

Guide d'utilisation du logiciel

Ce logiciel permet de calculer les coefficients d'échanges thermiques, suivant différents paramètres. Il présente également plusieurs feuilles et une page récapitulative des différentes corrélations et domaines de définitions utilisés.

Lorsque que vous démarrez le logiciel vous arrivez sur la page d'accueil où plusieurs paramètres doivent être saisis.

Vous choisissez donc tous d'abord le fluide (une douzaine de fluide courant sont répertoriés) puis votre type de convection, les quatre types de convection sont présents, par exemple convection forcée interne.


Ensuite il vous faut choisir les températures, la température T_{paroi} correspond à la température pariétale et $T_{\text{extérieure}}$ à la température ambiante. Dans le cas de la convection naturelle en espace clos ces deux valeurs représentent respectivement les températures des parois chaudes et des parois froides.

Les autres paramètres à saisir sont la pression à laquelle est soumise le fluide et la longueur caractéristique. La pression comme les températures permettent de calculer les propriétés du fluide. Par contre la longueur caractéristique permet de dimensionner le système et de déterminer les valeurs de Reynolds (si convection forcée), ou Rayleigh (si convection naturelle), et le Nusselt (permettant de déduire le coefficient d'échange h). Cette grandeur caractéristique correspond au rapport de l'aire sur le périmètre. Vous disposez ainsi d'une calculatrice sur l'interface d'accueil afin de pouvoir calculer cette valeur si nécessaire, par exemple en convection forcée interne. Pour savoir à quoi correspond la longueur caractéristique se référer à la page récapitulative des géométries présentes dans le logiciel. Vous pouvez aussi choisir votre écoulement, pour la convection forcée externe seul la vitesse d'écoulement est possible mais pour certaines géométries en convection forcée interne vous pouvez choisir : débit massique (en kg/s), débit volumique (en m^3/s) ou encore la vitesse d'écoulement (en m/s) selon les données dont vous disposez dans vos sujets d'exercice.

Outil de détermination des coefficients d'échanges thermique

Sélectionner fluide :

Convection de type :



Température :
 $T_{\text{extérieure}} =$ [°C]
 $T_{\text{paroi}} =$ [°C]

Pression du fluide : [KPa]

Longueur Caractéristique : [m]

Cas convection forcée :

Vitesse d'écoulement

Cliquez sur votre type de convection pour continuer :
(après avoir saisies toutes les informations ci-dessus)

<input type="button" value="Convection forcée externe"/>	<input type="button" value="Convection naturelle externe"/>
<input type="button" value="Convection forcée interne"/>	<input type="button" value="Convection naturelle interne"/>

réalisé en projet à l'IUP de PAU par ANIES G. et ARNAUD D. en 2007

Une fois ces données saisies vous devez suivant votre étude, vous diriger vers la page concernant votre cas de convection, d'où cliquer sur le bouton correspondant.

Convection forcée externe :

La convection forcée externe est caractérisée par la présence de couches limites créées par l'écoulement externe d'un fluide sur une surface matérielle. Lorsque le mouvement du fluide est imposé par une action extérieure (ventilateurs, pompes,...).

Une fois la feuille spécifique à cette dernière ouverte vous devez choisir la géométrie en question dans le menu déroulant. Ensuite il vous suffit de cliquer sur calculer pour obtenir les valeurs désirées. Si vous voulez changer une valeur ou le type de convection, il vous suffit de cliquer sur le lien « Retour saisie données » et d'effectuer les différents changements désirés et de suivre à nouveau la procédure pour obtenir le nouveau coefficient d'échange.

Convection forcée externe :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement (Tp=cste) :

Autour d'un cylindre

[Lien vers l'aide sur les types de géométries](#)

[Aides sur les types de géométries](#)

[Retour saisie données](#)

[Calculer](#)

Résultats :

Régime d'écoulement : ??

Tref=1	[°C]	$\rho=1$	[kg/m ³]	Pr=1
Visc=1	[kg/m-s]	k=1	[W/m-K]	Re=1
Cp=1	[kJ/kg-K]			Nusselt=1

h = 1 [W/m².K]

Zone des résultats et des caractéristiques du fluide à Tref

Bouton pour lancer les calculs une fois tous les paramètres saisis

Convection forcée interne :

La convection forcée interne correspond à un fluide contraint de s'écouler à travers une canalisation au sein de laquelle le débit est uniforme. Lorsque le mouvement du fluide est imposé par une action extérieure (ventilateurs, pompes,...).

Le principe de la saisie est identique à la page précédente (cf. Convection forcée externe). Par contre il y a d'avantages de valeurs à saisir sur cette feuille: la température du fluide à l'entrée de la conduite, le type de géométrie, la longueur du tube et s'il s'agit d'une conduite rectangulaire il faut rentrer les dimensions de celle-ci (base et hauteur).

Convection forcée interne :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

[Lien vers l'aide sur les types de géométries](#)

Géométrie d'écoulement à choisir dans ce menu déroulant

Paramètres à saisir dans le cas de la convection forcée interne

Paramètre à saisir dans le cas d'une conduite rectangulaire

Choisir la géométrie de l'écoulement (Tp=cste) :

Tube rectangulaire

Tentrée = 50 [°C]

Longueur du tube : 0,12 [m]

caractéristique de la section si tube rectangulaire :

base = 0,4 [m] hauteur = 0,43 [m]

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Résultats :

Régime d'écoulement : ??

Tref=1 [°C]	k=1 [W/m-K]	Pr=1
Ts=1 [°C]	Visc=1 [kg/m-s]	Re=1
$\rho=1$ [kg/m ³]	Cp=1 [kJ/kg-K]	Nusselt=1

h = 1 [W/m².K]

Bouton pour lancer les calculs une fois tous les paramètres saisis

Zone des résultats et des caractéristiques du fluide à Tref

Convection naturelle interne :

La convection dite « naturelle » ou « libre », c'est-à-dire lorsque le mouvement du fluide résulte exclusivement des forces de poussées (Archimède, différence des masses volumiques au sein du fluide du fait de l'existence d'un gradient de température entre la paroi solide et le fluide même). La convection naturelle interne ou en espace clos correspond à des échanges thermiques au sein des fluides enfermés dans des espaces délimités.

Après avoir choisi le type de géométrie, il faut saisir la hauteur si vous avez choisi comme type de géométrie le « double vitrage », puisque dans ce cas elle intervient dans la corrélation choisie. **Par contre il faut faire particulièrement attention lors de la saisie des températures sur la page d'accueil car dans ce type de convection la température pariétale Tp correspond à la température de la paroi chaude tandis que Ta (Température de l'ambient) correspond à la température de la paroi dite froide.**

Convection naturelle interne :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Géométrie d'écoulement à choisir dans ce menu déroulant

ATTENTION !!!

Entre 2 cylindres

Ici Tparoi = Tparoi chaude et Textérieur = Tparoi froide

paramètre à saisir dans le double vitrage

Hauteur de parois pour "double vitrage"

Hauteur = 0,8 [m]

Lien vers l'aide sur les types de géométries

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Bouton pour lancer les calculs une fois tous les paramètres saisis

Résultats :

Régime d'écoulement : ??

Tref=1 [°C]

ρ =1 [kg/m³]

Pr=1

β =1 [1/K]

k=1 [W/m-K]

Grashoff=1

Visc=1 [kg/m-s]

Cp=1 [kJ/kg-K]

Rayleigh=1

Nusselt=1

h = 1 [W/m².K]

Zone des résultats et des caractéristiques du fluide à Tref

Convection naturelle externe :

La convection dite « naturelle » ou « libre », c'est-à-dire lorsque le mouvement du fluide résulte exclusivement des forces de poussées (Archimède, différence des masses volumiques au sein du fluide du fait de l'existence d'un gradient de température entre la paroi solide et le fluide même). La convection naturelle externe résulte d'échanges se produisant à des vitesses extrêmement faibles. Ces vitesses résultent du gradient de température et de la création de couche moins dense de fluide et donc des déplacements de fluide très lent donc un phénomène de convection.

Pour cette dernière possibilité, le principe est le même que précédemment, dès le type de convection sélectionné, il ne vous restera plus qu'à choisir votre géométrie.

Convection naturelle externe :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement ($T_p = \text{cste}$) :

Sphère

[Lien vers l'aide sur les types de géométries](#)

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Bouton pour lancer les calculs une fois tous les paramètres saisis

Résultats :

Régime d'écoulement : ??

$T_{\text{ref}}=1$	[°C]	$\rho=1$	[kg/m ³]	$Pr=1$
$\beta=1$	[1/K]	$k=1$	[W/m-K]	Grashoff=1
Visc=1	[kg/m-s]	$C_p=1$	[kJ/kg-K]	Rayleigh=1
				Nusselt=1

$h = 1$ [W/m².K]

Zone des résultats et des caractéristiques du fluide à T_{ref}

Solutions aux divers problèmes que vous pouvez rencontrer :

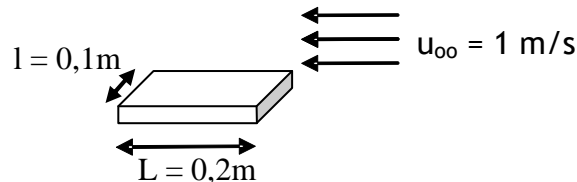
- Les valeurs du Reynolds, Rayleigh, Prandtl ou le rapport Hauteur/Longueur caractéristique peuvent sortir de l'intervalle de définition de la corrélation et donc le calcul s'arrête puisque le programme ne peut pas calculer le Nusselt. On ne peut donc pas obtenir le coefficient d'échange.
- Si votre valeur du coefficient d'échange reste inchangé malgré le changement de géométrie ou des autres paramètres de la page c'est que le type de convection que vous avez sélectionné sur la page d'accueil peut être éventuellement différent de celui qui correspond à la page choisie.
- Le choix du type d'écoulement : débit massique, débit volumique ou vitesse d'écoulement n'est possible que pour certain type de géométrie puisqu'il faut qu'une section soit définie.
- La température de certains fluides comme l'oxygène dont la température de référence $(T_a + T_p)/2$ doit être inférieure à 300K car la base de données de EES ne possède pas les propriétés du fluide au-delà de cette valeur.

Exemples d'applications :

Convection forcée externe

Comparaison de l'intensité du mécanisme d'échange convectif force entre un liquide et un gaz, pour un même écart $T_p - T_{oo}$

On considère un fluide s'écoulant parallèlement à une paroi plane verticale de longueur $L = 0,2\text{m}$ et de largeur $l = 0,1\text{m}$. Hors de la couche limite, la vitesse du fluide est $u_{oo} = 1\text{ m/s}$ et la température T_{oo} supérieure de $\Delta\theta = 20^\circ\text{C}$ à celle de la paroi, $T_p = 10^\circ\text{C}$.



Calculer à l'aide de CalculCoefEchange les coefficients d'échanges de cet écoulement dans le cas où le fluide liquide est de l'eau et le fluide gaz est de l'air. Comparer les deux résultats et conclure.


Saisies des paramètres de l'exercice

Cas de l'air

Outil de détermination des coefficients d'échanges thermique

Sélectionner fluide :
Air

Convection de type :
forcée externe



Température :
Textérieure = 30 [°C]
Tparoi = 10 [°C]

Pression du fluide : 101,3 [KPa]

Longueur Caractéristique : 0,2 [m]

Cas convection forcée :
Vitesse d'écoulement 1

Cliquez sur votre type de convection pour continuer :
(après avoir saisi toutes les informations ci-dessus)

réalisé en projet à l'IUP de PAU par ANIES G. et ARNAUD D. en 2007

Résultats obtenu

Convection forcée externe :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement (Tp=cste) :

Plaque plane

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Géométrie de notre étude sélectionnée

Résultats :

Régime d'écoulement : Laminaire

$T_{ref}=20$ [°C]

$\text{Visc}=0,00001825$ [kg/m-s]

$C_p=1,007$ [kJ/kg-K]

$\rho=1,204$ [kg/m³]

$k=0,02514$ [W/m-K]

$Pr=0,7309$

$Re=13192$

$Nusselt=62,08$

$h = 7,802$ [W/m².K]

Coefficient d'échange obtenu avec l'outil de calcul

Les caractéristiques du fluide déterminées à la température de référence (utilisé pour les différents calculs)

Cas de l'eau

Sur l'écran d'accueil on saisie la même chose que pour l'air sauf que maintenant on sélectionne l'eau comme fluide étudié. D'où les résultats :

Convection forcée externe :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement (Tp=cste) :

Plaque plane

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Géométrie de notre étude sélectionnée

Résultats :

Régime d'écoulement : Laminaire

$T_{ref}=20$ [°C]

$\text{Visc}=0,001002$ [kg/m-s]

$C_p=4,183$ [kJ/kg-K]

$\rho=998,2$ [kg/m³]

$k=0,5985$ [W/m-K]

$Pr=7,004$

$Re=199230$

$Nusselt=512,4$

$h = 1533$ [W/m².K]

Coefficient d'échange obtenu avec l'outil de calcul

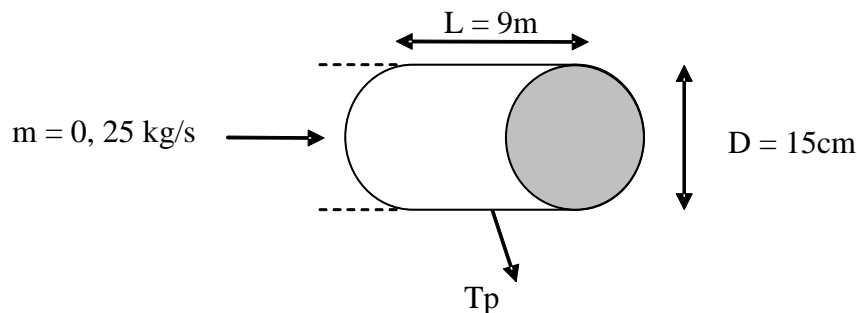
Les caractéristiques du fluide déterminées à la température de référence (utilisé pour les différents

Bien que l'écoulement de l'eau soit laminaire (régime d'écoulements peu propice à des échanges convectifs intenses) on constate que le coefficient h est néanmoins nettement supérieur à celui associé au cas de l'air (lorsque le régime d'écoulement de celui-ci est aussi laminaire). Cela prouve que les échanges convectifs sont plus intenses dans le cas des liquides que dans celui des gaz.

Convection forcée Interne

Réchauffement d'un gaz par écoulement dans un tuyau isotherme

De l'air pénètre dans un tuyau de section circulaire avec $D = 15\text{cm}$, la longueur du tuyau étant $L = 9\text{m}$. La température de l'air à l'entrée est $T_e = 32^\circ\text{C}$ et la pression est égale à 1 atmosphère. La température des parois T_p est maintenue constante à 65°C . Le débit massique de l'air est : $m = 0,25\text{ kg/s}$.



On demande de déterminer le coefficient d'échange thermique dans la conduite et de calculer la température de l'air, T_s , à sa sortie du tuyau, compte tenu des échanges convectifs qui se produisent lors de l'écoulement.

Saisies des paramètres de l'exercice

Outil de détermination des coefficients d'échanges thermique


Sélectionner fluide :

Température : Textérieure = [$^\circ\text{C}$]
Tparoi = [$^\circ\text{C}$]

Convection de type :

Pression du fluide : [KPa]

Longueur Caractéristique : [m]



Cas convection forcée :

Débit massique

Cliquez sur votre type de convection pour continuer :
(après avoir saisi toutes les informations ci-dessus)

réalisé en projet à l'IUP de PAU par ANIES G. et ARNAUD D. en 2007

Résultats obtenu :

Convection forcée interne :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement ($T_p = \text{cste}$) :
Géométrie de notre étude sélectionnée : Tube cylindrique

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Caractéristiques de notre étude

Tentrée = 32 [°C]

Longueur du tube : 9 [m]

caractéristique de la section si tube rectangulaire :

base = 0,4 [m] hauteur = 0,43 [m]

Inutile dans notre cas d'étude

Résultats :

Régime d'écoulement : Turbulent

Tref=48,5 [°C]

$k=0,02724$ [W/m-K]

Pr=0,7232

Ts=45,54 [°C]

Visc=0,00001957 [kg/m-s]

Re=108450

$\rho=1,097$ [kg/m³]

Cp=1,007 [kJ/kg-K]

Nusselt=168,7

Température de sortie
calculer après une itération

$h = 30,64$ [W/m².K]

Coefficient d'échange
obtenu avec l'outil de calcul
après une itération

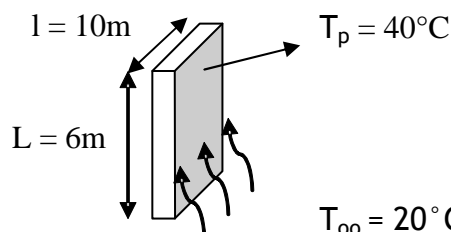
Les caractéristiques du fluide déterminées à la température de référence (utilisé pour les différents calculs)

Sous l'effet des échanges convectifs qui se produisent entre le tube et l'air en circulation (du fait de l'existence de l'écart de température entre le fluide et la paroi) l'air se réchauffe. Donc grâce au coefficient d'échange déterminé avec l'outil de calcul il est possible de déduire le flux de chaleur échangé par convection. Sinon le logiciel nous a également données la température de sortie de l'air, mais après seulement une itération. Donc attention au cas où on a un écart de température très important entre la température de paroi et la température d'entrée de l'air, car la température de référence sera erronée. Par conséquent le coefficient d'échange et la température de sortie seront erronés.

Convection naturelle externe

Echanges par convection naturelle entre le mur d'une maison et le milieu ambiant extérieur

Le mur d'une maison a une hauteur $L = 6\text{ m}$ et une largeur $l = 10\text{ m}$. sous l'échauffement du soleil, sa température extérieure T_p atteint la valeur de 40°C . La température ambiante extérieure T_{oo} étant de 20°C .



Déterminer le coefficient d'échange thermique entre le mur et l'extérieur de cet échange convectif.

Saisies des paramètres de l'exercice

Outil de détermination des coefficients d'échanges thermique

Sélectionner fluide :
Air [v] Info fluide

Température :
Textérieure = 20 [°C]
Tparoi = 40 [°C]

Convection de type :
naturelle externe [v]

Pression du fluide : 101,3 [KPa]

Longueur Caractéristique : 6 [m]

Cas convection forcée :
Vitesse d'écoulement [v] 1

calculatrice

guide d'utilisation

Cliquez sur votre type de convection pour continuer :
(après avoir saisi toutes les informations ci-dessus)

Convection forcée externe Convection naturelle externe
Convection forcée interne Convection naturelle interne

réalisé en projet à l'IUP de PAU par ANIES G. et ARNAUD D. en 2007

Résultats obtenus :

Convection naturelle externe :

(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

Choisir la géométrie de l'écoulement (Tp=cste) :
Autour d'une plaque verticale [v]

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calcul

Géométrie de notre étude sélectionnée

Résultats :

Régime d'écoulement : Turbulent

Tref=30 [°C]
 $\beta=0,003299$ [1/K]
Visc=0,00001872 [kg/m-s]

$\rho=1,164$ [kg/m³]
 $k=0,02588$ [W/m-K]
 $C_p=1,007$ [kJ/kg-K]

Les caractéristiques du fluide déterminées à la température de référence (utilisé pour les différents calculs)

Pr=0,7282
Grashoff=3,989E+11
Rayleigh=2,905E+11
Nusselt=794,7

h = 3,428 [W/m².K]

Coefficient d'échange obtenu avec l'outil de calcul

Le mur sous l'effet du rayonnement solaire admet T_p uniforme $T_p = 40^\circ\text{C}$ alors que $T_{\text{too}} = 20^\circ\text{C}$. L'écart entre ces deux températures est responsable de la naissance de courants convectifs naturels qui suivent les circonstances laminaires ou turbulentes. C'est le Grashoff et plus souvent

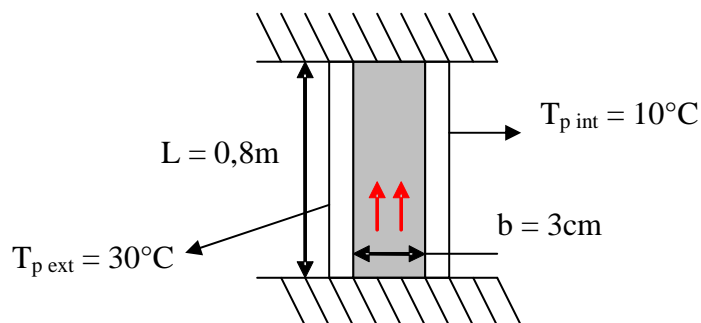
encore la valeur du Rayleigh qui permet de définir la nature du régime de ces courants. Dans notre étude on est en régime turbulent.

On constate effectivement que les coefficients h associés à la convection naturelle sont beaucoup plus faible comparativement à ceux relevant de la convection forcée. Mais ces échanges convectifs ne sont pas à négliger car il arrive souvent que l'on ai de grandes surfaces d'échanges donc des grands flux de chaleur échangés comme dans notre exemple avec les mur d'une maison où l'on détermine les déperditions thermiques subies par la maison sur cette paroi sous l'effet de la convection naturelle.

Convection naturelle interne

Fenêtre à double vitrage

Deux grandes vitres verticales sont séparées par une couche d'air d'épaisseur $b = 3\text{cm}$. La température d'une vitre est de 30°C tandis que l'autre vitre est à 10°C . Leur dimension verticale est $L = 0,8\text{m}$ et l'aire en regard de chacune d'elle vaut $S = 7\text{m}^2$.



Déterminer le coefficient d'échange de l'air emprisonné entre les 2 vitres.

Saisies des paramètres de l'exercice

Outil de détermination des coefficients d'échanges thermique

Sélectionner fluide :

Convection de type :


Température :
 Textérieure = [$^\circ\text{C}$]
 Tparoi = [$^\circ\text{C}$]

Pression du fluide : [KPa]

Longueur Caractéristique : [m]

Cas convection forcée :
 Vitesse d'écoulement

Cliquez sur votre type de convection pour continuer :
 (après avoir saisies toutes les informations ci-dessus)



Résultats obtenus :

Convection naturelle interne :
(Faites bien attention d'avoir sélectionné le bon type de convection)

ATTENTION !!!

double vitrage

Géométrie de notre étude sélectionnée

Ici $T_{\text{paroi}} = T_{\text{paroi chaude}}$ et $T_{\text{extérieur}} = T_{\text{paroi froide}}$

Aides sur les types de géométries

Retour saisie données

Calculer

Paramètre pour le cas double vitrage

Hauteur de parois pour "double vitrage"

Hauteur = 0,8 [m]

Résultats :

Les caractéristiques du fluide déterminées à la température de référence (utilisé pour les différents calculs)

Régime d'écoulement : Laminaire

$T_{\text{ref}} = 20$ [°C]

$\rho = 1,204$ [kg/m³]

$\beta = 0,003411$ [1/K]

$k = 0,02514$ [W/m-K]

$\text{Visc} = 0,00001825$ [kg/m-s]

$C_p = 1,007$ [kJ/kg-K]

$Pr = 0,7309$

Grashoff = 54241

Rayleigh = 39646

Nusselt = 1,93

$h = 1,617$ [W/m².K]

Coefficient d'échange obtenu avec l'outil de calcul

Comme pour la convection naturelle externe, l'écart entre ces deux températures, ici entre les 2 parois du double vitrage, est responsable de la naissance de courants convectifs naturels qui suivent les circonstances laminaires ou turbulents. C'est le Grashoff et plus souvent encore la valeur du Rayleigh qui permet de définir la nature du régime de ces courants. Dans notre étude on est en régime laminaire.

On constate effectivement que les coefficients h associés à la convection naturelle sont beaucoup plus faibles comparativement à ceux relevant de la convection forcée. Mais ces échanges convectifs ne sont pas à négliger car il arrive souvent que l'on ait de grandes surfaces d'échanges donc des grands flux de chaleur échangés. Comme dans notre exemple avec les doubles vitrages d'une baie vitrée où l'on détermine les déperditions thermiques subies de la maison par cette fenêtre sous l'effet de la convection naturelle à l'intérieur du double vitrage.