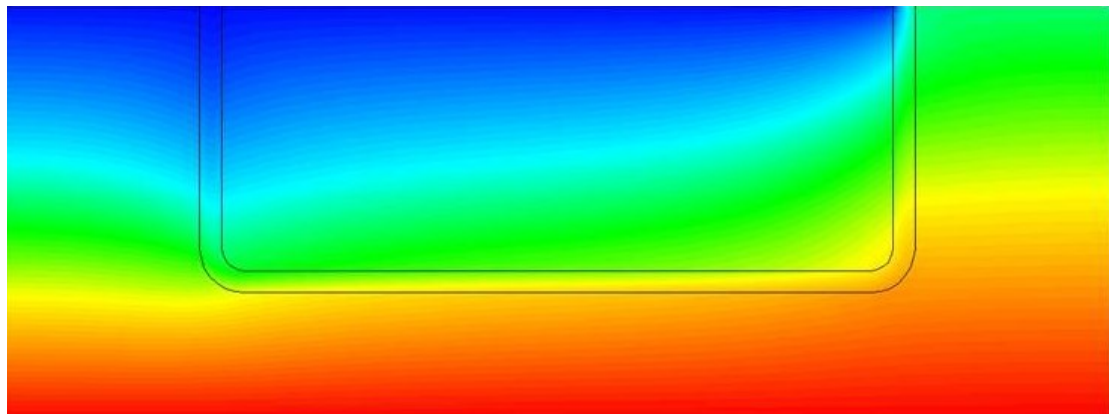


Rapport Cast3m

-

Réalisation d'un puits Canadien en conditions hivernales



ETIENNE Camille

SALGADO-FERREIRA Thomas

VERA Sébastien

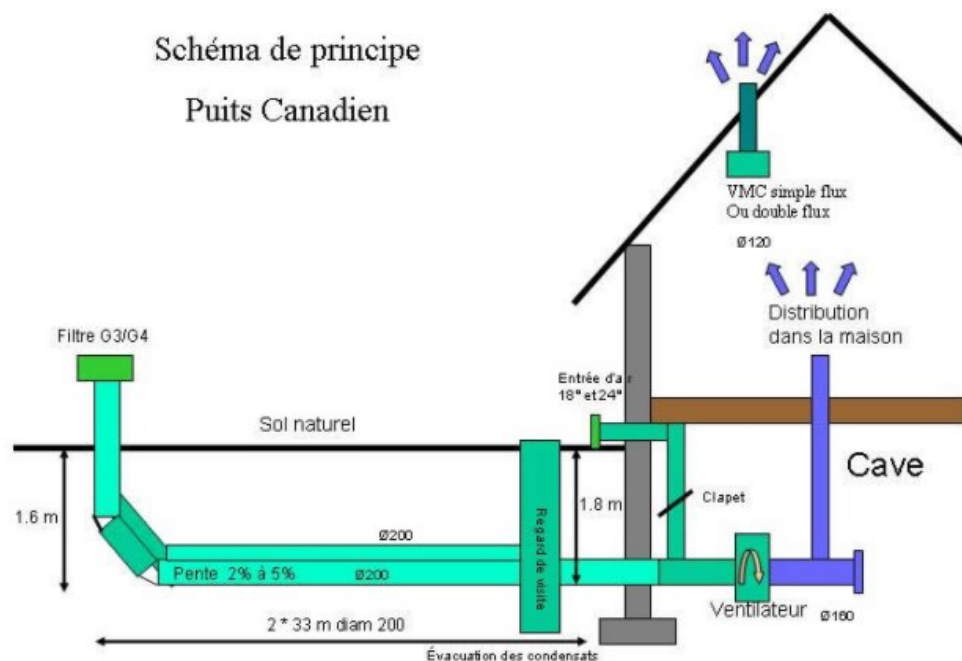
SOMMAIRE

Présentation du projet	3
Schématisation et simplification du projet	4
Géométrie du problème	4
Thermique	4
Conditions initiales	4
Conduction	5
Convection	5
Advection	5
Conditions limites	5
Schématisation du problème	6
Modélisation et étude thermique	7
Géométrie	7
Thermique	7
Conduction	7
Convection	7
Advection	8
Conditions limites	9
Assemblage	9
Problèmes rencontrés	10
Première modélisation	10
Échelle des variables	10
Opérateur advection	10
Advection au niveau des coudes du tube	10
Résultats de la modélisation et du calcul thermique	11
Résultats sur le tuyau	11
Résultats sur le tuyau et la terre	12
Interprétation des résultats	13
Conclusion	13

Présentation du projet :

Le puits Canadien est un système qui consiste à faire passer l'air neuf de renouvellement d'un bâtiment par des tuyaux enterrés dans le sol avant qu'il ne pénètre dans la structure. Cela permet :

- En hiver : Préchauffer l'air des tuyaux en passant par le sol qui est plus chaud que l'air extérieur.
- En été : De la même manière cela permet de pré refroidir l'air passant par les tubes en récupérant la fraîcheur du sol. Dans ce cas, le puit canadien est appelé un puit provençal.



Le schéma ci-dessus présente l'organisation d'un puits Canadien. Ce dernier est composé :

- D'un conduit d'air intérieur pour amener l'air neuf
- De bouches d'aération qui vont distribuer cet air neuf dans le bâti
- De ventilateurs mécaniques VMC simple/doubles flux installés dans le logement
- Des tubes collecteurs orientés vers l'extérieur à l'aide d'une sortie d'air vicié
- Des bornes de prise d'air visibles de l'extérieur
- Une entrée et sortie d'air vicié

Dans ce projet, nous nous sommes posés la question de l'influence de la température du sol sur la température de l'air à l'intérieur du conduit entrant.

Schématisation et simplification du projet :

Géométrie du problème

Nous avons choisi plusieurs hypothèses afin de réaliser au mieux notre modèle de puits canadien sur le logiciel CASTEM.

Nous avons tout d'abord créé une géométrie du problème que vous pouvez voir dans la partie dimension du projet. Cette dernière est inspirée de ceux qui sont généralement réalisés dans les maisons individuelles. Le conduit du puits canadien a une section de 160 mm, dimensions communes des conduits du commerce. Pour représenter ce puits, nous avons une partie droite du tube qui va venir capter l'air neuf à l'extérieur. Cette partie droite mesure 2m de profondeur. Nous avons ensuite un coude à 90° qui a été placé en fonction du diamètre du tube. Ce coude est relié à une partie droite de 5m de long et toujours à 2m de profondeur qui débouche sur un autre coude à 90°. Enfin la dernière partie de notre puits est une partie droite de 2m qui représente l'ascension de l'air jusqu'au logement. Dans notre modélisation, ce puits vient s'intégrer dans une section de terre de 8m de long et de 3m de profondeur. Concernant la dimension du problème étudié, nous avons décidé de travailler en 2D pour bien comprendre le fonctionnement d'un puits canadien et pour réaliser une bonne géométrie.

Cette analyse 2D présente cependant une certaine limite. En effet, dans cette configuration on ne considère qu'une coupe du puits Canadien, on néglige donc l'évolution de la température suivant le dernier axe (profondeur). Quand bien même nous donnerions une profondeur à notre système, sa représentation serait erronée. En effet, le conduit serait aussi profond que la terre dans laquelle il est placé, or nous voulons modéliser un conduit circulaire enrobé dans le sol.

Thermique

Une fois le maillage réalisé, nous avons posé le problème thermique.

Conditions initiales

$K_{SOL}=1.5 \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$;	$H_{SOL}=11 \text{ (m)}$;	$T_{sol}=12 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
$K_{AIR}=0.039 \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$;	$RHO_{AIR}=1.292 \text{ (kg. m}^{-3}\text{)}$;	$T_{ext}=0 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
$K_{SOL2}=0.5*K_{SOL} \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$;	$C_{AIR}=1.004 \text{ (kJ.m}^{-3}\text{.K)}$;	$T_{int}=5 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
	$V_{air}=0.2 \text{ (m.s}^{-2}\text{)}$;	

Conduction

Nous considérons principalement la conduction à l'intérieur de la terre. Cependant, la modélisation représentant une projection du tube, la terre "sous le tube" et "sur le tube" ne sont pas reliées. Nous avons donc ajouté une conduction supplémentaire entre ces deux morceaux de terre (comme si les deux parties étaient reliées mais avec un coefficient de conduction K_{SOL2} plus faible).

Convection

On modélise un échange thermique par convection au niveau de la terre à l'extérieur. Le coefficient de convection appliqué est H_{SOL} .

Advection

L'échange thermique à l'intérieur du tube est calculé à partir de l'opérateur d'advection. On considère les propriétés classiques de l'air ainsi que sa vitesse V_{air} que l'on peut faire varier.

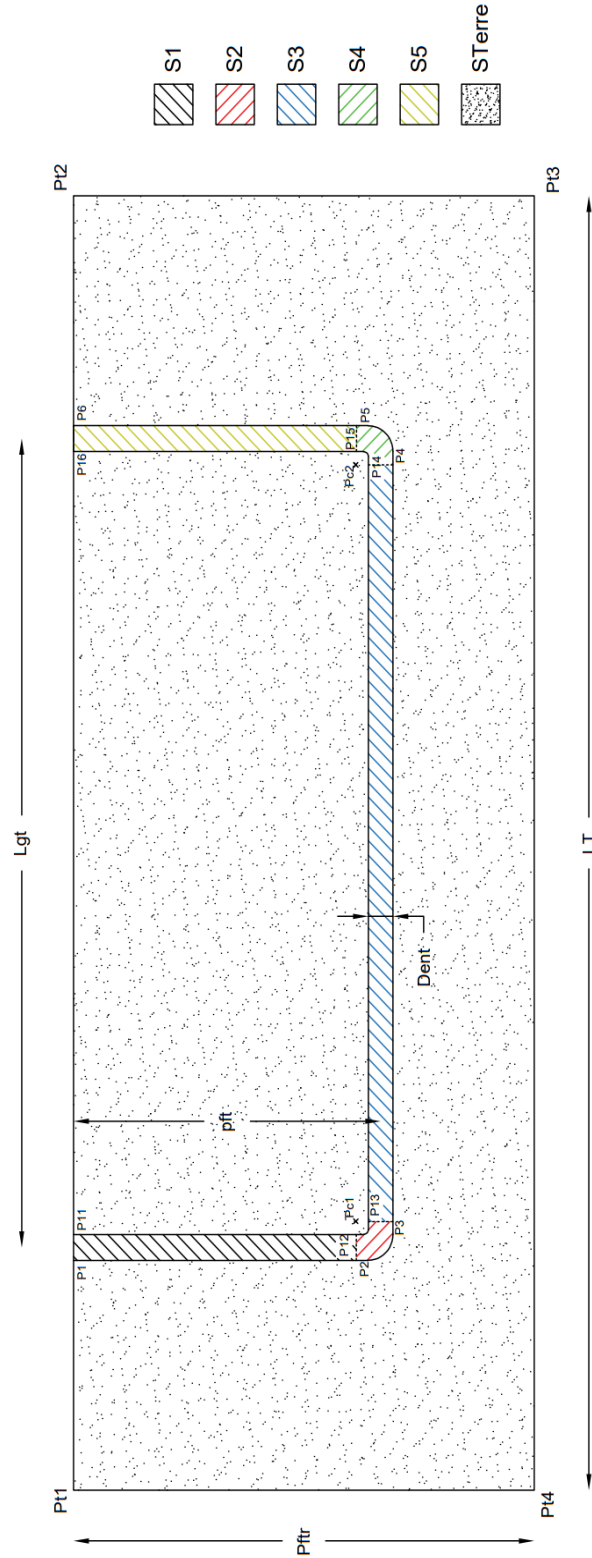
Conditions limites

Afin d'observer une représentation du problème à l'équilibre, nous fixons des conditions limites. La température extérieure est fixée à 0°C jusqu'au tube à droite.

Ensuite, nous considérons que le tube va alimenter une maison. La température à droite du tube est donc de 5°C afin de représenter la température du sol sous le plancher de la maison.

La température du sol en profondeur est fixée à 12°C .

Schématisation du problème



Modélisation et étude thermique

Géométrie

La modélisation de notre maillage s'est trouvée assez simple au début. Nous avons créé 3 vecteurs.

```
VECS1=(0.) ((-1*Pft)+(3*DextT/2));  
VECS3=(LgT-(3*DextT)) (0.);  
VECS5= (0.) ((1*Pft)+(-3*DextT/2));
```

Ensuite, nous avons translaté les droites précédemment construites en fonction de ces vecteurs et de deux rotations pour former la surface du tube.

```
S1= d1 TRANS VECS1;  
S2= d2 ROTA 90. pc1; [...]
```

Nous avons défini les surfaces de terre à partir de droites entre points ainsi que de droites issues de côtés de surfaces.

Thermique

Conduction

Nous définissons la conduction sur la surface terre comme réalisé en cours. Nous ajoutons aussi une conduction "approximée" qui serait entre la terre au-dessus et en dessous du tube.

```
STube2=S1 ET S2 ET S3 ET S4 ET S5 COUL ROUGE;  
STerreConduc= STerre ET STube2 ;  
MOD4= MODE STerreConduc THERMIQUE CONDUCTION;  
MAT4=MATE MOD4 'K' K_SOL2;
```

Convection

Comme en cours, nous définissons la convection sur les droites représentant le sol extérieur.

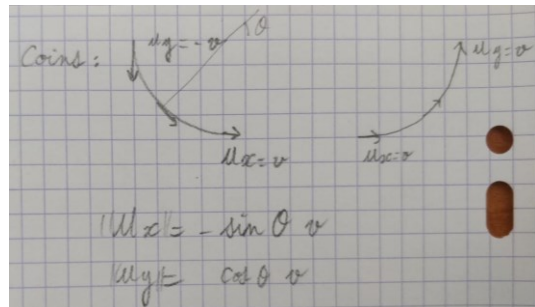
```
ConvExt1 = dt19 ET d1 ET dt6;  
MOCONV = MODE ConvExt1 THERMIQUE CONVECTION;  
MACONV = MATE MOCONV 'H' H_SOL;
```

Advection

La partie advection nous a causé plus de soucis. Nous définissons assez facilement ce paramètre sur les parties verticales et horizontales étant donné que les vecteurs de vitesse sont constants.

```
ADV1= MODE S1 THERMIQUE ADVECTION;  
MAD1 = MATE ADV1 'RHO' RHO_AIR 'C' C_AIR 'UX' 0. 'UY' (-1*V_air) 'K' K_AIR;
```

Lorsque nous avons un coude, il est nécessaire de créer un champ de vecteurs. Pour cela, nous appliquons l'advection sur la surface, ensuite, nous créons un matériau en relation. Nous définissons les coordonnées du centre du cercle (du coude), puis les coordonnées en fonction du matériau.



Ensuite, il est nécessaire de définir des vecteurs en chaque point du maillage. Nous les définissons à l'aide du rayon et des angles de chaque point. Les vecteurs doivent être pondérés par la vitesse de l'air. Enfin, il est possible d'assembler ces deux vecteurs pour former un champ de vecteurs avec deux coordonnées.

```
ADV2= MODE S2 THERMIQUE ADVECTION;  
CH2=MATE ADV2 UX 1.;  
  
xpc1=(3*DextT/2);  
ypc1=(-1*Pft)+(3*DextT/2));  
  
X2=COOR 1 CH2;  
Y2=COOR 2 CH2;  
r2= (((X2 - xpc1)**2)+((Y2 - ypc1)**2))**0.5;  
sint1=(Y2-ypc1)/r2;  
cost1=(X2-xpc1)/r2;  
Vairx1=( -1*sint1 * V_air ) NOMC 'UX';  
Vairy1= (cost1 * V_air) NOMC 'UY';  
  
CHAM2=Vairx1 ET Vairy1;
```

Finalement, nous obtenons tous les champs de vecteurs qu'on assemble dans une seule variable.

```
CHAMT=(MAD1 ET CHAM2 ET MAD3 ET CHAM4 ET MAD5);
```

Nous créons les modèles et matériaux finaux pour l'advection.

```
MOD_AIR=ADV1 ET ADV2 ET ADV3 ET ADV4 ET ADV5;  
MAT_AIR=(MATE MOD_AIR 'K' K_AIR 'RHO' RHO_AIR 'C' C_AIR) ET CHAMT;
```


Conditions limites

Afin de réaliser une condition limite (ici sur la température), on bloque un élément à l'aide de l'opérateur BLOQ. L'opérateur DEPI permet ensuite de donner une valeur à ce blocage. Nous réalisons cette opération pour les trois températures (présentées précédemment) que nous fixons dans le code.

```
COND_SOL=BLOQ dt11 'T';  
FL_SOL=DEPI COND_SOL T_sol;
```

Assemblage

Nous assemblons tous les modèles thermiques et matériaux ensemble pour la conduction-convection et l'advection. Nous les ajoutons aux éléments bloqués précédemment.

```
MOTOT=MOD1 ET MOD4 ET MOCONV;  
MATOT=MAT1 ET MAT4 ET MACONV;  
COND1=COND MOTOT MATOT;  
  
ADVE1=ADVE MOD_AIR MAT_AIR;  
  
CONDTOT= COND1 ET ADVE1 ET COND_SOL ET COND_AIR ET COND_AIRint;
```

Ici nous assemblons les conditions limites.

```
FLTOT=FL_AIR ET FL_SOL ET FL_AIRint;
```

Nous réalisons le calcul de température entre la trice de base CONDTOT et les conditions limites FLTOT.

```
TEMP1=RESOU CONDTOT FLTOT;
```

Pour conclure, nous traçons les résultats obtenus sur les surfaces souhaitées. Nous pouvons rajouter des contours pour faire apparaître la forme du tube.

```
TRAC TEMP1 STube;  
ContTot=ConTerreext ET ConTerreint;  
TRAC TEMP1 Stot;  
TRAC TEMP1 Stot ContTot;  
fin;
```

Problèmes rencontrés

Première modélisation

Lorsque nous avons réalisé la première modélisation, la première géométrie du puits, nous avons pris en compte l'épaisseur du tuyau et donc, la conduction dans l'épaisseur du tuyau. De plus, nous avons commencé par rentrer les surfaces à la main, point par point, droite par droite. Cependant, les coudes étaient modélisés de façon approximative. Nous avons ensuite changé de méthode pour la modélisation, pour la définition du maillage du puits pour la rendre un peu plus simple et rapide. Nous avons aussi simplifié la géométrie du tube en supprimant son épaisseur pour ne pas rendre compliqué le calcul thermique par la suite, de plus l'influence de ce paramètre est négligeable.

Échelle des variables

Nous sommes conscients que la modélisation du problème fixé comporte de nombreuses approximations. Lorsque nous modifions les variables comme les dimensions, la vitesse de l'air, les températures, nous obtenons des variations exploitables, mais pas des valeurs concrètes. Nous avons donc fait varier ces paramètres afin d'obtenir des résultats cohérents et intéressants. Cependant nous ne pourrions pas nous attendre à obtenir des valeurs parfaitement justes en appliquant ce programme dans une situation réelle. Il donne cependant une bonne idée des tendances que suivent les températures dans un cas similaire.

Opérateur advection

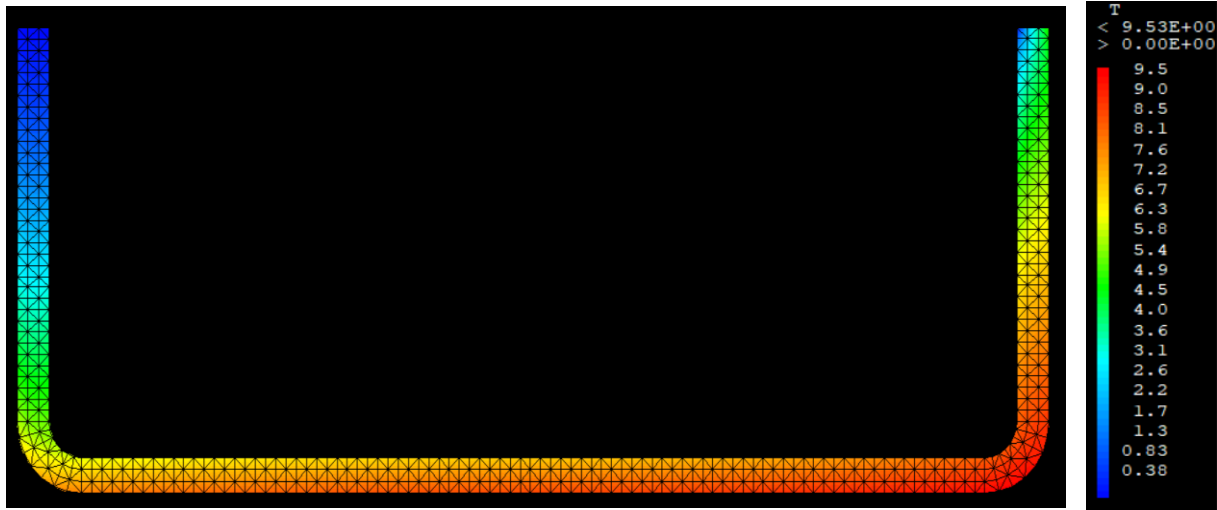
Dans notre problème de départ, nous avons de l'advection qui représente dans notre cas le transport de chaleur par le mouvement de l'air à l'intérieur du tuyau, du puits. Nous avons eu des difficultés sur cet opérateur qui était nouveau pour nous car non étudié dans les différents TD. Cet opérateur nécessite plus de données que les opérateurs Cond par exemple. Une des données à renseigner pour l'opérateur Advection est la valeur du champ de vitesse, dans notre cas selon X Y. Pour les parties droites du puits, cela n'a pas posé problème mais pour les deux coudes, un peu plus de travail et de questionnement étaient nécessaires.

Advection au niveau des coudes du tube

Comme dit précédemment, l'opérateur Advection a été une source de problème au niveau des coudes à 90° du puits. En effet, dans ces coudes, un angle rentre en compte pour exprimer entre autres les valeurs des champs de vitesse pour chaque point. Au départ, nous avons appliqué l'opérateur Advection sur les deux surfaces des deux coudes que nous avons préalablement créés mais le calcul était faux et n'avait aucun sens. Ensuite, après questionnement, nous avons utilisé les champs de points pour résoudre ce problème (voir explication du code).

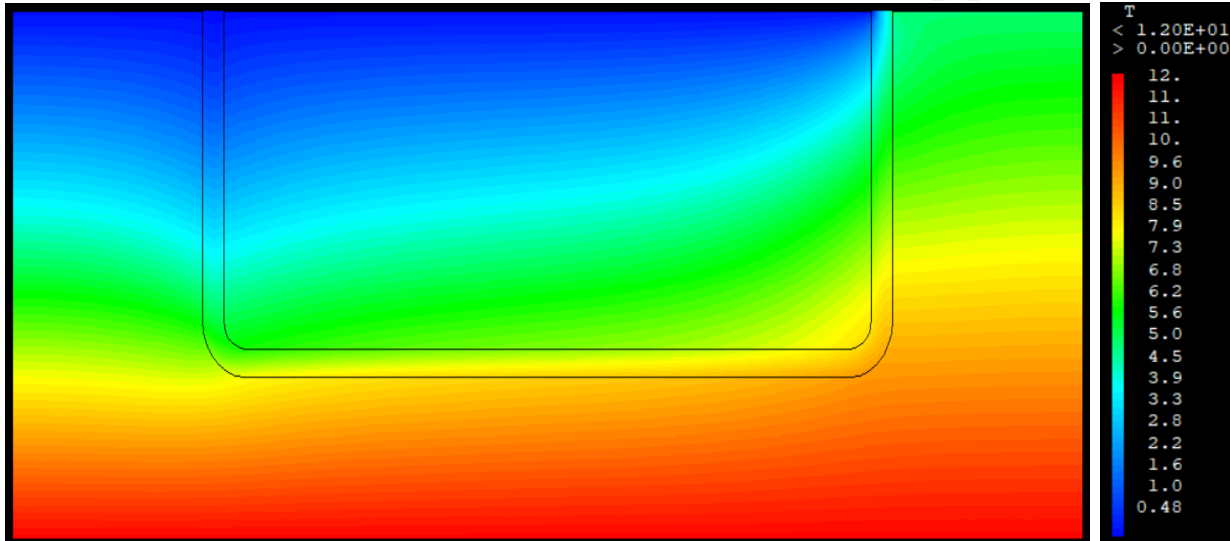
Résultats de la modélisation et du calcul thermique

Résultats sur le tuyau

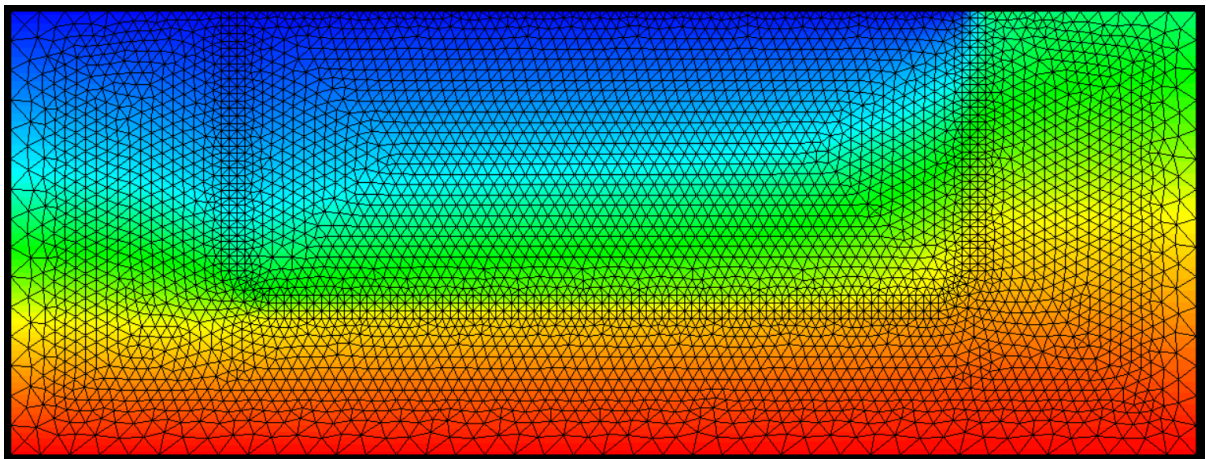


A travers cette première illustration, nous pouvons remarquer l'évolution de la température de l'air circulant à l'intérieur du puits canadien. En effet, à l'entrée de l'air neuf sur la partie gauche, la température de l'air est d'un peu plus de 0°C ce qui correspond à la température extérieure initiale. Ensuite, en profondeur et avec la chaleur de la terre, la température de l'air ne cesse d'augmenter jusqu'à atteindre une température maximale de 9.5°C dans le coude de la partie droite du tuyau. Enfin, dans la dernière partie droite du puits, la température de l'air diminue notamment à cause de la température de la terre au niveau de la surface.

Avec cette image, nous pouvons dire que notre modèle est assez cohérent, que la température de l'air à l'intérieur du puits augmente petit à petit et de manière homogène dans tout le tube. S'il n'y avait pas eu une telle condition sur la partie de droite du puits, la température aurait certes diminué par rapport à la température maximale atteinte dans le coude.



Résultats sur le tuyau et la terre



Nous pouvons donc bien voir avec ces deux images que l'influence de la température de l'air du tuyau est bien présente au niveau de la température de la terre. Cette influence est d'autant plus présente sur la partie gauche du modèle. Malgré le fait que la température de la terre augmente en profondeur, nous pouvons voir que le tube vient refroidir la température du sol sur sa première partie. De même à la fin du tube, la température de la maison est fixée et a une influence sur la température globale, mais l'air à l'intérieur du tube vient aussi réchauffer la terre à cet endroit. Enfin, cette influence s'observe au niveau du second coude où la zone rouge monte plus haut dans le sol que sur la partie de gauche.

Dans un problème réel, une tranche de tube devrait avoir la même température sur toute sa hauteur. Ici, on observe par exemple sur le tube à l'horizontale que le bas du tube est plutôt jaune-orangé et le haut vert. Une représentation avec un tube un peu isolé permettrait sûrement d'obtenir des résultats plus cohérents.

Interprétation des résultats

La modélisation de ce puits canadien nous permet tout d'abord d'obtenir une représentation de l'évolution de la température de l'air dans un puits canadien de façon cohérente.

Nous avons utilisé plusieurs approximations pour étudier ce problème. Selon nous, la plus grande est celle de la conduction entre la terre "au-dessus" et "en dessous" du tube. Nous avons donné un coefficient réducteur pour représenter l'influence entre ces deux parties. Cependant sa valeur n'a pas été calculée. Nous obtenons donc des résultats qui peuvent donner des "ordres d'idées" d'évolution, mais pas des résultats réels exploitables. Le plus intéressant serait de réaliser la modélisation en 3D afin d'enlever cette projection de la surface du tube et donc d'avoir un cylindre entouré par de la terre.

Les températures peuvent être changées arbitrairement. Nous pouvons donc obtenir des résultats d'évolution pour différentes conditions. Cependant, il faut garder à l'esprit que l'on étudie un problème à l'équilibre et que ce genre de calcul peut être limitant dans l'exacte compréhension du problème.

La vitesse réelle d'écoulement d'air dans un puits canadien est environ de 0.2m/s. Cependant avec cette valeur, nous n'observons que très peu d'évolutions de la température le long du tube. Le fait d'augmenter la vitesse (par exemple à 5m/s) permet d'observer un changement de température de l'air significatif le long du tube ainsi que dans la terre globalement. Enfin, on se rend compte que l'air en sortie se refroidit de nouveau à cause de l'influence de la terre froide en extérieur. Il faudrait rajouter une "isolation" du tube à ce niveau afin d'avoir moins d'échange par conduction à ce niveau.

Conclusion

Ce projet nous a permis d'appréhender le logiciel Castem différemment du cours. Il nous a obligé à nous débrouiller par nous-mêmes, notamment en allant chercher comment se servir des opérateurs dans la notice du logiciel. Nous nous sommes aussi inspirés d'autres codages trouvés sur internet et avons pu demander de l'aide à d'autres personnes pour le codage de notre programme.

Les résultats obtenus nous paraissent très intéressants. Ils nous donnent envie d'aller plus loin dans l'utilisation de ce codage afin de pouvoir réaliser des modélisations encore plus précises et représentatives de la réalité.