

Université de Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Matière: CFD et logiciels

Parcours: M2-Energétique

Présenté par: Mme. KHALDI S.

La modélisation du transfert thermique

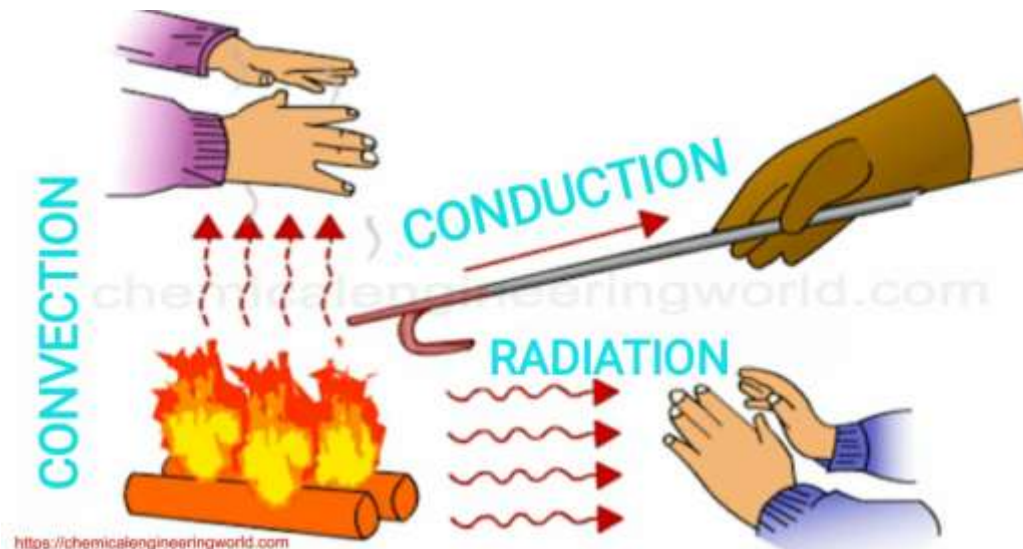
Cette partie du cours explique comment le transport d'énergie thermique peut être modélisé à l'aide de FLUENT.

- Gain/perte de chaleur externe depuis les limites extérieures du modèle.
- Conduction dans les régions solides
- Convection dans le fluide (naturelle et forcée)

La modélisation du transfert de chaleur

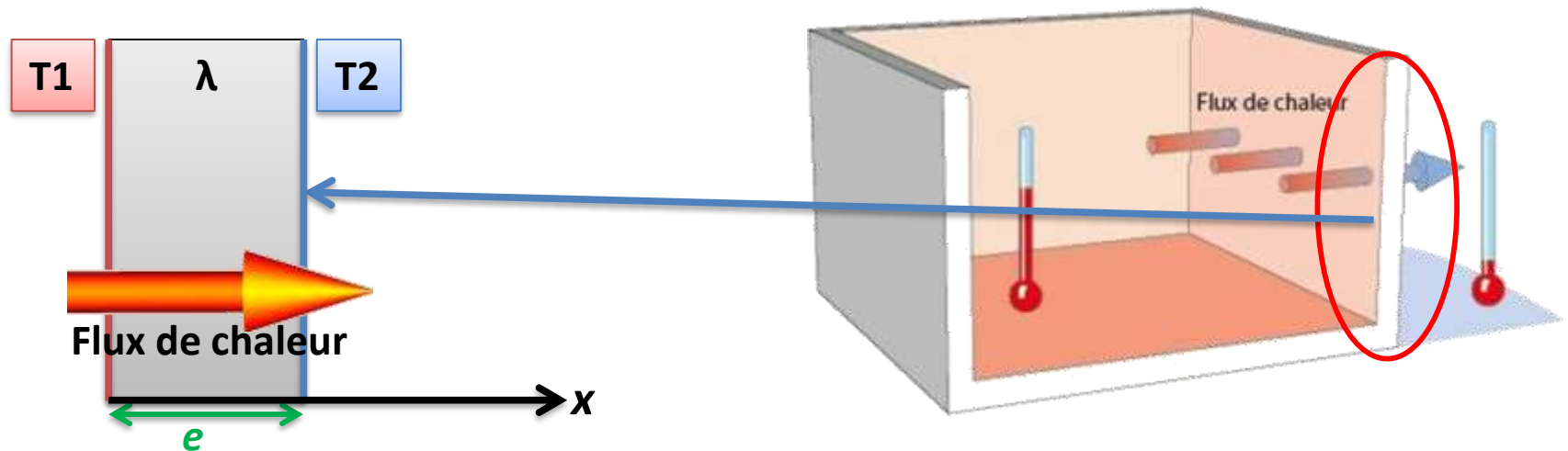
Rappel: les modes de transferts thermiques

- 1) Conduction:** transfert de chaleur par contact direct (vibration moléculaire) dans un milieu.
- 2) Convection:** transfert de chaleur par mouvement de fluide.
- 3) Rayonnement:** Emission de l'énergie par des ondes électromagnétique.



La modélisation du transfert de chaleur

1) Conduction: transfert de chaleur par contact direct (vibration moléculaire)
dans un milieu.



$$T_1 - T_2 = R_{th} \Phi$$

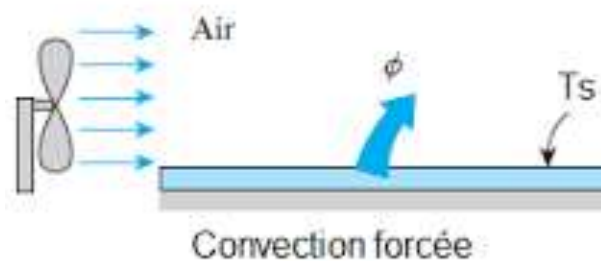
$$R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$$

La modélisation du transfert de chaleur

2) Convection: transfert de chaleur par mouvement de fluide.

■ **Convection naturelle:** Ne concerne que les cas où les mouvements du fluide sont occasionnés par des fluctuations de masse volumique due à une différence de température.

■ **Convection forcée:** La convection forcée est suscitée par un intervenant extérieur comme une turbine ou une pompe La circulation du fluide est alors **artificielle (forcée)**.

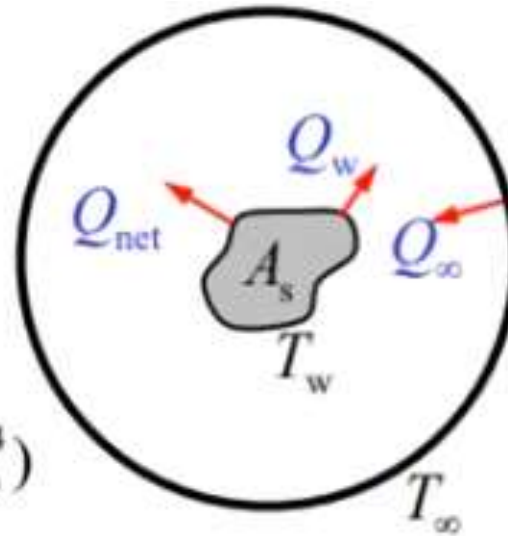


$$\phi = hS(T_p - T_f)$$

La modélisation du transfert de chaleur

3) Rayonnement: Emission de l'énergie par des ondes électromagnétique.

- L'intensité du rayonnement thermique dépend de la température du corps et la nature de la surface.
- Important de le prendre en considération pour les applications à des températures élevées.
- Loi de Stefan Boltzmann:



$$Q_{\text{net}} = \varepsilon A_s \sigma (T_w^4 - T_\infty^4)$$

La modélisation du transfert de chaleur

Conditions aux limites pour les parois

■ Cinq conditions thermiques pour les parois externes : (il faut **cocher l'équation** de l'énergie pour introduire les données thermiques dans la simulation).

Wall

Zone Name
paroi_sup

Adjacent Cell Zone
fluid

Momentum **Thermal** Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

Heat Flux
 Temperature
 Convection
 Radiation
 Mixed

Heat Flux (w/m²) 0 constant

Wall Thickness (m) 0

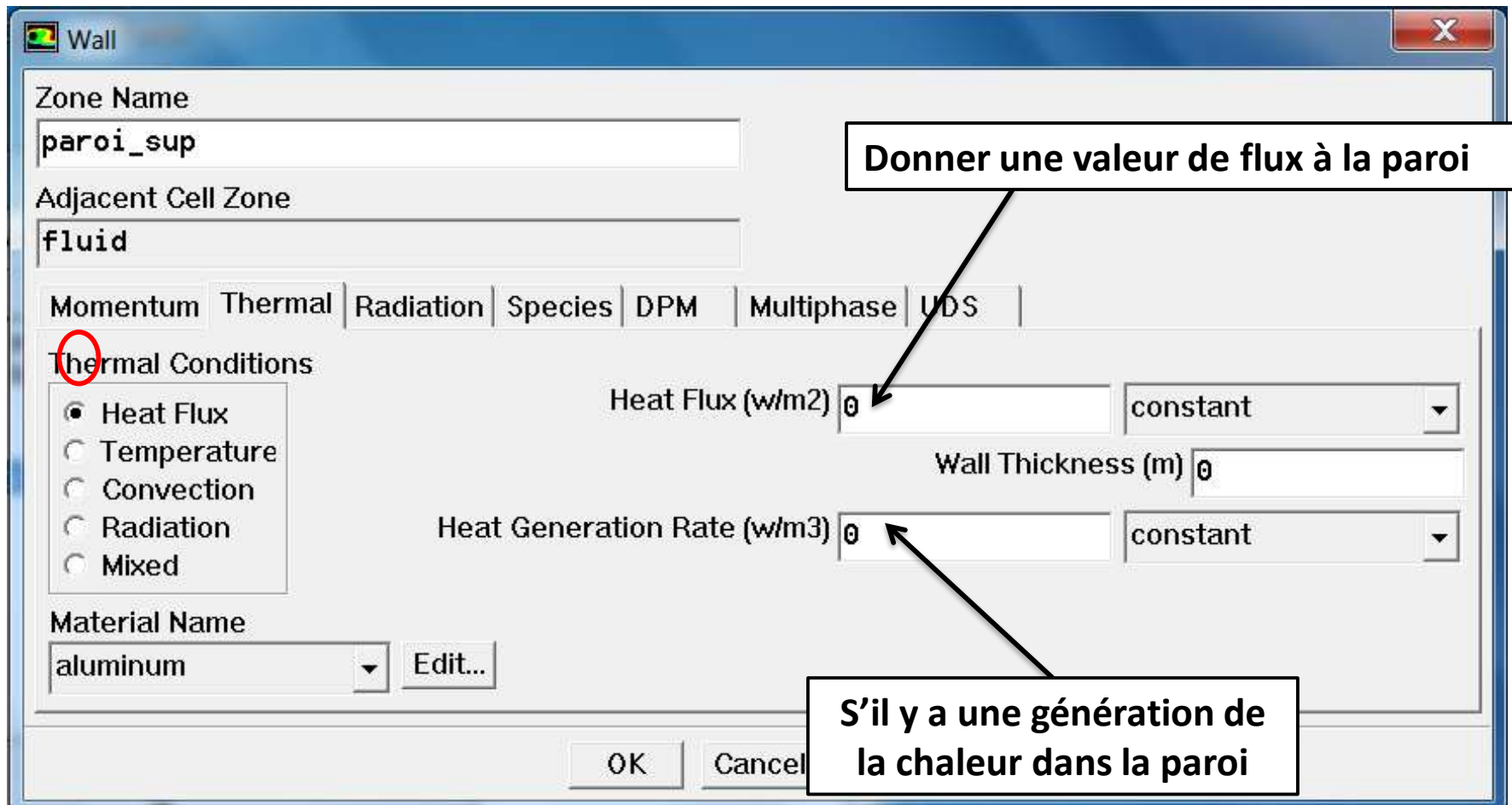
Heat Generation Rate (w/m³) 0 constant

Material Name
aluminum Edit...

OK Cancel Help

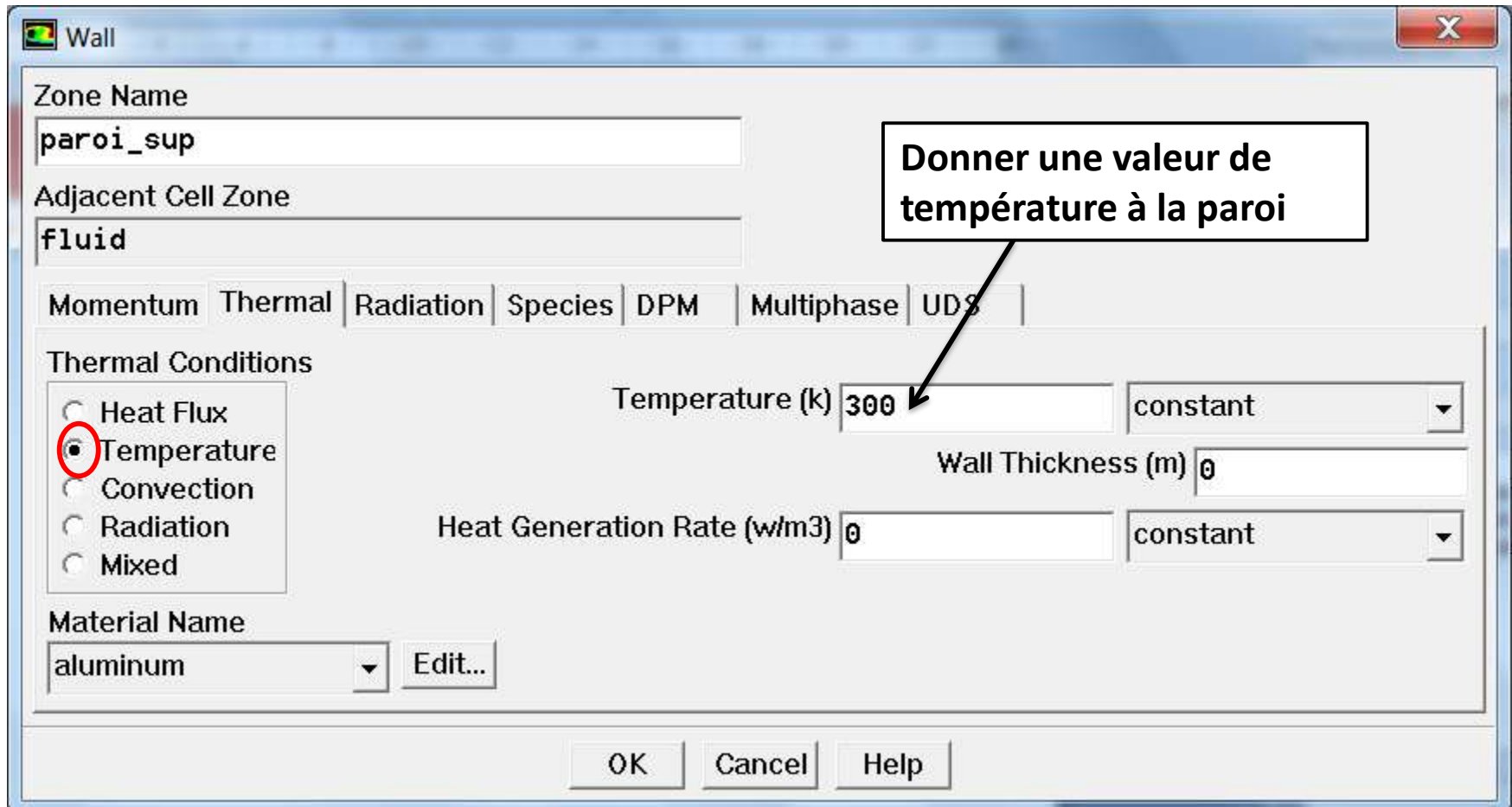
La modélisation du transfert de chaleur

☀ **Heat Flux** : donner une valeur fixe ou variable du flux de chaleur appliqué à la paroi.



La modélisation du transfert de chaleur

☀ **Temperature:** donner une valeur fixe ou variable de la température à la paroi.



The screenshot shows a 'Wall' dialog box with the following fields and options:

- Zone Name: paroi_sup
- Adjacent Cell Zone: fluid
- Thermal Conditions:
 - Heat Flux
 - Temperature
 - Convection
 - Radiation
 - Mixed
- Temperature (k): 300 (constant)
- Wall Thickness (m): 0
- Heat Generation Rate (w/m3): 0 (constant)
- Material Name: aluminum

A callout box with the text "Donner une valeur de température à la paroi" points to the '300' value in the 'Temperature (k)' field.

La modélisation du transfert de chaleur

☀ **Convection:** Simule la convection thermique avec l'environnement extérieur.

The image shows the 'Wall' dialog box in ANSYS Fluent, configured for convection. The 'Zone Name' is 'paroi_sup' and the 'Adjacent Cell Zone' is 'Fluid'. The 'Thermal Conditions' section has 'Convection' selected. The 'Material Name' is 'aluminum'. The 'Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)' is set to 0, 'Free Stream Temperature (k)' is 300, and 'Heat Generation Rate (w/m3)' is 0. Two callout boxes provide instructions: one points to the coefficient field and another points to the temperature field. A red box on the left contains the equation $\phi = hS(T_p - T_f)$ with an arrow pointing to the 'Convection' radio button.

Donner une valeur (fixe ou variable) du coef. de transfert thermique

Donner une valeur (fixe ou variable) de la température à l'extérieur

$\phi = hS(T_p - T_f)$

Zone Name: paroi_sup

Adjacent Cell Zone: Fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase U

Thermal Conditions

- Heat Flux
- Temperature
- Convection
- Radiation
- Mixed

Material Name: aluminum

Heat Transfer Coefficient (w/m2-k): 0 constant

Free Stream Temperature (k): 300 constant

Wall Thickness (m): 0

Heat Generation Rate (w/m3): 0 constant

OK Cancel Help

La modélisation du transfert de chaleur

☀ **Radiation:** Simule le rayonnement thermique avec l'environnement extérieur.

Donner une valeur (fixe ou variable) de l'émissivité de la paroi

Donner une valeur (fixe ou variable) de la température à l'extérieur ou bien du ciel.

$Q_{\text{net}} = \varepsilon A_s \sigma (T_w^4 - T_\infty^4)$

Wall

Zone Name
paroi_sup

Adjacent Cell Zone
fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

Heat Flux
 Temperature
 Convection
 Radiation
 Mixed

External Emissivity 1 constant

External Radiation Temperature (k) 300 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name
aluminum Edit...

OK Cancel Help

La modélisation du transfert de chaleur

🌟 **Mixed**: Combinaison des conditions aux limites de convection et de rayonnement.

Donner une valeur (fixe ou variable) du coef. de transfert thermique

Donner une valeur (fixe ou variable) de la température à l'extérieur

Donner une valeur (fixe ou variable) de l'émissivité de la paroi

Donner une valeur (fixe ou variable) de la température à l'extérieur ou bien du ciel.

$$\phi = hS(T_p - T_f)$$



$$Q_{net} = \varepsilon A_s \sigma (T_w^4 - T_\infty^4)$$

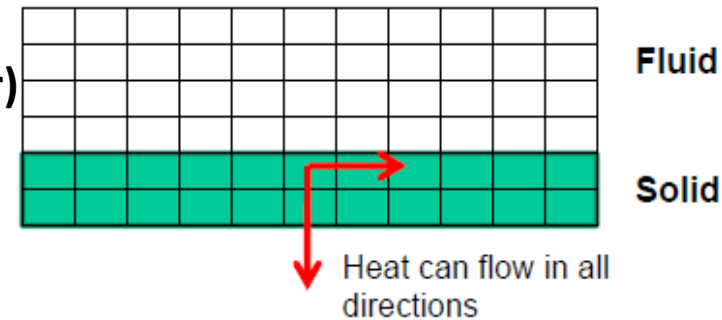
La modélisation du transfert de chaleur

modélisation du transfert de chaleur dans les parois

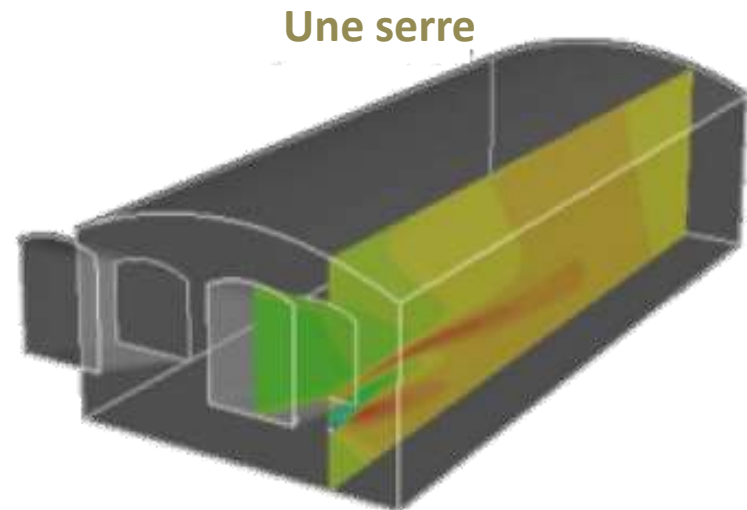
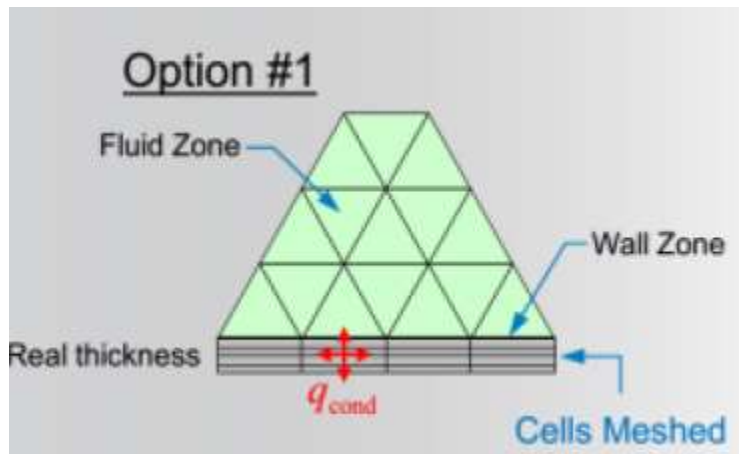
Il est souvent important de modéliser les effets thermiques de la paroi délimitant le fluide. Cependant, il peut ne pas être nécessaire de la mailler.

1^{re} Option :

- Tracer et mailler la paroi dans le Gambit (pré-processeur)
- Attribuez-le en tant que zone de cellule solide.
- C'est l'approche la plus approfondie, la chaleur peut s'écouler dans toutes les directions.



Exemple

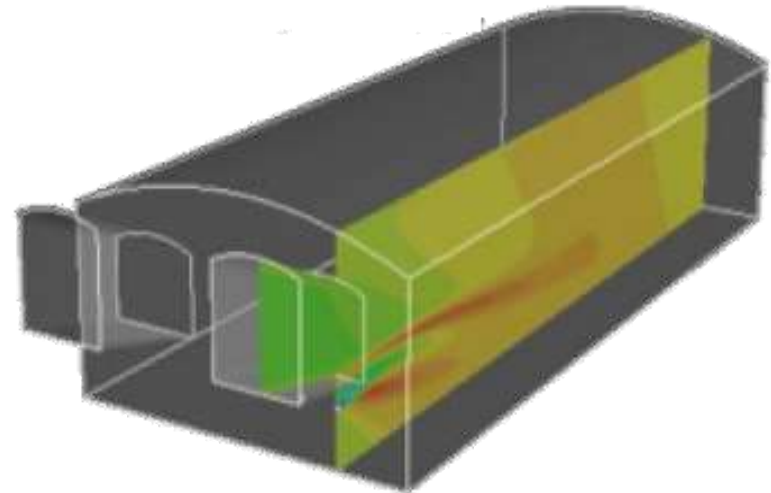
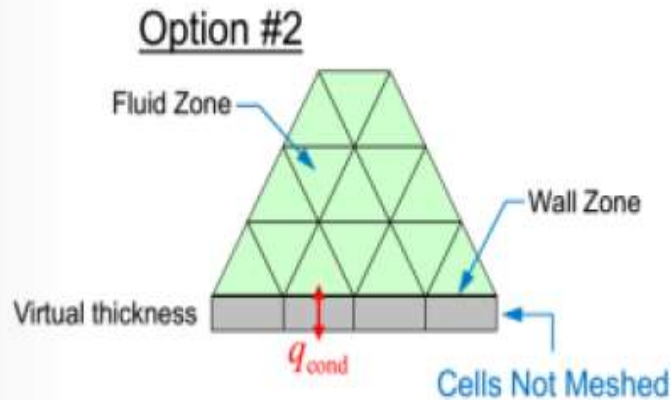
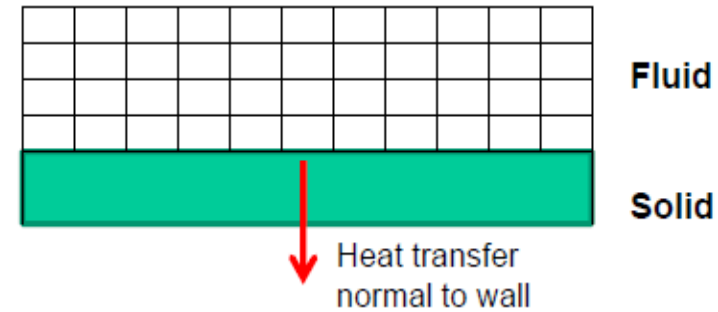


La loi de Fourier est résolue dans les trois directions (3D)

La modélisation du transfert de chaleur

2^{eme} Option : (couche virtuelle)

- Il suffit de mailler la région fluide
- Spécifiez une épaisseur de paroi.
- La conduction à travers la paroi sera prise en compte.
- La chaleur s'écoule que suivant la normale de la paroi (conduction unidimensionnelle).



$$T_1 - T_2 = R_{th} \Phi$$

La loi de Fourier est résolue en 1D.

La modélisation du transfert de chaleur

❏ Pour l'option 2 dans lesquelles il n'est pas nécessaire de mailler le solide dans le préprocesseur (gambit): on doit introduire l'épaisseur et le matériau de la paroi.

Wall

Zone Name
paroi_sup

Adjacent Cell Zone
fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

- Heat Flux
- Temperature
- Convection
- Radiation
- Mixed

Heat Flux (w/m²) 0 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m³) 0 constant

Material Name
aluminum Edit...

OK Cancel Help

$R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$

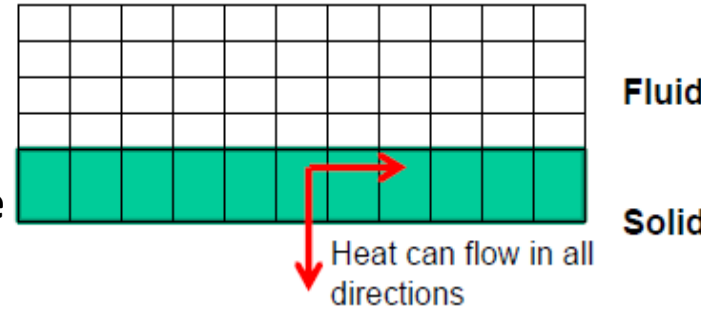
Épaisseur de la paroi

Le matériau de la paroi

La modélisation du transfert de chaleur

3^{ème} Option (couche et maillage virtuelle, 3D seulement)

- Comme option 2, mais activez la « shell conduction »
- 1 couche de « cellules virtuelles » est créée.
- Ceux-ci affectent le résultat, mais ne peuvent pas être post-traités.
- La chaleur peut s'écouler dans toutes les directions.



Pour les options 3 il faut cocher « shell conduction » puis cliquer sur « Define » pour introduire le nombre de couches souhaités et le matériau de la paroi.

Wall

Zone Name
well-board-bottom

Adjacent Cell Zone
block1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

Heat Flux
 Temperature
 Convection
 Radiation
 Mixed

Heat Transfer Coefficient (w/m²-k) 1.5 constant

Free Stream Temperature (K) 298 constant

Wall Thickness (m) 0.1

Material Name board Edit...

Heat Generation Rate (w/m³) 0 constant

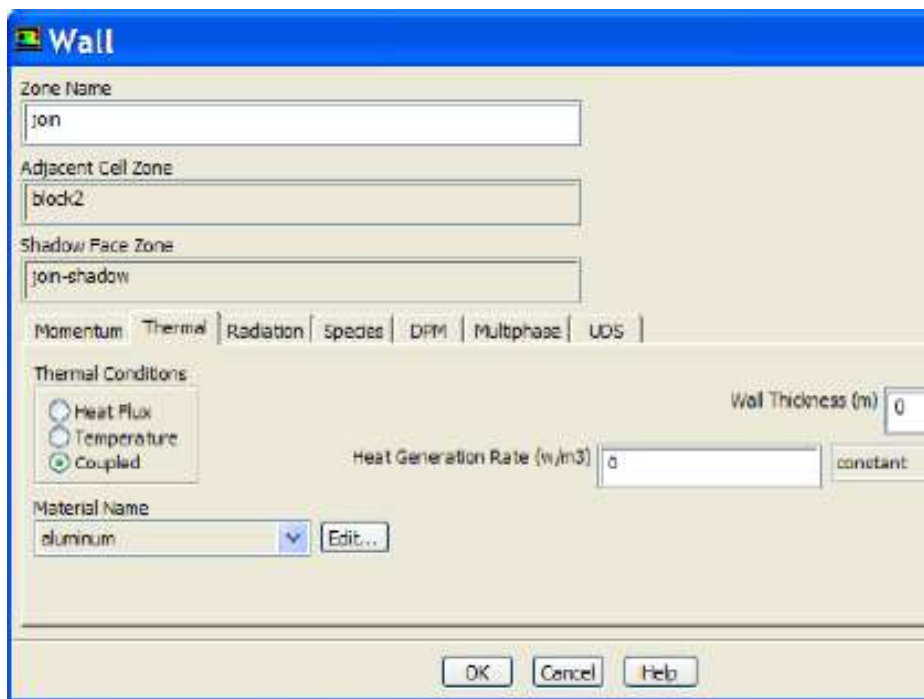
Shell Conduction

OK Cancel Help

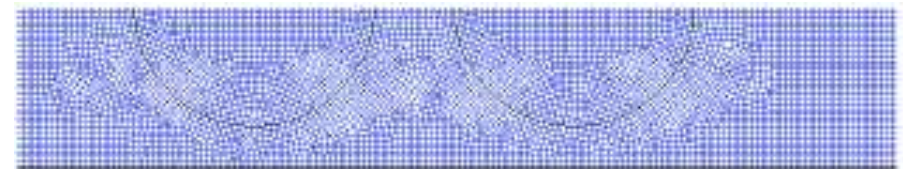
La modélisation du transfert de chaleur

Paroi interne

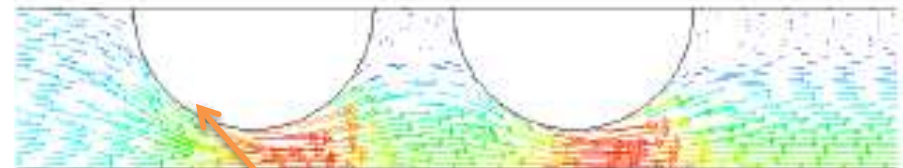
- Dans cet exemple, les zones fluides et solides sont résolues.
- Notez qu'il existe une condition aux limites du mur interne sur l'interface.



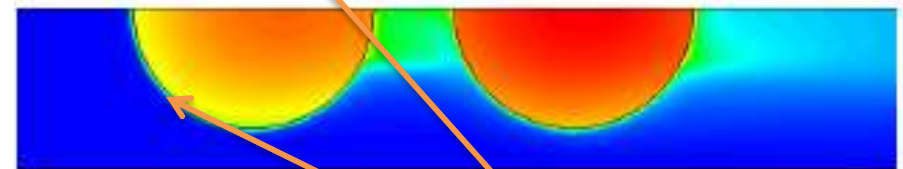
Flux de liquide de refroidissement
devant les tiges chauffées



Grid



Velocity Vectors



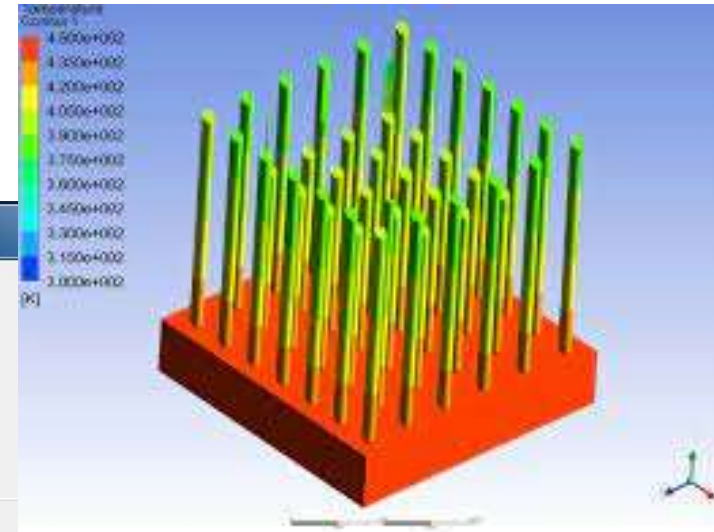
Temperature Contours

Parois internes

La modélisation du transfert de chaleur

La génération de la chaleur

- Option 1: Le flux généré peut être insérer dans la surface comme « **heat generation rate** »



Wall

Zone Name
paroi_sup

Adjacent Cell Zone
Fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS

Thermal Conditions

Heat Flux
 Temperature
 Convection
 Radiation
 Mixed

Heat Flux (w/m2) 0 constant

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

Material Name
aluminum Edit...

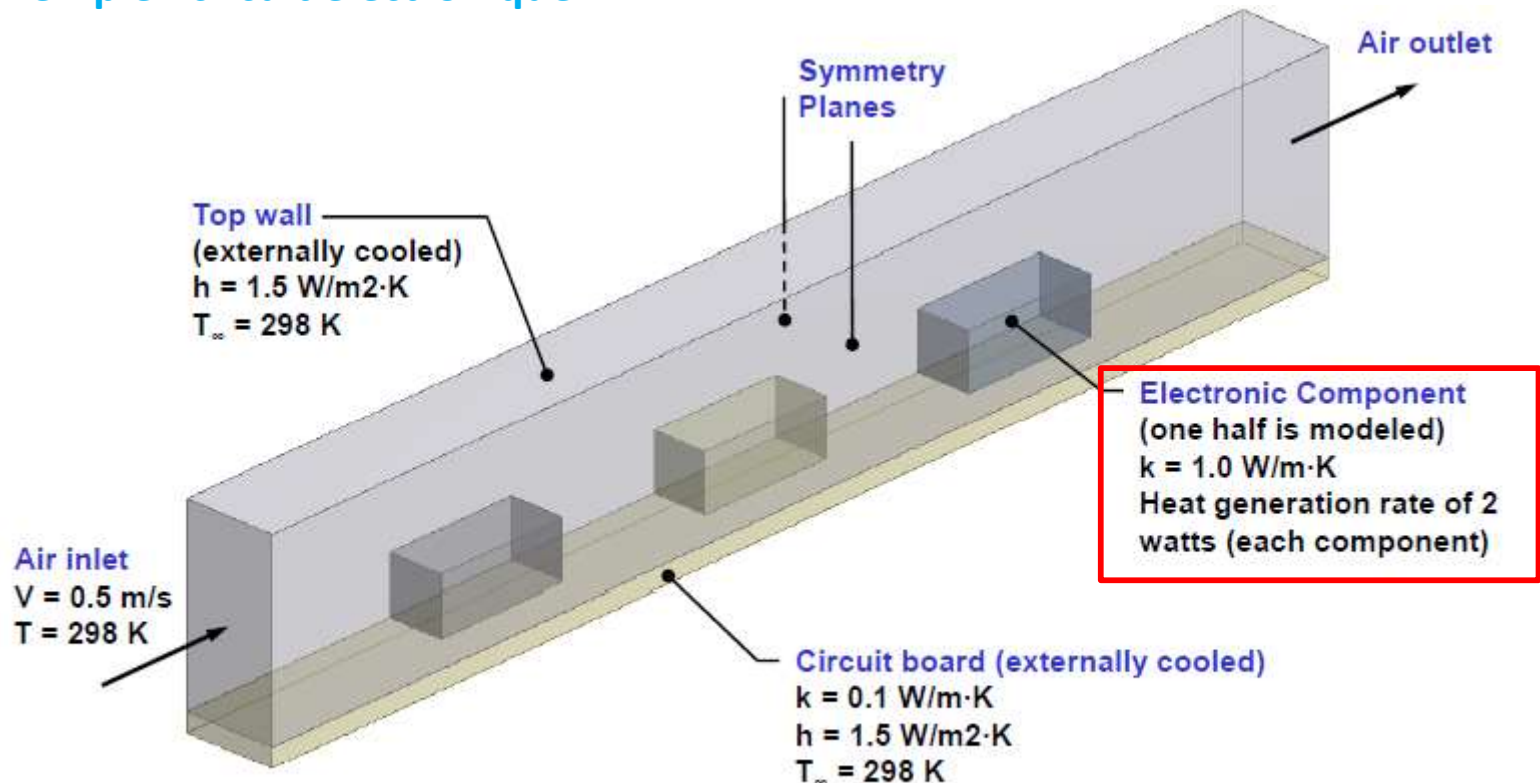
OK Cancel Help

S'il y a une génération de la chaleur (constante ou variable) dans la paroi

La modélisation du transfert de chaleur

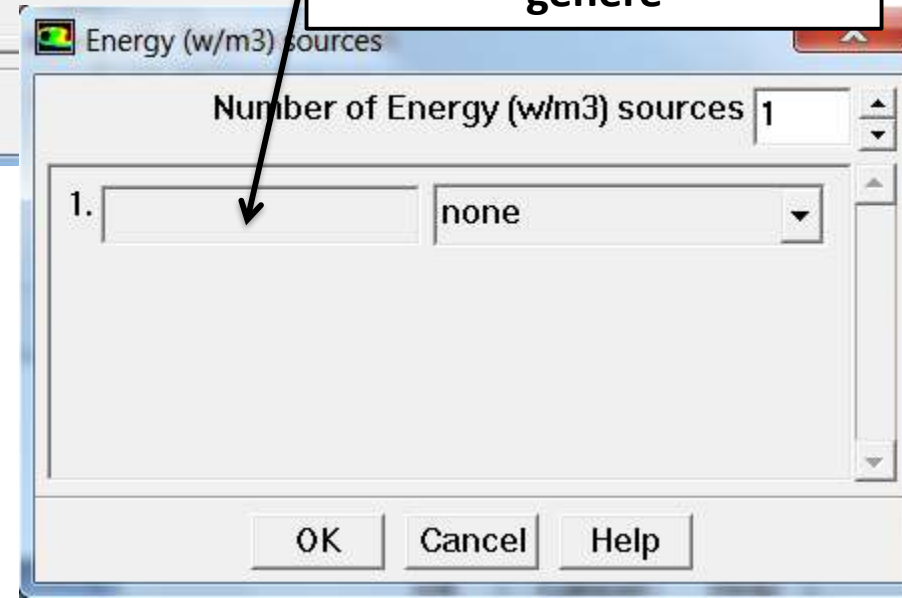
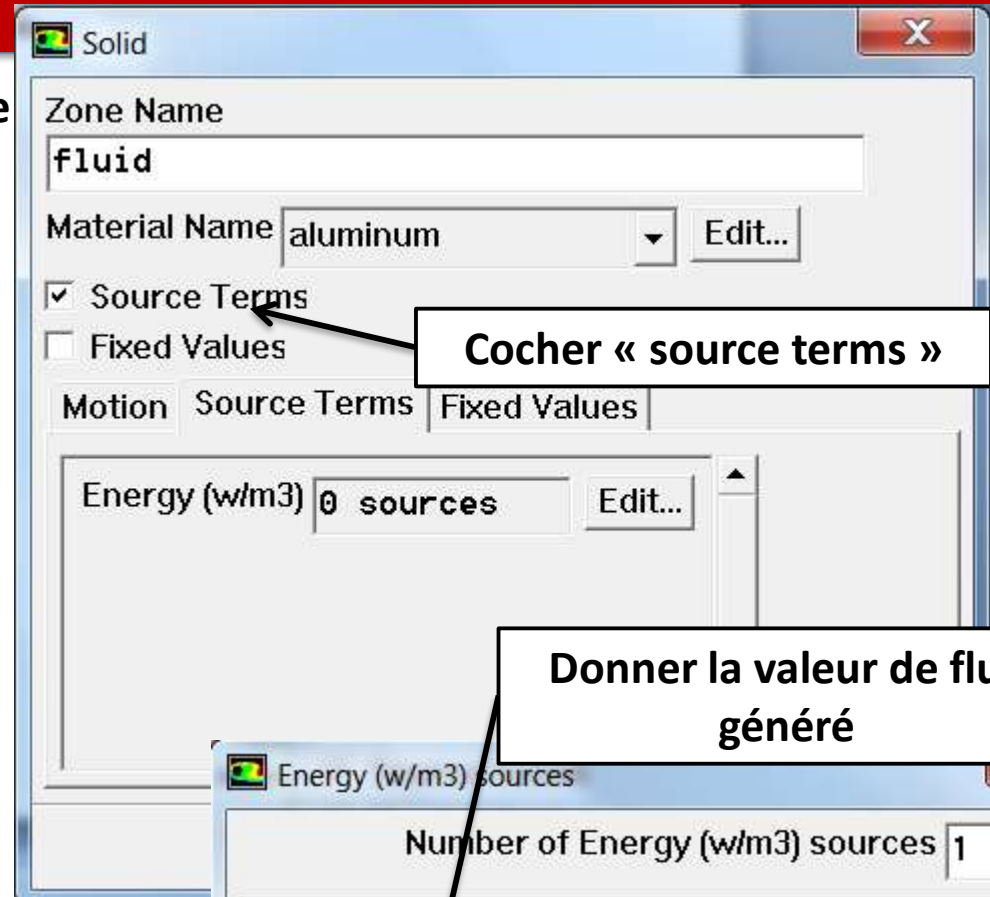
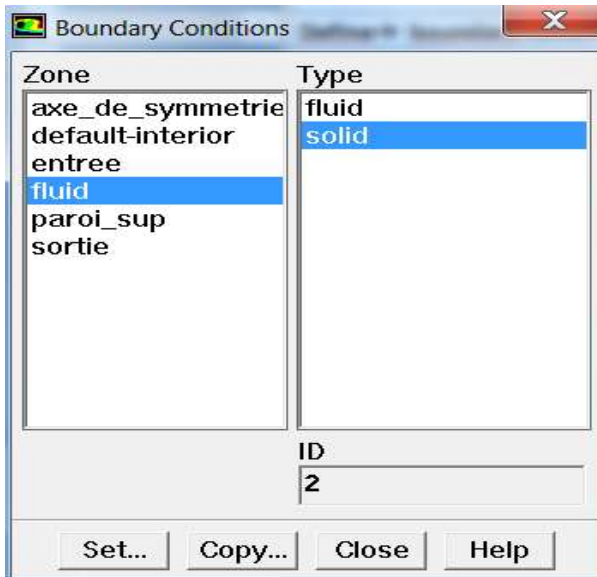
■ Option 2: Le flux généré peut être insérer dans un domaine (solide, fluide) comme « **Source Terme** »

Exemple : circuit électronique



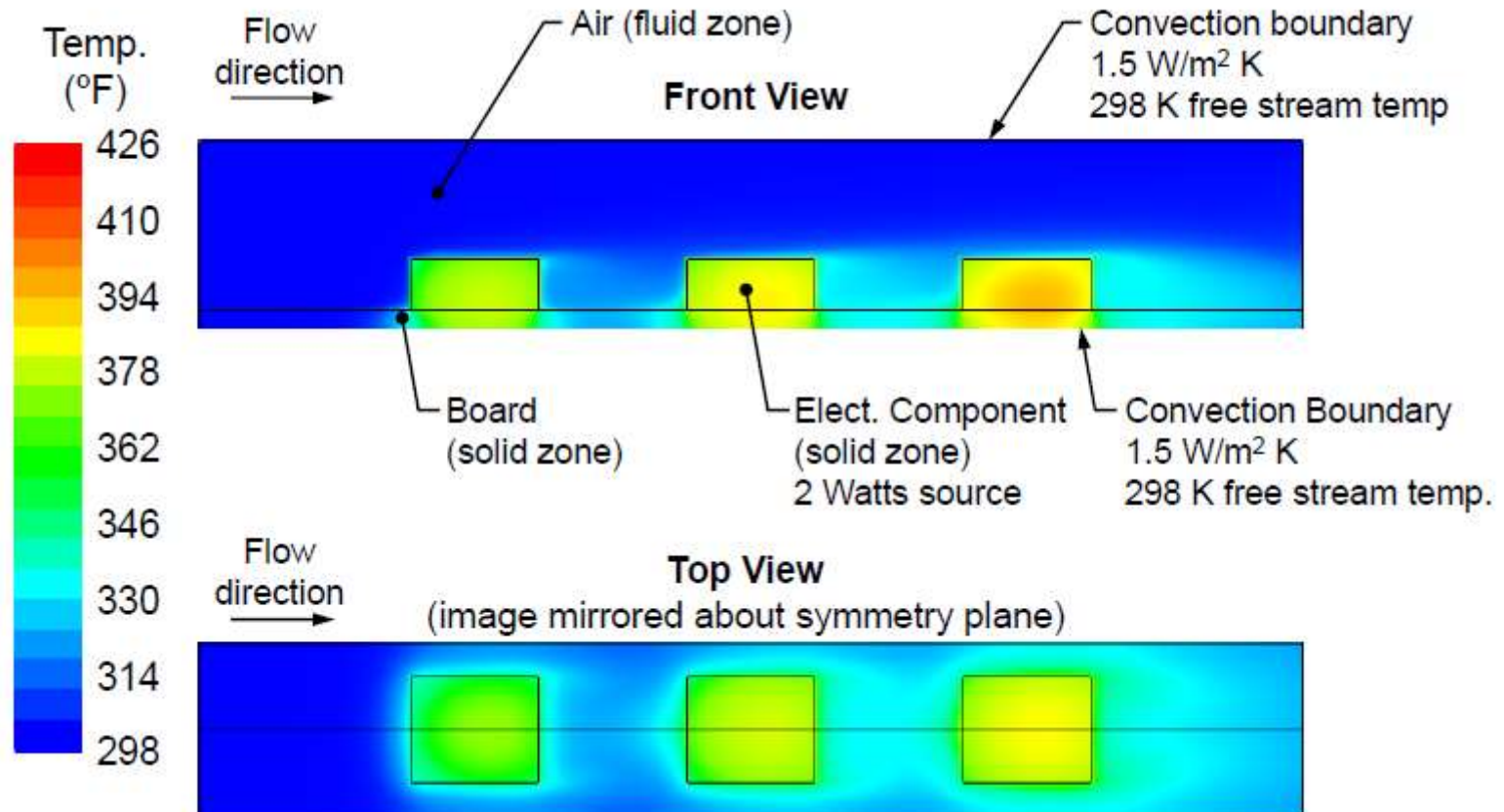
La modélisation du transfert de chaleur

Define → boundary conditions → Solide



- Une source de chaleur volumétrique est appliquée à cette zone .
- Ceci est appliqué comme terme source à la zone.
- Notez que les unités sont W/m^3 , le volume est petit donc la valeur est élevée.

La modélisation du transfert de chaleur



La modélisation du transfert de chaleur

modélisation de la convection naturelle

- De nombreux problèmes de transfert de chaleur incluent les effets de la convection naturelle (en particulier pour les problèmes de ventilation et le refroidissement des composants électronique).
- La convection naturelle se produit à la suite d'un écoulement entraîné par la flottabilité causé par des gradients de densité dus aux variations de température.
- Le terme important de la force de flottabilité dans les équations de quantité de mouvement est $(\rho - \rho_0)g$ où ρ est la densité locale et ρ_0 une densité de référence.

The Navier-Stokes Equations

Conservation of Momentum

$$\underbrace{\rho}_{\text{Density of the Fluid}} \cdot \underbrace{\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right)}_{\text{Change in Velocity over Time + Speed and Direction of Fluid}} = \underbrace{\rho \vec{g}}_{\text{External Forces such as Gravity}} - \underbrace{\nabla p}_{\text{Pressure Gradient}} + \underbrace{\mu \cdot \nabla^2 \vec{v}}_{\text{Internal Stress Forces (viscous effects)}}$$

The term $(\rho - \rho_0)g$ is highlighted in a blue box, with a red arrow pointing to it from the text above.

La modélisation du transfert de chaleur

Données nécessaires pour la modélisation de la convection naturelle

Cocher gravité

1) Définissez l'accélération gravitationnelle
Define → operating conditions

2) Définir le modèle de la densité (plusieurs options sont disponibles).

Name	Material Type
air	fluid

Chemical Formula	Fluent Fluid Materials
	air

Mixture
none

Properties	
Density (kg/m ³)	constant
Cp (j/kg-k)	1006.43
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant

Pressure	
Operating Pressure (pascal)	101325
Reference Pressure Location	X (m) 0, Y (m) 0

Gravity	
<input checked="" type="checkbox"/> Gravity	
Gravitational Acceleration	X (m/s ²) 0, Y (m/s ²) -9.81

Boussinesq Parameters	
Operating Temperature (k)	288.16

Variable-Density Parameters	
<input checked="" type="checkbox"/> Specified Operating Density	
Operating Density (kg/m ³)	1.225

OK Cancel Help

Donner la valeur de la gravité avec signe (-)

La modélisation du transfert de chaleur

Modèle de Boussinesq

■ C'est une hypothèse simplificatrice qui suppose que la densité est uniforme (constante) à l'exception du terme de force flottabilité dans l'équation de quantité de mouvement, qui est remplacé par :

$$(\rho - \rho_0)g = -\rho_0 \beta (T - T_0)g$$

- Valable lorsque les variations de densité sont faibles (c'est-à-dire de petites variations de T).
- Fournit une convergence plus rapide pour de nombreux flux de convection naturelle par rapport à l'utilisation d'une densité variable en fonction de la température.

Données nécessaires pour le modèle de Boussinesq

1) Sélectionnez Boussinesq comme méthode pour la densité et attribuez une valeur constante, ρ_0

Defini → materials → Density → Boussinesq

2) Définir le coefficient de dilatation thermique β ($\beta=1/T_0$)

3) Réglez la température de fonctionnement T_0 (T_0 est la température basse du fluide).

(ρ_0 généralement cette densité est prise à la température moyenne du domaine)

Properties	
Density (kg/m ³)	boussinesq <input type="button" value="Edit..."/>
Cp (j/kg-k)	constant <input type="button" value="Edit..."/> 1006.43
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant <input type="button" value="Edit..."/> 0.0242
Viscosity (kg/m-s)	constant <input type="button" value="Edit..."/> 1.7894e-05

La modélisation du transfert de chaleur

Define → Operating conditions

Operating Conditions

Pressure

Operating Pressure (pascal)
101325

Reference Pressure Location

X (m) 0

Y (m) 0

Gravity

Gravity

Gravitational Acceleration

X (m/s²) 0

Y (m/s²) 0

Boussinesq Parameters

Operating Temperature (k)
288.16

Variable-Density Parameters

Specified Operating Density

Operating Density (kg/m³)
1.225

OK Cancel Help

Donner la valeur
de la température
opérateur **T₀**

ρ_0

La modélisation du transfert de chaleur

Modèle gaz idéal incompressible (incompressible ideal gas)

■ Dans la plupart des problèmes de convection naturelle, le changement de densité avec la température entraîne le flux. Les changements de pression sur le domaine sont minimales et leur effet sur la densité négligeable, par conséquent, la formulation de densité de **gaz idéal incompressible** peut être utilisée à la place du gaz idéal entièrement compressible.

Force de flottabilité: $(\rho - \rho_0)g$

$$\rho_\infty = \frac{P_\infty}{RT_\infty}$$

Pression opératoire = cst

1) Sélectionnez « incompressible ideal gas »
comme méthode pour la densité

Define → materials → Density →
incompressible ideal gas

2) Spécifier la densité opératoire ρ_0

Operating conditions → operating density

The screenshot shows the 'Materials' dialog box for the material 'air'. The 'Material Type' is set to 'fluid'. Under 'Fluent Fluid Materials', 'air' is selected. The 'Mixture' is set to 'none'. The 'Properties' section is expanded, showing the following settings:

Property	Value
Density [kg/m ³]	incompressible-ideal-gas
Cp [j/kg-k]	constant 1006.43
Thermal Conductivity [w/m-k]	constant 0.0242
Viscosity [kg/m-s]	constant 1.7894e-05

La modélisation du transfert de chaleur

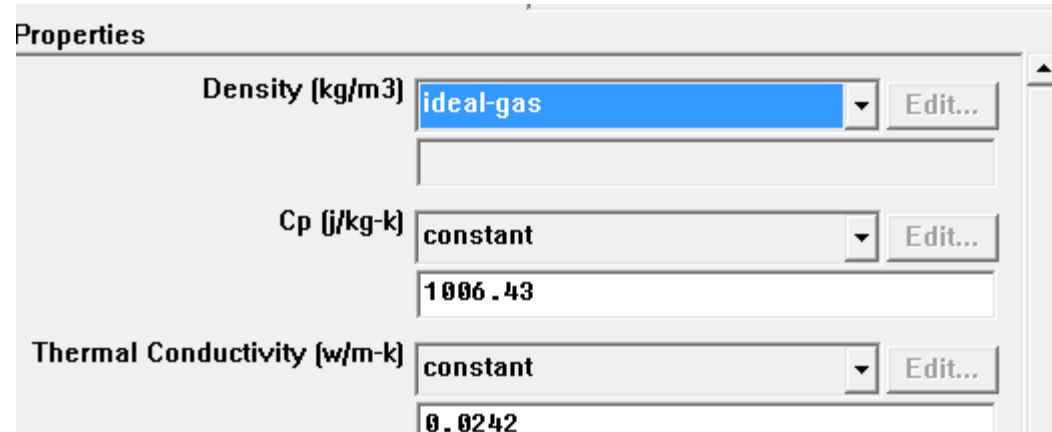
Modèle du gaz idéal compressible (ideal gas)

■ Dans certains problèmes de convection naturelle, en plus de la température, les changements de pression affectent la densité par conséquent, la formulation de densité de **gaz idéal compressible** est recommandée dans ce cas.

Force de flottabilité: $(\rho - \rho_0)g$

$$\rho_\infty = \frac{P_\infty}{RT_\infty}$$

Pression réelle (variable)



1) Sélectionnez « incompressible ideal gas » comme méthode pour la densité

Define → materials → Density → ideal gas

2) Spécifier la densité opératoire ρ_0 , (généralement cette densité est prise à la température moyenne du domaine)