

Introduction :

Les échangeurs énergétiques verticaux sont des ouvrages dont le comportement thermique est assez complexe, à cause de l'interaction avec le sol, qui ne peut pas être une science exacte, à cause des faibles différences de températures auxquelles on a affaire.

En outre, de tels systèmes, qui peuvent favorablement être couplés à un système solaire, font appel à un nombre bien plus élevé de disciplines que la plupart des installations énergétiques.

Pour ça il faut disposer des programmes de dimensionnement et de simulation numérique nécessaires pour dimensionner avec précision de tels ouvrages et simuler leur comportement en exploitation sur de nombreuses années.

Le logiciel Fluent bien réputé et connue pour ça précision a donc était choisi pour faire l'étude numérique au sein du capteur vertical. Les résultats exposés dans ce chapitre, sont issues donc de deux simulations réalisées, une première pour la validation de notre modèle qui est purement thermique, et une deuxième simulation qui est thermique et dynamique.

Les parties de cette simulation sont exposées de la façon suivante :

- ❖ effet du maillage.
- ❖ étude thermique pour validation.
- ❖ étude thermique et dynamique.

V.1.Effet du maillage :

On a choisit à représenter tout les matériaux, chacun par un domaine de calcul. Le maillage adopté est hybride triangulaire et quadrilatéral représenté sur les figures suivantes. Ce type de maillage a été utilisé par des chercheurs suédois dans l'étude numérique de la convection naturelle dans un échangeur de chaleur vertical géothermique avec courant des nappes d'eau souterraine. [46].

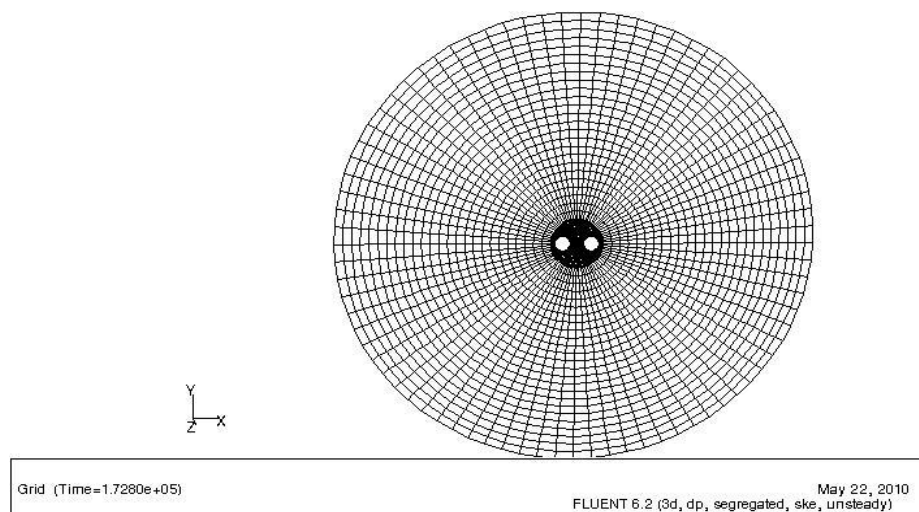


Figure V.1 : Maillage structuré du domaine sous-sol (terre).

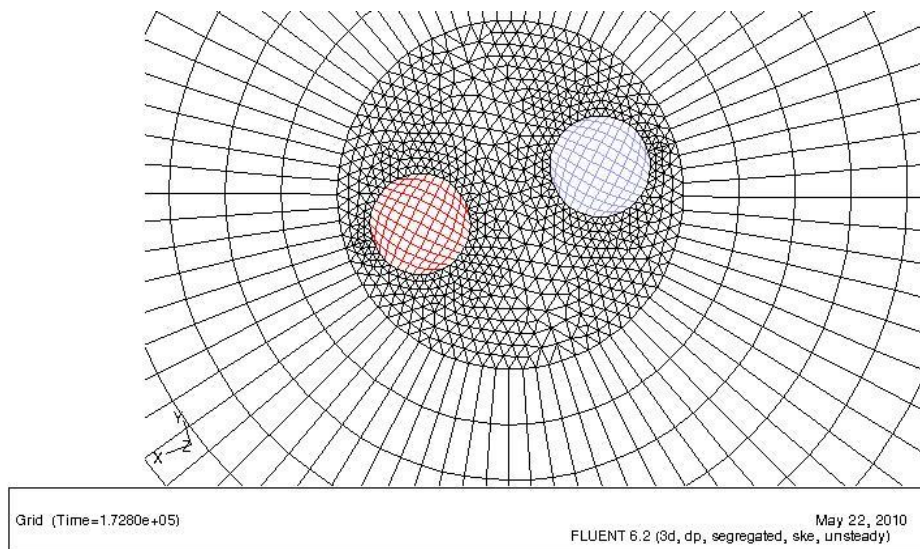


Figure V.2: Maillage hybride des domaines de calcul.

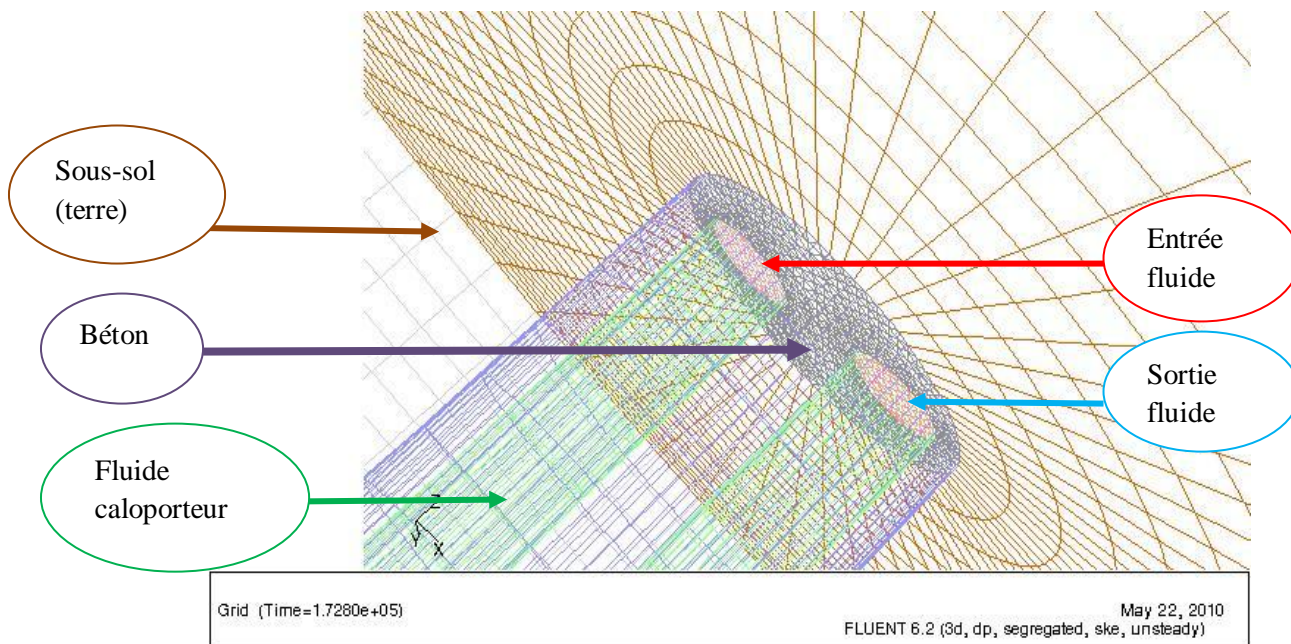


Figure V.3 : Les différents domaines de calcul de l'échangeur vertical.

V.2. Etude thermique pour validation:

Concernant l'analyse du modèle 3D élaboré sous Fluent, nous avons considéré dans un premier temps un modèle sans le domaine de calcul du fluide caloporteur et un champ de 3 m de rayon de terre avec un seul forage et un tube en U en son centre.

Le régime final établi est obtenu après une période de 700 heures (1 mois), où le béton et la terre ont 10°C comme température initiale et où un flux constant de 300 W/m² est imposé à

la paroi du tube en U. L'évolution de différentes grandeurs physiques peut donc être déterminée.

L'analyse thermique de l'échangeur énergétique vertical (système de stockage d'énergie), nous a conduites au suivant.

V.2.1. Validation du modèle :

Nous avons calculé l'évolution de la température de la paroi béton du pieu énergétique dans une durée de 700 h (1mois), en la comparons avec celle de Eui-Jong Kim et al [24], en prenant la même échelle sur le même graphe, ce qui remarqué, c'est qu'il y a une très bonne concordance entre les deux résultats présentés.

La température a donc augmenté de 10°C (température initial) jusqu'à une température de 21°C ou elle se stabilise.

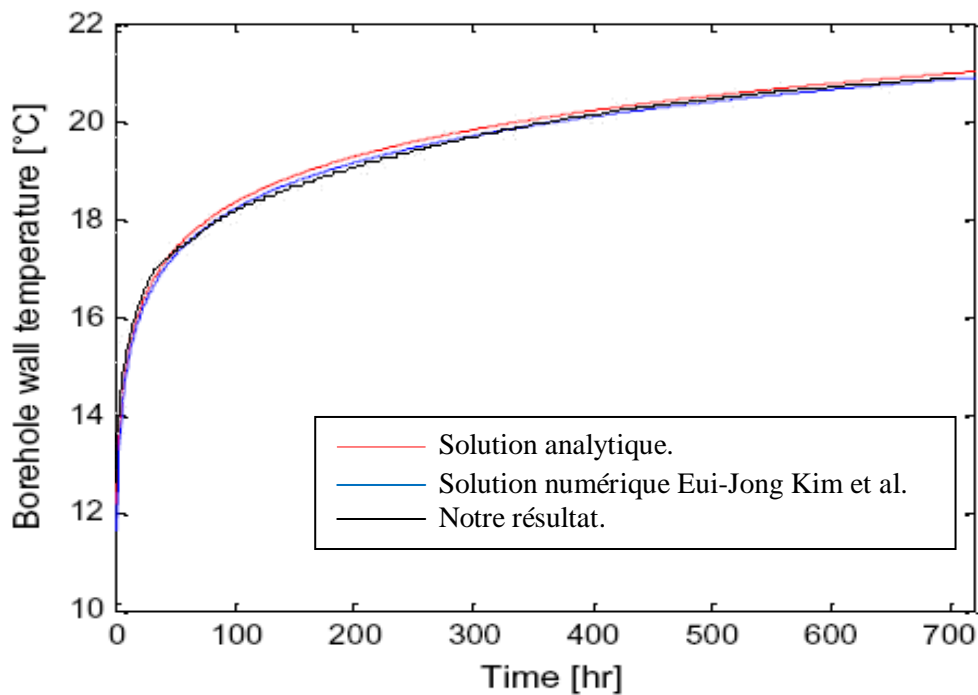


Figure V.4 : Comparaison de l'évolution de la température de la paroi béton de l'échangeur vertical entre les différents modèles analytique et numérique.

V.2.2. évolution de la température dans l'échangeur de chaleur vertical :

Sur la figure V.5 des contours de températures de l'échangeur énergétique vertical on remarque une dégradation de température du rouge vers le bleu, de tel façon que le rouge signifie la zone la plus chaude dans ce cas la paroi du tube en U, et le bleu la zone la plus froide ici les couche du sous-sol les plus proche des limites extérieures du domaine de calcul.

Ainsi sur un contour de température on peut évaluer la température de n'importe qu'elle maille des domaines de calcul, par le faite de la pointé avec la souris du micro-ordinateur, et sa valeur sera affiché automatiquement sur l'interface de Fluent.

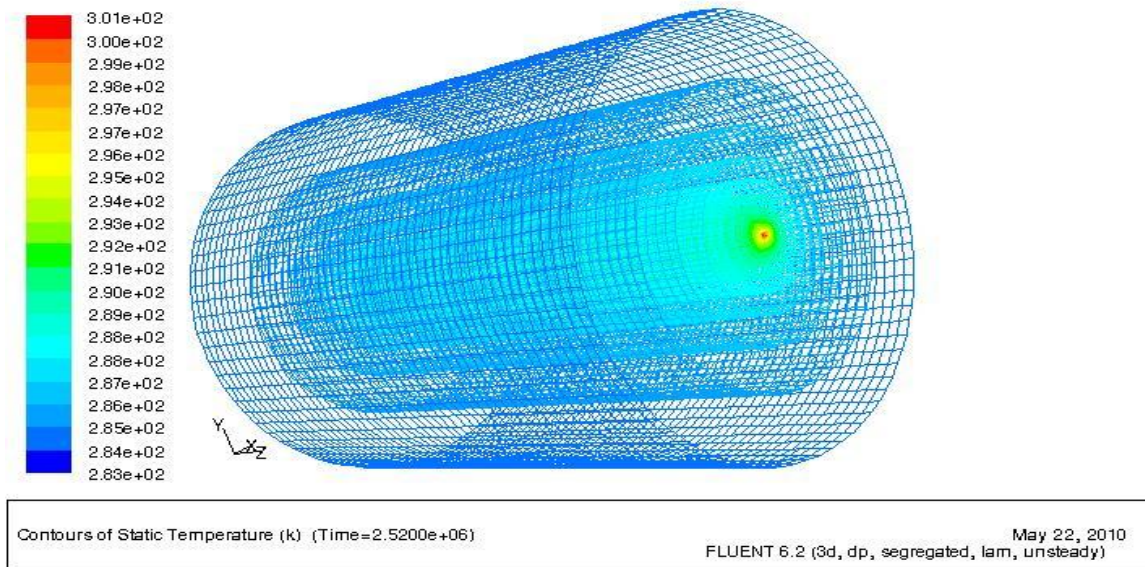


Figure V.5 : Contours de températures de l'échangeur énergétique vertical.

V.2.2.1. Evolution de la température du tube en U :

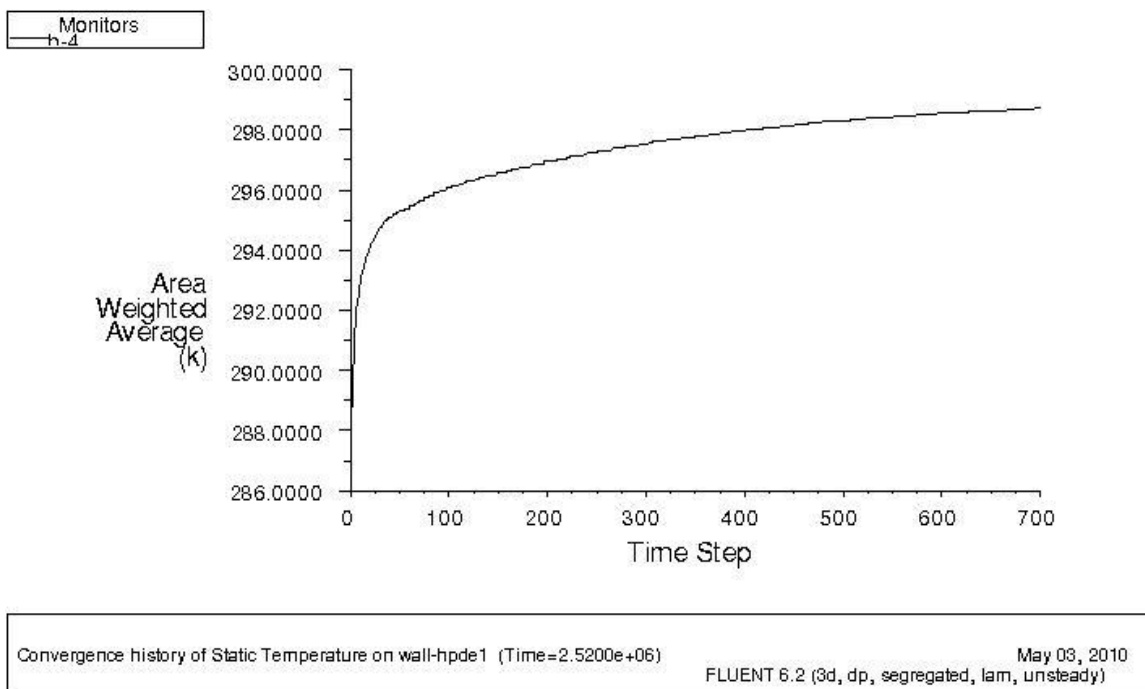


Figure V.6 : Evolution de la température du tube en U.

La température moyenne du tube en U augmente jusqu'à la température de 25°C après 700 h, en comparaison avec la température de la paroi béton de l'échangeur énergétique (21°C) après le même temps de calcul, la première constatation c'est qu'il y a propagation horizontale de la chaleur et que la température diminue en s'éloignent tu centre du forage.

V.2.2.2. Distribution de température dans les surfaces intérieures :

Plus pratique encore pour étudier la distribution de la température sur une surface perpendiculaire au tube, on a créé 2 surfaces sous fluent suivant le plan (y, z) et (x, z) situé au centre de la tranche tel que l'axe des z est le centre des deux surfaces comme est montré sur les figures suivantes :

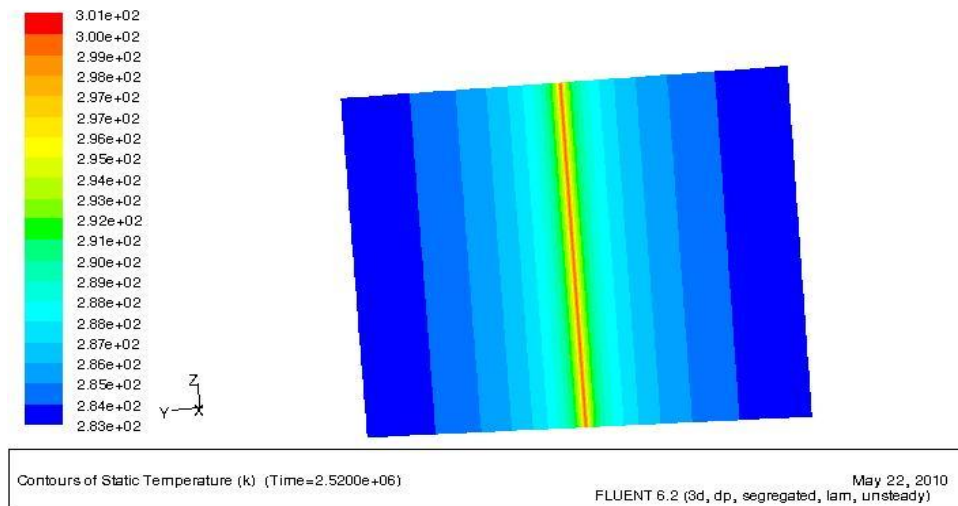


Figure V.7 : Contour de la température sur la surface (y, z).

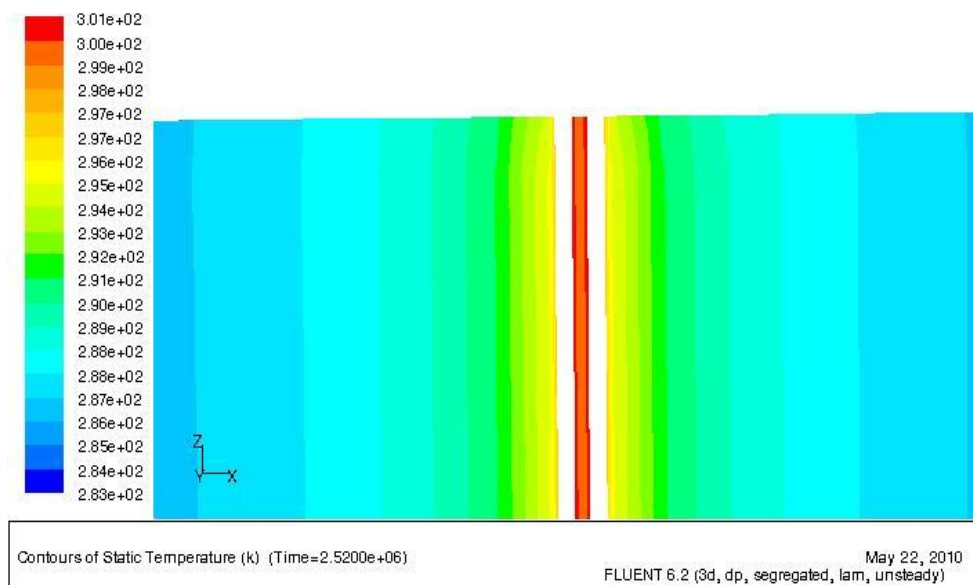


Figure V.8 : Contour de la température sur la surface (x, z).

Les courbes de la distribution de température correspondantes à ces deux surfaces, ont une forme conique comme le montre les figures suivantes :

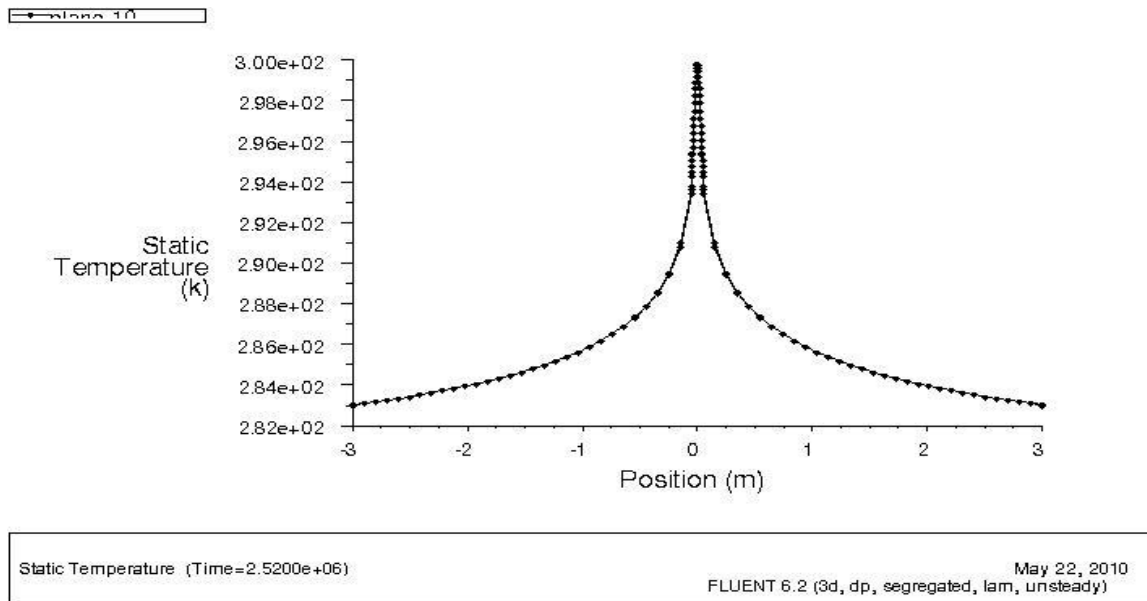


Figure V.9 : Distribution de température sur la surface (y, z).

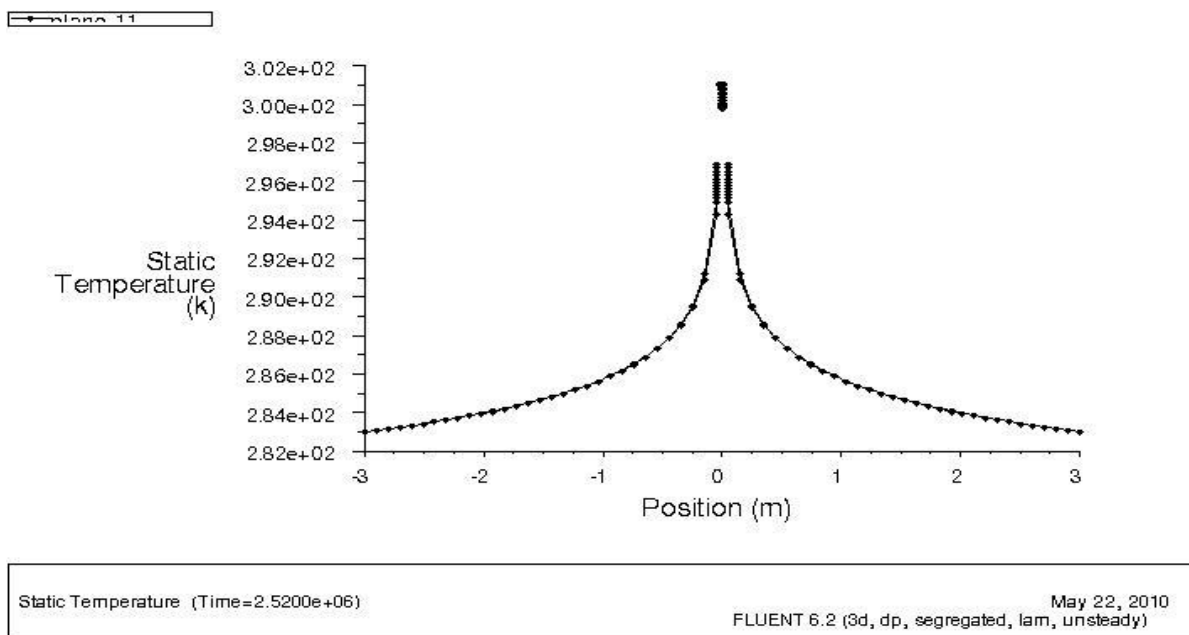


Figure V.10 : Distribution de température sur la surface (x, z).

- la température maximale est au centre de l'échangeur énergétique vertical à une valeur de 28°C.
- la température diminue de la valeur de 28°C à 10°C en fonction du rayon qui varie de 0 à +/- 3 m, de tel façon que plus en s'éloigne du centre plus la température diminue.

V.3. Etude thermique et dynamique:

Concernant cette étude, nous avons considéré comme deuxième approche le modèle complet élaboré avec le domaine de calcul du fluide caloporteur plus un champ de 0.3 m de rayon d'influence avec un seul forage et un tube en U en son centre.

En réalité, et sur le champ pratique, dans un système de stockage d'énergie solaire équipé d'un capteur vertical enterré le système reçoit à l'entrée du tube en U un fluide caloporteur à une certaine température avec un débit massique ou volumétrique constant.

Les paramètres ajoutés dans cette simulation sont tirés des travaux de Weibo Yang et al [16] qui sont les suivantes :

- 1- Un débit d'eau (fluide caloporteur) q_m égale à 0.3 Kg/s. ainsi la vitesse est égale à $U=0.373\text{m/s}$.
- 2- La température d'entrés fluide est égale à 300°K .

Dans cette deuxième simulation les calculs sont faits pour la même période qui est de 700h avec un pas de temps de 1 heure, l'évolution de différentes grandeurs physiques peuvent donc être déterminée.

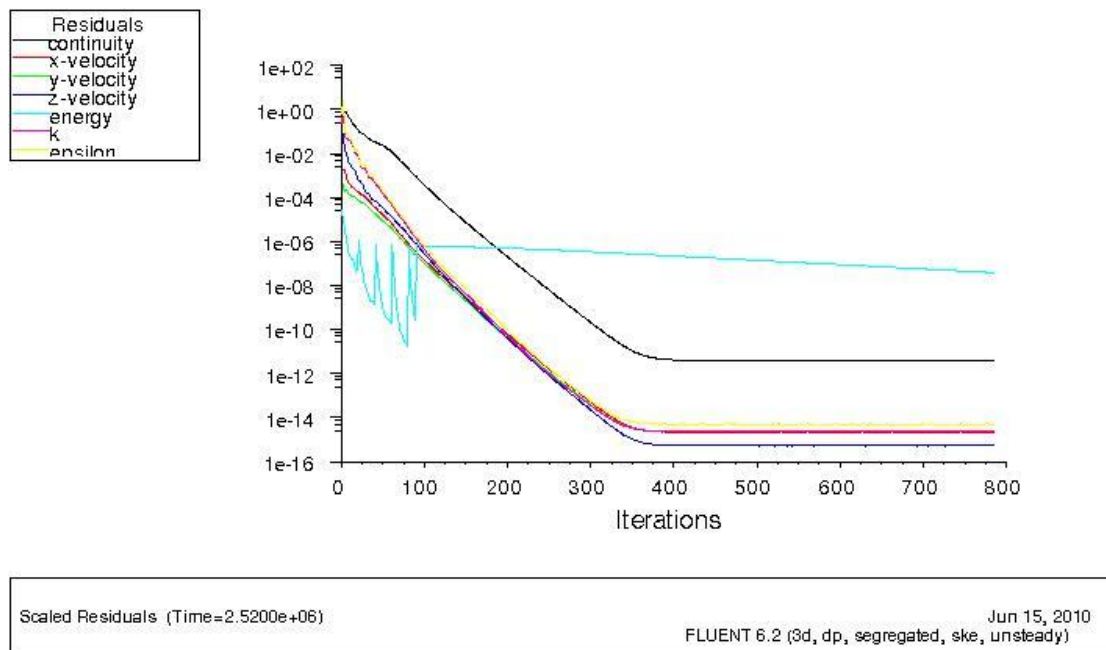


Figure V.11 : Allures de l'évolution des résidus de calcul.

V.3.1. Etude thermique :

V.3.1.1. Résultats à la paroi béton de l'échangeur énergétique :

V.3.1.1.1. évolution de la température :

On remarque sur la courbe de l'évolution de température qu'elle a la même allure que celle de la courbe de validation, et que la température augmente de 288°K (15°C) jusqu'à une température de 294°K (21°C) ou elle se stabilise.

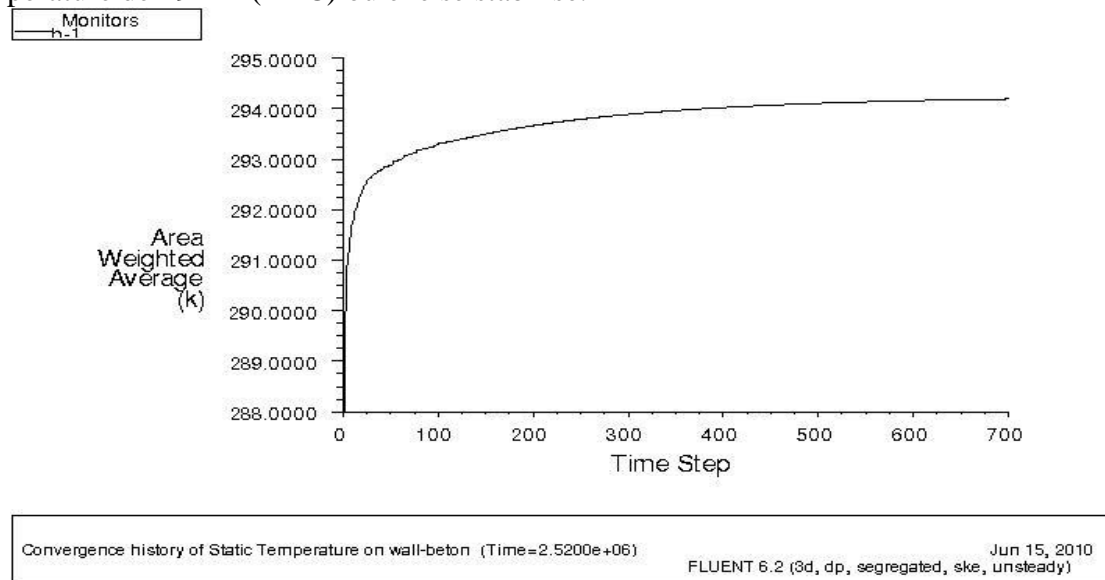


Figure V.12 : Evolution de la température de la paroi béton de l'échangeur énergétique.

V.3.1.1.2. évolution du flux de chaleur :

Le flux de chaleur de la paroi béton, diminue de 270 W/m² jusqu'à la valeur de 175 W/m² et se stabilise.

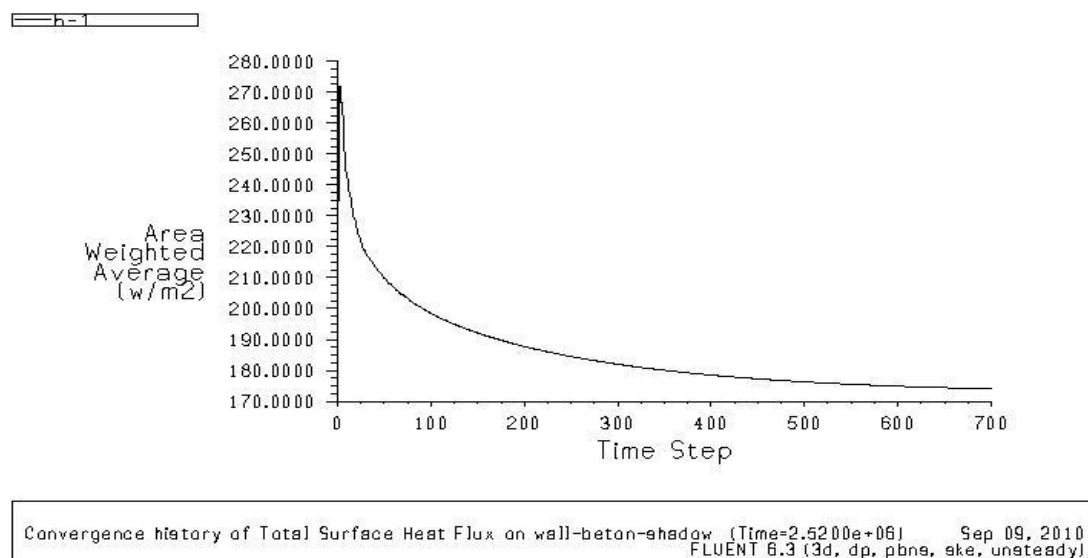
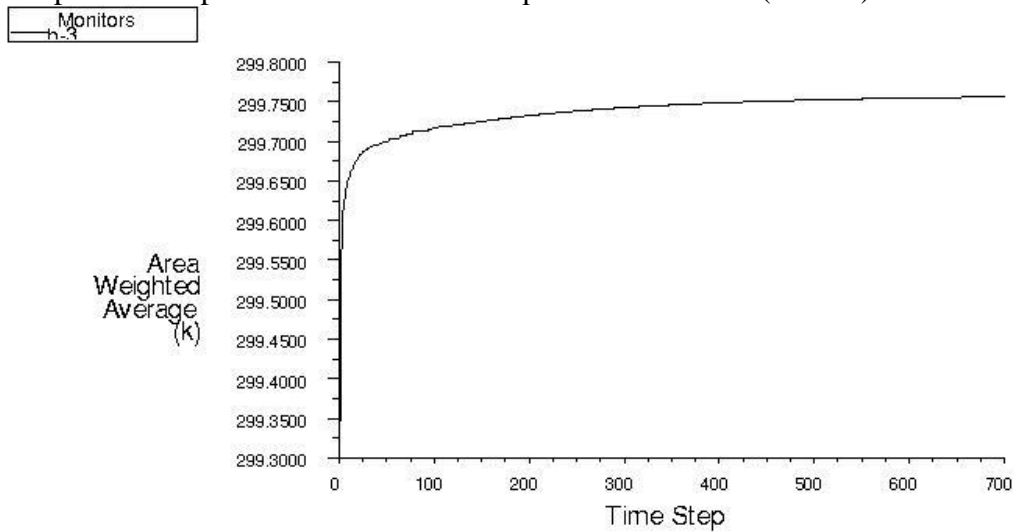


Figure V.13 : Evolution du flux de chaleur de la paroi béton de l'échangeur énergétique.

V.3.1.2. Résultats a la paroi du tube en U :

V.3.1.2.1. évolution de la température :

On remarque sur la courbe que la température du tube en U est un petit peu inférieure à la température imposée a l'entrée du tube qui est de 299.7°K (26.7°C).

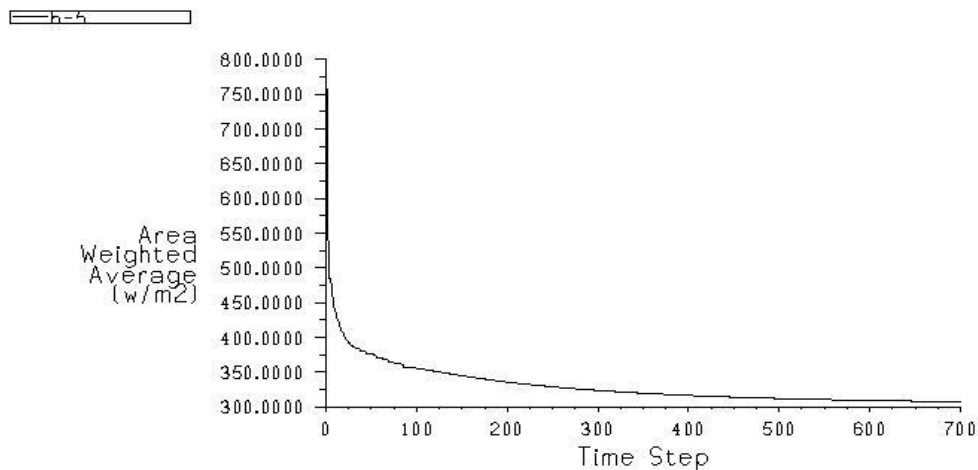


Convergence history of Static Temperature on wall-hpde-in (Time=2.5200e+06) Jun 15, 2010
 FLUENT 6.2 (3d, dp, segregated, ske, unsteady)

Figure V.14: Evolution de la température du tube en U.

V.3.1.2.2. évolution du flux de chaleur :

De ce qui est évolution du flux de chaleur, celui-ci diminue de 750 W/m² jusqu'à la valeur de 300 W/m² valeur utilisé par Eui-Jong Kim et al [24] ou elle se stabilise.



Convergence history of Total Surface Heat Flux on wall-hpde-in-shadow (Time=2.5200e+06) Sep 10, 2010
 FLUENT 6.3 (3d, dp, pbn, ske, unsteady)

Figure V.15 : évolution du flux de chaleur du tube en U.

V.3.1.3. Résultats de la distribution de températures dans les surfaces intérieures :

Pour étudier la distribution de la température sur une surface perpendiculaire au tube, on a créer 2 surfaces sous fluent suivant le plan (y, z) et (x, z) situé au centre de la tranche tel que l'axe des z est le centre des deux surfaces (figure V.18 et V.19) , et pour étudier la distribution de température sur ces surfaces a différentes profondeurs on a créer 3 lignes pour chaque surface aux profondeurs $z= -1,-2.5,-4.5$ m.

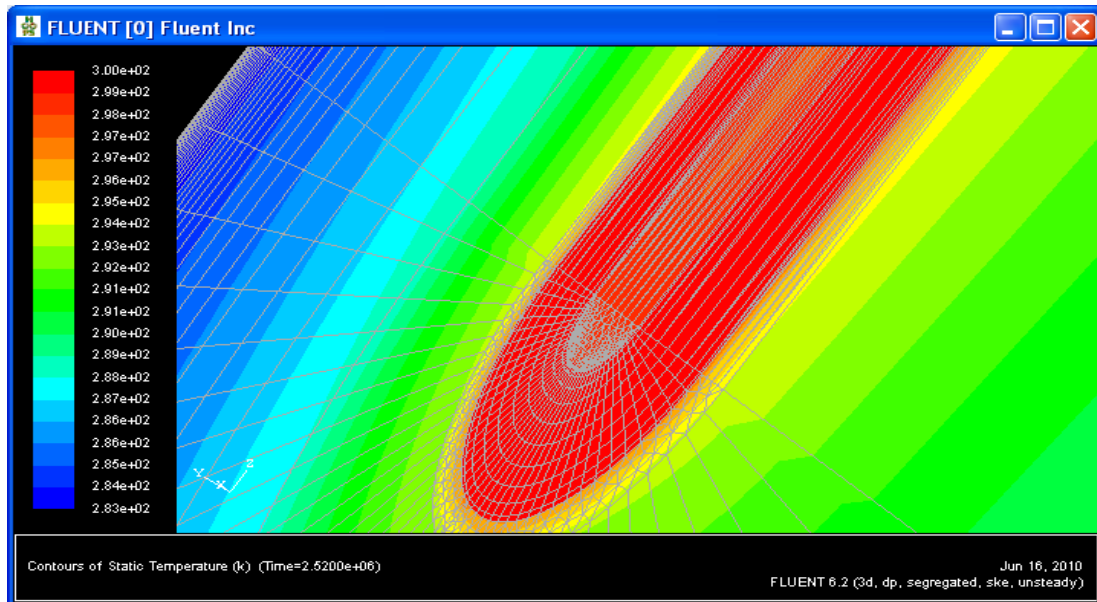


Figure V.16 : Distribution de la température sur la surface (x, z).

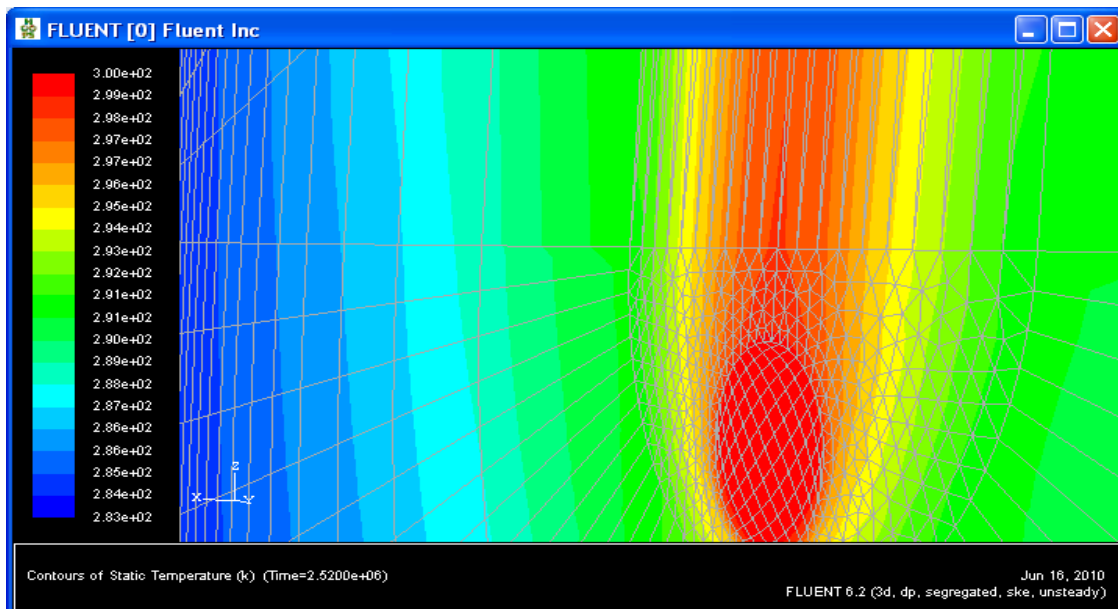


Figure V.17 : Distribution de la température sur la surface (y, z).

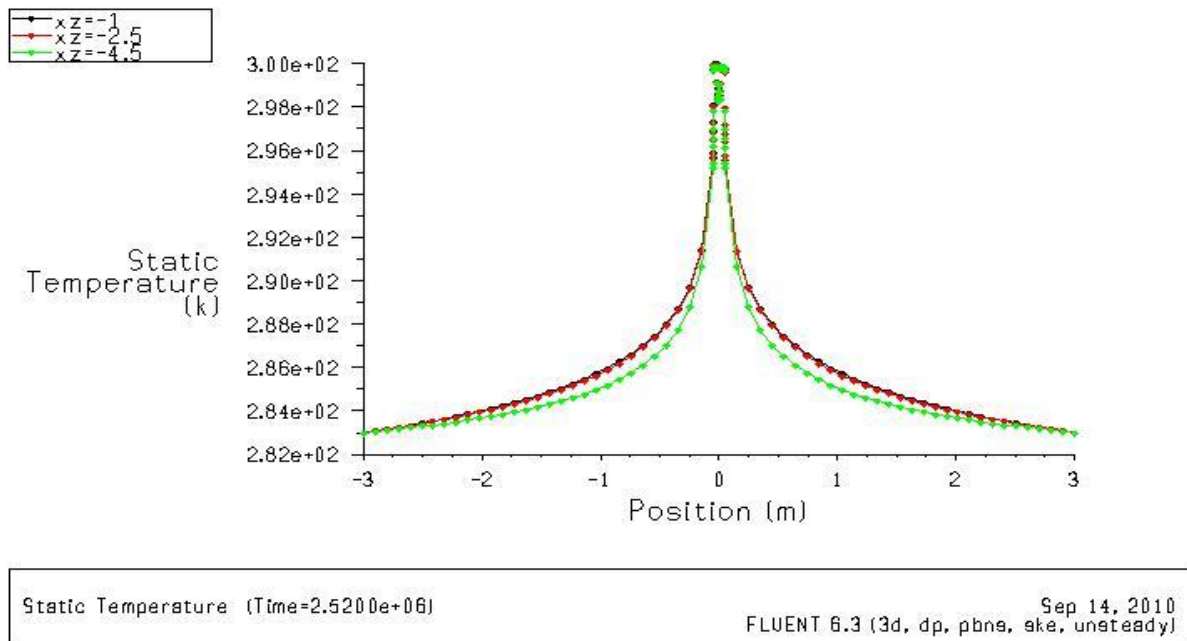


Figure V.18 : Distribution de température a z=-1,-2.5,-4.5m suivant l'axe des x.

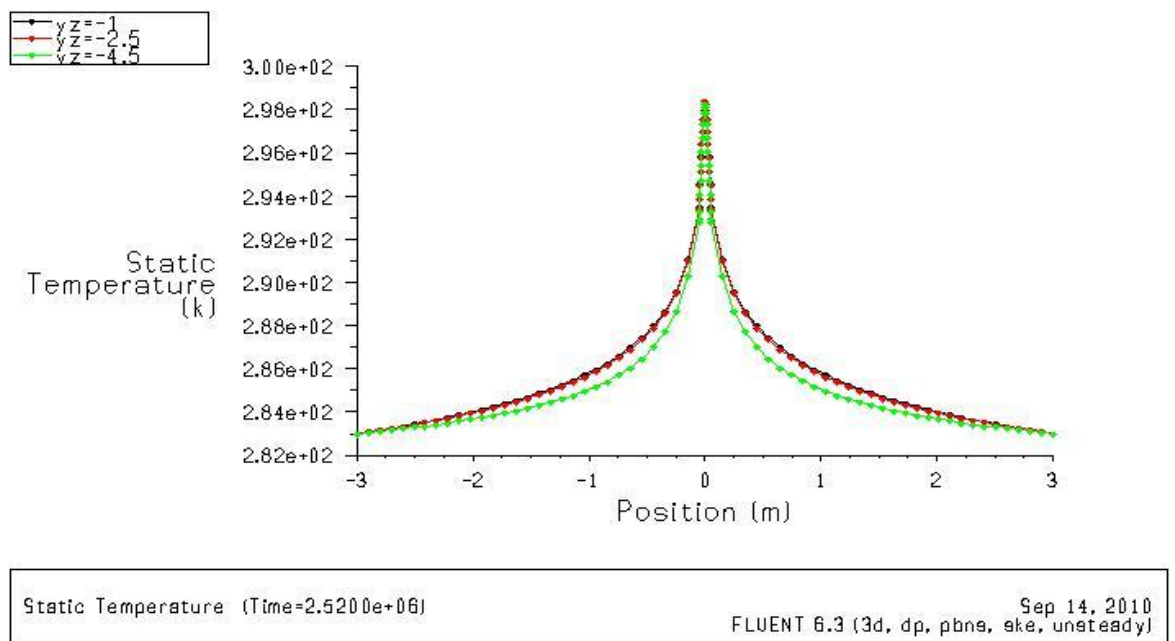


Figure V.19 : Distribution de température a z =-1,-2.5,-4.5m suivant l'axe des y.

- la température maximale au centre du pieu énergétique à une valeur de 25°C.
- la température diminue de la valeur de 25°C à 10°C en fonction du rayon qui varie de 0 à +/- 3 m, de tel façon que plus en s'éloigne du centre du pieu énergétique plus la température est inférieure.
- La température d'un point donnée caractérisé par des coordonnées (x, y) change suivant la coordonnée z, ceci apparait dans le décalage entre les point des courbe, ce qui veut dire que la distribution de la température autour du tube en U change avec la profondeur, a la différence de la méthode de l'injection de chaleur ou tous les point sont confondus.

V.3.2. Etude dynamique :**V.3.2.1. influence de la vitesse du fluide caloporteur :**

Le fluide caloporteur utilisé est l'eau, dont les propriétés sont définies dans le chapitre 4 tableau IV.2. La première chose à faire c'est de vérifier la continuité et le sens de l'écoulement. Sous Fluent l'option display vectors nous a donné le résultat qui figure sur la courbe suivante. Les flèches descendantes en provenance de l'entrée et ascendante vers la sortie nous assure le bon sens de l'écoulement ajouté a cela les flèches qui suivent la forme du coude ceci confirme la continuité de l'écoulement.

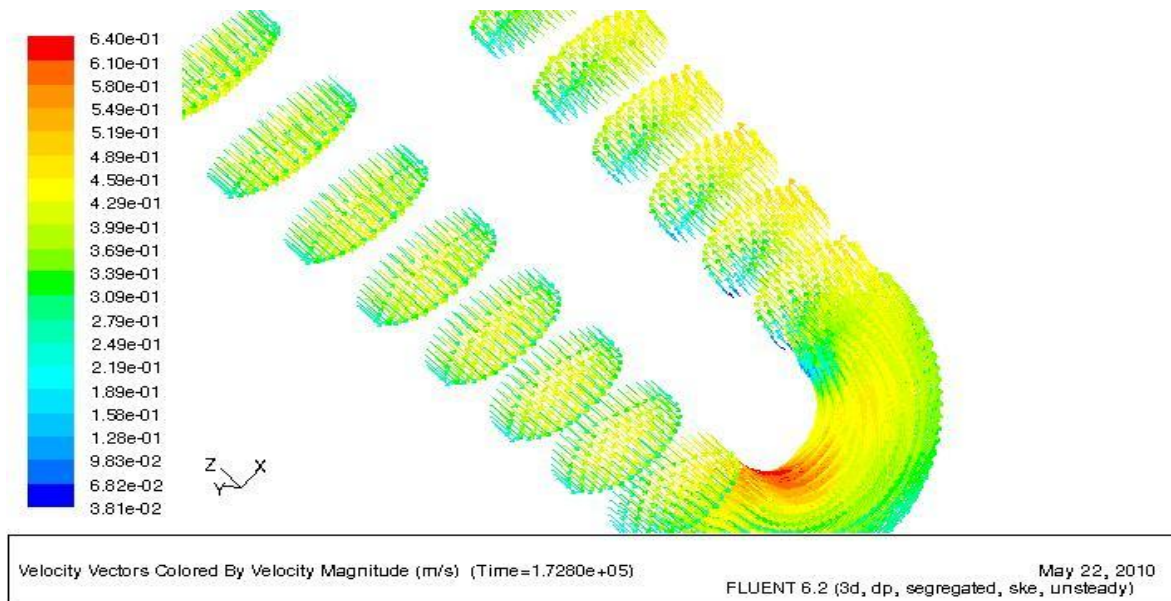
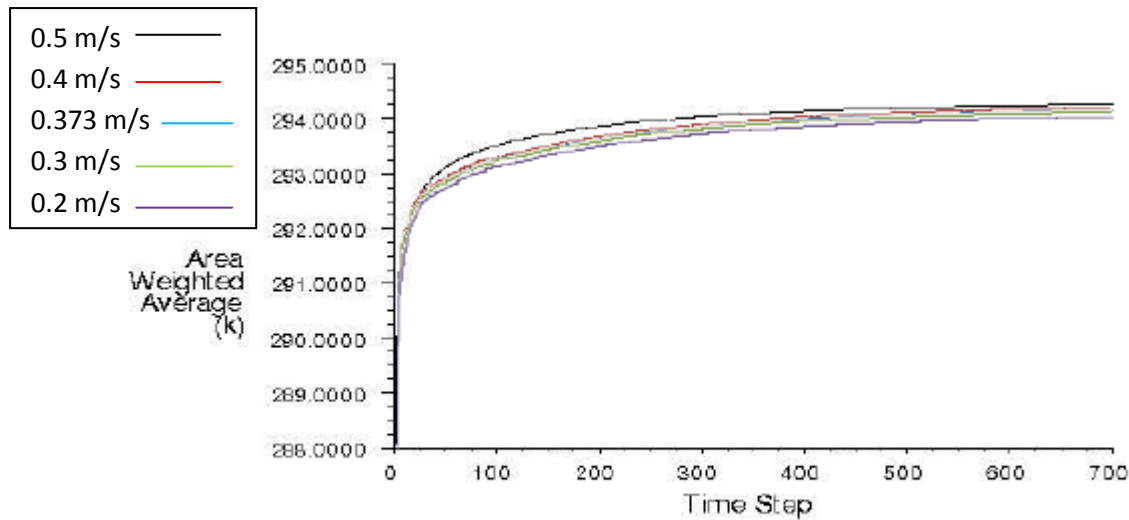


Figure V.20 : Continuité et sens de l'écoulement fluide.

Pour étudier l'influence de la vitesse du fluide caloporteur sur la recharge thermique du sol, on a fait les calculs pour 5 vitesses différents qui sont les suivantes :

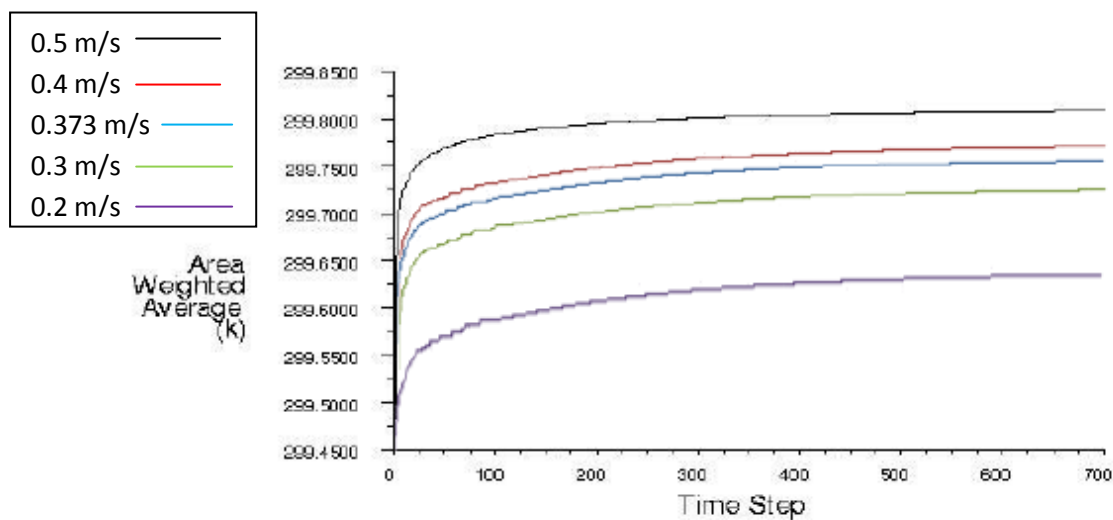
- $U_1=0.2$ m/s avec $Re=6388$ (I.T=5.3%)
- $U_2=0.3$ m/s avec $Re=9582$ (I.T=5%)
- $U_3=0.373$ m/s avec $Re=11914$ (I.T=4.9%)
- $U_4=0.4$ m/s avec $Re=12776$ (I.T=4.9%)
- $U_5=0.5$ m/s avec $Re=15971$ (I.T=4.7%)

Ensuite on a calculé la température de la paroi du béton de l'échangeur énergétique vertical et celle du tube en U les résultats trouvés sont sur les figures suivantes :



Convergence history of Static Temperature on wall-beton (Time=2.5200e+06) FLUENT 6.2 (3d, dp, segregated, ske, unsteady) Jun 17, 2010

Figure V.21 : Evolution de la température de la paroi béton de l'échangeur énergétique pour différentes vitesse du fluide caloporteur.



Convergence history of Static Temperature on wall-tpde-in (Time=2.5200e+06) FLUENT 6.2 (3d, dp, segregated, ske, unsteady) Jun 17, 2010

Figure V.22: Evolution de la température du tube en U pour différentes vitesse du fluide caloporteur.

On remarque sur ces courbes que plus la vitesse du fluide caloporteur augmente plus la température des parois augmente, ceci a cause de l'augmentation de la turbulence du fluide qui est à l'origine de l'augmentation de l'échange thermique, mais cette augmentation n'est pas importante (inferieur a 0.5°C) ce qui nous conduit a dire que utilisé une vitesse faible pour la recharge du sol, est plus recommandé dans la mesure ou l'énergie consommé par la pompe de recirculation est moins importante et que, utilisé d'autre moyen pour augmenté la turbulence dans le tube en U, tel que des ailettes serai plus intéressant.

IV.4. Conclusion :

Au cours de ce chapitre nous avons pu voir les résultats de deux simulations. La première purement thermique qui consiste à appliquer un flux de chaleur constant sur les parois du tube en U. Cette simulation nous a permis de valider notre modèle en comparant nos résultats avec les résultats analytique et numérique calculés par Eui-Jong Kim et al [24].

Nous nous sommes intéressés ensuite dans une deuxième partie à une simulation dynamique et thermique du comportement d'un échangeur vertical destiné au stockage de l'énergie solaire.

Pour les simulations effectuées, les remarques qu'on peut faire sont les suivantes :

- L'évolution de la température en fonction de la position montre que le béton dans un échangeur vertical géothermique est indispensable pour la stabilité et la rigidité du tube en U, d'une part, et pour l'augmentation du transfert thermique d'autre part. Etant donné que c'est un matériau à une capacité thermique massique et une densité plus grande que celles du sous-sol.
- La distribution de la température en fonction de la position montre la capacité du sous-sol réservé pour le stockage de l'énergie thermique qui est inversement proportionnelle à la diffusivité du sol. Autrement dit, plus la diffusivité thermique du sol est élevée, plus l'amortissement de température sera faible.
- La distribution de la température en fonction de la position montre aussi que la méthode de Eui-Jong Kim et al [24] donne des isothermes parallèles à l'axe z (profondeurs) dans un échangeur vertical, alors qu'on remarque dans la deuxième simulation que la distribution de la température autour du tube en U change avec la profondeur.
- L'augmentation de la vitesse du fluide dans un tube en U lisse dans l'objectif d'augmenter l'échange thermique n'est pas significative. L'utilisation des ailettes internes nous apparaît comme une solution meilleure en perspective.
- La recharge du sol est très lente, ceci à cause des valeurs de la conductivité thermique du béton et du sous sol relativement faibles.