions illustrées ci-après :



(a) "AirPiece"



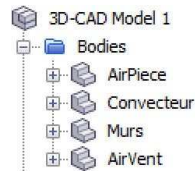
(b) "Murs"



(c) "AirVent"

Le domaine "Convecteur" n'est pas ici illustré car délimité par un simple rectangle de dimensions  $(0.10\text{ m} \times 0.6\text{ m})$ . Il doit néanmoins être parfaitement confondu avec l'interface du domaine "AirPiece".

A l'issue de cette étape, vérifiez l'existence des quatre domaines :



Vous respecterez la nomenclature suivante pour nommer les conditions aux limites :

Nom / Domaine	"AirPiece"	"Convecteur"	"Murs"	"AirVent"
Entrée				X
Sortie				X
Haut				X
Bas				X
Sol	X			
MursBas			X	
InterfaceAirMurs	X		X	
InterfaceAirConvecteur	X	X		
InterfaceVentMurs			X	X

Les **interfaces** sont des frontières communes à deux domaines qui permettront de réaliser le couplage aérodynamique/thermique. Il est important qu'elles soient nommées au sein de chacun des domaines.

## Génération des maillages

Dans l'ordre :

- Création d'une **Geometry Part** associée à chacun des 4 domaines "AirPiece", "Convecteur", "Murs" et "AirVent".
- Opération pour extraire le plan 2D : **Geometry** → **Operations** → et sélectionner **New** → **Mesh** → **Badge for 2D meshing**
- Dans la fenêtre de dialogue qui s'ouvre, cocher les 4 domaines, puis **OK**.
- Clic-droit sur **Badge for 2D meshing** puis **Execute**
- Créer une *Geometry Scene* pour visualiser la CAO.

L'étape suivante consiste à générer les *Regions* puis les maillages :

- Générer les Régions en une seule fois en cochant tous les domaines :
  - **Create a Region for Each Part,**
  - **Create a Boundary for Each Part Surface,**
 puis **Apply** et enfin **Close**.
- Générer successivement, 4 opérations de maillages 2D automatiques, les mailleurs et tailles de base étant différentes pour chacun des domaines.
- Penser à renommer l'opération de maillage en faisant clairement apparaître le nom du domaine pour les distinguer.
- Imposer les paramètres suivants :

	"AirPiece"	"Convecteur"	"Murs"	"AirVent"
<i>Base Size [m]</i>	0.05	0.01	0.02	0.1
<i>Number of Prism Layers</i>	8	-	8	8

Libre à vous d'imposer de gérer le type de maillage, la localisation des *Prism Layers*...

- Créer une *Mesh Scene* et vérifier l'apparence des maillages.

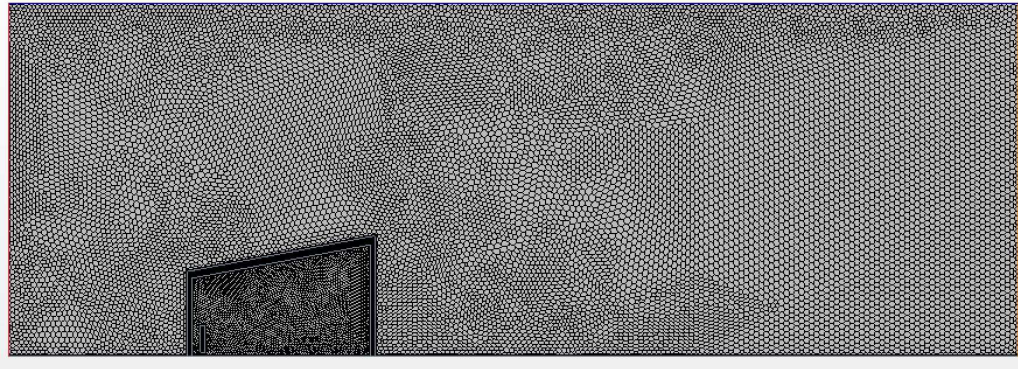


Figure 2 – "AirPiece" : 5193 cells, "Convecteur" : 516 cells, "Murs" : 2618 cells, "AirVent" : 16839 cells

## Mise en données du problème couplé

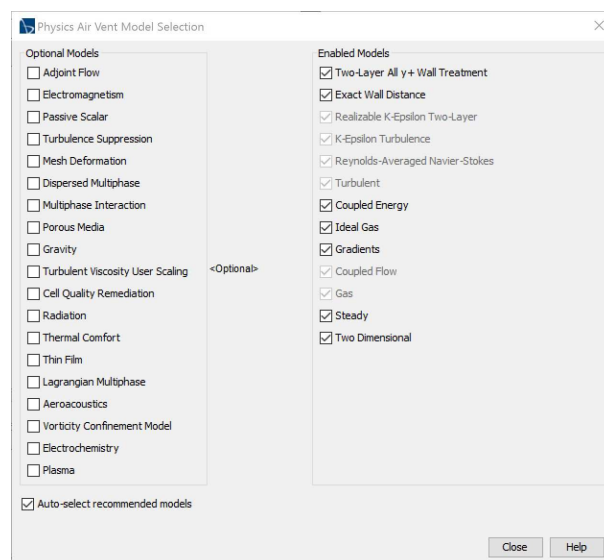
### Création des *Physics Continuum* et édition des modèles

Il est nécessaire d'associer une physique par domaine en respectant les deux étapes de :

1. création du *Physics Continuum*,
2. sélection des différents modèles associés (fluid/solid, 2D/3D...)

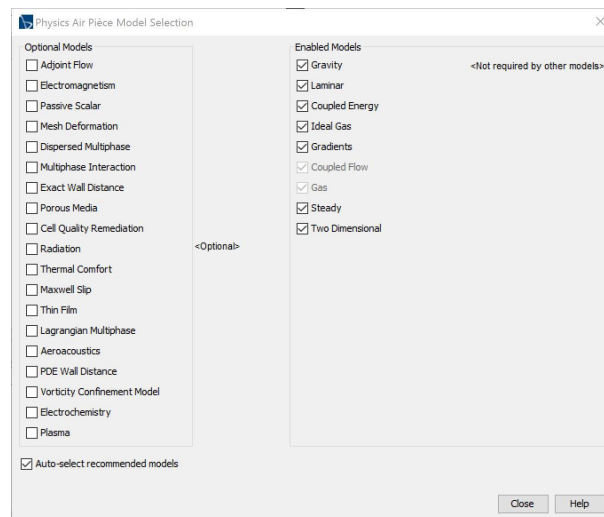
Les étapes à suivre sont donc :

- ▷ Créer autant de *Physics Continuum* que de domaines :  
Clic-droit **Continua** > **New** > **Physics Continuum**,
- ▷ Les renommer en faisant clairement apparaître le nom du domaine :
  - *Physics AirPiece*
  - *Physics AirVent*
  - *Physics Convecteur*
  - *Physics Murs*
- ▷ Sélectionner les modèles pour chacune des physiques :
  - "AirVent" : sélectionner les options illustrées ci-après



Il est fondamental que les options *Coupled Energy* et *Coupled Flow* soit cochées pour les deux domaines fluides. Celles-ci permettent respectivement d'activer l'équation de l'énergie et de la coupler "fortement" à la quantité de mouvement.

- "AirPiece" : sélectionner les options illustrées ci-après



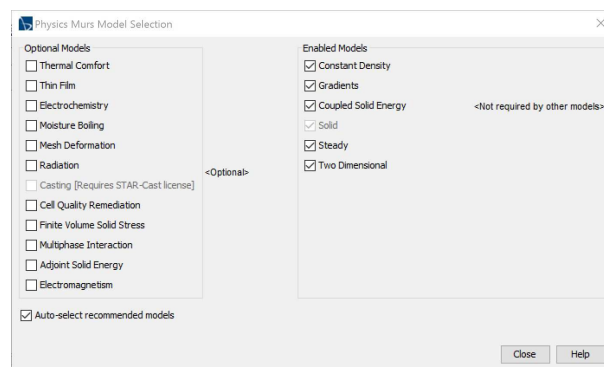
L'option *Gravity* est fondamentale pour "AirPiece" afin de favoriser le mode d'échange par convection naturelle.

Dans le menu **Physics AirPiece > Reference Values > Reference Density** renseigner la valeur :

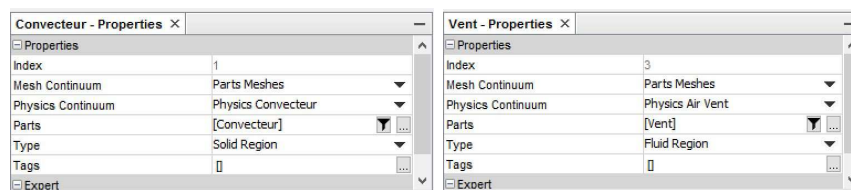
$$\rho(ref) = \frac{p(ref)}{R \times T(ref)} = \frac{101325}{287 \times 273} = 1.2932 \text{ kg/m}^3$$

Ce point est essentiel en cas de convection naturelle afin de définir la densité de référence en accord avec la pression et la température.

— "Convecteur" et "Murs" sélectionner les options illustrées ci-après

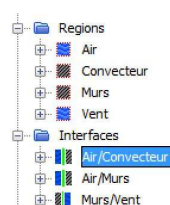


► Associer le *Physics Continuum* à la *Region* correspondante (renseigner menu déroulant *Physics Continuum* en cliquant sur la *Region*).



## Vérification de l'existence des trois interfaces d'échange

► Vérifier la présence des trois interfaces en déroulant le menu **Interfaces**. Leur création est automatique si les CAO ont été créées simultanément. *Les notations peuvent différer, ne pas y prêter attention.*



⚠ Une absence d'interface signifie généralement que les frontières communes ne sont pas confondues d'un domaine à un autre et requiert :

1. de corriger les positions relatives des frontières (outils CAO-3D),
2. de créer l'interface "à la main" à l'aide d'une sélection multiple des deux conditions aux limites concernées (Onglet **Region**) et de sélectionner *Create Interface* avec le bouton droit.

### Choix des matériaux

Les domaines fluides par défaut sont de l'air qui ne requiert pas de corriger ses propriétés.

Le domaine "Convecteur" est de l'aluminium par défaut et requiert de lui imposer la puissance de 1000 W à dissiper :

- ▷ Dans **Regions > Physics Conditions > Energy Source Option**
- ▷ Sélectionner dans le menu l'option **Total Heat Source**
- ▷ Imposer **Physics Value > Heat Source** à 1000 W.

Le domaine "Murs" est en béton et doit être modifié :

- ▷ Dans **Continua > Physics Murs > Models > Solids**
- ▷ Clic-droit sur **AI** et sélectionner **Replace with...**
- ▷ Sélectionner le matériau **Concrete** dans la base de données.

### Conditions aux limites

L'étape suivante consiste à imposer les conditions aux limites qui ne sont pas liées à des interfaces :

- ▷ Condition *Velocity Inlet* pour l'Entrée : 5 m/s et 273 K,
- ▷ Condition *Pressure Outlet* pour la Sortie : 0 Pa et 273 K,
- ▷ Vérifier que la frontière Bas est bien adiabatique :  
Clic-droit **Regions > AirVent > Boundaries > Bas > Physics Conditions > Thermal Specification**  
Vérifier que la condition *Adiabatic* est bien sélectionnée.
- ▷ Imposer une condition d'échange convectif à la frontière Sol :  
Clic-droit **Regions > AirPiece > Boundaries > Sol > Physics Conditions > Thermal Specification**
  - Modifier la condition pour imposer *Convective*,
  - Renseigner **Physics Values > Ambient Temperature** à 283 K,
  - Renseigner **Physics Values > Heat Transfer Coefficient** à  $2 \text{ W/m}^2 - \text{K}$ .

### Calcul

Le calcul requiert une initialisation des données.

- ▷ Imposer une température initiale de 273 K dans tous les domaines,
- ▷ Créer une *Scalar Scene* et visualiser le champ de température. Vérifier que la condition initiale est bien uniforme.

Afin de visualiser l'évolution de la solution au cours des itérations, rajouter au champ de température un champ de vitesse pour les domaines "AirPiece" et "AirVent" :

- ▷ Cliquer sur l'onglet *Scene/Plot*
- ▷ Clic-Droit **Displayer > New Displayer > Vector**
- ▷ Sélectionner "AirPiece" pour la *Part* et gérer à votre convenance la taille des vecteurs et les couleurs associées.
- ▷ Procéder à l'identique pour "AirVent" car les amplitudes des vitesses sont différentes et ne peuvent donc être gérées de façon commune.

Pour lancer le calcul :

- ▷ Décocher la limite fixée à 1000 itérations,
- ▷ Lancer le calcul en visualisant la *Scalar Scene* du champ de température et de vitesse,
- ▷ En cas de divergence, *réduire la voilure* en diminuant le nombre de Courant à 1 (5 par défaut) quitte à le réaugmenter par la suite. Il est possible d'imposer une *rampe* pour accroître progressivement sa valeur.



## Analyse des résultats et bilans thermiques

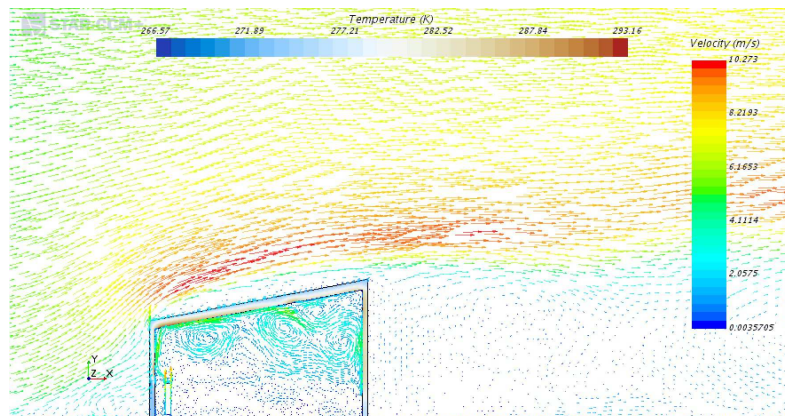


Figure 3 – Vue générale du champ de vitesse et de température du mur

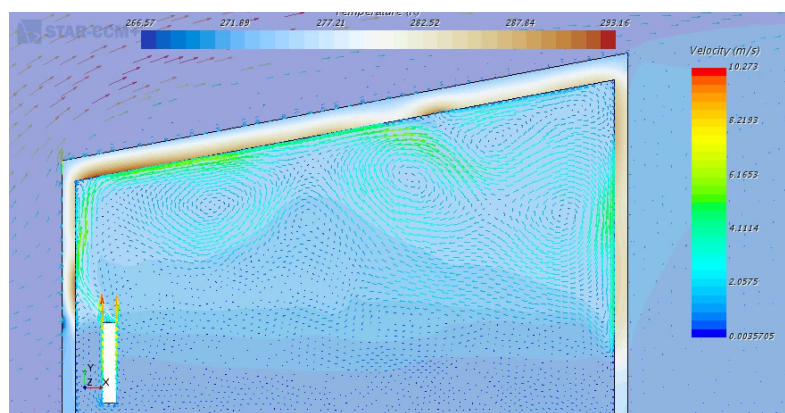


Figure 4 – Zoom sur la bâti

Mettre en place un suivi itératif de :

- ▷ la puissance perdue au travers des murs : Clic-Droit **Reports > New Report > Heat Transfer**  
Renseigner la *part* correspondante, gérer les titres et les dimensions à votre convenance.
- ▷ il est possible de l'afficher en simultanément sur la *Scalar Scene* avec un copier-glisser de la *Scene* correspondante.
- ▷ extraire le profil du coefficient d'échange convectif (HTC) sur la paroi interne du toit et des murs (à gérer par vous-même).
- ▷ déterminer la température moyenne de la pièce.
- ▷ ...

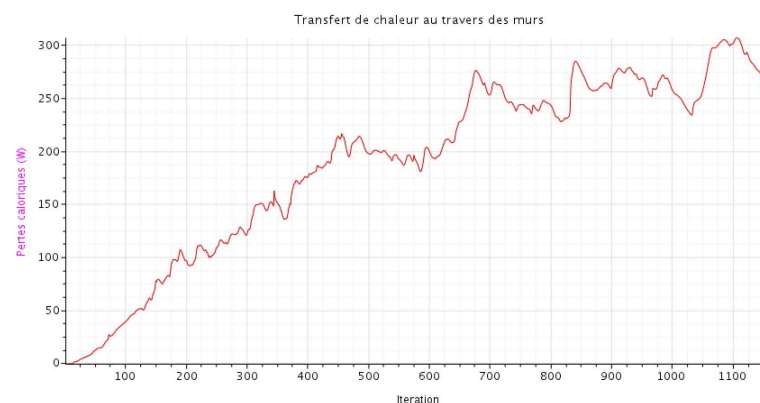


Figure 5 – Evolution de la puissance dissipée au travers des murs au cours des itérations