

Université ABBES LAGHROUR Khenchela



جامعة عباس لغرور خنشلة
Faculté de Sciences et Technologie
كلية العلوم و التكنولوجيا
Département de Génie Mécanique
قسم الهندسة الميكانيكية



Mémoire

de fin d'études Pour l'obtention du diplôme
de MASTER (LMD)

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Thème

**Etude thermo-énergétique d'un
Echangeur géothermique vertical**

Réalisé par :

BAHTOUNE MOHAMED

Président : M CHEHAT A MAJID

Examineur : M GHILENI LAALA

Dirigé par : M MESAOUDI AISSAM

Année universitaire : 2018-2019

Remerciements

Aujourd'hui et après avoir achevé ce modeste travail qui n'aurait pu être mené à terme sans la bénédiction divine, je tiens à exprimer très chaleureusement ma grande gratitude et ma profonde reconnaissance à mon directeur de recherche **M MESAOUDI AISSAM** pour sa disponibilité, ses orientations et ses conseils qui m'ont été un appui pour la réalisation de ce travail.

Qu'il me soit permis de remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce mémoire ainsi pour leurs remarques qui viennent l'enrichir.

A tous mes enseignants du cursus, à leur tête : **M MONSOURI, M SID, M GROUNE, M HIMEUR, M GHILANI, M ABOUDI, M CHERMIM, Mdm BICHA, M BOULEHROUZ, M GHILENI, M CHEHAT, M CHIHAOUI, M FELLEH, M KHADRAOUI, M CHITOUR, M BERKIA, M MEDDOUR, M KESSAM, M ALAOUI**, ceux dont leur présence, efforts et informations ont été, pour moi ainsi qu'à tous les étudiants, un chemin vers le savoir.

A tous les étudiants de ma promotion « classe cm », un sincère souhait de réussite et de bonheur.

Dédicace

A ma petite famille

Mon épouse

Mes enfants : Mahdi

Marwa

Miled

Hidaya

QUE DIEU LES BENISSE

Sommaire

Sommaire

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	2
<u>CHAPITRE I: GENERALITES SUR L'ENERGIE GEOTHERMIQUE</u>	4
I.1.Introduction.....	5
I.2.Définition de la géothermie.....	5
I.3.Les différents types de la géothermie.....	6
I.3.1. la géothermie à haute énergie.....	6
I.3.2. la géothermie à basse énergie.....	7
I.3.3. la géothermie à très basse énergie.....	7
I.4.La géothermie dans le monde.....	7
I.5.La géothermie en Algérie.....	10
I.5.1.L'exploration.....	11
I.5.2.Les zones géothermiques en Algérie.....	12
I.5.3.Le classement de l'énergie géothermique.....	12
I.6. le chauffage géothermique.....	13
I.6.1.Géothermie Horizontale.....	14
I.6.1.a Echangeur Serpentina.....	15
I.6.1.b Echangeur spiral.....	16
I.6.2.Géothermie Verticale.....	17
I.7.POMPES A CHALEUR GEOTHERMIQUE (PAC).....	18
I.8. CONCLUSION.....	20

<u>Chapitre II : Recherche bibliographique</u>	21
Introduction.....	22
Yacine AHMOUDA.....	22
S. Ouali et all.....	22
Philippe HUDON.....	24
Maurizio Carlinia.....	25
Richard Lenhard Milan.....	27
Eui-Jong Kim.....	28
T.Y. Ozudogru.....	32
Bidarmaghz A.....	36
<u>Chapitre III : Modélisation</u>	40
III.1.Description du système.....	41
III.2.Bilan Thermique.....	42
III.3.Par convection.....	44
III.4.Hypothèses supplémentaires.....	45
III.5.Conservation de mouvement.....	46
III.6.Equation du mouvement.....	46
III.7.Les conditions aux limites.....	47
<u>CHAPITRE IV : Simulation Numérique</u>	51
Introduction.....	52
IV.1. Procedure du calcul.....	52
IV.1. 1.Menu principal du logiciel ANSYS Workbench.....	52
IV.1. 2.Création de la geometrie.....	54
IV.1. 3.Le maillage	61
IV.1. 4.Configuration.....	64
IV.1.5. Les resultants de simulation.....	65
IV.6 Conclusion.....	71
<u>Conclusion : générale:</u>	72

Tableau de référence

Tableau I-1:La récapitulatif des types & usages des énergies géothermiques	9
Tableau I-2 Evolution de la capacité géothermique installée dans le monde pour la production d'électricité.....	10
Tableau I .3 : caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie.....	11
Tableau .II.1. Comparaison des performances thermiques GHE des tuyaux en U et en spirale pour différentes longueurs de tuyaux.....	39

Liste des figures de référence

Fig. I-1 : Définition de la géothermie.....	6
Fig. I-2 : La géothermie dans le monde	8
Fig. I.3 principe de chauffage géothermie horizontale.....	14
Fig. I.4.échangeur Serpentins	15
Fig. I.5.échangeur spiral.....	16
Fig. I.6.principe de chauffage géothermie vertical.....	17
Fig. I.7 Fonctionnement d'une pompe à chaleur	19
Fig. II.1.Géométrie de l'échangeur eau-sol modélisé	22
Fig. II.2. Situation géographique de la région d'étude.....	23
.Fig. II.3. Puits géothermique en U.....	24
Fig. II.4 Mesures de température à différentes profondeurs.....	25
Fig. II.5. Conditions aux limites et phase de maillage.....	26
Fig. II.6. Contours isothermes du DHE environnant.....	27
Fig. II 7.. Puits profonds dotés de la technologie d'un échangeur de sol vertical (à gauche) et d'un caloduc (à droite).....	28
Fig. II. 8. (a) - (b) La vue du maillage a été créée dans un programme Gambit et la simulation fait en ANSYS.....	29

Fig. II. 9. Dépendance du pouvoir sur la température dans un forage profondeur.....	30
Fig. II.10. Le résultat de la simulation CFD en ANSYS.....	30
Fig. II.11. Représentation schématique de l'installation expérimentale	
Les points représentent la mesure de la température.....	31
Fig. II.12. sous-zones utilisées pour la validation expérimentale.....	32
Fig. II.13.. Assemblage de sous-zone pour le modèle complet.....	32
Fig. II.14. Température de la paroi des tubes pour différents	
cas à $z = 38,5$ m (126,3 ft).....	33
Fig. II.15. Températures moyennes de paroi de tube simulées à différentes profondeurs.....	33
Fig. II.16. Maillages des éléments finis 2D	
des modèles génériques à une ou deux tubes	34
Fig. II.17. Éléments de conduite linéaires et pseudo-éléments volumétriques.....	35
Fig. II.18.. Maillage des éléments finis d'un modèle de pile à double boucle d'énergie.....	36
Fig. II.19. Profils de température des fluides le long de la profondeur de GHE	
estimés par le modèle numérique proposé: (a) forage; (b) pile(tube) d'énergie.....	36
Fig. II.20. Courbes de courbes de température dans une section transversale à mi-profondeur	
de GHE à la fin de la période d'injection de chaleur (à 100 h):	
(a) forage; (b) pile (tube) d'énergie.....	37
Fig. II.21. Configurations de tuyaux GHE a étudié :	
(a) tuyau en U simple (b) tuyau en U double croix, (c) tuyau en U double.....	38
Fig. II.22.. Exemple de section de modèle FEM 3D: (a) Maillage FEM d'un	
GHE avec deux U-pipes; (b) détail de la distribution de la température.....	39
Fig. II.23. flux d'extraction de chaleur en fonction du débit de fluide.....	39.
Fig. III.1 : Géométrie du système (a,b).....	42
Fig III.2 : Schématisation du problème physique	44
Fig III.3: Echangeur de chaleur entre fluide et sol	45

NOMENCLATURE

A_a	Amplitude des variations de température [K]
A	Section du conduit [m ²]
ACH	Taux de renouvellement d'air [Vol /h]
C	Coefficient de compressibilité isotherme [Pa ⁻¹]
c_p	Capacité calorifique massique [J/kg.K]
D	Diamètre de conduite [m]
E	Energie totale [J]
F	Forces volumiques [N/kg]
g	Accélération de la pesanteur [m/s ²]
h	Coefficient d'échange convectif [W/m ² . K]
K	Energie cinétique turbulente -
k	Conductivité thermique [W/m K]
k	Rugosité [m]
L	Longueur [m]
M	Nombre de Mach -
p	Pression [Pa]
P	Puissance [W]
Q_v	Débit volumique [m ³ /s]
r	Constante des gaz parfaits [J/kg k]
S	Surface d'échange [m ²]
t	Temps [s]
T	Température [K]
V	Vitesse d'écoulement [m/s]
Z	Profondeur [m]
Lettres Grecques	
α	Diffusivité thermique [m ² /s]
β	Coefficient de dilatation isobare -
$\delta(w)$	Profondeur de pénétration d'un signal de température de pulsation [m]

Sommaire

ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique	-
λ	Coefficient de perte de charge régulière	-
η	Rendement	-
μ	Viscosité dynamique	[kg/m.s]
μ_t	Viscosité dynamique turbulente du fluide	
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]
ξ	Coefficient de perte de charge singulière	
ρ	Masse volumique	[Kg/m ³]
τ_{ij}	Tenseur des contraintes	
ϕ	Terme de dissipation visqueuse	
ω	Pulsation des variations de température	[rad/s]
φ_s	Déphasage	[rad]
φ	Flux thermique	[W]
Δp	Pertes de charge régulière	[Pa]
Δp_s	Perte de charge singulière	[Pa]
Nombres adimensionnels		
Re	Nombre de Reynolds	
Pr	Nombre de Prandtl	
Pe	Nombre de Péclet	
Nu	Nombre de Nusselt	
Indices et exposants		
x, y, z	Système de coordonnées cartésiennes	
r, θ , z	Système de coordonnées cylindriques	
c	cinétique	
e	Entrée	
i	interne	
max	maximum	
min	minimum	
moy	moyenne	
s	Sortie	
sol	Sol	

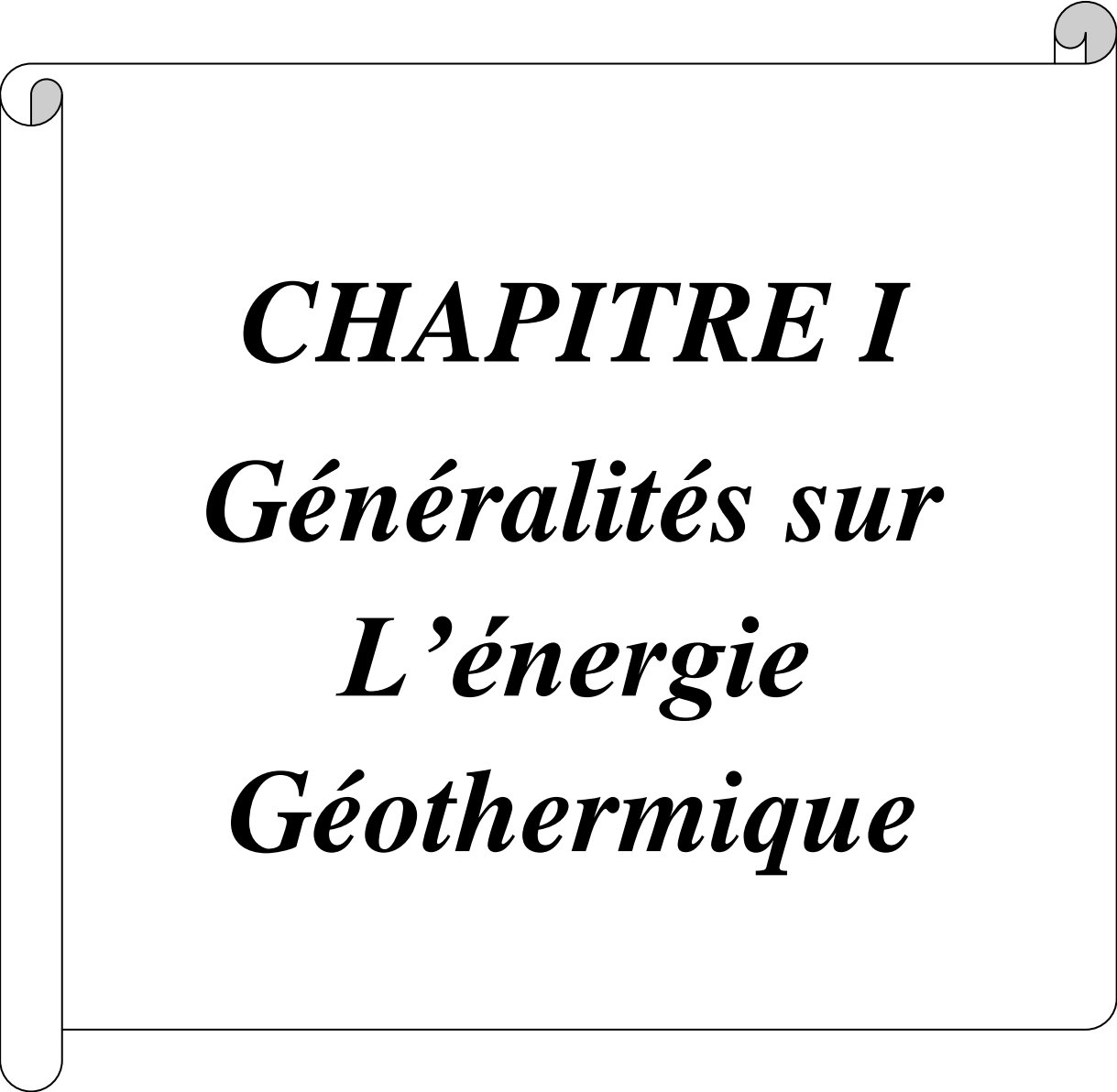
Introduction Générale

Introduction Générale

La géothermie est la deuxième source de production d'électricité dans le monde, mais c'est aussi une source de production de chaleur utilisée pour le chauffage urbain, de serre et la pisciculture. La désintégration des éléments radioactifs et la dissipation de l'énergie primitive sont les deux phénomènes principaux à l'origine de la chaleur rencontrée dans la croûte terrestre. Dans notre planète il existe différents types de gisements géothermaux classés suivant leur énergie et répartis dans le monde entier. Les utilisations sont nombreuses et variées. La géothermie se caractérise par son développement relativement récent et par une technologie largement inspirée au départ de l'énergie pétrolière. De tous temps, les problèmes de transmission d'énergie, et en particulier de la chaleur, ont eu une importance déterminante pour l'étude et le fonctionnement d'appareils tels que les générateurs de vapeur, les fours, les échangeurs de chaleur, les évaporateurs, les condenseurs, etc., mais aussi pour des opérations de transformations chimiques.

Cette étude a été réalisée dans le but de voir l'influence de plusieurs paramètres tels que le diamètre de tube de l'échangeur de chaleur, les matériaux utilisés, le débit de fluide et la source géothermique sur l'efficacité d'un échangeur de chaleur géothermique eau/sol.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier présente une généralité l'énergie géothermique Le deuxième Il se soucie revue bibliographique sur les échangeurs géothermique et le domaine d'applications dans habitat et dans l'industrie. Le troisième chapitre est consacré à la définition de la géométrie étudiée, du modèle physique du problème et sa modélisation mathématique par des équations analytiques. Le quatrième chapitre est consacré à la présentions et la discussions des divers résultats. Nous terminons avec une conclusion générale sur les résultats obtenus et les perspectives envisagées

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners at the top and bottom. The text is centered within this frame.

CHAPITRE I
Généralités sur
L'énergie
Géothermique

I.1.Introduction

Dans le première chapitre, nous examinons le public sur les énergies géothermique. prise et certains types d'échangeurs de chaleur et un aperçu de quelques-unes des études antérieures dans le même domaine.

La géothermie est une source d'énergie renouvelable qui permet de produire deux formes d'énergie; l'électricité et la chaleur. Elle peut répondre au concept de cogénération géothermique (production combinée d'électricité et de chaleur).

L'exploitation de l'énergie géothermique est en premier lieu locale. En effet, les centrales géothermiques permettent l'alimentation in situ et des régions avoisinantes par l'énergie d'origine géothermique.

Ce type d'installation peut contribuer a la décentralisation de l'énergie et répondre aux besoins en énergie des régions isolées et montagneuses.

En Algérie la climatisation est très énergivore en matière de consommation énergétique Surtout dans le sud. Une solution se trouve dans l'exploitation des ressources naturelles non conventionnelles telles que la géothermie. Maîtriser les consommations énergétiques en améliorant l'isolation thermique est la première étape à privilégier.

Mais le recours à la géothermie peut permettre d'aller plus loin en raison de son indépendance des éléments climatiques, sa présence locale et son respect de l'environnement.

La géothermie consiste à prélever l'énergie présente dans les terrains ou dans les aquifères superficiels pour la transmettre à une habitation via une pompe à chaleur. Cette technique allie performance énergétique, économique et environnementale pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

I.2.Définition de la géothermique

Généralement la géothermie, du grec géo (la terre) et thermos (la chaleur) est un mot qui désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

La géothermie, est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. Par abus de langage, la géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur et/ou en électricité. [2]

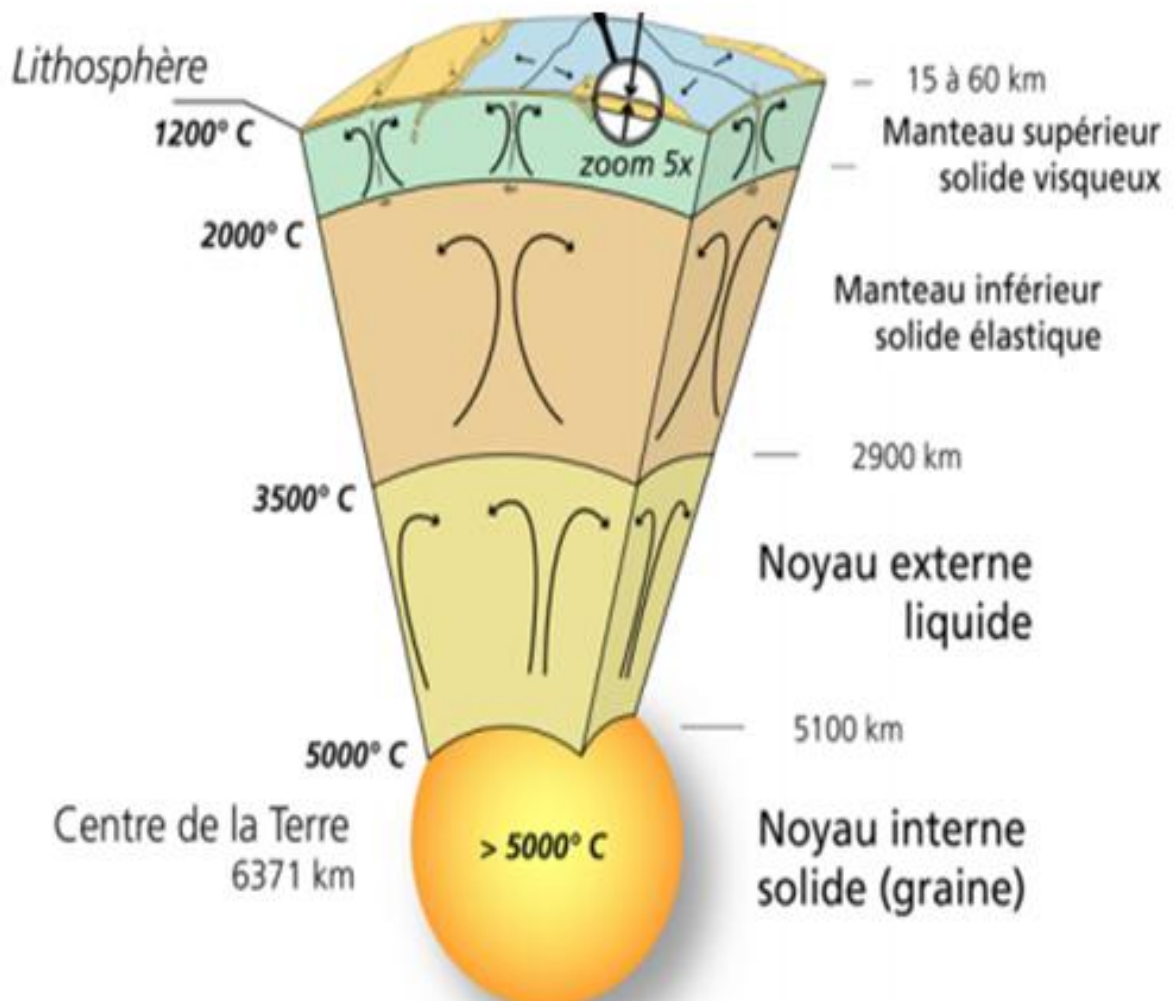


Fig I-1[2]

I.3. Les différents types de la géothermie

la géothermie dépend du type de gisements et du fluide géothermique existant, ainsi, se distingue trois types de géothermie dans le monde[1]

I.3.1. la géothermie à haute énergie (production d'électricité)

La géothermie haute énergie, exploite les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange eau et vapeur). Ces gisements se caractérisent par des températures supérieures à 150°C. On rencontre cette géothermie haute énergie dans les régions volcaniques (volcans) et Sismiques (frontières de plaques) ou le gradient géothermique est particulièrement élevé. La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité. La vapeur, qui est puisée dans le réservoir géothermique, est déchargée dans une turbine, reliée à un alternateur pour la production d'électricité.

La vapeur sèche est directement utilisée alors que la vapeur humide qui est plus fréquente nécessite l'utilisation d'un séparateur. [1]

I.3.2. la géothermie à basse énergie (production de chaleur)

On parle de « géothermie basse énergie » lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre 30 et 100 °C dans des gisements situés entre 1000 et 3000 m de profondeur (bassin parisien, bassin aquitain...). Cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles. La géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 50 ans en moyenne) [1]

I.3.3. la géothermie à très basse énergie

(Nous utilisons dans ce cas les pompes à chaleur géothermique pour d'amplifier la quantité de chaleur absorbé)

La géothermie très basse énergie est une géothermie de faible profondeur dans laquelle la température est comprise entre 10 et 30 °C.

Dans ce cas, la chaleur provient non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie, le sol du terrain joint un rôle d'inertie thermique cette technologie est appliquée dans le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique. [1]

I.4. La géothermie dans le monde

L'exploitation de l'énergie géométrique, à travers le monde, est , notamment, centrée dans les pays situés, géographiquement, dans la zone de la « ceinture volcanique ».

Des pays qui utilisent leurs ressources géothermiques à un stade industriel plus ou moins avancé. des ressources de vapeur à haute température et haute pression sont essentiellement exploitées pour produire de l'électricité. Des pays comme (USA, Philippines, Mexique, Italie, Nouvelle-Zélande, Indonésie, Japon, Islande, etc.) totalisent une puissance installée les ressources à moyenne ou basse température servent pour des usages directs, en majorité le chauffage de bâtiments et de serres.. Depuis, bien d'autres pays ont à leurs tours investis dans ce domaine, c'est le cas du Japon, du

Mexique, France, du Salvador, de l'Islande et de la Turquie. L'énergie géothermique est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables dans le monde. Les utilisations de cette énergie sont multiples. Elles vont des utilisations directes telles que la pisciculture, le chauffage des serres et aux utilisations industrielles telle que la production d'électricité. [4]

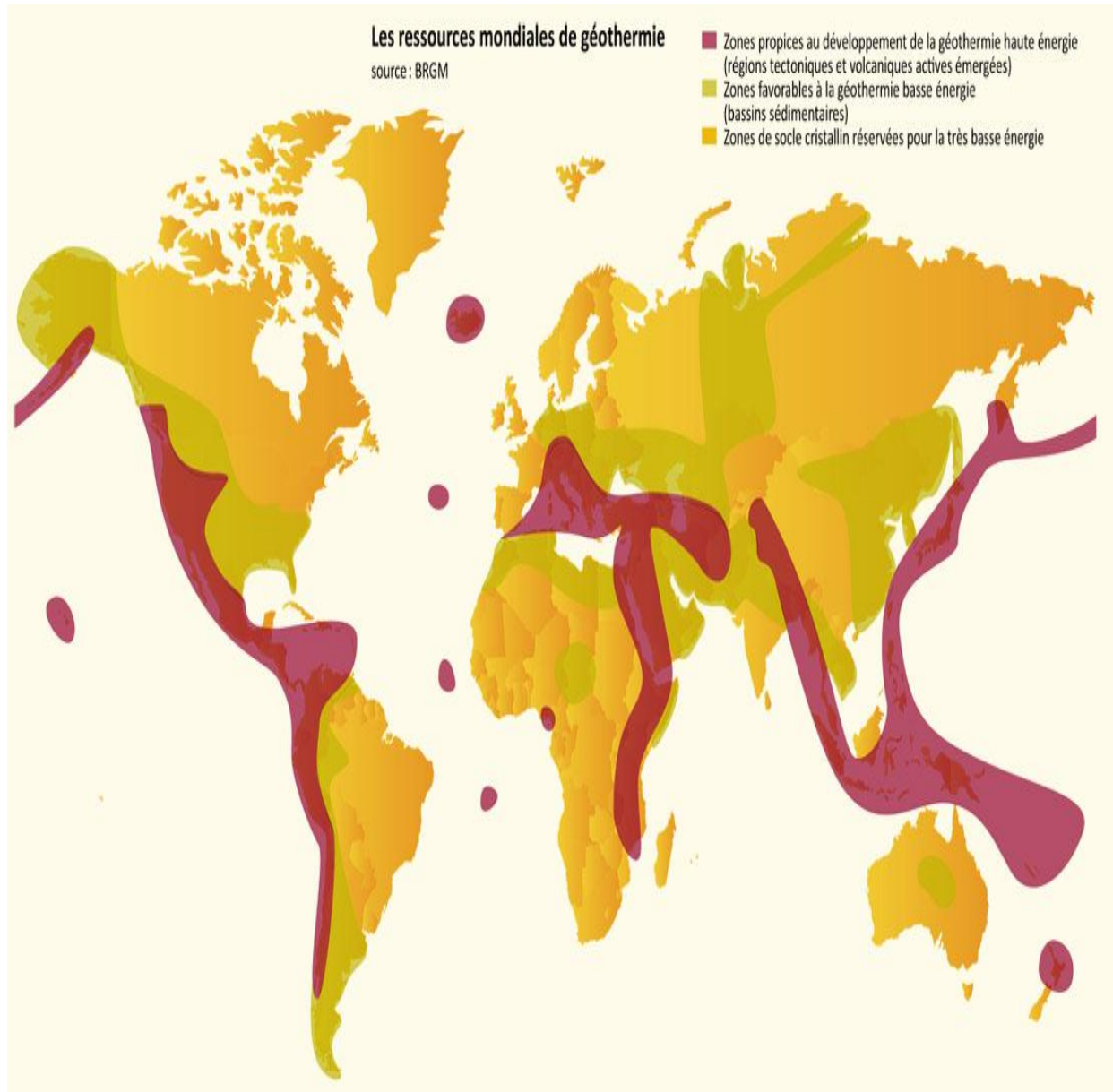


Fig I-2[4]

La récapitulatif des types & usages des énergies géothermiques peut être présenté sur le Tableau I-1 [6]

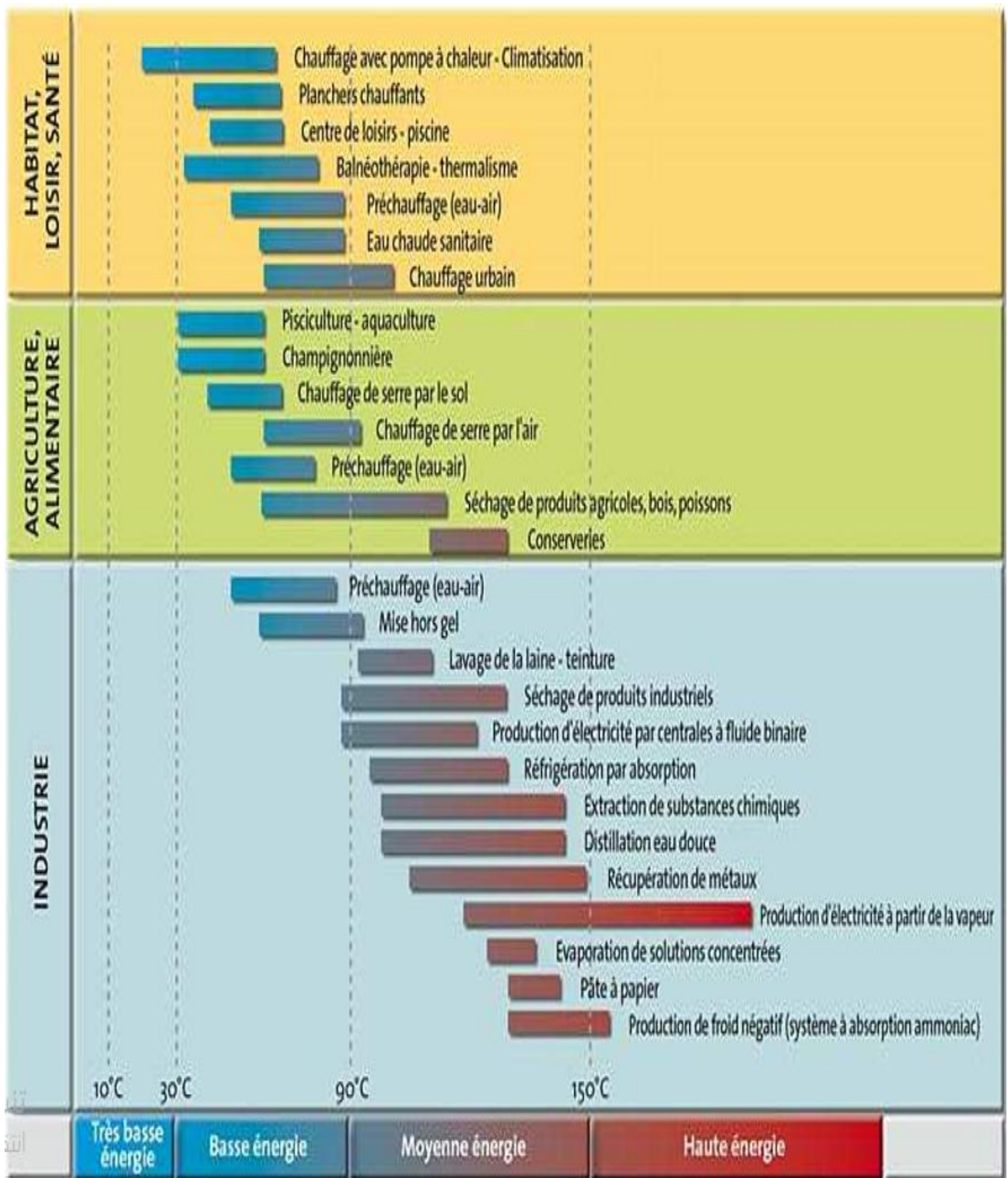


Tableau 1-1[6]

Evolution de la capacité géothermique installée dans le monde pour la production d'électricité [9]

Pays	1995	2000	2002
Amérique du Nord	3570	2983	2971
Amériques centrale et du Sud	231	407	461
Total Amérique	3801	3390	3387
Asie	1979	3075	3220
Union européenne	641	805	883
Autres pays d'Europe	81	231	297
Total Europe	722	1018	1180
Océanie	286	437	441
Afrique	49	54	128
Total monde	6837	7974	8536

Tableau I-2[9]

I .5.La géothermie en Algérie

L'Algérie, est considérée parmi les pays riches en eaux thermo-minérales. et dispose des nappes et de sources d'eau chaude dont les températures s'échelonnent entre 20°C et 98°C. Au Nord il existe environ 200 sources thermales, dont la température varie de 22°C à 90°C, et au bassin sédimentaire du bas Sahara compte d'énormes réserves d'eau chaudes varie de 50°C à 56°C. Il convient de signaler l'existence de source à hautes températures pouvant atteindre 118 °C à Ain Ouelmen et 119 °C à Biskra .On voit donc que le potentiel géothermique existant dans notre pays est très fort, on se propose donc de l'exploiter et de le valoriser. Au sud algérien, il existe plusieurs sources à des profondeurs variant de 80 mètres dans la régide l'Oranie , de la Kabylie et du Constantin[5]

Tableau I.3 : caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie

Sources thermales	Région	Faciès chimique	Résidus Secs (mg/l)	Température (°C)	Débit (l/s)
H. Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98	100
H. Bou Hadjar	Ain-Timouchent	Chloruré sodique	3210	66.5	-
H. Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66	-
H. Boutaleb	Setif	Chloruré sodique	3416	52	-
H. Essalihine	Khenchela	Chloruré sodique	2082	70	-
H. Salhine	Skikda	Sulfaté magnésien	2046	55	-
H. Sidi Bou Abdellah	Relizane	Chloruré sodique	1194	51	-
H. Delaa	M'sila	Sulfaté sodique	1980	42	-
H. Rabi	Saida	Chloruré sodique	1524	47	-
H. Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46	-
H. Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42	10

Tableau I-3[9]

I.5.1.L'exploration

Les méthodes d'exploration de la géothermie sont généralement celles utilisées dans la prospection pétrolière ou en hydrogéologie:

- Les méthodes géologiques: utilisent les données de terrain, les photographies aériennes et les images satellites. Le but recherché est la détermination des structures géologiques, la localisation des zones et structures volcaniques et les altérations hydrothermales.
- Les méthodes géochimiques: s'occupent des prélèvements des mesures et des analyses sur les eaux, les gaz et les dépôts hydrothermaux. Il est attendu de ces méthodes la détermination des caractéristiques physiques et chimiques des eaux telles que la température, le pH, les débits, la

détermination de la température d'équilibre eaux-roches, etc. Ces méthodes sont généralement les moins coûteuses.

Les méthodes géophysiques: sont généralement celles utilisées dans la recherche hydrogéologique ou dans recherche pétrolière, cependant certaines méthodes ont été affinées et des techniques ont été développées pour les besoins de la prospection géothermique. Les méthodes les plus courantes sont les mesures thermométriques dans les forages, la prospection

électrique, la prospection magnétique et la prospection gravimétrique. D'autres techniques d'exploration telles que le paléomagnétisme, les modèles de mélanges, l'étude des isotopes ou encore les méthodes magnétotelluriques sont venues compléter les méthodes classiques. [8]

I.5.2. Les zones géothermiques en Algérie

- En Algérie, les études en géothermie ont été menées principalement sur le Nord algérien, 'Carte Géothermique Préliminaire du Nord de l'Algérie. Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales.
- Près de 200 sources ont été inventoriées et elles sont réparties à travers tout le territoire Nord algérien, majoritaires au Nord-est (Tableau 1). Parmi les plus importantes, nous pouvons citer Hammam Meskoutine (98 °C) à Guelma, Hammam Boutaleb (52 °C) à Sétif et Hammam Bouhanifia (66°C) à Mascara. Trois zones à fort gradient géothermique sont mises en évidence ; au Nord-Ouest , au Nord-Est et au Centre Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions de l'Oranie , de la Kabylie et du Constantinois[9]

I.5.3. Le classement de l'énergie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie provenant de la chaleur contenue dans la croûte terrestre et dans les couches superficielles de la terre. On distingue habituellement deux formes d'énergie géothermique avec la géothermie de surface et la géothermie profonde.

La géothermie de surface consiste en la récupération de la chaleur pendant la période d'hiver et de la fraîcheur pendant l'été à partir de la couche superficielle du sol. La géothermie profonde consiste quant à elle à capter la chaleur contenue par la croûte terrestre en vue de Produire du chauffage lorsque la température est inférieure à 90°, ou même de l'électricité dès lors que la température est comprise entre 90 et 150°. On distingue plusieurs types de géothermie en fonction de la température de la ressource et du mode d'utilisation de l'énergie[3]

I.6. le chauffage géothermique :

Se chauffer par Géothermie c'est extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage

La chaleur croit à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre. La géothermie consiste à installer un circuit d'échange de calories entre le sol et un liquide chargé d'assurer le transport des calories : c'est le principe de la pompe à chaleur.

Il existe des systèmes de géothermie de surface (installés horizontalement, ils nécessitent un terrain d'une certaine surface) ou de géothermie profonde (en creusant des puits assez profonds à la verticale).

Aujourd'hui, le terme "géothermie" désigne de façon la plus large les systèmes de pompes sol/eau qui permettent de récupérer les calories gratuites du sous-sol et de chauffer à coût réduit les logements. [3]

Les avantages de la géothermie :

1. Ressource énergétique locale qui ne nécessite pas de transport
2. Ressource énergétique renouvelable préservant l'environnement
3. Capacités de production importantes comparées aux autres énergies renouvelées
4. Énergie de base, généralement, indépendante des conditions climatiques

Les inconvénients de la géothermie :

1. Coûts d'investissement et de maintenance très élevés
2. L'utilisation de la géothermie reste particulière, proche notamment des zones volcaniques
3. Risque de glissement de terrain [3]

I.6.1.Géothermie Horizontale

le principe

Un stock de calories est accumulé dans la couche superficielle du terrain et est régénéré en permanence par la pluie, le soleil et l'effet du vent. Le capteur horizontal sol/eau enfoui à environ 80 cm de profondeur récupère cette chaleur par l'intermédiaire d'une circulation d'eau glycolée et d'une thermopompe. La restitution à l'intérieur du logement est assurée par un plancher chauffant ou par ventilo-convecteurs. La surface de captage varie de 1,5 à 2 fois la surface de la maison. Cette technique est utilisée avec succès depuis plusieurs décennies en France. Un réseau de tuyaux dits « capteurs », est alors installé sur un lit de graviers, puis protégé par un grillage avertisseur. [10]

Il est ainsi possible de récupérer jusqu'à 75% des calories nécessaires au chauffage par ce moyen.

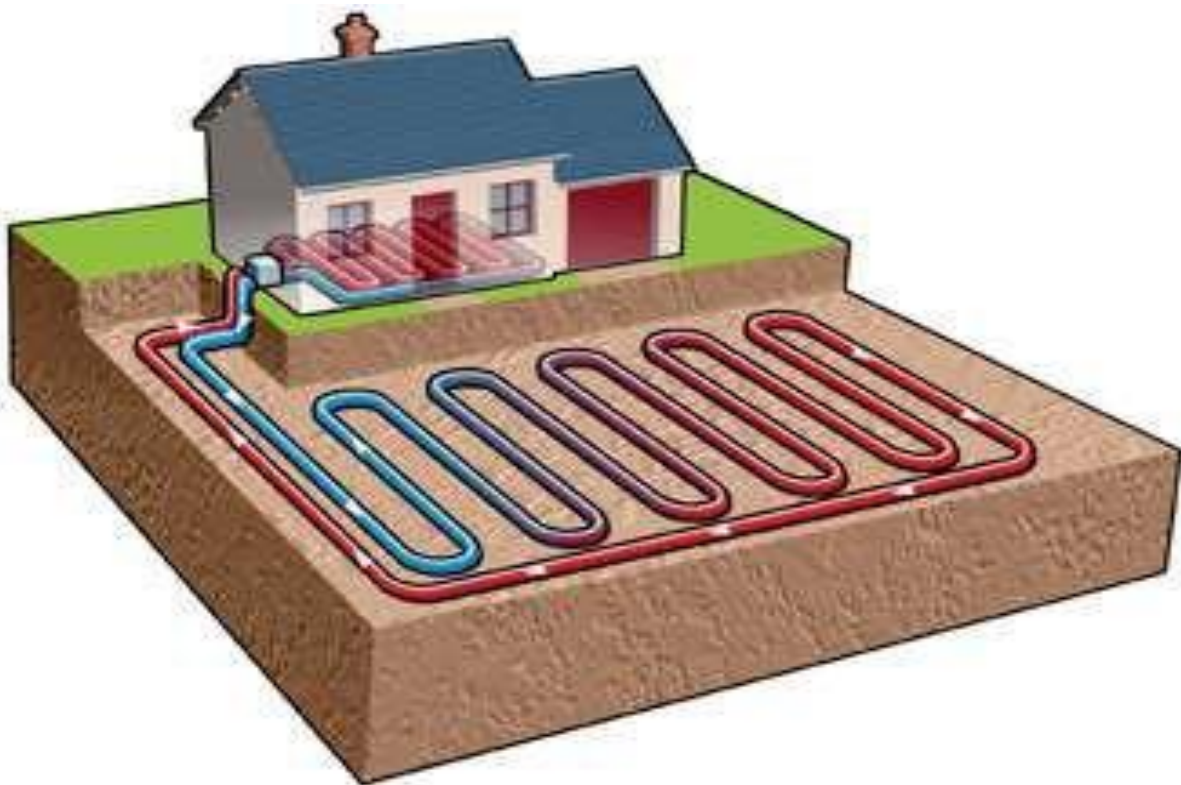


Fig. I.3 principe de chauffage géothermie horizontale[10]

I.6.1.a. Echangeur Serpentina

Les nappes de tubes (serpentina) sont enterrées sur un plan horizontal jusqu'à une profondeur maximale de 3 m dans le sol et en soutirent ou ajoutent de la chaleur. Comme les nappes de tubes ne sont normalement disposées qu'à une profondeur de 0,5 à 3 m, le climat joue un rôle pour ce genre d'exploitation de la chaleur. Dans ce cas précis, le sol sert d'accumulateur d'énergie solaire, l'énergie géothermique proprement dite ne revêt alors qu'un rôle secondaire. Selon l'altitude topographique, les nappes de tubes permettent de retirer 20 à 30 W.m-2 d'énergie thermique. [10]



Fig. I.4.échangeur Serpentina [10]

I.6.1 .b. Echangeur spiral

L'échangeur de chaleur à spirale est constitué de 2 canaux concentriques formés par deux plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale. La distance entre les deux canaux est obtenue à l'aide de taquets soudés sur les plaques et tient compte des débits, de la taille des particules pour les fluides chargés et des pertes de charge. Ces taquets ont également pour effet de favoriser un écoulement turbulent dans chaque canal et d'améliorer ainsi le coefficient d'échange. L'échangeur peut être utilisé pour des transferts monophasiques (essentiellement liquide/liquide) ou avec changement de phase dans l'écoulement. Pour des applications monophasiques les fluides circulent généralement à contre courant. Utilisé en mode bi phasique (condenseur ou évaporateur), la vapeur (ou le fluide à évaporer) s'écoule dans un canal complètement ouvert et le fluide réfrigérant dans un canal en spirale fermée. Ce type de système est utilisé dans des applications de chauffage/refroidissement. La conception de ces échangeurs leur donne la particularité intéressante d'être « autonettoyant ». En effet contrairement à des échangeurs qui distribuent le fluide dans des multiples canaux, la totalité du fluide s'écoule ici dans le canal de l'échangeur spiralé, sans zone morte. Si celui-ci s'encrasse, le fluide n'a pas d'autre chemin possible. Sa vitesse du fluide augmente alors sous l'effet de la pression et le fluide entre en turbulence, ce qui aide à éliminer les dépôts et à garder les surfaces propres sous l'effet des frottements. Outre les gains liés à une maintenance réduite, ce phénomène permet également de limiter la dégradation du coefficient d'échange liée à la résistance de la couche de dépôt. [10]

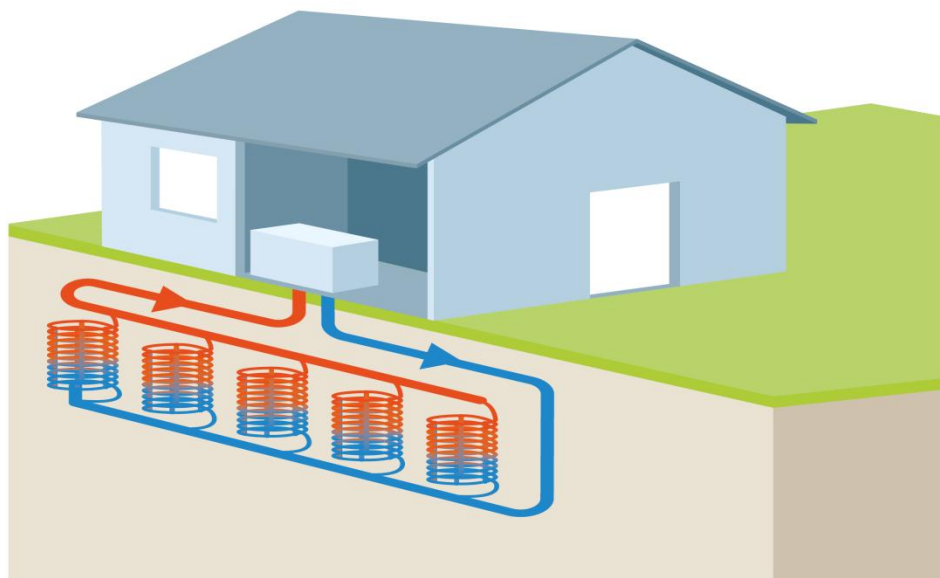


Fig. I.5.échangeur spiral[10]

I.6.2.Géothermie Verticale

le principe

100 mètres de profondeur la température est généralement de 15°C. Une circulation d'eau glycol dans des tubes en polyéthylène remonte cette chaleur sur une thermopompe. Cet appareil multiplie cette énergie grâce à un compresseur et la transfère dans le plancher chauffant de l'habitation.

Le chauffage complet d'une maison peut ainsi être assuré. Cette technique est très répandue en Allemagne et en Suisse. Le terrain reste disponible pour des plantations ou des aménagements ultérieurs. La sonde géothermale est introduite dans un forage réalisé par nos équipes. [10]

Il est ainsi possible de récupérer jusqu'à 75% des calories nécessaires au chauffage par ce moyen.

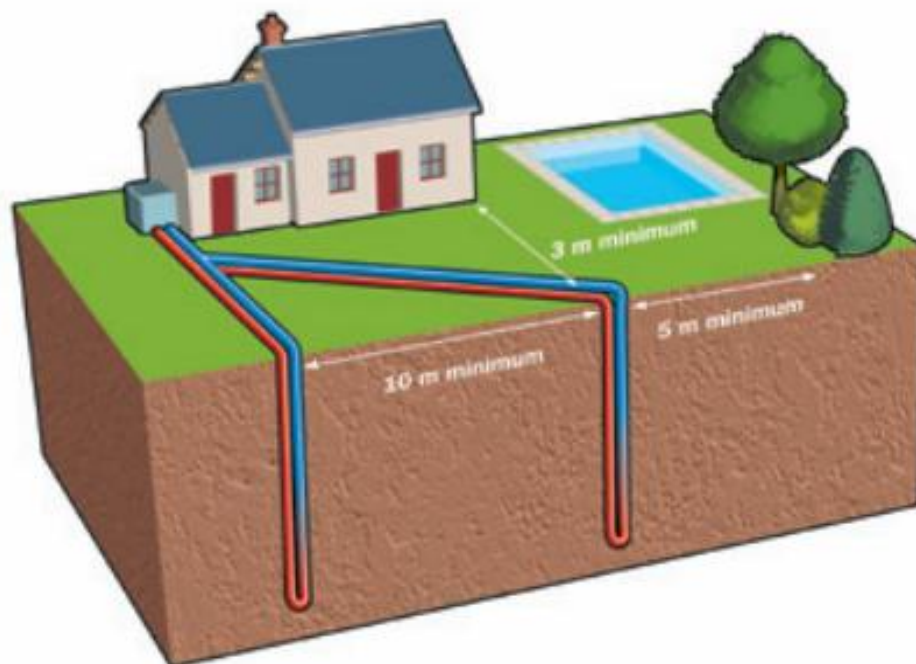


Fig. I.6.principe de chauffage géothermie vertical[10]

I.7.POMPES A CHALEUR GEOTHERMIQUE (PAC)

Le rayonnement du soleil et les conditions climatiques ont une influence sur la température terrestre des premiers mètres du sous-sol. Le sol et l'eau dont il est gorgé sont donc réchauffés. Ce n'est pas très chaud, mais c'est suffisant pour pouvoir chauffer une maison... à condition d'installer une pompe à chaleur géothermique. Il s'agit d'un équipement qui fonctionne exactement comme le réfrigérateur qui trône dans ta cuisine, mais à l'envers. La pompe à chaleur géothermique, elle, capte la chaleur du sol pour la ramener à l'intérieur des bâtiments. Cependant, pour bien fonctionner tout au long de l'année, il faut qu'elle soit installée dans une zone où la température du sous-sol est stable (c'est-à-dire qu'elle reste la même tout au long de l'année).

Au final, le bilan reste intéressant car même si elle nécessite un peu d'électricité pour fonctionner, la pompe à chaleur géothermique peut fournir jusqu'à 60 % des besoins en énergie pour chauffer une maison.

alors les **(PAC)** ce sont des appareils capable de capter de la chaleur d'une source de température plus basse. Ils sont essentiellement composés d'un circuit fermé, dans lequel est comprimé et détendu en permanence, un fluide spécifique.

À chaque compression et à chaque détente (c'est à dire à chaque cycle de travail), le fluide prend un peu de chaleur à la source froide et la cède à la source chaude.

En inversant le cycle de travail, ces appareils peuvent être utilisés aussi bien pour le chauffage que pour le rafraîchissement.

Les performances des PAC sont généralement définies par deux coefficients ϵ données par les Constructeurs : (1) le coefficient correspondant au seul fonctionnement du compresseur et (2) le coefficient COP, correspondant au fonctionnement du compresseur et des organes auxiliaires.

Par exemple, si la valeur du COP est égale à 4, cela veut dire que pour 1 kW d'énergie électrique absorbée par le compresseur, on récupère (de la source froide à la source chaude) 4 kW de chaleur. [11]

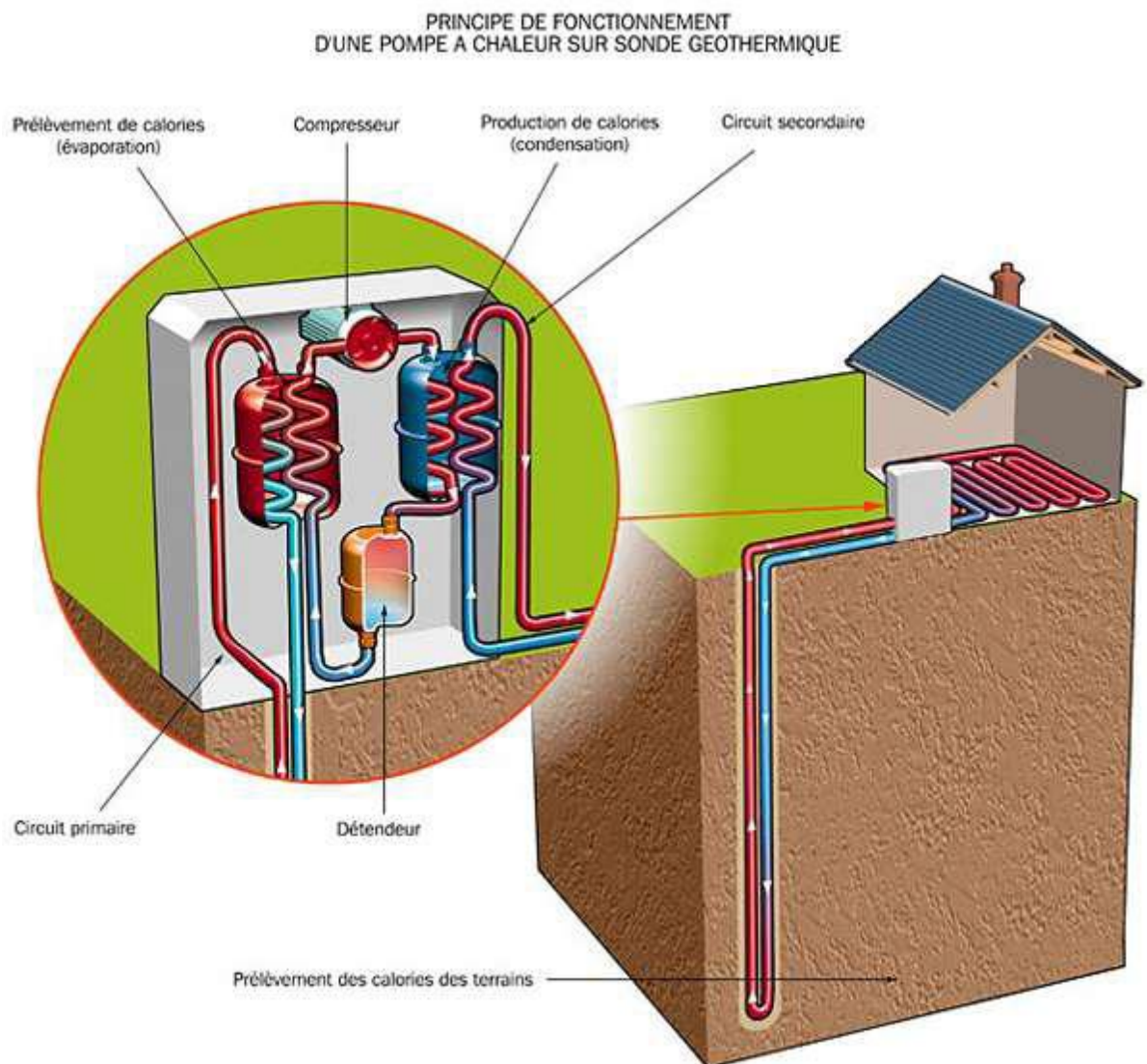


Fig. I.7 Fonctionnement d'une pompe à chaleur [11]

I.8. CONCLUSION

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages et certains de leurs défauts pourraient être supprimés. L'énergie renouvelable est donc un milieu très prometteur. Depuis certaines années, tous les pays du monde essayent de développer leur production en énergie renouvelable et cette production est en croissance continue d'ailleurs, ce qui est une très bonne chose.

La géothermie est la deuxième source de production d'électricité dans le monde, mais c'est aussi une source de production de chaleur utilisée pour le chauffage urbain, de serre et la pisciculture.

Pour cela nous avons donc étudié ce type d'énergie dans ce travail.



Chapitre II

Recherche

bibliographique

Introduction

La recherche bibliographique présente une revue synthétisée des études théoriques, analytiques et numériques. Afin d'élargir nos connaissances dans ce domaine, nous avons fait une lecture de différentes études d'autres auteurs, faites et qui se résument comme suit :

Yacine AHMOUDA Dans étude on s'intéresse au rafraîchissement par la géothermie. Cette technique très simple et moins chère n'est pas pratiquée chez nous. Elle réduit la consommation des hydrocarbures en limitant la pollution; Cette technique renouvelable exploite l'énergie thermique du sol dans un échangeur enterré dit puits canadien ou puits provençal utilisé pour chauffer ou rafraîchir l'eau qui circule dans des tubes enterrés à quelques mètres de profondeur. [6]

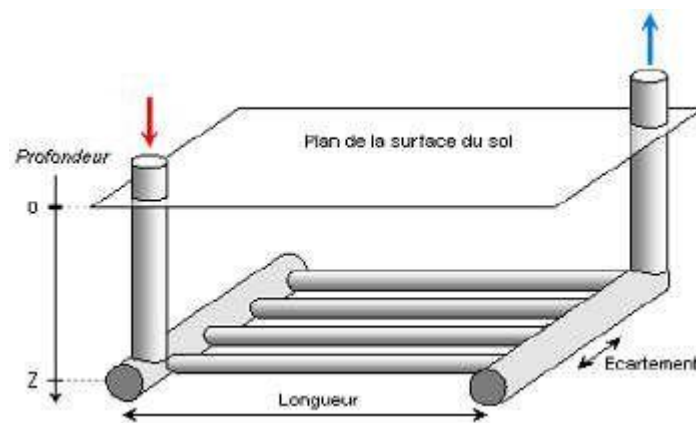


Fig. II.1.Géométrie de l'échangeur eau-sol modélisé [6]

S. Ouali et all La géothermie s'intéresse à l'exploitation des sources d'eau chaude en profondeur. Elle constitue l'une des principales ressources d'énergie renouvelable dans le monde. Il existe à travers le monde deux types principaux de géothermie: - la géothermie haute énergie, elle concerne les gisements des zones continentales actives qui se caractérisent par des températures supérieures à 150 °C. Elle est destinée principalement à la production d'électricité; - la géothermie basse énergie, qui concerne les gisements des zones des plates formes continentales stables, recouvertes de terrains sédimentaires caractérisées par une température comprise entre 30 °C et 150 °C. Elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres. Le Sud algérien

est un vaste territoire dont le potentiel géothermique est contenu dans les bassins sédimentaires des zones continentales stables. Les ressources géothermiques sont principalement de basse énergie. Afin de déterminer les régions d'intérêt géothermique, les cartes de gradient géothermique de flux de chaleur sont établies. Deux zones géothermiques distinctes sont bien mises en évidence à travers ces cartes l'une dans la partie Est et l'autre dans la partie Ouest du Sahara algérien[4]

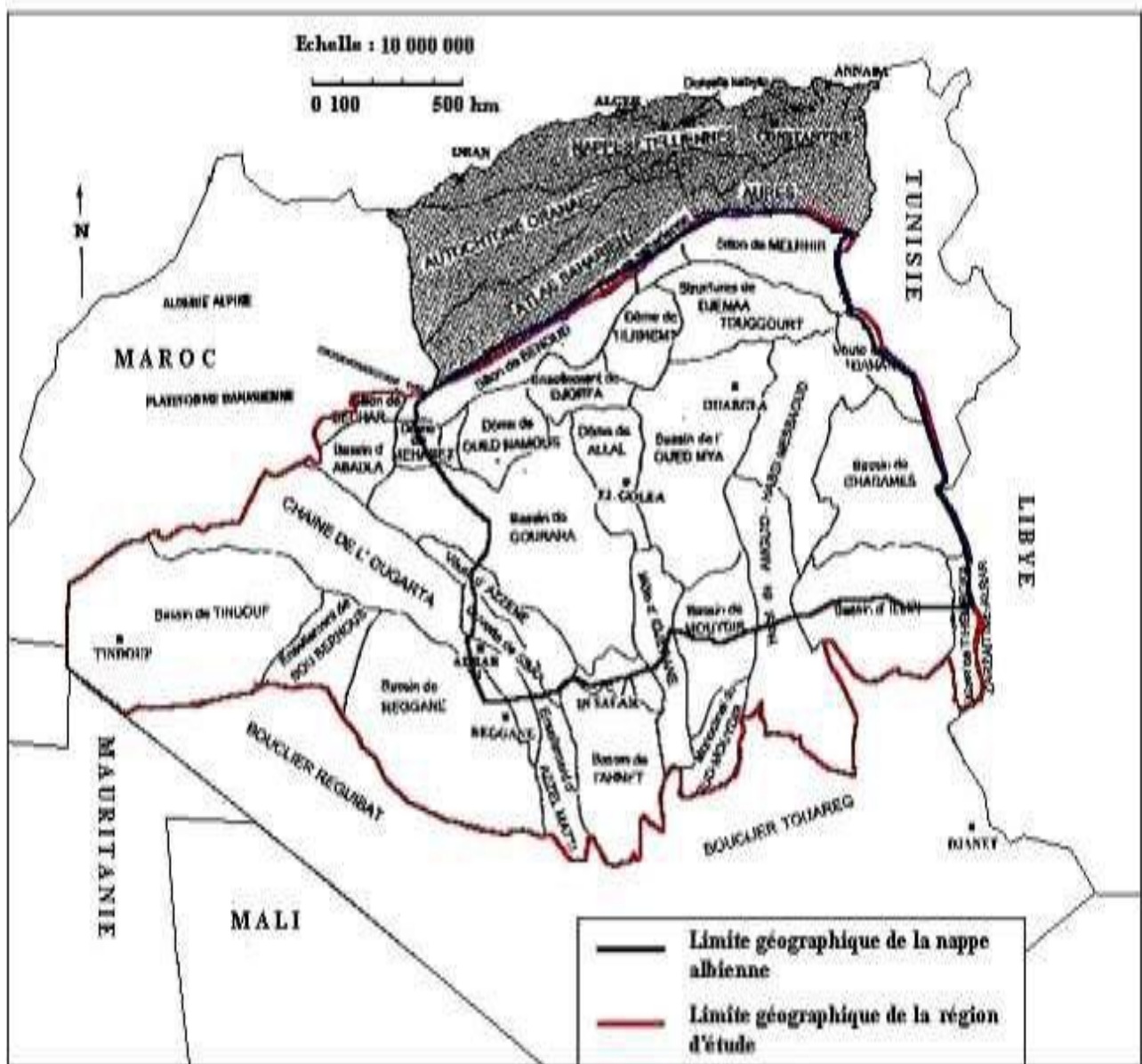


Fig. II.2. Situation géographique de la région d'étude. [4]

Philippe HUDON Malgré les multiples avantages des systèmes de chauffage et de climatisation à l'aide de Thermopompe géothermique, le coût de projet initial important demeure un facteur qui en Décourage plusieurs. Afin de réduire le coût de forage pour un système vertical, un bon dimensionnement permet d'avoir une profondeur de puits la plus près des besoins pour combler la charge de chauffage et de climatisation et ainsi, éviter un surdimensionnement. Dans ce mémoire, une revue de la littérature et des modèles utilisés sont abordés. Par la suite, une description de la théorie entourant les systèmes géothermique est présentée ainsi qu'une description des logiciels communément utilisés par l'industrie telle que : TRNSYS, GLD, EED, GS2000 et la méthode de l'ASHRAE. Le modèle développé par Lamarche et Beauchamp (2007) permettant de simuler

le comportement des puits géothermiques a été validé et optimisé à l'aide de ces logiciels. Ce modèle permet de faire l'évaluation de la température de sortie rapidement à l'aide de charges horaires. De plus, il permet de dimensionner un champ géothermique en tenant compte de l'effet de la thermopompe en ajustant le coefficient de performance (COP) sur une base horaire et en ajoutant l'impact de la pompe[12]

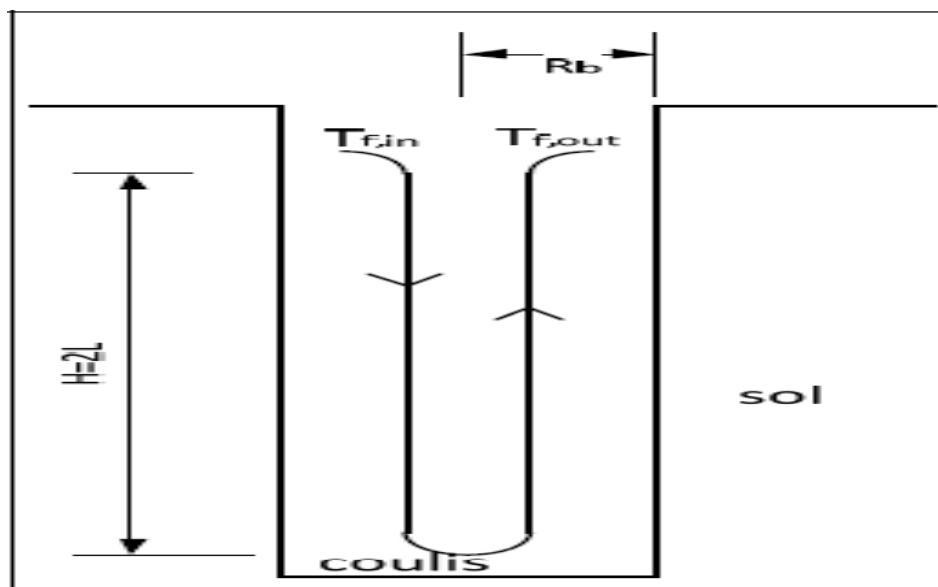


Fig. II.3.Puits géothermique en U [12]

Maurizio Carlinia étudie le comportement thermique d'un DHE en Italie centrale, en considérant une campagne expérimentale d'un année . La simulation numérique est effectuée par logiciel des éléments finis Comsol Multiphysics et est validée par les données expérimentales concernant les valeurs de température dans la DHE à une profondeur donnée.

l'étude base sur l'utilisation des données expérimentale d'un année de puits qui se trouve à 110 m de profondeur sous le niveau du sol en Italie centrale. Son diamètre est de 150 mm et atteint le fond de l'aquifère. De plus, un tuyau à bride en acier est situé sur le dessus du puits afin de contenir l'eau . Après avoir été identifié de température dans l'échangeur de chaleur figure 01 la température présente une tendance constante, atteignant 6. La température de l'eau a été mesurée par un capteur CTP à profondeur de -44m. Après avoir défini la valeur stable de température de 60 ° C. l'Auteur utilisé le simulation dans Comsol Multiphysics pour calculée distribution de température dans de profondeur désiré de l'échangeur . [13]

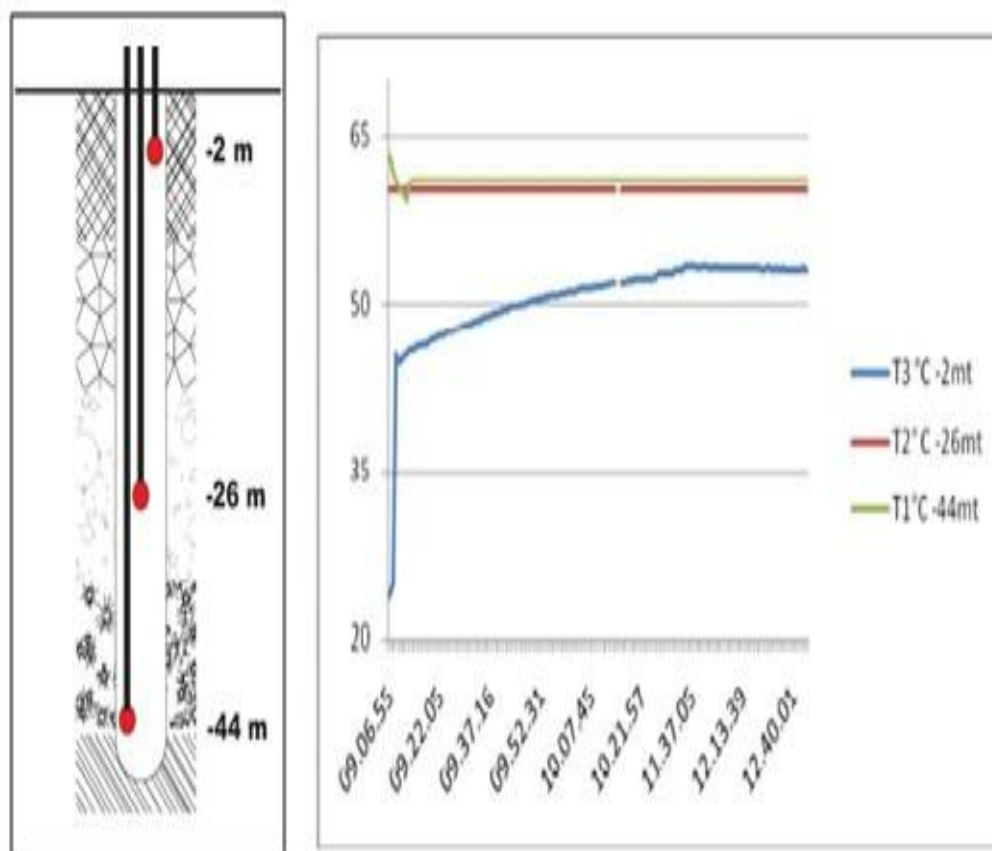


Fig. II.4 Mesures de température à différentes profondeurs[13]

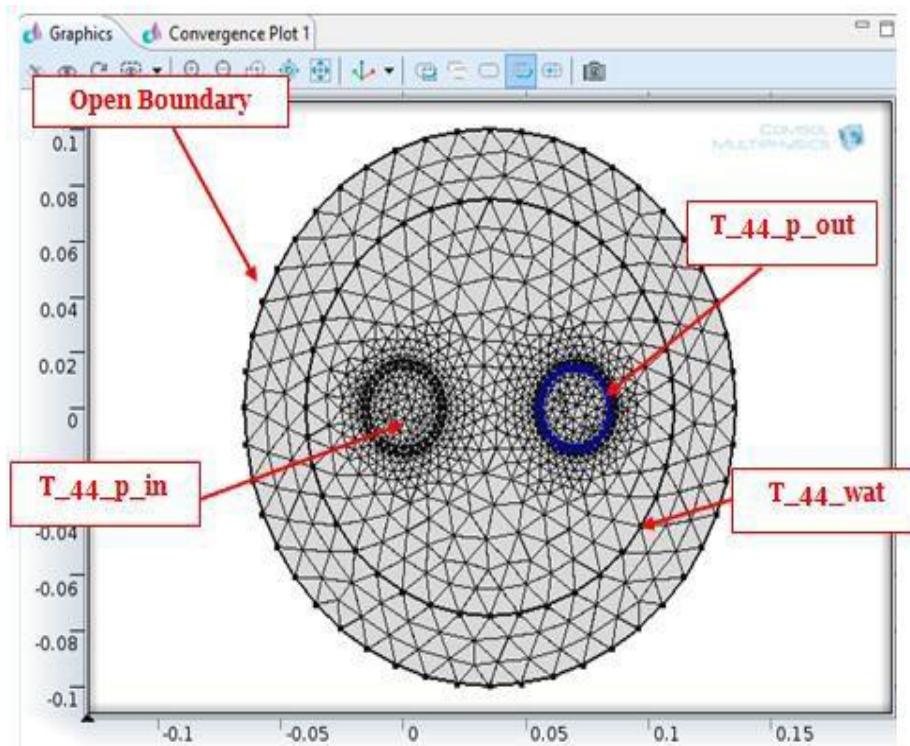


Fig. II.5. Conditions aux limites et phase de maillage [13]

Les résultats obtenus montrent l'efficacité de modèle simulé avec les résultats expérimentales :

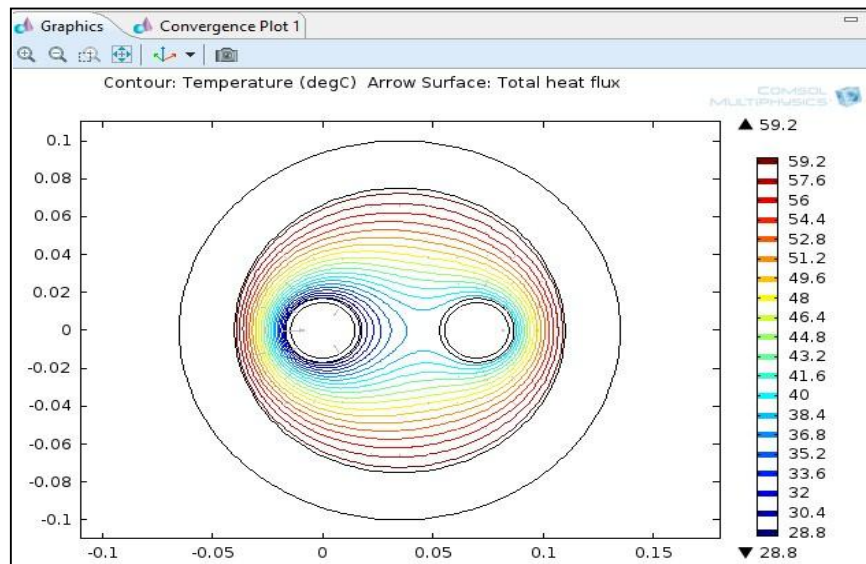


Fig. II.6. Contours isothermes du DHE environnant. [13]

Richard Lenhard Milan traite l'acquisition d'énergie à faible potentiel avec les échangeurs de chaleur verticaux au sol et les tubes en U à gravité. Ces deux systèmes font partie du dispositif (simulateur) permettant un transfert de chaleur à faible potentiel dû aux changements de phase de la

vaporisation et à la condensation du tube à des températures inférieures à 0°C . Le dispositif permet donc de développer des activités de recherche lors de la vérification de la production technologique d'un caloduc adapté à l'utilisation de la chaleur terrestre à basse température dans un environnement de laboratoire. Les composants individuels du dispositif permettent une recherche des paramètres de transport de chaleur thermo-cinétique et une modélisation (en simulateur ANSYS) réaliste du flux de chaleur de la roche dans le fluide caloporteur. [14]

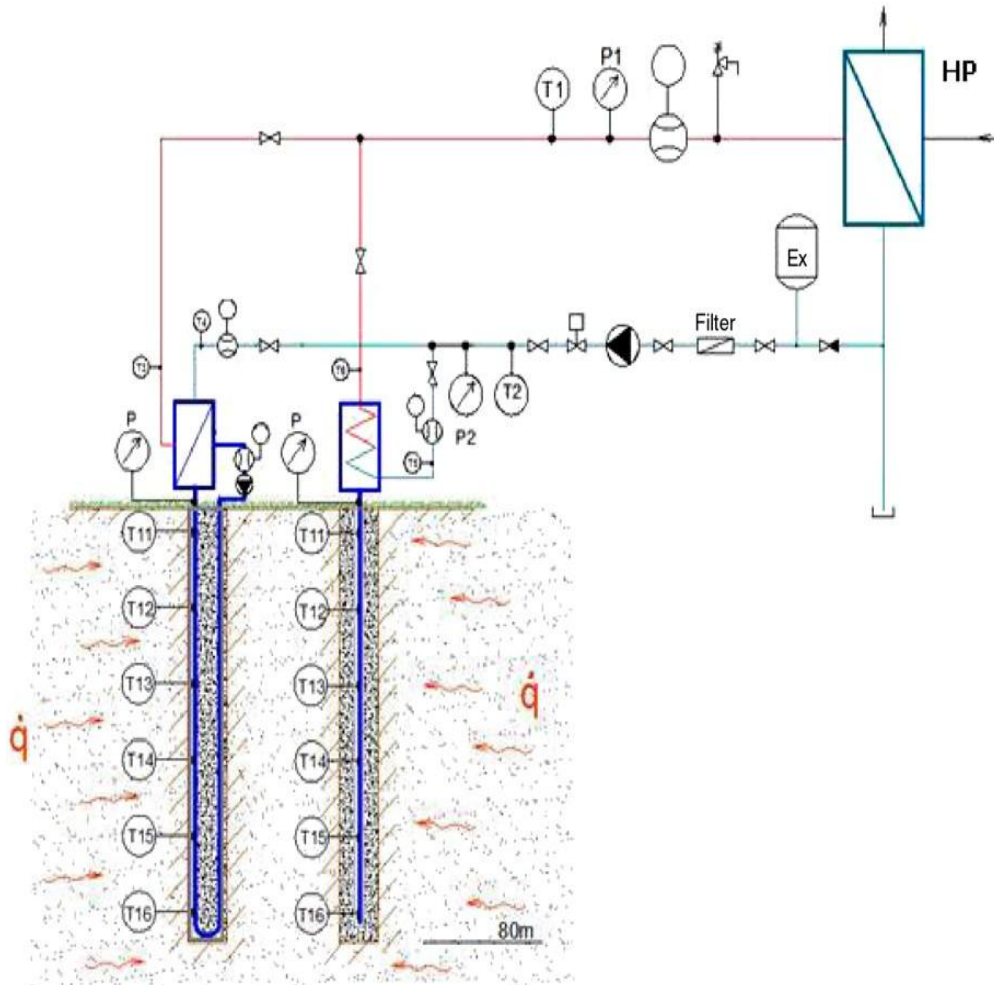


Fig. II 7.. Puits profonds dotés de la technologie d'un échangeur de sol vertical (à gauche) et d'un caloduc (à droite). [14]

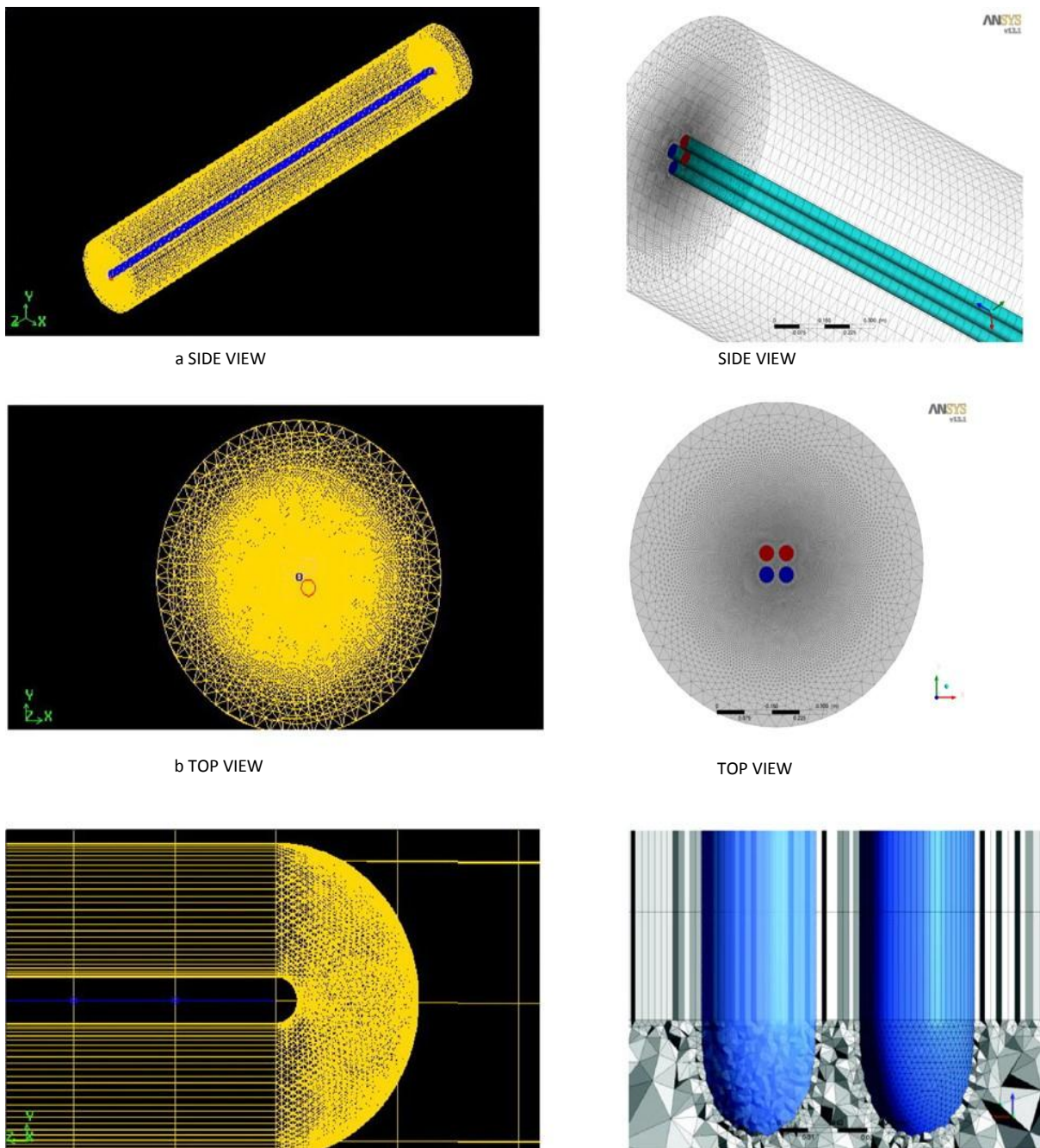


Fig. II. 8. (a) - (b) La vue du maillage a été créée dans un programme Gambit et la simulation fait en ANSYS[14]

Les résultats de simulation obtenus dans cette étude sont proches aux résultats expérimentaux comme indiqué dans les figures II.6 et II.7

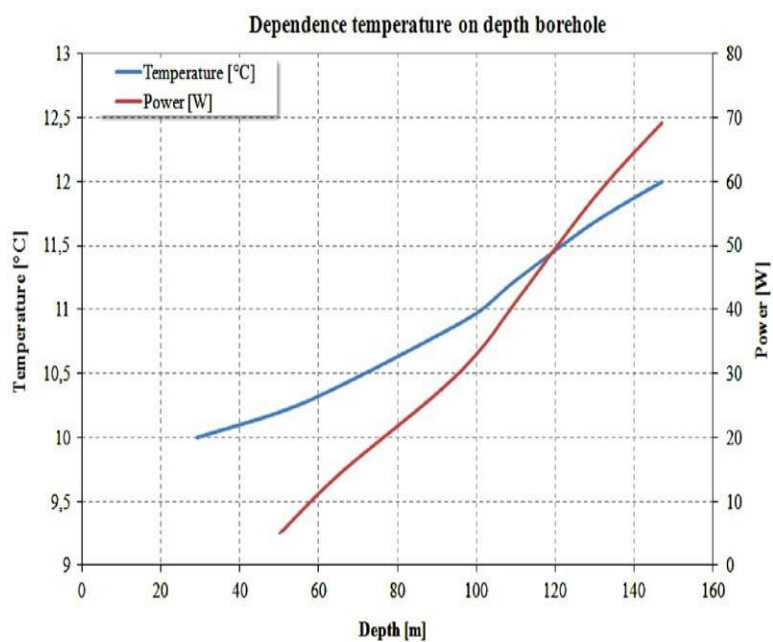


Fig. II. 9. Dépendance du pouvoir sur la température dans un forage profondeur. [14]

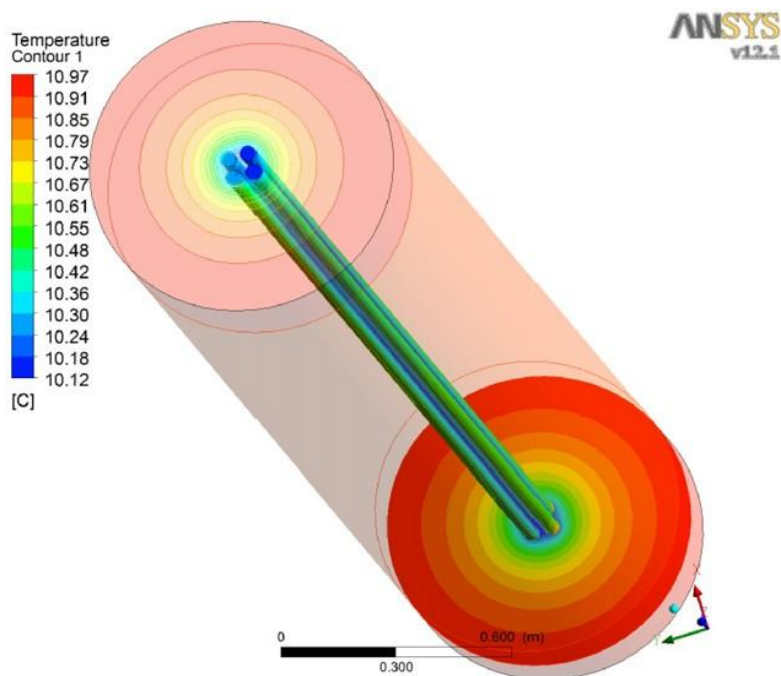


Fig. II.10. Le résultat de la simulation CFD en ANSYS[14]

Eui-Jong Kim traiter dans cet article, un modèle réduit tridimensionnel (3D-RM), basé sur des techniques de décomposition de domaine et de réduction de modèle d'état, est proposé pour réduire le temps de calcul et la mémoire de l'ordinateur. La décomposition de domaine est utilisée pour sous-structurer le domaine et faire varier les valeurs de pas de temps dans chaque sous-domaine, et une réduction du modèle d'état est appliquée à chaque sous-zone résultante. Une comparaison avec un modèle dynamique tridimensionnel complet indique que le modèle 3D-RM proposé réduit le temps de calcul d'un facteur 30 environ, sans perte de précision. Une comparaison avec les résultats expérimentaux montre que le modèle 3D-RM prédit bien les transitoires relativement rapides survenant dans le trou de forage, non seulement pour la température du fluide à la sortie, mais également pour la température de la paroi du tube à différentes profondeurs. [15]

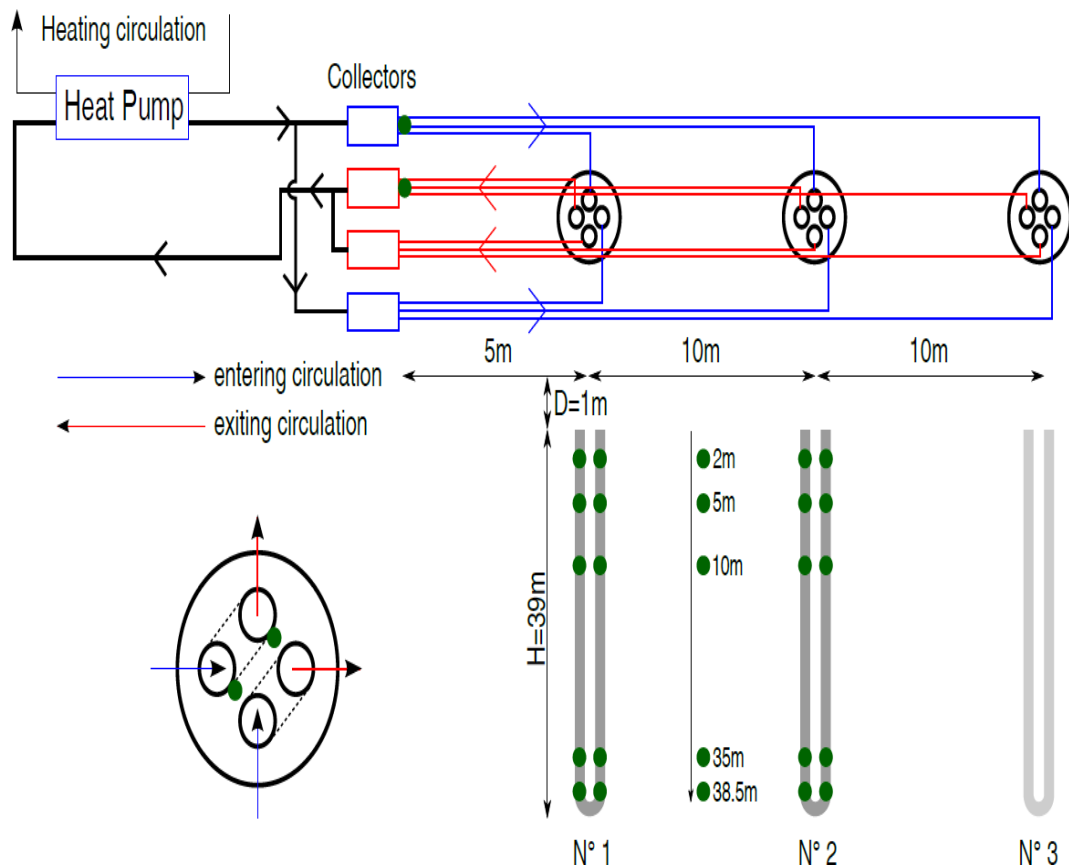


Fig. II.11. Représentation schématique de l'installation expérimentale - Les points représentent la mesure de la température[15]

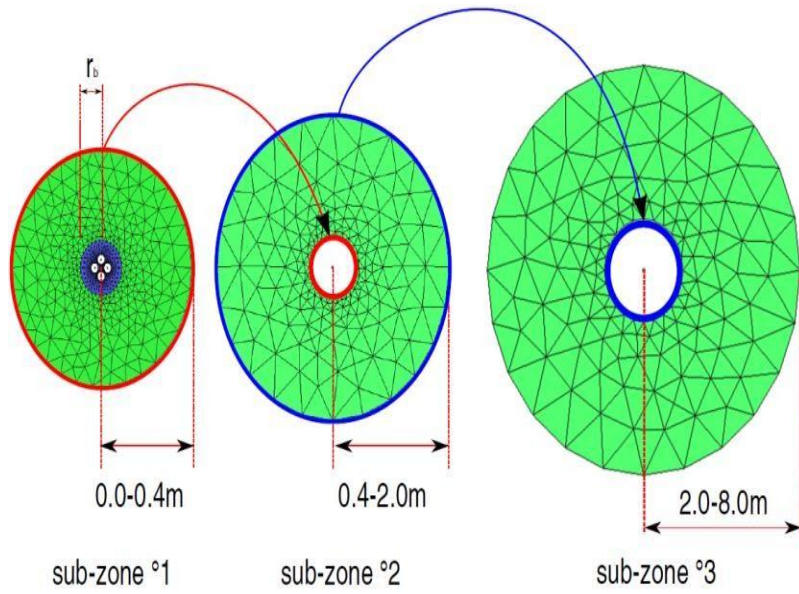


Fig. II.12. sous-zones utilisées pour la validation expérimentale[15]

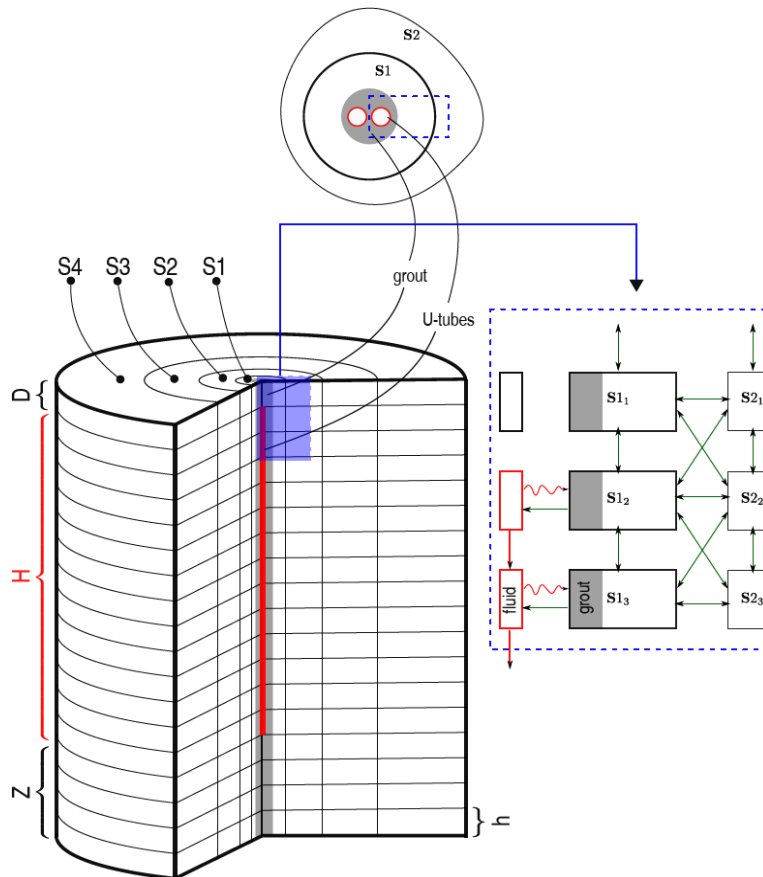


Fig. II.13.. Assemblage de sous-zone pour le modèle complet[15]

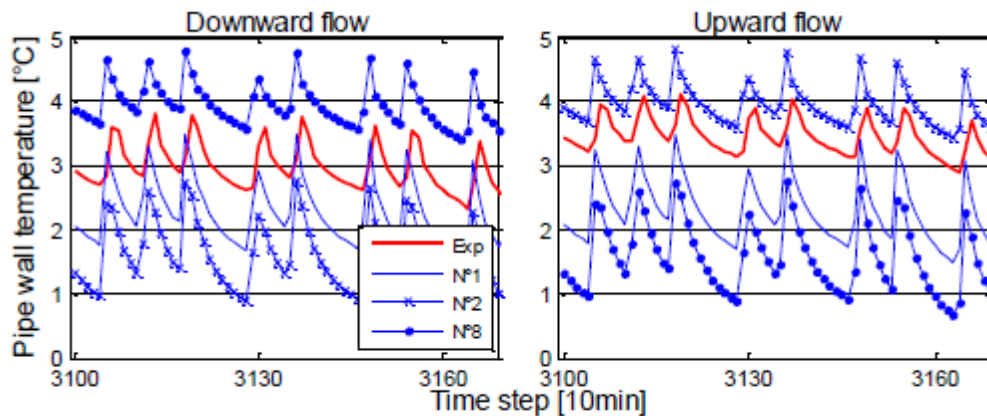


Fig. II.14. Température de la paroi des tubes pour différents cas à $z = 38,5$ m (126,3 ft) [15]

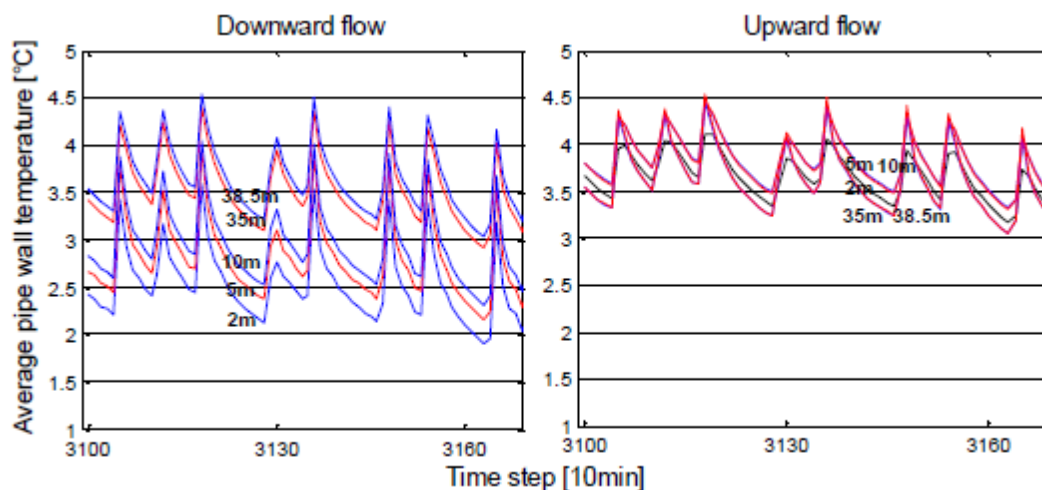


Fig. II.15. Températures moyennes de paroi de tube simulées à différentes profondeurs[15]

T.Y. Ozudogru .Cet article présente le développement et la validation d'un modèle numérique 3D pour la simulation d'échangeurs de chaleur géothermiques à tubes en U verticaux (GHE) à l'aide d'un logiciel d COMSOL Multiphysics. Pour minimiser l'effort de calcul, le modèle numérique proposé utilise des éléments linéaires 1D pour simuler le flux et le transfert de chaleur à l'intérieur des conduites. Ces éléments linéaires sont couplés au domaine 3D en utilisant le champ de température le long de la surface extérieure du tuyau et un maillage optimisé d'éléments finis pour réduire le nombre d'éléments. La discrétisation de la géométrie, la génération de mailles par éléments finis et les spécificités de la physique du système et des affectations de conditions aux limites sont expliquées en détail. Le modèle simule deux cas génériques, un forage avec un seul tube en U. et un pieu énergétique avec un double tube en U. Dans chaque cas, un chauffage constant suivi d'une période de récupération

(c'est-à-dire, aucun chauffage) est simulé. Un examen de la théorie du modèle source à lignes finies est également présenté, ainsi que des modifications pour tenir compte du taux de chaleur variable. De plus, une méthode pour estimer les résistances thermiques à l'état d'équilibre dans le pieu forage / énergie est présentée afin de calculer de manière analytique les températures du fluide. La validation du modèle est réalisée en comparant les résultats numériques avec les résultats obtenus à partir du modèle analytique. [16]

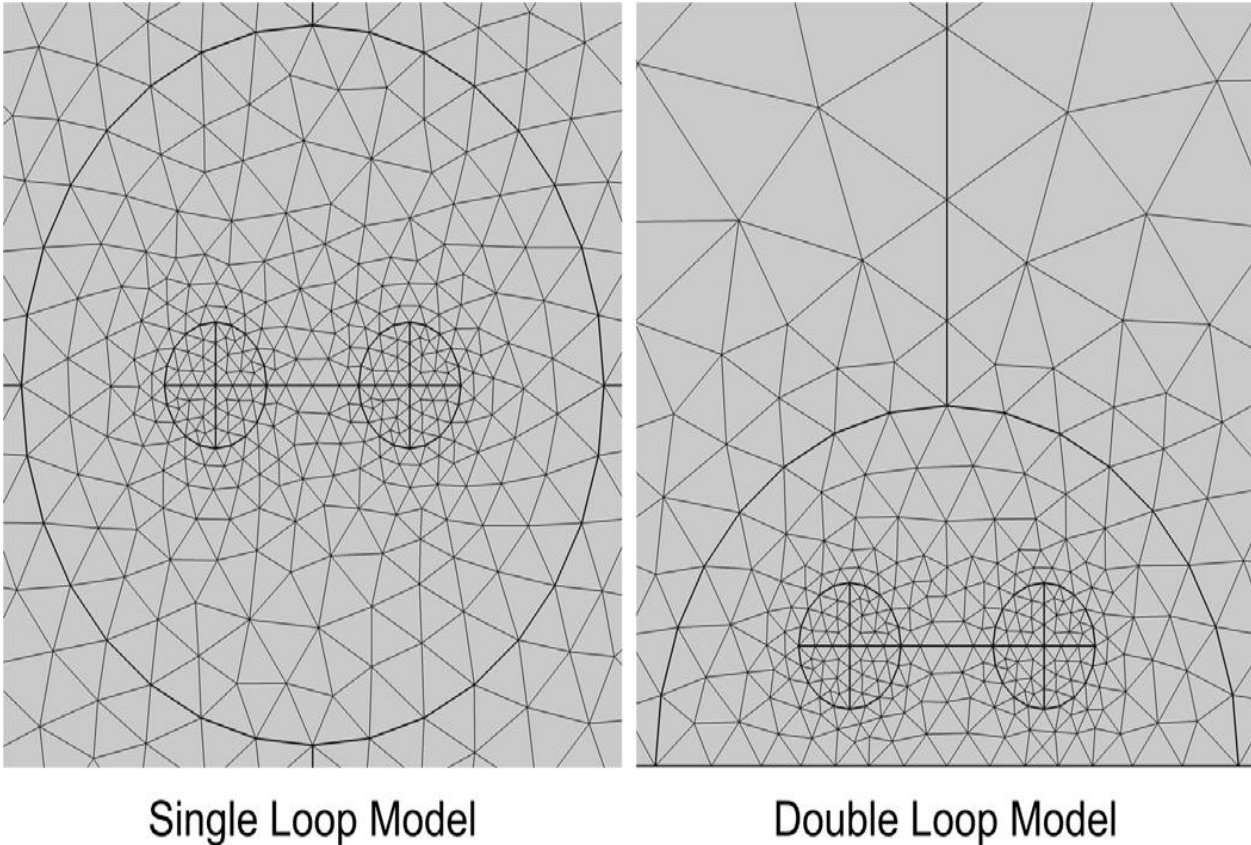


Fig. II.16. Maillages des éléments finis 2D des modèles génériques à une ou deux tubes. [16]

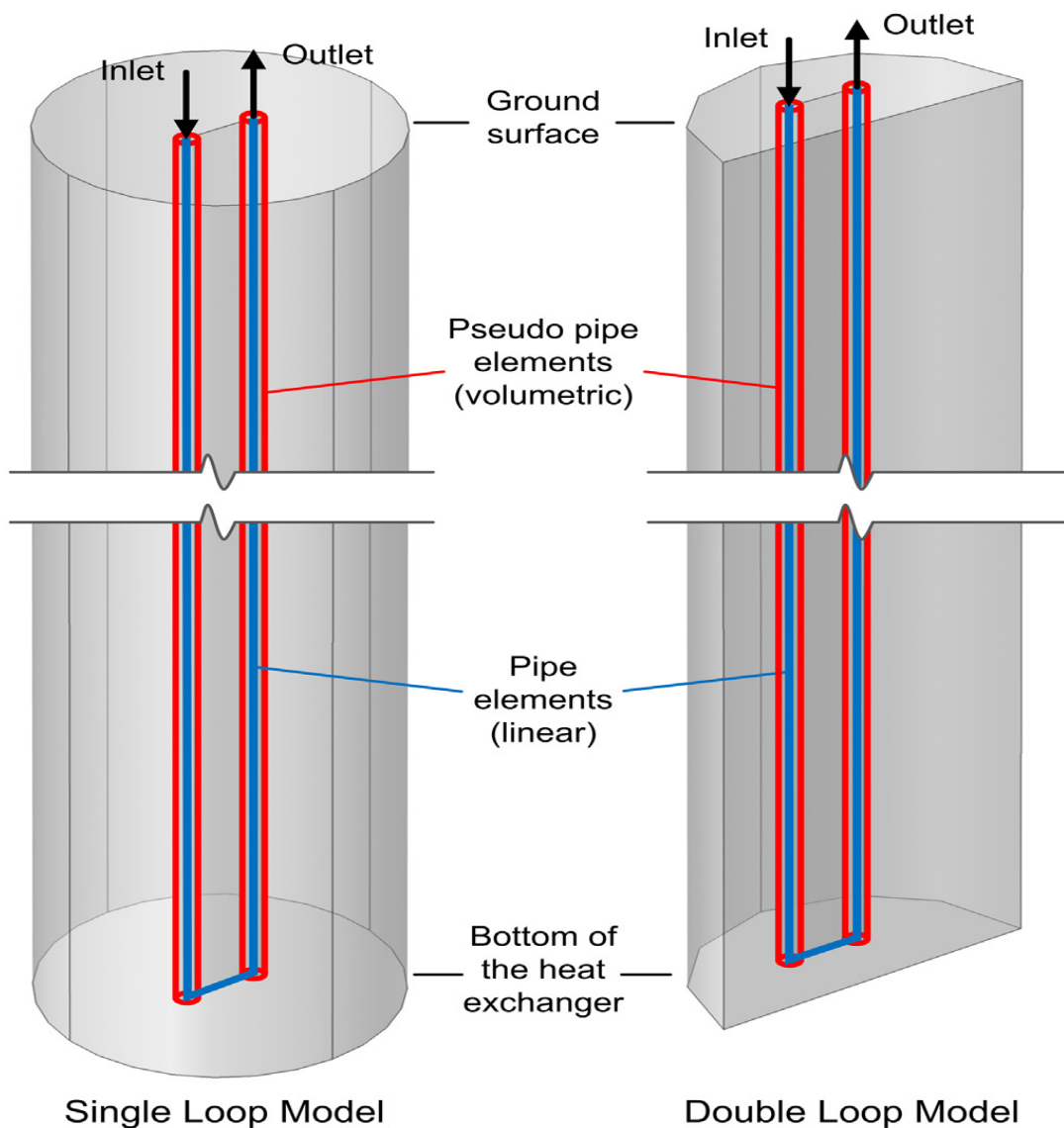


Fig. II.17. Éléments de conduite linéaires et pseudo-éléments volumétriques. [16]

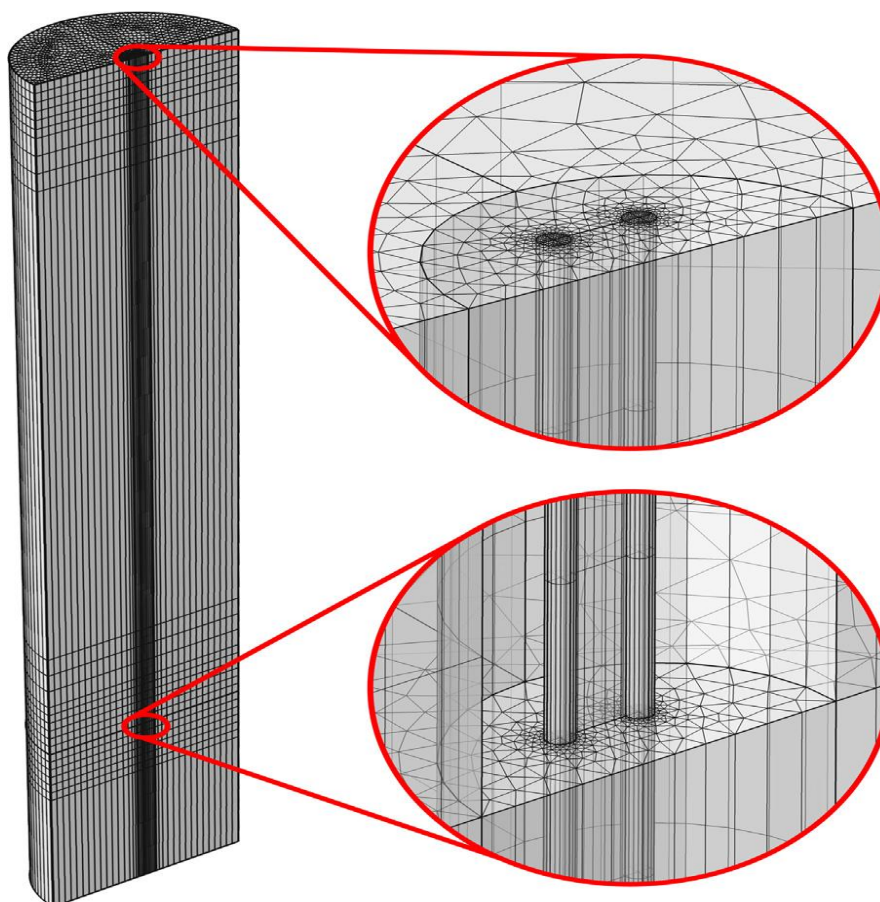


Fig. II.18. Maillage des éléments finis d'un modèle de pile à double boucle d'énergie [16].

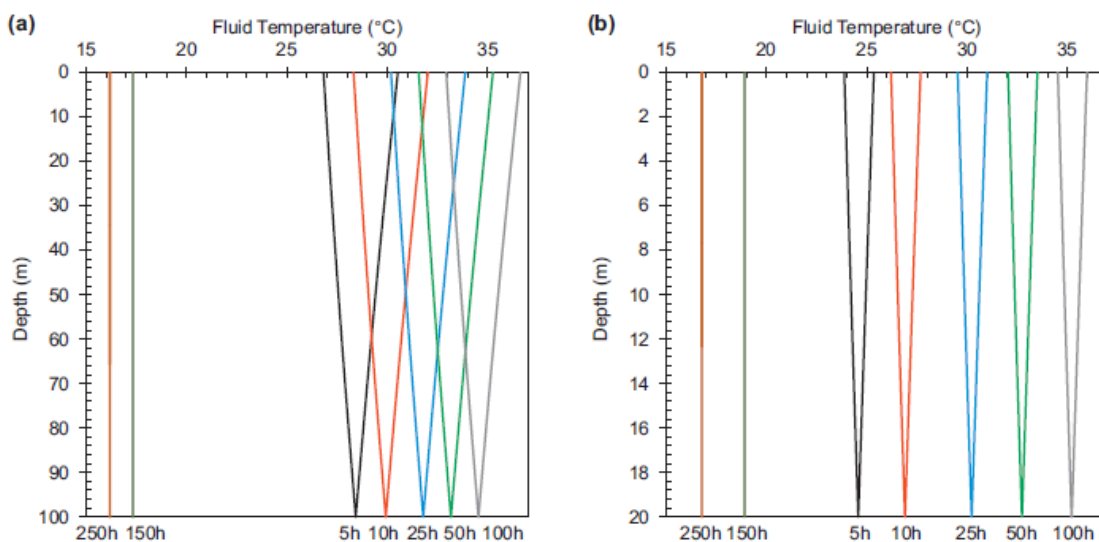


Fig. II.19. Profils de température des fluides le long de la profondeur de GHE estimés par le modèle numérique proposé: (a) forage; (b) pile(tube) d'énergie. [16]

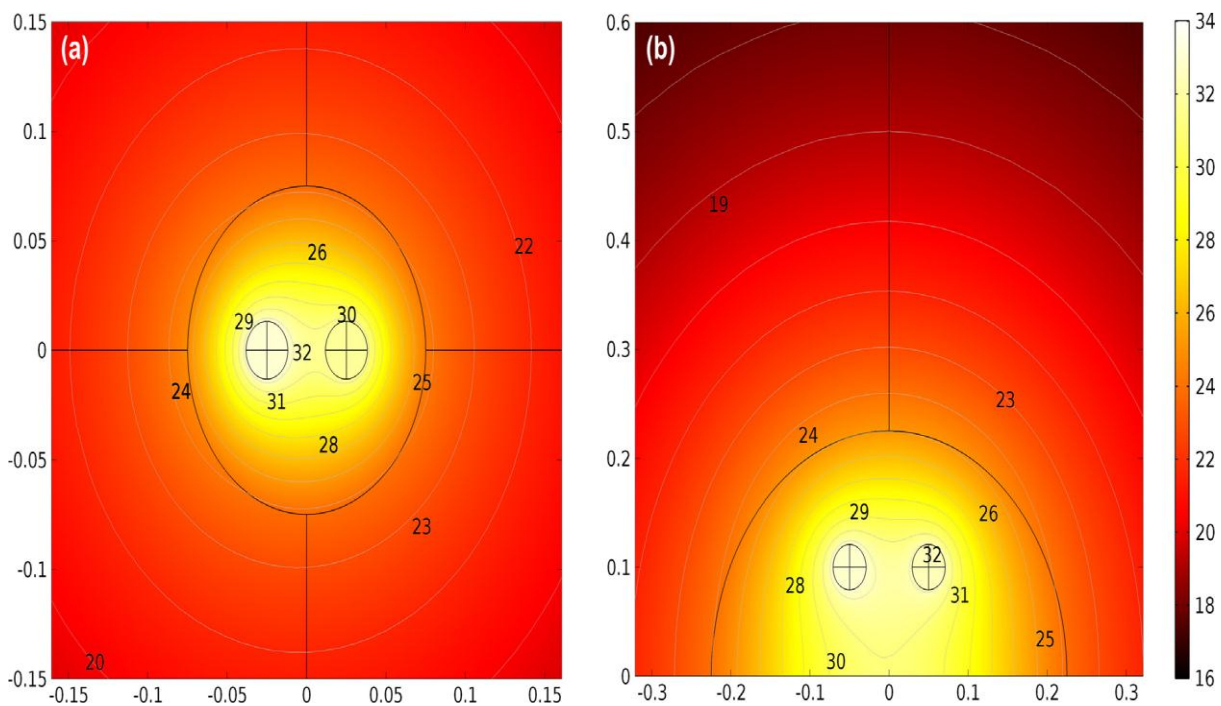


Fig. II.20. Courbes de courbes de température dans une section transversale à mi-profondeur de GHE à la fin de la période d'injection de chaleur (à 100 h): (a) forage; (b) pile (tube) d'énergie. [16]

Bidarmaghz A. Intéressé à étudier La conception des échangeurs de chaleur géothermiques comprend la sélection d'options de configuration détaillées. Cependant, l'importance relative des différents choix de conception sur les performances est mal comprise. Cette étude examine les effets de différents paramètres de conception tels que la configuration de la conduite et le débit du fluide sur le débit d'extraction de la chaleur. Elle sera utile pour concevoir un système éco-énergétique et rentable. Différentes configurations de tuyaux dans les trous de forage verticaux scellés, y compris les tuyaux simples en U, doubles et en croix pour les trous de forage de petit diamètre, et les tuyaux en spirale et multiples en U pour les trous de forage de grand diamètre, sont modélisées en détail à l'aide de les méthodes par éléments finis Les effets des configurations GHE et du débit de fluide sur l'efficacité du système sont déterminés et contrastés.

Les résultats numériques indiquent que les performances thermiques du système sont améliorées en passant d'un régime laminaire à un régime turbulent et en augmentant le volume de fluide vecteur à l'intérieur des conduites pour une longueur donnée de GHE (c'est-à-dire des conduites simples par opposition à des conduites doubles). Cependant, dans les trous de forage de plus grand diamètre, les performances thermiques de GHE ne changent pas de manière significative pour différentes configurations de tuyaux avec des longueurs de tuyau similaires à l'intérieur du trou de forage (c.-à-d. Spirale par rapport à plusieurs tubes en U). [17]

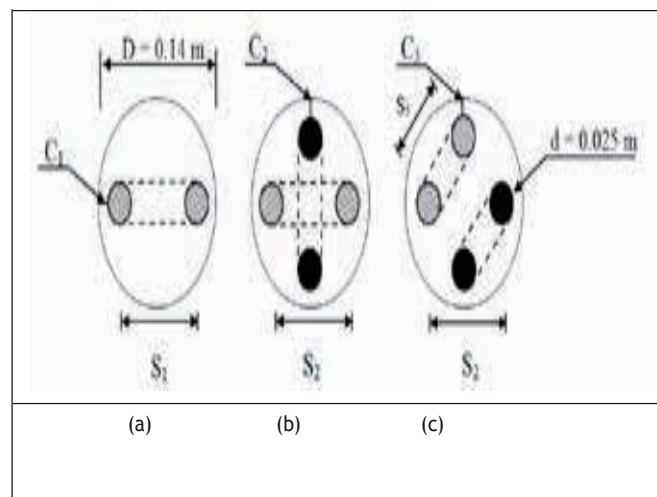


Fig. II.21. Configurations de tuyaux GHE a étudié : (a) tuyau en U simple, (b) tuyau en U double croix, (c) tuyau en U double. [17]

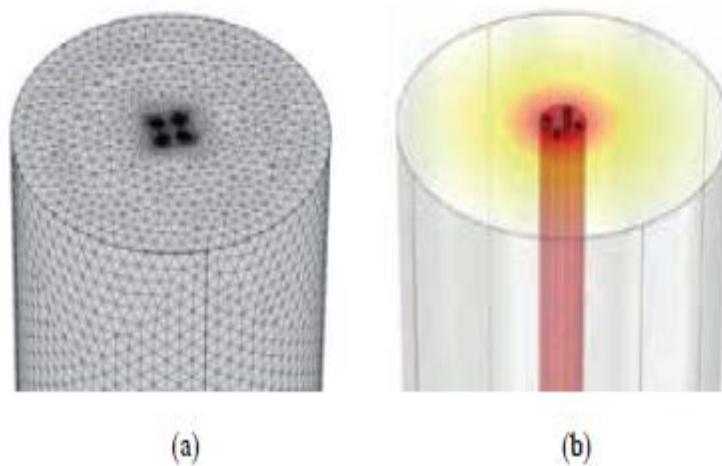


Fig. II.22.. Exemple de section de modèle FEM 3D: (a) Maillage FEM d'un GHE avec deux U-pipes; (b) détail de la distribution de la température[17].

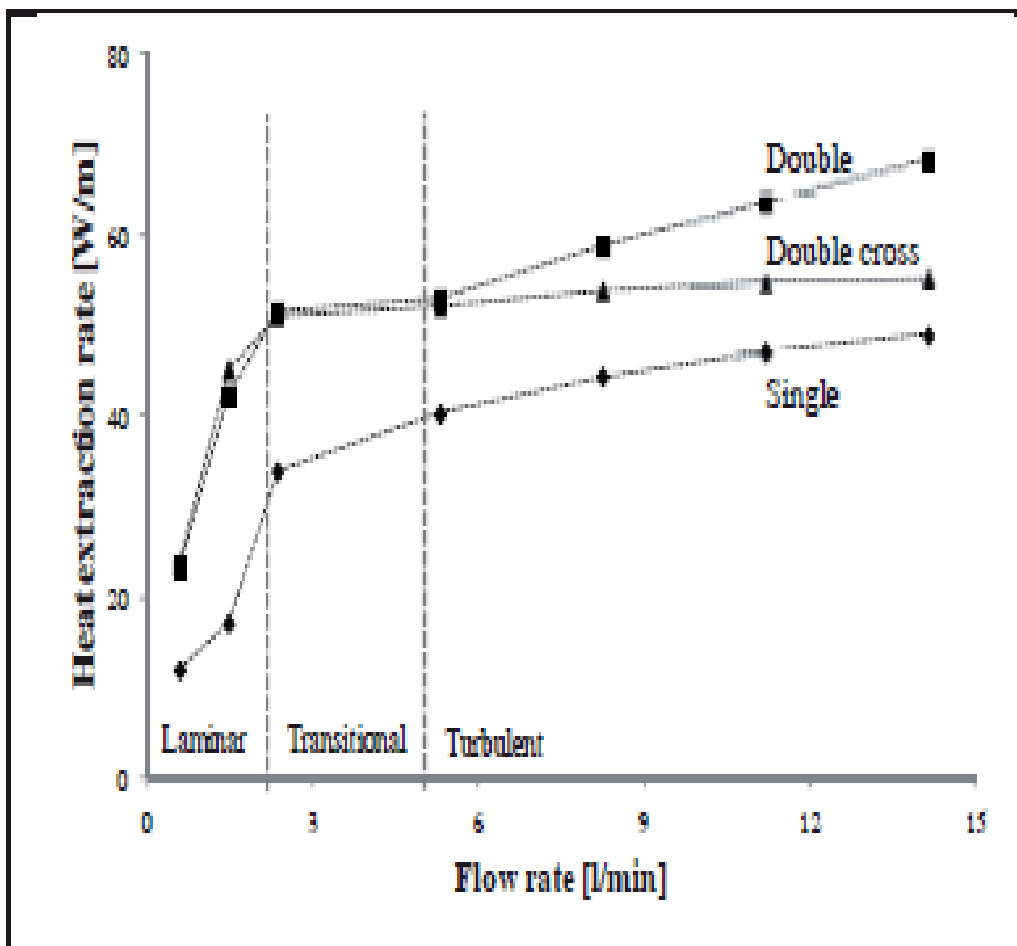


Fig. II.23. flux d'extraction de chaleur en fonction du débit de fluide. [17]

Tableau .II.1. Comparaison des performances thermiques GHE des tuyaux en U et en spirale pour différentes longueurs de tuyaux. [17]

Geometry	Axial Pitch [m]	Pipe length [m]	Flow rate of 14.5 l/min in each GHE	Flow rate of 14.5 l/min in each U-pipe
			Heat extraction rate [W/m]	Heat extraction rate [W/m]
Spiral 1	0.2	180	48.63	48.63
Triple U	-	180	49.71	51.15
Spiral 2	0.3	120	45.35	45.35
Double U	-	120	44.07	45.10
Spiral 3	1	60	37.13	37.13
Single U-pipe	-	60	32.53	32.53



Chapitre III

Modélisation

III.1. Description du système

Il s'agit d'un conduit souterrain cylindrique de forme U à une section circulaire constante. Dans lequel s'écoule un fluide Newtonien et incompressible (eau) en écoulement laminaire et l'échange thermique se fait en régime stationnaire. Le conduit d'épaisseur fine e et de diamètre intérieur $D_i = 320$ mm et de diamètre extérieur $D_e = 42$ mm soumis à une température de sol constante $T_s = 333$ K sur toute la longueur de conduit horizontale (P_2, P_3 et P_4) = 0,40 m et une température variable au niveau des conduites verticales $P_1 = 0,8$ m et $P_5 = 0,8$ m. A l'entrée du conduit, l'air se présente avec une vitesse constante selon les nombres des Reynolds qu'on a ($Re = 10, 80, 100$) et une température ambiante constante $T_a = 280$ K. Les propriétés thermophysiques du fluide, la conductivité thermique et la viscosité, sont supposées constantes. On considère aussi le sol homogène. La géométrie du système est représentée dans la figure 2.1 (a), (b).

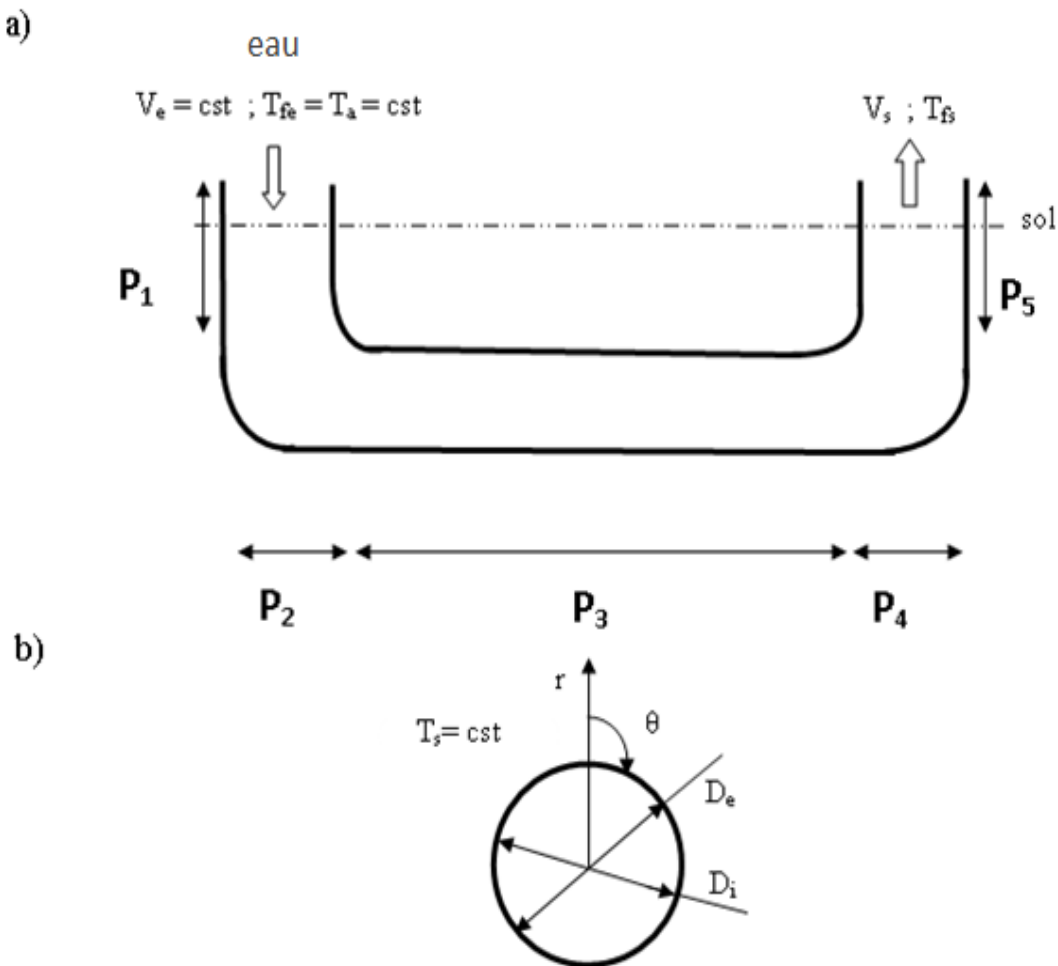


Fig.III.1 : Géométrie du système (a,b)

III.2.Bilan Thermique

Le flux thermique par unité de surface ' φ ' à travers la paroi du tube est proportionnel à la différence de température entre la surface interne, T_{sol} , et externe du tube, T_{eau} , et à l'inverse de la résistance thermique de la paroi R .

$$\varphi = \frac{T_{sol} - T_{eau}}{R} \dots\dots\dots(III.1)$$

La résistance de la paroi (gaine) est composée d'une part, de la résistance à la conduction et d'autre part de la résistance à la convection:

$$R = R_{cd} + R_{cv} \dots\dots\dots(III.2)$$

La quantité de chaleur échangée par unité de temps correspond au flux thermique multiplié par la surface d'échange:

$$dQ = \varphi \cdot s \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{eau}}{R} s \cdot dt \dots\dots\dots(III.3)$$

Telle que $S = S_{laterale}$

$$dQ = \varphi \cdot s \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{eau}}{R} s \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{eau}}{R} 2 \cdot \pi \cdot L \cdot dt \dots\dots\dots(III.4)$$

$$q_v = S \cdot V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v$$

q_v est constant donc V est constant

$$V = \frac{dL}{dt} \Rightarrow dt = \frac{dL}{V}$$

Cet échange de chaleur entraîne la variation de la température de l'eau.

$$dQ = c \cdot q \cdot v \cdot dT_{eau} dt = c \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dL dT_{eau} dt \dots\dots\dots(III.5)$$

Egalisons les expressions (2.13) et (2.14) on aura:

$$\frac{dT_{eau}}{-T_{eau} + T_{sol}} = \frac{2 \cdot dL}{c \cdot \rho \cdot r \cdot V \cdot R} \dots\dots\dots(III.6)$$

Par conduction :

La conduction est une transmission de la chaleur dans la matière par vibration moléculaire. Les vibrations thermiques des cristaux sont des phonons excités.

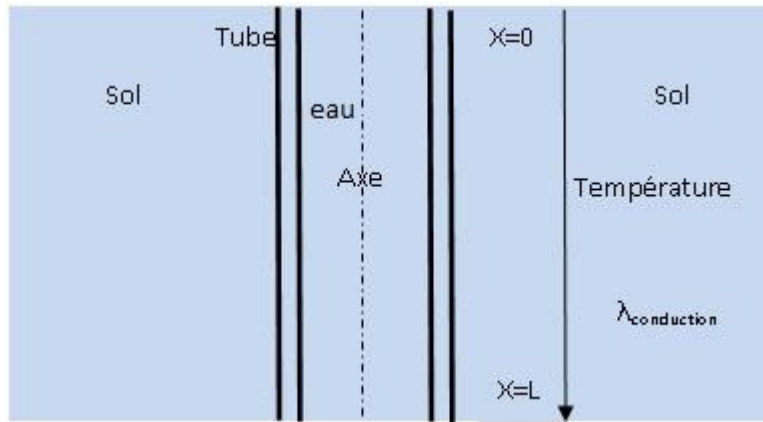


Fig III.2 : Schématisation du problème physique

L'équation générale de la conduction s'écrit comme:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q'}{\rho c} \dots \dots \dots (III. 7)$$

Pour un transfert unidimensionnel suivant l'axe des x

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} = 0$$

et sans source interne $Q'=0$; l'équation se simplifie pour s'écrire :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Avec :

$$\alpha = \frac{K}{\rho c}$$

Nous sommes donc confrontés à une équation différentielle aux dérivées partielles de la forme:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots \dots \dots (III. 8)$$

III.3.Par convection

Les transferts de chaleur qui s’effectuent simultanément avec des transferts de masse sont appelés transferts de chaleur par convection.

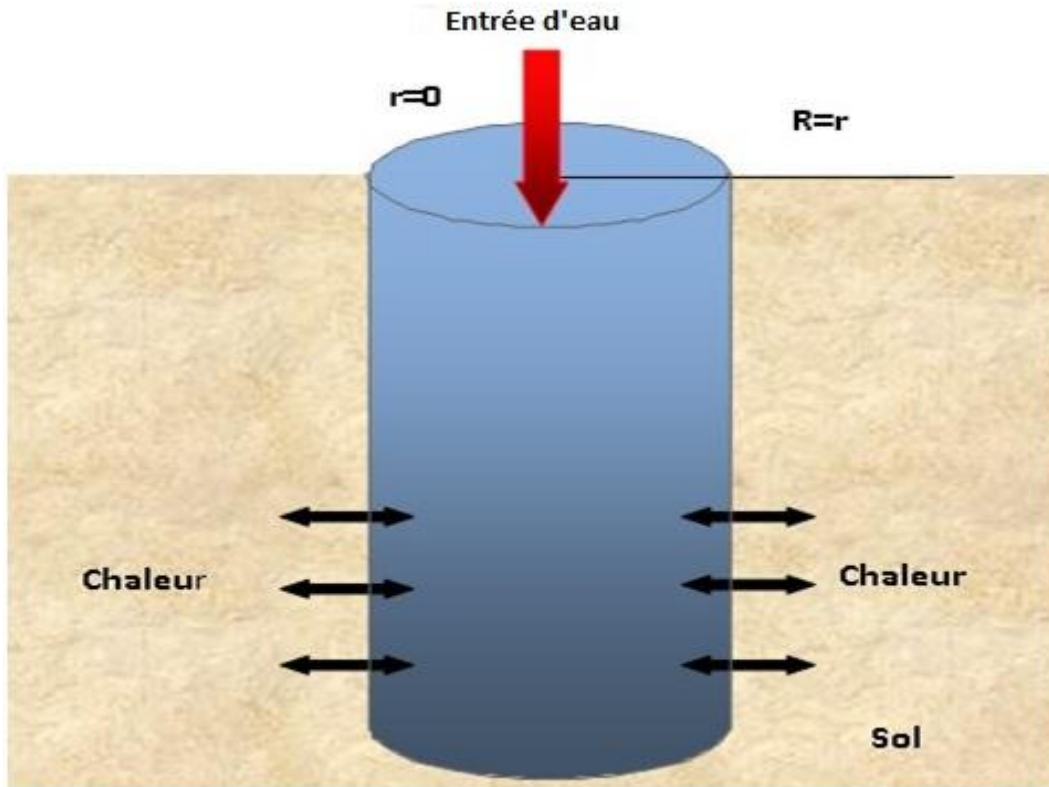


Fig III.3: Echangeur de chaleur entre fluide et sol

Traitement du phénomène thermique à l’intérieur de la conduite :

On suppose que la matière de la conduite a pour Conductivité thermique

$$K_{cond} = \lambda_{cond} = K_{sol} = \lambda_{sol}$$

L’équation de bilan thermique s’écrit :

$$\rho \frac{DE}{Dt} = div (\lambda \overrightarrow{grad} T) - p div \vec{q} + \phi \dots \dots \dots (III. 9)$$

-Le fluide est incompressible $\text{div } \vec{q} = 0$

-Mouvement unidirectionnel $\rightarrow x$

$$(\nu = w = 0), \text{ établi } \frac{d}{dx} \rightarrow 0$$

III.4.Hypothèses supplémentaires

-Le fluide à propriétés physiques constantes : $\lambda, C_v, \mu, C^{stes}$

-L'énergie interne est donnée par $E = C_v T + E_0$

-Le problème thermique est permanent :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Dans ce cas l'équation de bilan thermique s'écrit comme :

$$p c_v u \frac{dT}{dx} = \lambda f \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right] + \mu \left(\frac{du}{dr} \right)^2 \dots \dots \dots (III. 10)$$

En générale, le terme de dissipation visqueuse $\mu \left(\frac{du}{dr} \right)^2$ et le terme de

condition longitudinale $\lambda f \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right]$ sont négligeables.

Dans ces conditions, l'équation (2.21) s'écrit :

$$p c_v u \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda f}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (III.11)$$

III.5. Conservation de mouvement

On considère l'écoulement permanent d'un fluide Newtonien, incompressible à viscosité constante dans un tube de section circulaire on supposera que le régime dynamique est établi ou permanent

III.6. Equation du mouvement

Les équations de Navier-stokes s'écrivent pour un écoulement tridimensionnel:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 U \dots \dots \dots (III. 12)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 V \dots \dots \dots (III. 13)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w \dots \dots \dots (III. 14)$$

En respectant les hypothèses précédentes alors:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0, \frac{\partial P}{\partial z} = 0, P(x) = P$$

L'équation de continuité s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (III. 15)$$

Avec :

$$\frac{\partial v}{\partial y} \rightarrow 0, \quad \frac{\partial w}{\partial z} \rightarrow 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

L'équation (2.23) s'écrit :

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 U \dots \dots \dots (III. 16)$$

En coordonnées cylindriques :

$$\mu \cdot \nabla^2 u = \frac{\partial P}{\partial x}$$

Avec : $u=f(r)$

Le vecteur de vitesse a pour composantes :

$$\vec{v} \begin{pmatrix} u(r) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{u}{\rho} \nabla \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right] = \frac{u}{\rho} \nabla + \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial r} + \left[r \frac{\partial u}{\partial r} \right] \dots \dots \dots (III. 17)$$

Cette égalité n'est possible que si les deux nombres sont égaux à une constante désignée par (- α)

$$\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\mu}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \left[r \frac{\partial u}{\partial r} \right] = -\alpha \dots \dots \dots (III. 18)$$

III.7.Les conditions aux limites

cas d'un flux constant à la paroi

Pour résoudre l'équation différentielle en T, on doit poser les conditions aux limites adéquates :

Le fluide entre dans la conduit à l'instant $t \geq 0$ avec une température $T_1(x = 0, T = T_1)$

La condition de symétrie se traduit par

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \text{ pour } r = 0$$

A la surface de contact (fluide/sol), on impose une densité de flux

$$q_0 = \lambda_{\text{fluide}} \frac{\partial T}{\partial r} \text{ pour } r = R$$

Faisons le changement de variables suivant :

$$T^* = \frac{T - T_i}{q_0 \left(\frac{R}{\lambda}\right)}, r^* = \frac{r}{R}, x^* = \frac{x}{R} \frac{\gamma}{R_e \cdot P_r}$$

Avec :

$$P_r = \frac{\mu - C_p}{\lambda_f}, R_e = \frac{\rho \cdot U \cdot D}{\mu}, \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Commençons par le premier terme : $\rho C_v u \frac{\partial T}{\partial x}$

Avec : $u = \frac{2U}{R^2} (R^2 - r^2)$

$$\rho C_v u \frac{\partial T}{\partial x} = \rho C_v \frac{2U}{R^2} (R^2 - r^2) \frac{q_0 R}{\lambda_f} \cdot \frac{dT}{dx} = 2\rho C_v \frac{UR^2}{R^2} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \frac{q_0 R}{\lambda_f} \cdot \frac{dT^*}{dx} \dots \dots \dots (III.19)$$

Après simplification on aura :

$$2\rho C_v U (1 - r^{*2}) \cdot R \frac{q_0}{\lambda_f} \cdot \frac{dT^*}{dx} = \frac{U \cdot 2 \cdot R \cdot \mu}{\mu} \frac{\rho C_v}{\lambda_f} \cdot q_0 \frac{dT^*}{dx} (1 - r^{*2}) \dots \dots \dots (III.20)$$

Or:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \rightarrow C_v = \frac{C_p}{\gamma}, R_e \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda_f} \cdot \frac{1}{\gamma} q_0 \frac{dT^*}{dx} (1 - r^{*2}) \dots \dots \dots (III.21)$$

On choisit :

$$x^* = \frac{x}{R} \cdot \frac{\gamma}{R_e \cdot P_r}$$

On aura après simplification et arrangement:

Le terme de gauche s'écrit :

$$\frac{R_e.P_r}{\gamma} . q_0 \frac{dT^*}{dx} (1 - r^{*2})$$

Le terme de droite s'écrit :

$$\frac{\lambda_f}{r} . \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = \frac{\lambda_f}{R.r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(Rr^* \left(R \frac{q_0}{\lambda_f} \right) \frac{dT^*}{R.dx} \right) \dots \dots \dots (III.22)$$

L'équation après développement s'écrit :

$$\frac{\lambda_f}{r} . \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = \frac{\lambda_f . R^2}{r^* . R^2 . \lambda_f . R} \frac{1}{r^*} \frac{d}{dr^*} \left(r^* . \frac{dT^*}{dr^*} \right) = \frac{q_0}{Rr^*} . \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* . \frac{dT^*}{dr^*} \right) \dots \dots \dots (III. 23)$$

On aura:

$$(1 - r^{*2}) \frac{R_e . P_r}{\gamma} . q_0 \frac{dT^*}{dx} = \frac{q_0}{Rr^*} . \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* . \frac{dT^*}{dr^*} \right) \dots \dots \dots (III. 24)$$

Après simplification on aura l'équation sous la forme :

$$R . \left(\frac{R_e . P_r}{\gamma} \right) . (1 - r^{*2}) \frac{dT^*}{dx} = \frac{1}{r^*} . \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* . \frac{dT^*}{dr^*} \right) \dots \dots \dots (III. 25)$$

Nécessairement :

$$x^* = \frac{x}{R} . \frac{\gamma}{R_e . P_r} \rightarrow x = x^* . R \frac{R_e . P_r}{\gamma}$$

C'est-à-dire :

$$\frac{x}{R} . \frac{\gamma}{R_e . P_r} = x^*$$

On aura finalement :

$$(1 - r^{*2}) . \frac{dT^*}{dx^*} = \frac{1}{r^*} . \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* . \frac{dT^*}{dr^*} \right) \dots \dots \dots (III. 26)$$

Les conditions aux limites associées au problème (III.26) sont :

$$\begin{cases} \frac{dT^*}{dr^*} = -1, & r^* = 1 \\ T^* = 0, & x^* = 0 \\ \frac{dT^*}{dr^*} = 0, & r^* = 0 \end{cases}$$

cas d'une variation de la température à la paroi

Après le développement de l'équation on aura

$$\rho C_v u \frac{dT}{dx} = \lambda_f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (III.27)$$

Avec :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\lambda_f}{\rho_f C_f u} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (III.28)$$

On peut simplifier l'équation (III.28) comme suit :

$$u = Cste; \alpha = \frac{\lambda_f}{\rho_f C_f}$$

L'équation sera :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\alpha}{u} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (III.29)$$

Pour une section rectangulaire $\nabla^2 T_r$ va être remplacé par $\nabla^2 T_y$. Dans ce cas, on peut écrire l'équation d'énergie dans les coordonnées cartésiennes. on aura alors:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\alpha}{u} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \dots \dots \dots (III.30)$$

III.2.7. Evaluation du coefficient d'échange par convection

La résistance thermique de convection d'un élément exprime sa résistance thermique au passage d'un flux de chaleur d'origine convective. Dans le cas du tube présenté sur la figure (Figure III- 2).

il existe aussi une résistance de convection sur la face intérieure du tube de même qu'à la surface extérieure. De même que précédemment, la loi de Newton conduit immédiatement à

$$R_{cv} = \frac{1}{hS} = \frac{1}{h \cdot 2\pi\lambda l} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..31)}$$

C'est l'équation qui décrit la température de l'eau le long de l'échangeur.

$$Nu = \frac{h \cdot D}{\lambda} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..32)}$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..33)}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection (h) est déterminé comme suit :

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{D} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..34)}$$

où, nombre de Nusselt , Nu en termes de nombre de Prandtl (Pr) pour divers motifs d'écoulement de l'eau définie par le nombre de Reynolds, sont donnés ci-dessous.

$$Re = \frac{\rho V_m D}{U} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..35)}$$

$$v = \frac{U}{\rho} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..36)}$$

$$Re = \frac{V_m D}{\nu} \text{ (Erreur! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..37)}$$

ρ : est la masse volumique du fluide (kg / m³)

v_m : est la vitesse maximale de l'objet par rapport au fluide (m/s)

D : diamètre (m)

U : La viscosité dynamique du fluide

ν : est la viscosité cinématique (m²/s)

Donc la résistance thermique total devient

Nombre de Reynolds et donné par la relation suivante :

$$Re = V \cdot dh \cdot \rho / \mu \quad (III.38)$$

Le régime et laminaire d'où [12] :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \quad (III.39)$$

Le nombre de Prandtl et donné par :

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{\lambda} \quad (III.40)$$

Tel que : $\mu_{eau} = 1,12 \text{ pa. s}$ et $Cp_{eau} = 4183 \text{ J/kgk}$ et $\lambda_{eau} = 0,613 \text{ W/mk}$

Tenant compte des valeurs de Reynolds et Prandtl, le nombre de Nusselt se modifier :

$$Sachant \text{ que : } h = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (III.41)$$

Dans cette partie nous calculons le modèle mathématique que modélise le type d'échangeur que étudié ce modèle nécessaires pour la simulation dans le prochain chapitre

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners at the top and bottom. The text is centered within this border.

CHAPITRE IV

Simulation

Numérique

Introduction

Dans ce chapitre, on a procédé une simulation numérique de l'échangeur étudié en utilisant l'éditeur de logiciels **ANSYS Workbench**, cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial.

Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul.

Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution.

IV.1. Procédure du calcul

IV.1. 1.Menu principal du logiciel ANSYS Workbench

L'ouverture du logiciel fait apparaître le menu principal présenté ci-dessous:

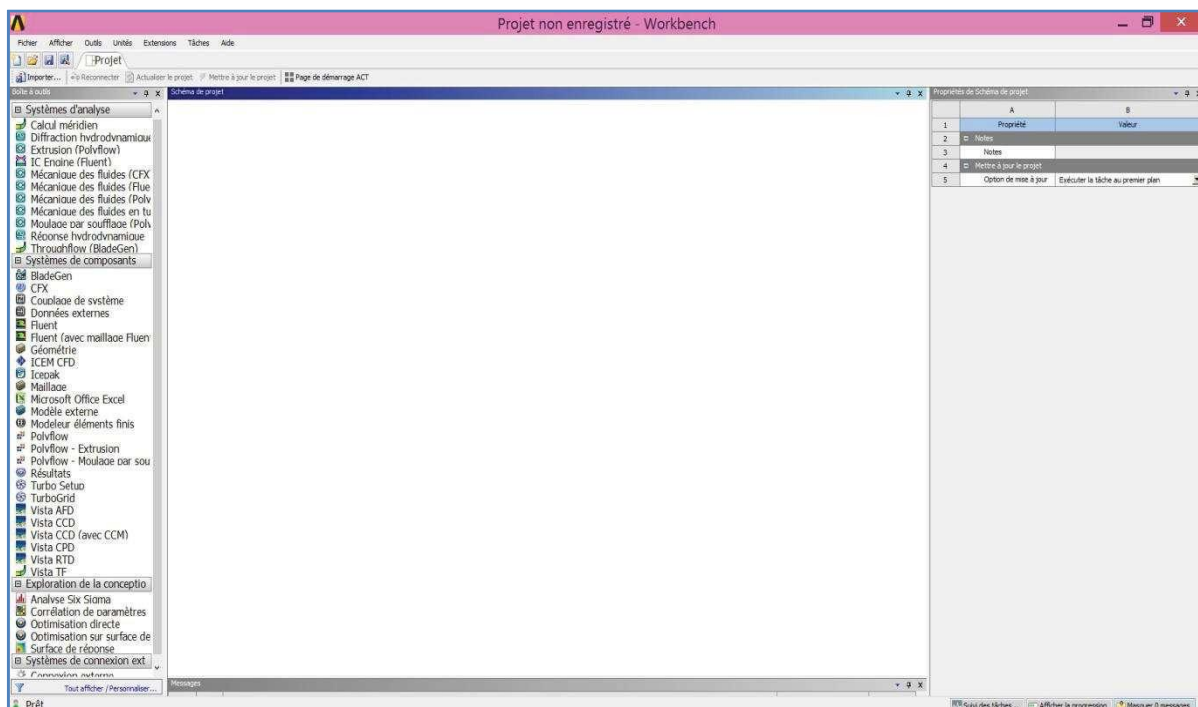


Fig. IV.1 Menu principal de workbench

La barre d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse. Pour débiter une analyse en mécanique des fluides (Fluent) glisser dans schéma de projet (fige IV.2)

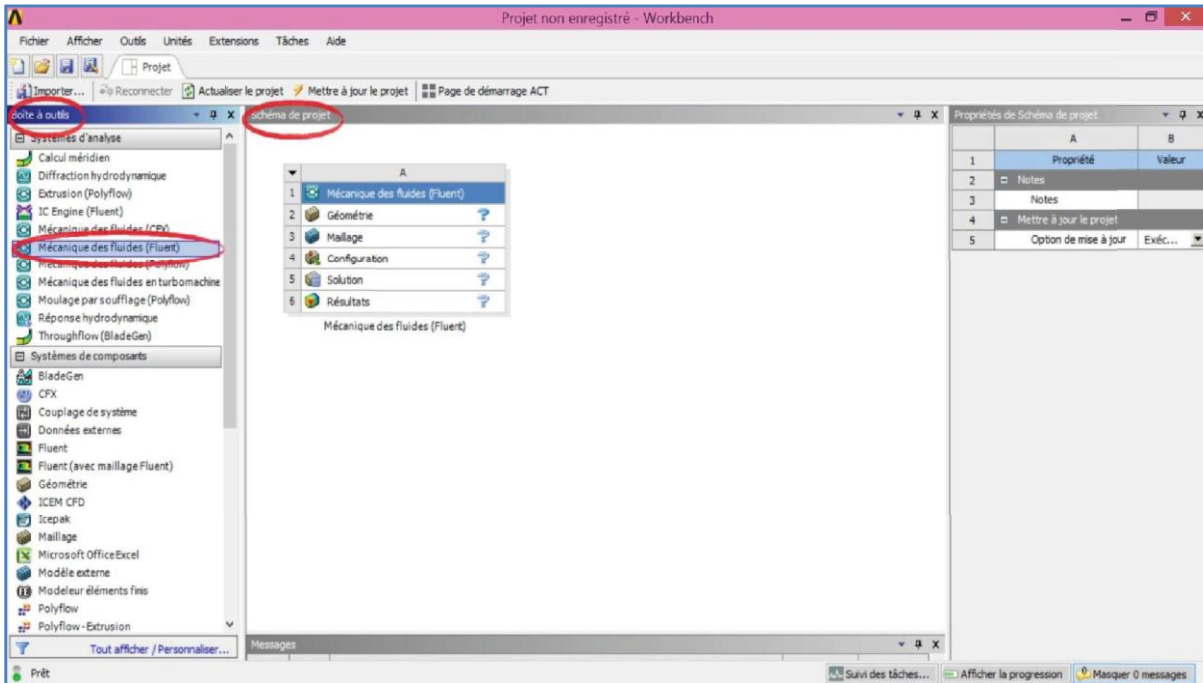


Figure. IV. 2 Création d'une analyse (projet) en mécanique de fluide

le tableau créer constitué de 5 étapes :

1. **Géométrie:** Utilisé pour importer, créer, modifier ou mettre à jour un modèle pouvant être utilisé pour une analyse.
2. **Maillage:** cette cellule est associée à la définition de la géométrie, des systèmes de coordonnées, des connections et du maillage dans le module de simulation Mécanique.
3. **Configuration:** permet de définir les chargements, conditions aux limites et autre configuration de l'analyse.
4. **Solution :** La cellule Solution permet d'avoir accès aux données de résolution.
5. **Résultats:** cette cellule regroupe les résultats de l'analyse.

IV.1. 2.Création de la geometrie:

Pour créer une géométrie avec Ansys Workbench Double clique sur **Géométrie** pour ouvrir le module de création géométrique "DesignModeler" (figes: (IV.3), (IV.4), (IV.5))



Fig IV. 3 Création d'un projet en mécanique de fluide

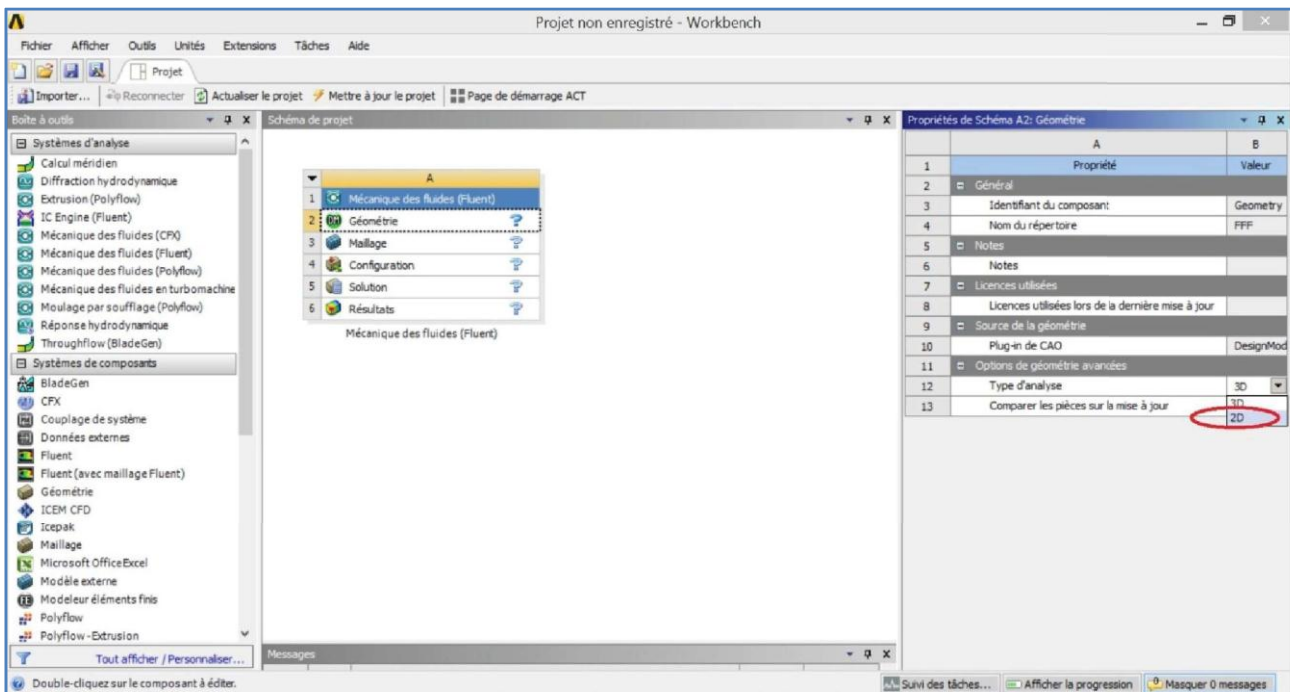


Fig IV. 4 : Création du modèle géométrique (DesignModler)

Il faut modifier le type d'analyse :3D ou 2D

Après le l'ouverture du module de création géométrie, sélectionnez millimètre comme unité de dimension

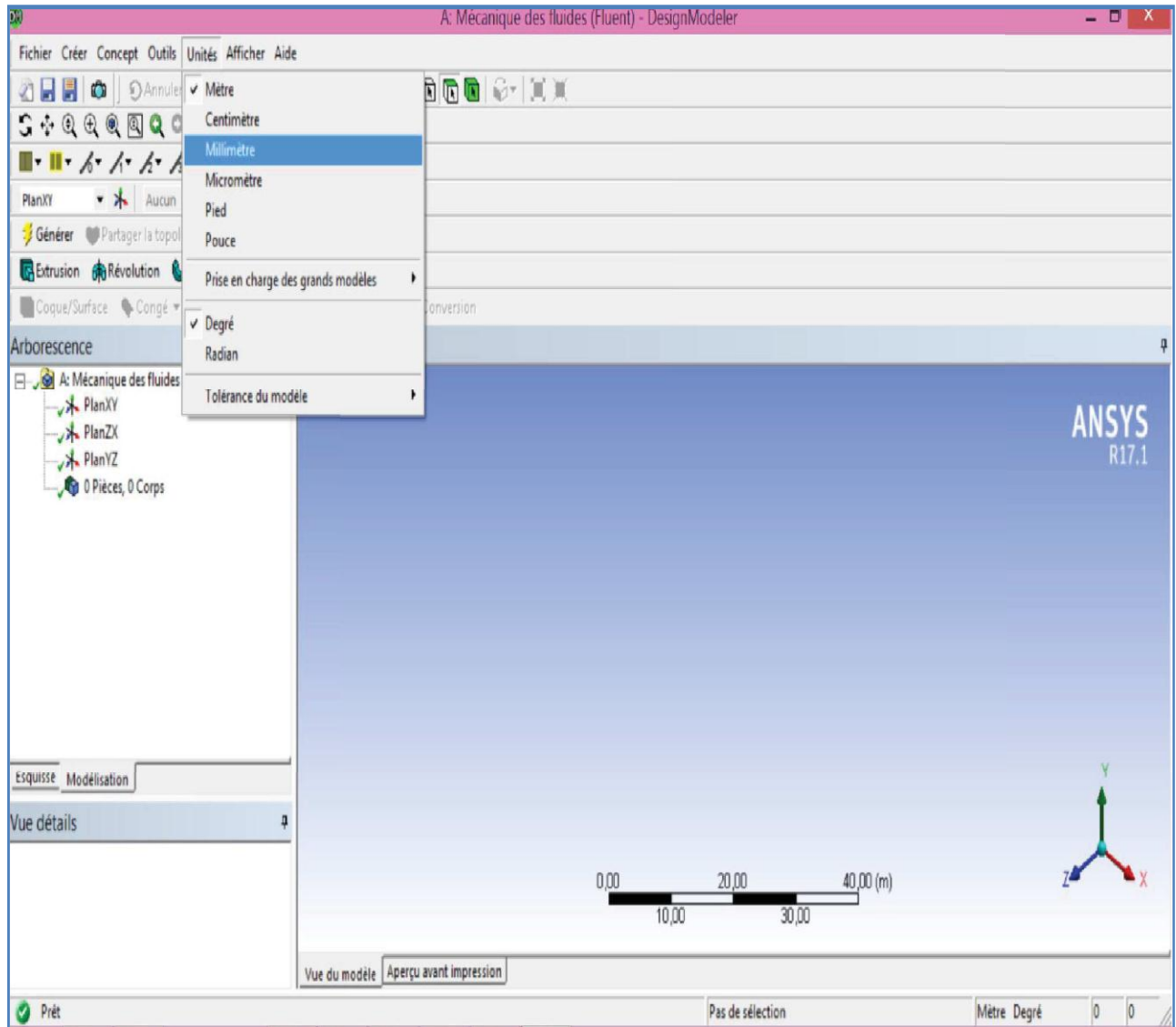

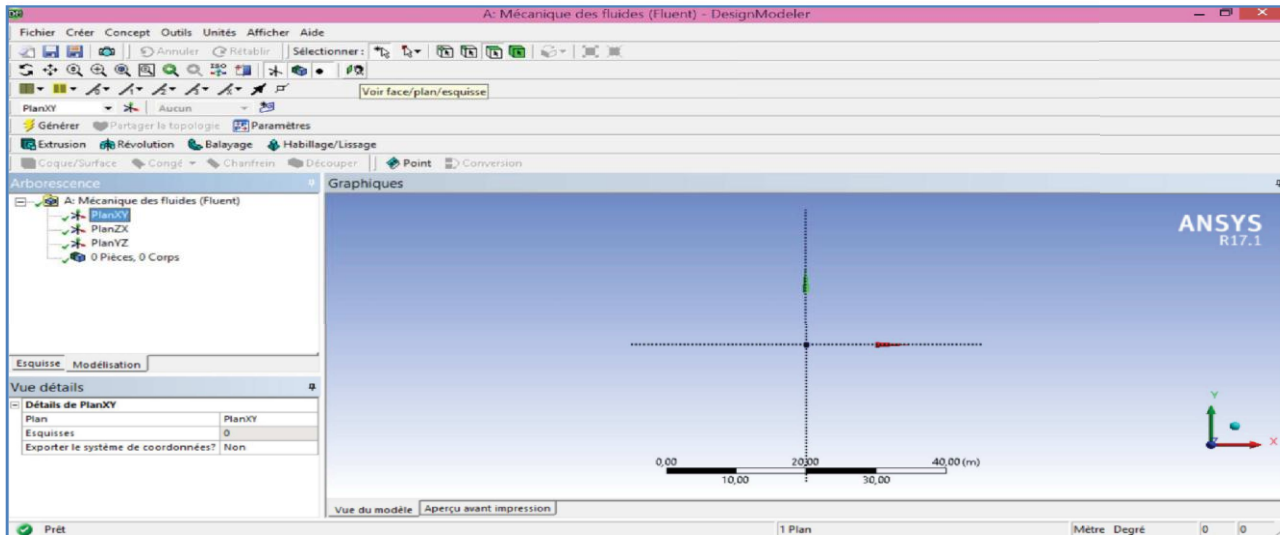


Fig. IV. 5. Création du modèle de la géométrie

Par la suite, on choisi le plan et la vue sur lequel on va travailler, en cliquant sur le plan XY, et

 dans la barre



sur a barre d’outils.

Figé IV.6:Création du modèle (plan de vue

Pour dessiner l'esquisse on clique sur la boîte à outils Esquisse qui va permet de créer la géométrie, d’y ajouter des dimensions et de la contrainte:



Figé .IV.7: Création d'esquisse

On obtient cet esquisse:

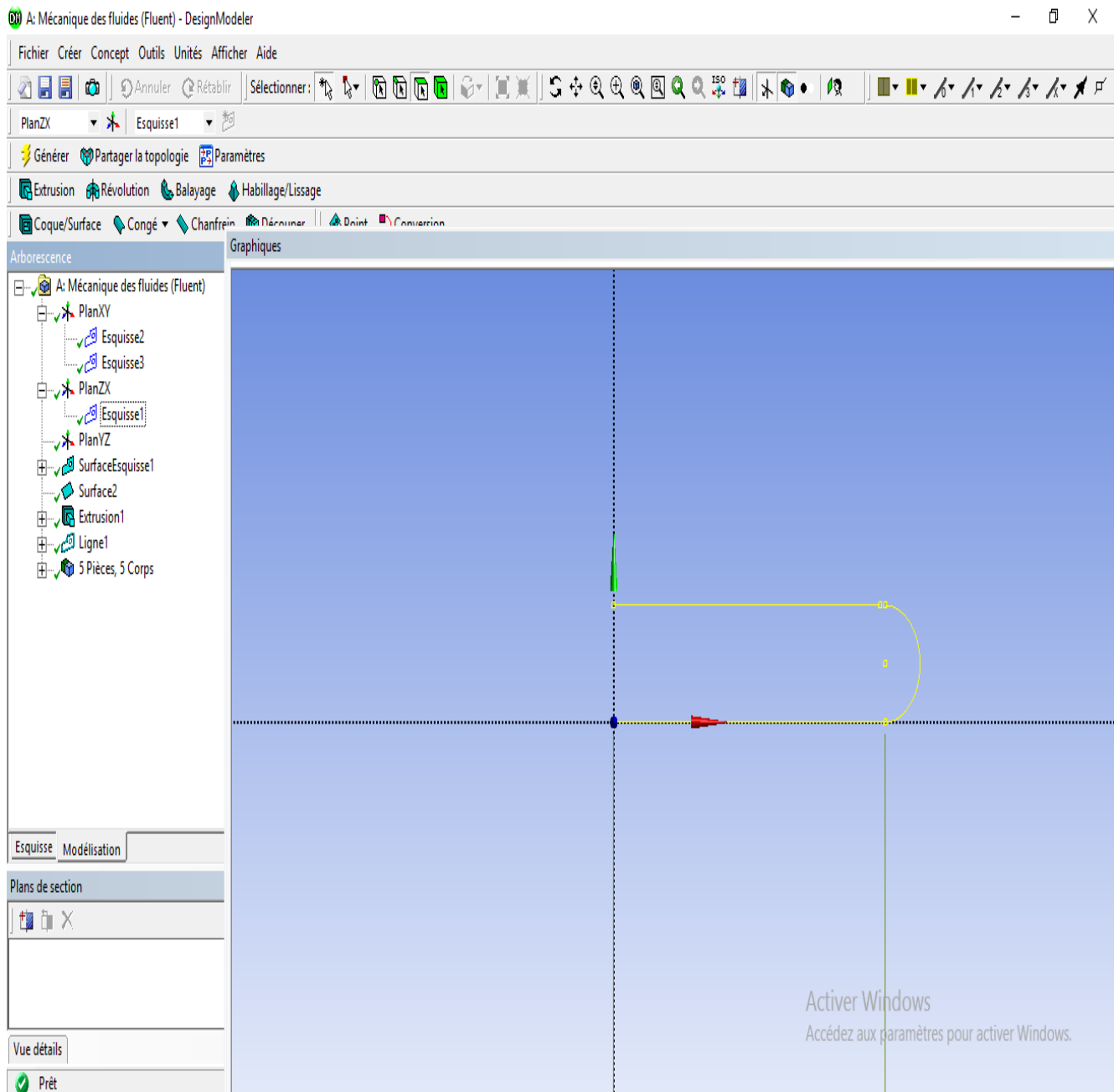


Fig. .IV.8:Création d'esquisse

Définissant les cotes de la géométrie comme suit et dessin des cercles et le balayage en trouve le forme finale de tube ce forme U

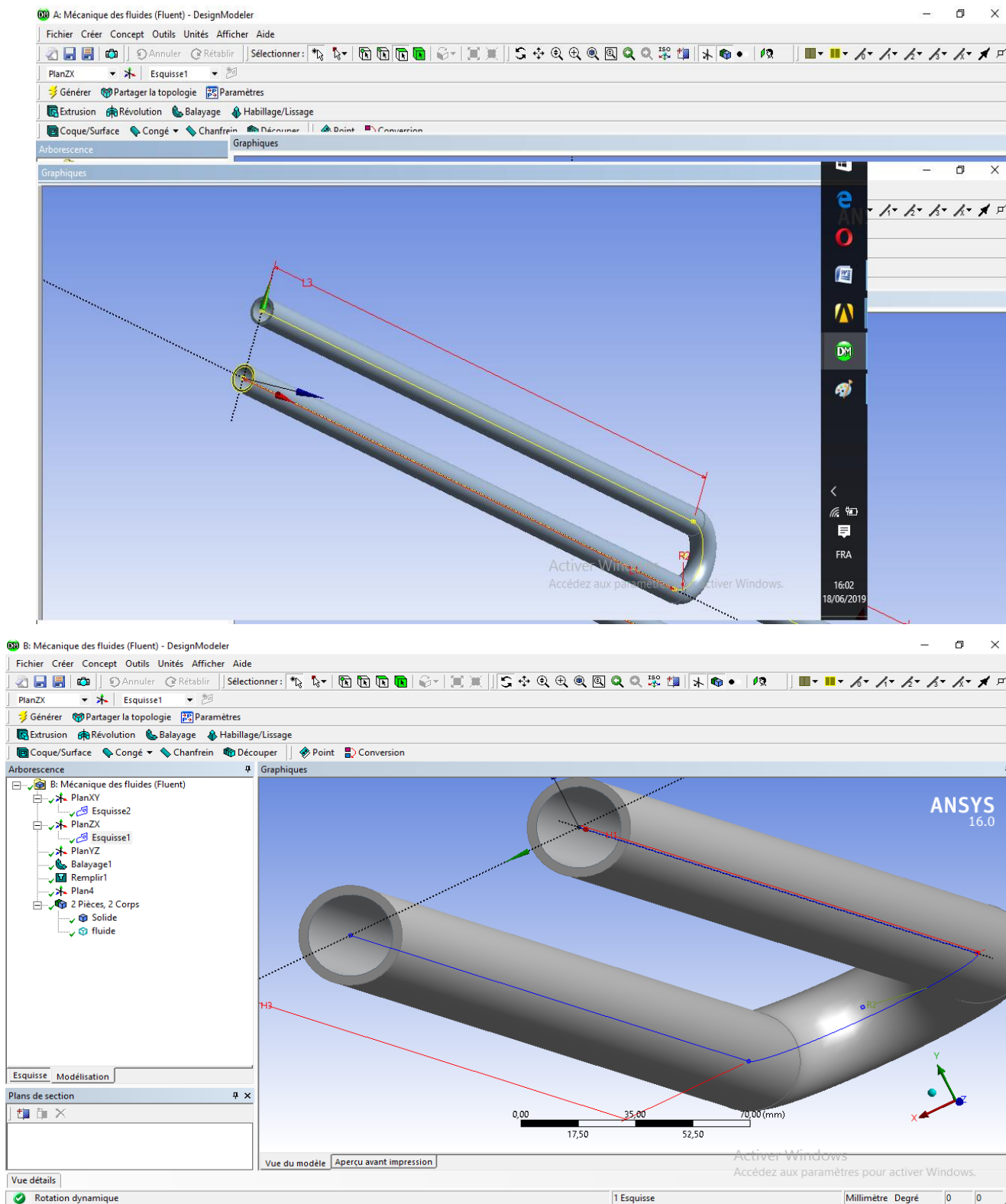


Fig IV.10 : Définition des cotes du conduit

Maintenant on va créer la zone où le fluide va circuler, c'est la surface délimité par l'esquisse en Bleu, et c'est la surface concernée par le maillage. La définition des surfaces se fait dans le menu Concept => Surface à partir d'esquisse => Esquisse1 => Appliquer => Générer

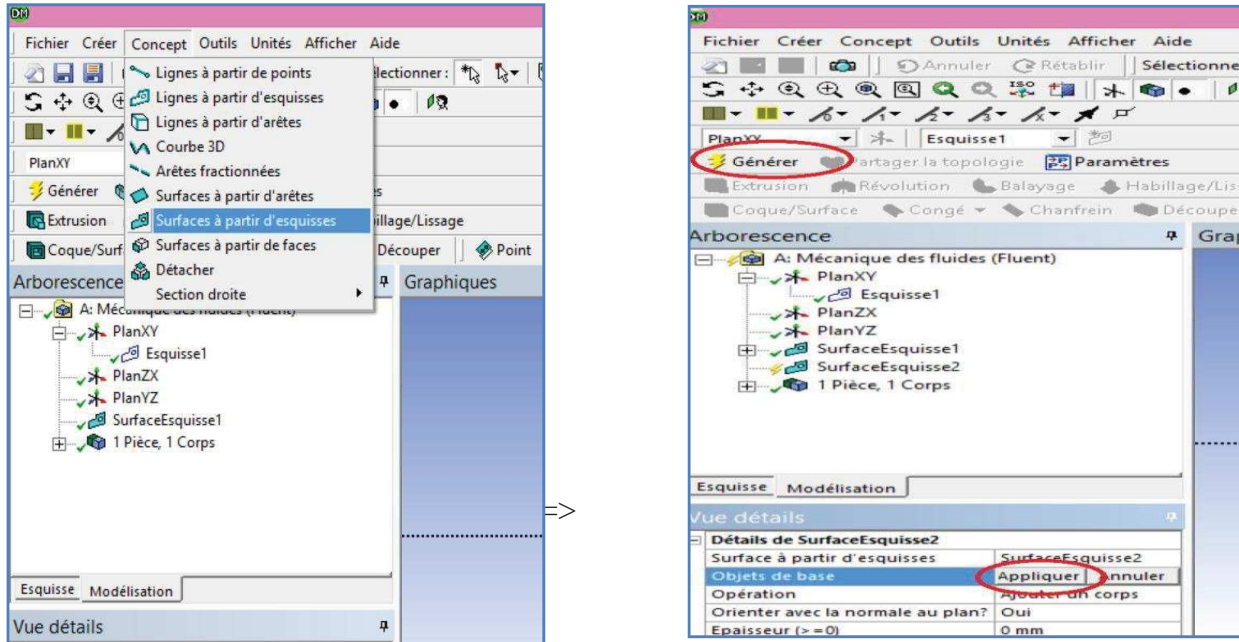


Fig IV.11: Définition des surfaces

En créant les zones d'intérêt. Nous allons convertir notre dessin en linges, elles permettront de créer une surface en sélectionnant un contour fermé constitué de linges.

Pour cela, cliquant dans Concept=>Lignes à partir d'esquisse => Esquisse1 =>Appliquer => Générer. Voici ce qu'on obtient :

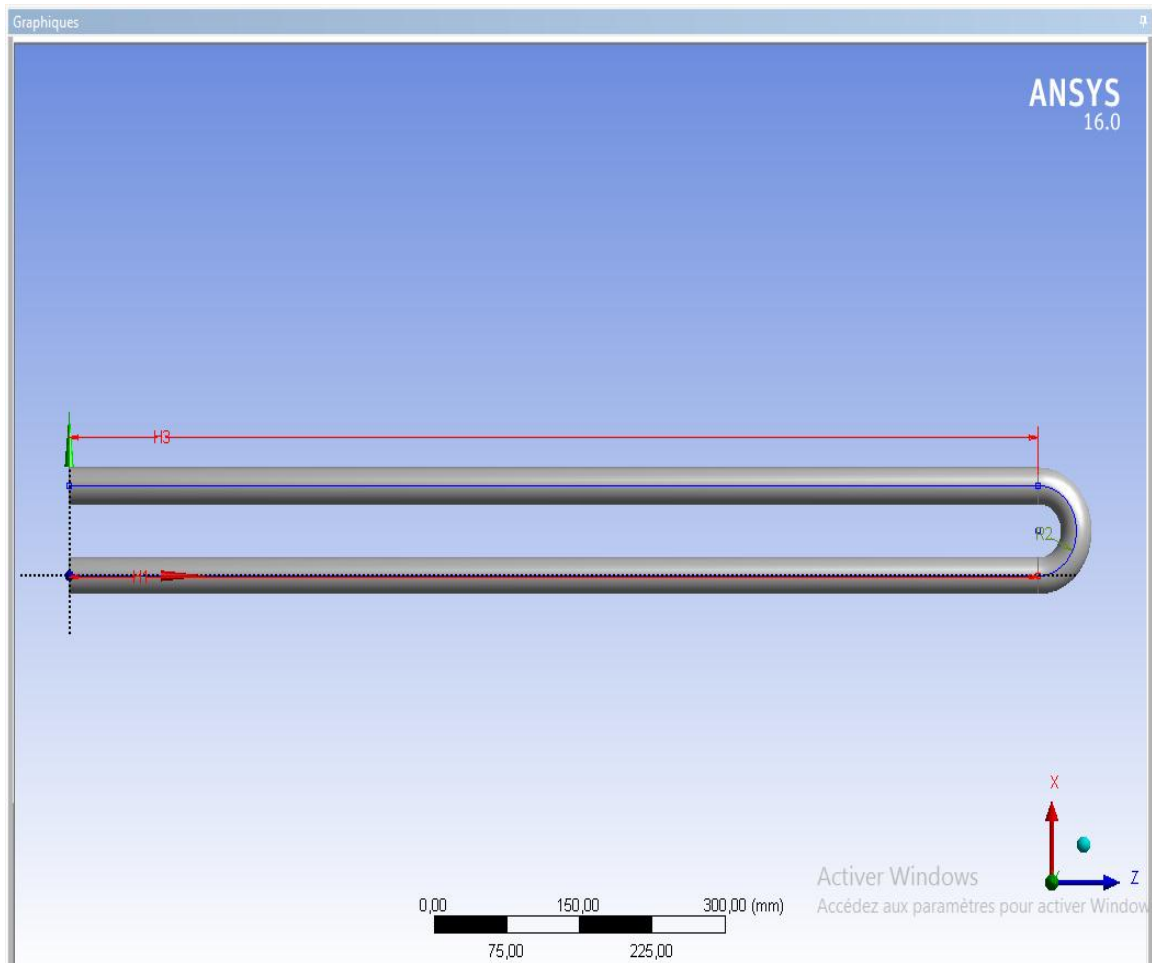


Fig IV.12: Définition des surfaces à mailler

Il reste une dernière chose à faire, préciser que toutes nos surfaces sont en fait à la même zone de fluide.



Fig IV.13: Définition de la zone fluide

Comme ça on a terminé notre géométrie, il suffit de la sauvegarder et quitter DesignModeler et revenez sous Workbench pour passer à l'étape de maillage.

IV.1. 3.Le maillage :

Pour créer le maillage, on va double cliqué sur Maillage dans la boite Workbench. Une fois "Meshing" est lancé, on va spécifie la méthode de maillage. comme montre la figure (fig.III.9)

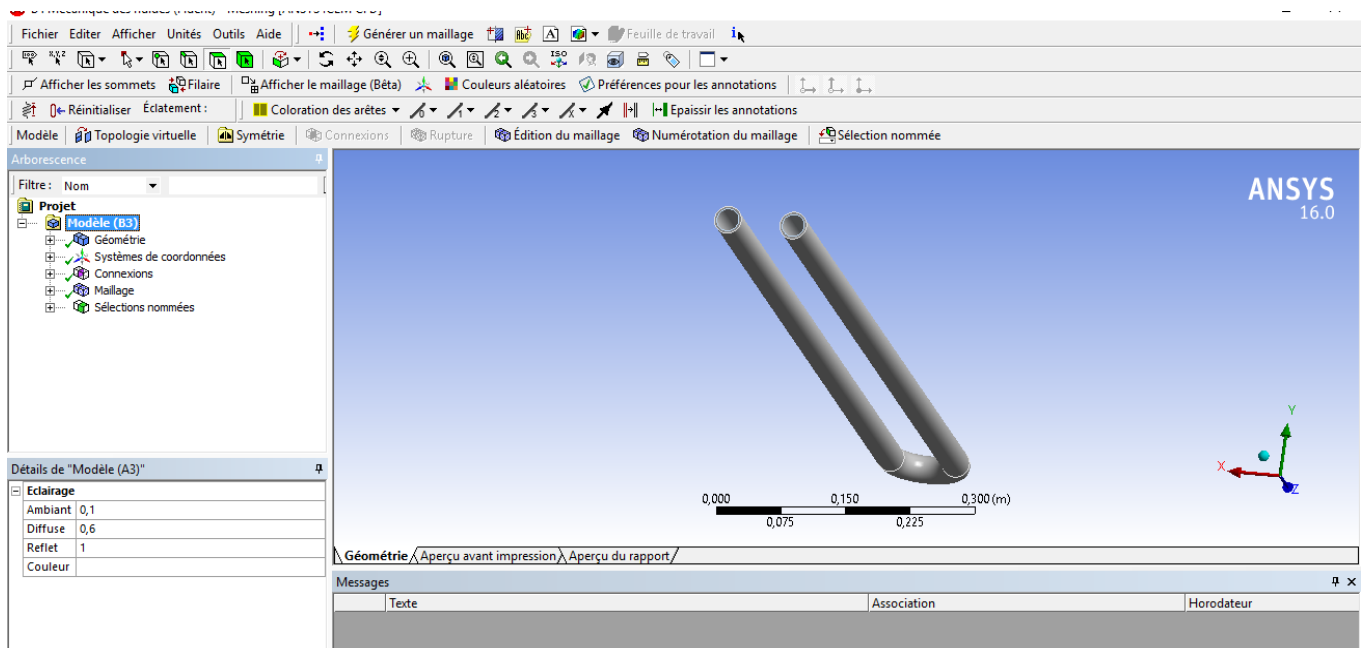


Fig IV.14:Spécification de la méthode de Maillage avecMeshin Le maillage sera

comme suit:

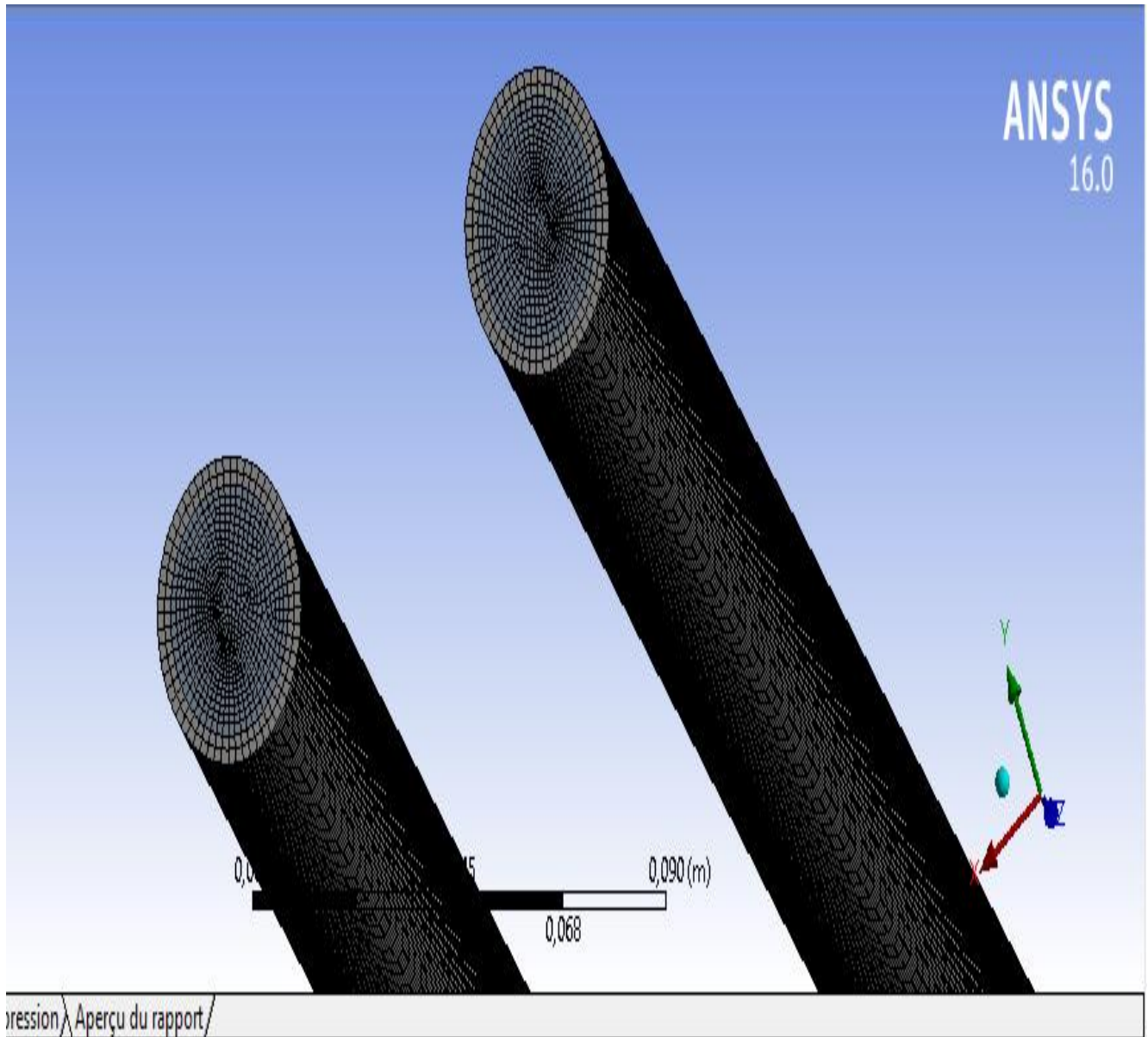


Fig IV.15: Maillage

On passe maintenant à nommer les sélections d'intérêt, pour nommer une partie, il faut la sélectionner => clic droit => Créer la sélection nommée => lui donner un nom. Pour sélectionner



une partie de la géométrie, il faut avoir l'outils pour les surfaces, et l'outils pour les arrêtes

On peut sélectionner plusieurs éléments en cliquant sur Ctrl.

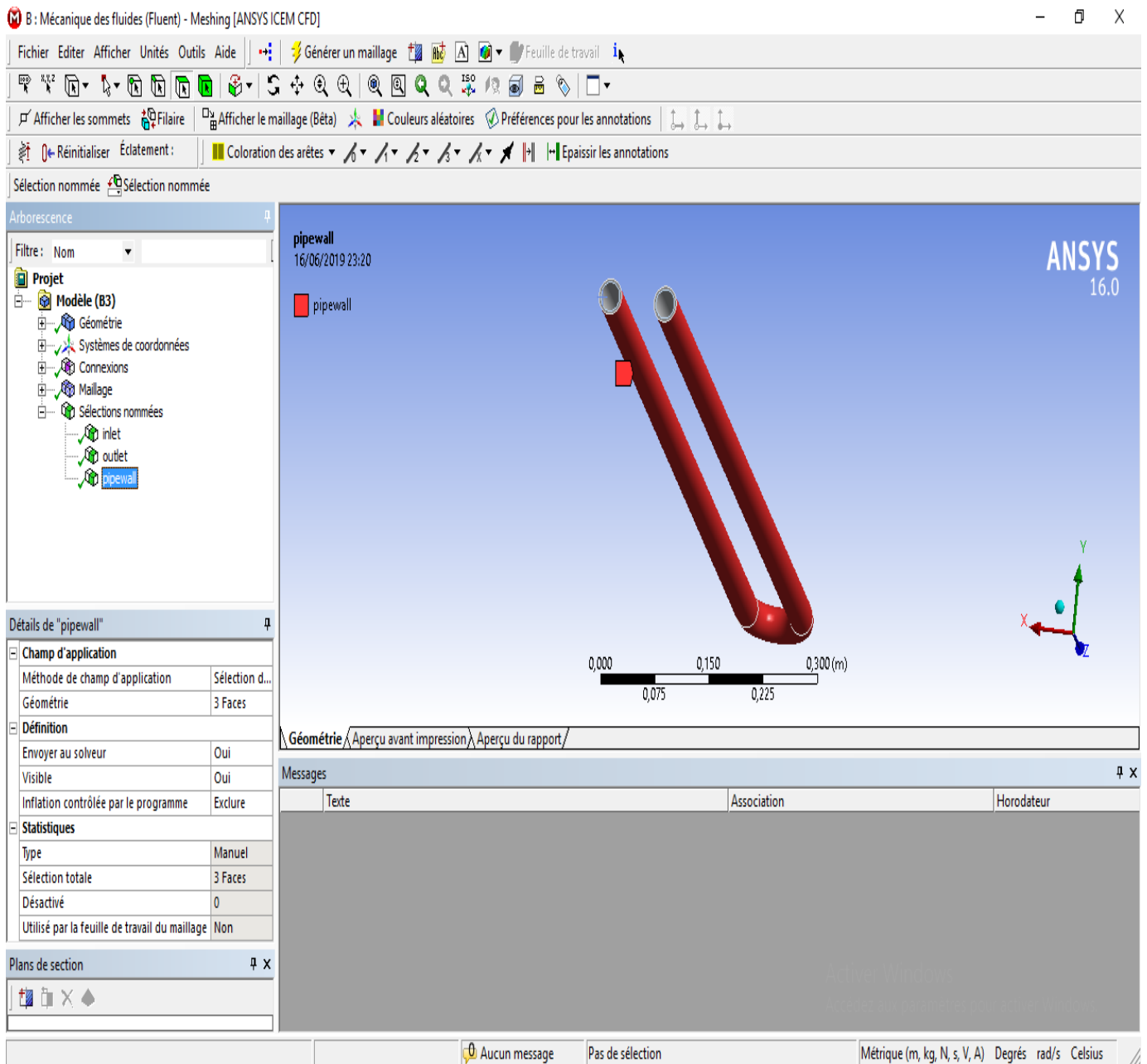


Fig IV.16:Spécification des parties soumis au conditions aux limites On passe ensuite à l'étape de la modélisation par le solveur" **Fluent**".

IV.1. 4. Configuration:

Les sélections nommés seront automatiquement apparait, par lesquels on va poser nos conditions aux limites, on va poser les données suivantes (figure IV.17):

1. Models : Laminaire, équation de l'énergie active.

2. Materials: on change les propriétés thermo physiques pour fluide

On change aussi les propriétés du solide par celle de en polthélene.

3. Cell zone condition : on définie fluide dans le corps surfacique

4. Boundary Conditions: on définie les conditions aux limites comme suit: entrée : vitesse, avec température ambiante

parois supérieur: adiabatique

parois inférieur: un flux de chaleur des composantes électroniques sortie : pression de sortie.

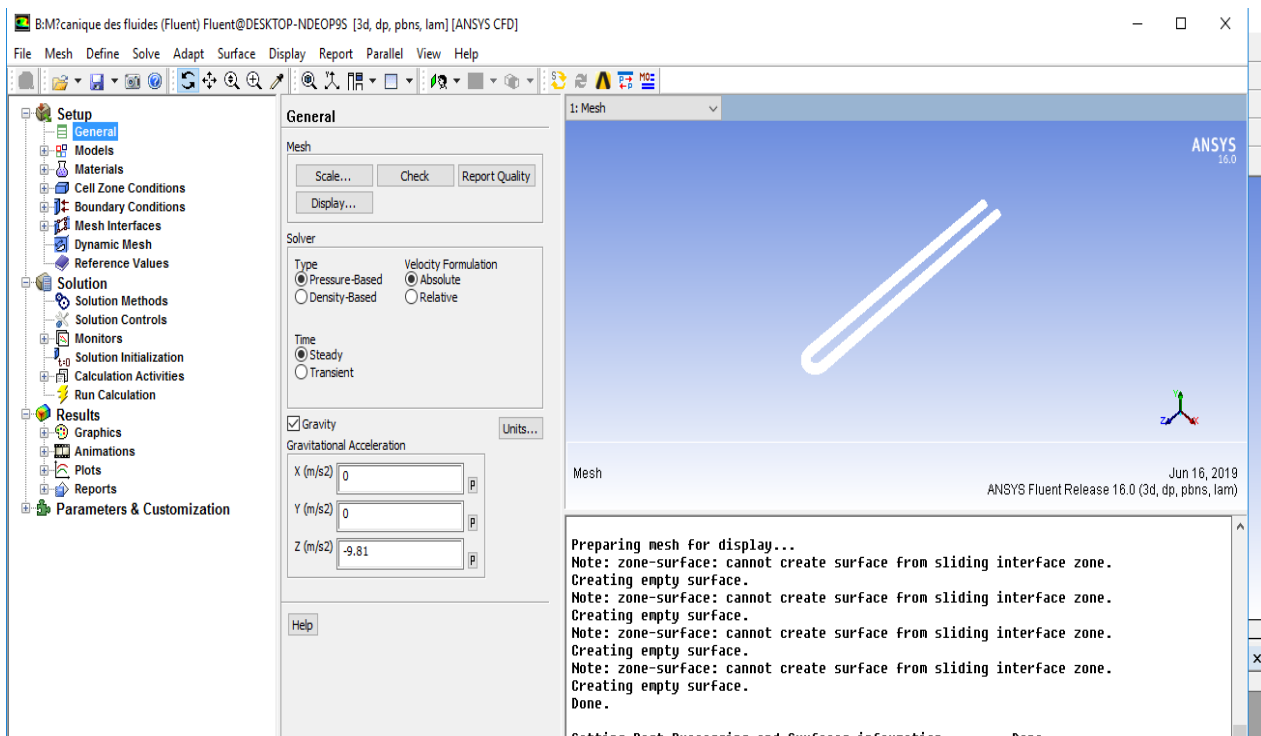


Fig IV.17: Configuration du Modèle par le solveur FLUENT



CHAPITRE V
Résultats et Discussion

V.1. Les résultants de simulation:

L'objectif de cette partie on à vu l'influence de quelques parameters sur l'efficacite et le rendemnt de l'échangeur géothermique tel que le débit d'eau, le matériau de tube, la longueur de tube , cette significatif sur l'efficacité de l'échangeur eau/sol et donc une influence sur le chauffage.

Débit $u=0.05$ et λ tube= 0.7 et $l=2m$

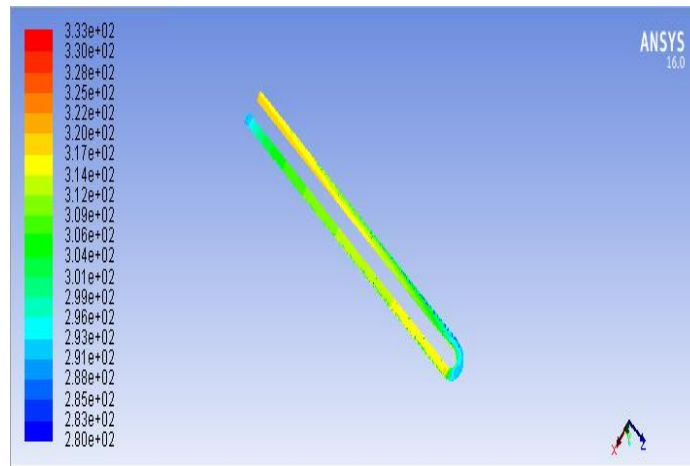


Figure V-1: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L= 1m$ et débit $m=0.05kg/s$ et λ tube= 0.7 .

Débit $u=0.03$ et λ tube= 0.7 et $l=2m$

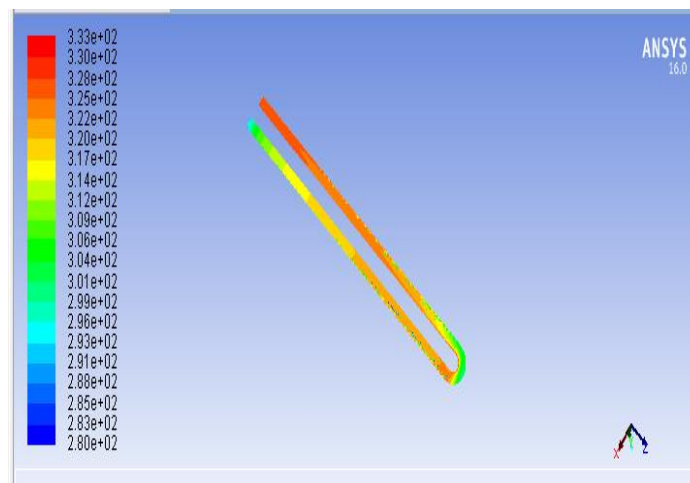


Figure V-2: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L= 1m$ et débit $m=0.03kg/s$ et λ tube= 0.7 .

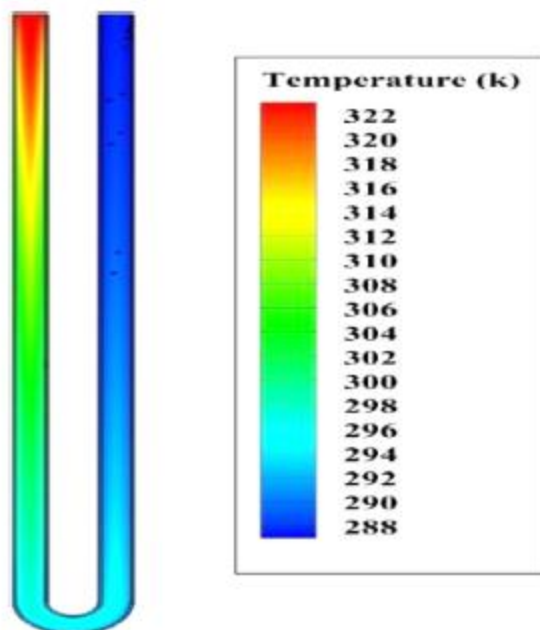


Figure V-3: Distribution de la température au centre d'échangeur en 2D pour $L= 1m$ et débit $m=0.03kg/s$ et $\lambda tube=0.7$.

Débit $u=0.01$ et $\lambda tube=0.7$ et $l=2m$

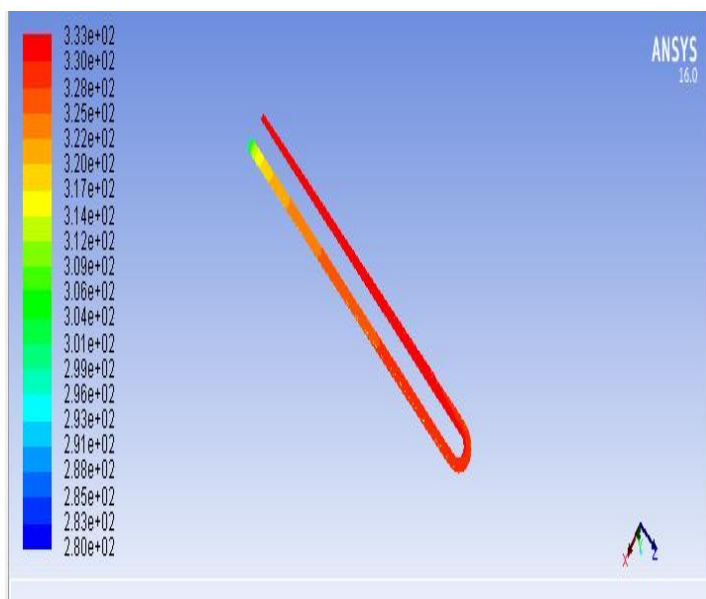


Figure V-4: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L= 1m$ et débit $m=0.01kg/s$ et $\lambda tube=0.7$.

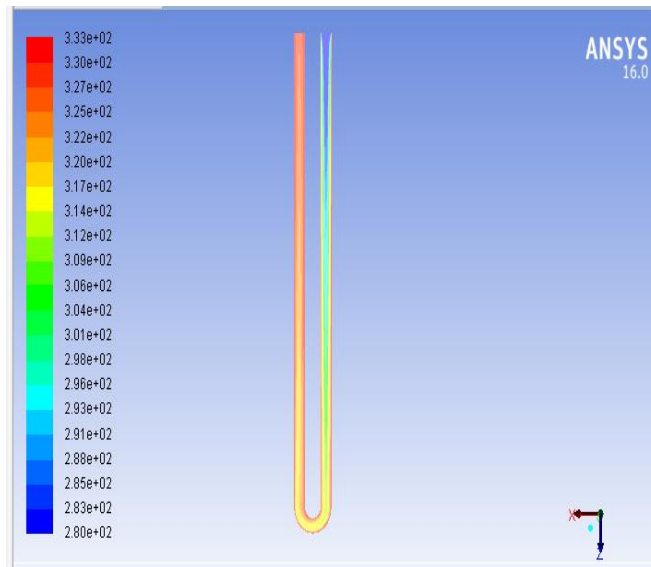


Figure V-5: Distribution de la température au centre d'échangeur en 2D pour $L=2m$ et débit $m=0.01kg/s$ et $\lambda tube=0.7$.

Débit $u=0.05$ et $\lambda tube=0.42$ et $l=2m$

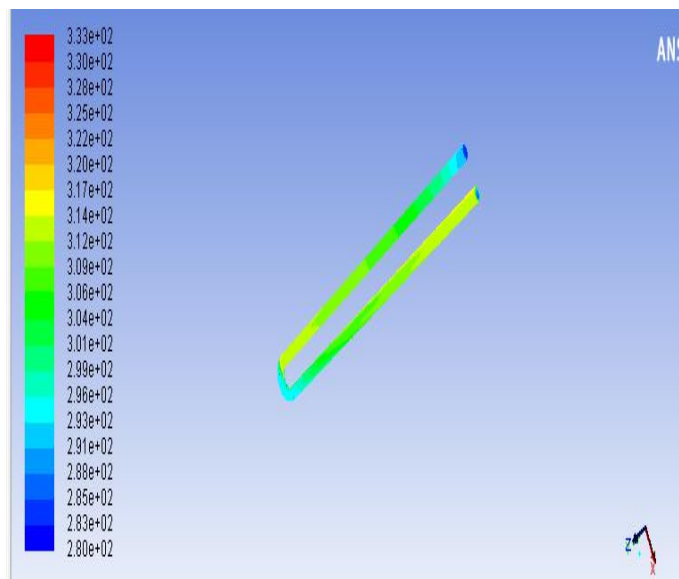


Figure V-6: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L=2m$ et débit $m=0.05kg/s$ et $\lambda tube=0.42$.

Débit $u=0.03$ et $\lambda \text{ tube}=0.42$ et $l=2m$

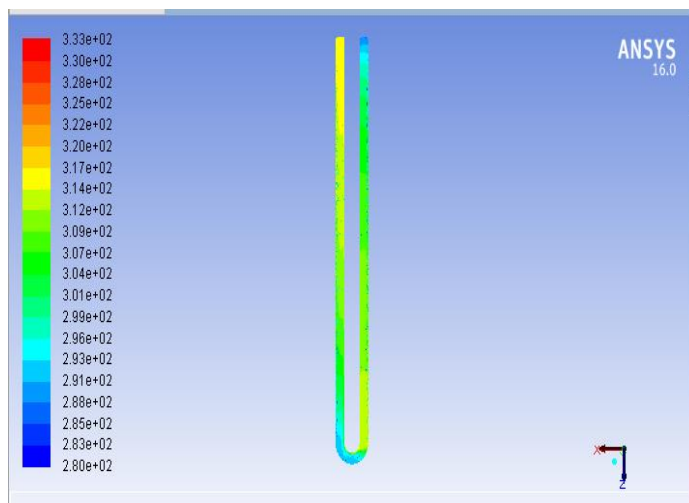


Figure V-7: Distribution de la température au centre d'échangeur en 2D pour $L= 2m$ et débit $m=0.03kg/s$ et $\lambda \text{ tube}=0.42$.

Débit $u=0.05$ et $\lambda \text{ tube}=0.7$ et $l=20m$

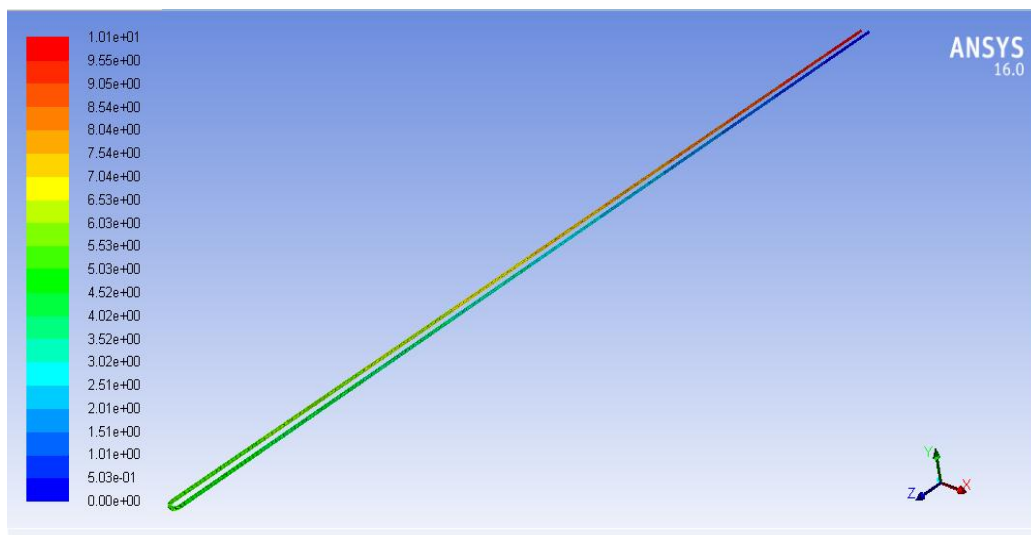


Figure V-8: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L= 20m$ et débit $m=0.05kg/s$ et $\lambda \text{ tube}=0.7$

Débit $u=0.03$ λ tube=0.7 et $l=20m$

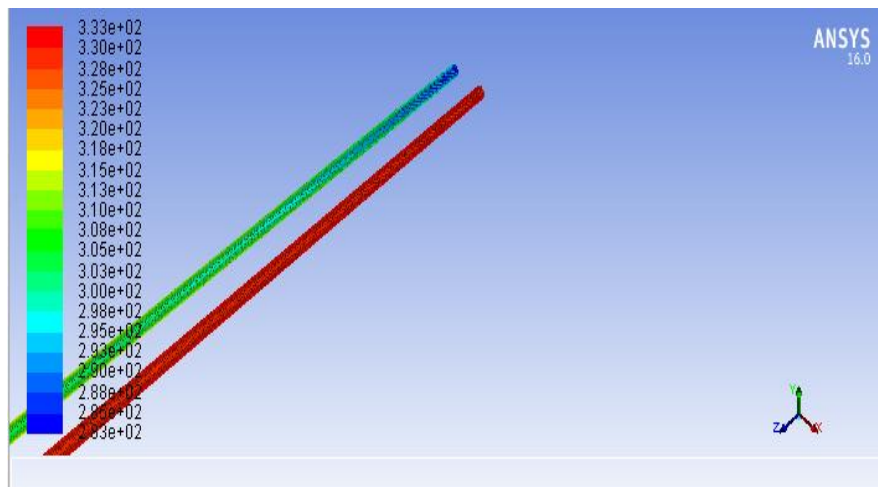


Figure V-9: Distribution de la température dans l'échangeur en 3D pour $L= 20m$ et débit $m=0.03kg/s$ et λ tube=0.7

On utilisé les résultats de simulation numérique pour calcul du flux de chaleur fournie par l'échangeur

$$\Phi = \dot{M} \cdot C_p \cdot (T_{\text{sortie d'eau}} - T_{\text{entrée d'eau}}) \text{ tel que : } \dot{M} : \text{débit d'eau} \quad C_p : \text{la chaleur spécifique d'eau.}$$

$T_{\text{sortie d'eau}}$: température d'eau à l'entrée de l'échangeur

$T_{\text{entrée d'eau}}$: température d'eau à l'entrée de l'échangeur

$$C_p = 4182 \text{ j/kg.k}$$

Flux thermique pour le débit $u=0.05$ et λ tube=0.7 et $l=2m$:

$$\Phi = 0.05 \cdot 4182 \cdot (314 - 280) = 8364 \text{ j}$$

Débit $u=0.05$ et λ tube=0.7 et $l=2m$

$$Q_1 = 8364 \text{ j}$$

Débit $u=0.03$ et λ tube=0.7 et $l=2m$

$$Q_2 = 5645.7 \text{ j}$$

Débit $u=0.05$ et λ tube=0.42 et $l=2m$

$$Q_3 = 7336.7 \text{ j}$$

Débit $u=0.03$ et λ tube=0.42 et $l=2m$

$$Q_4 = 7109.4 \text{ j}$$

Débit $u=0.05$ λ tube=0.7 et $l=20m$

$$Q_5 = 10455 \text{ j}$$

Débit $u=0.03$ λ tube=0.42 et $l=20m$: $Q_6=6273$ j

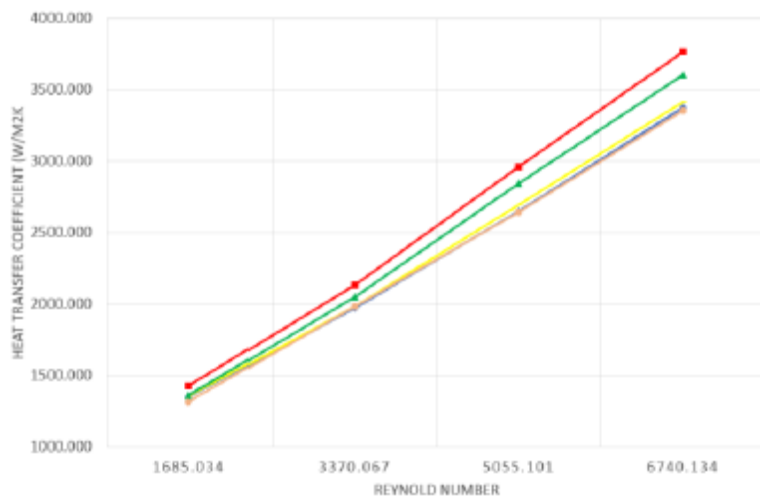


Figure V-10: Variation de h avec le nombre de Reynold pour différents Longueurs des tubes



Figure V-11: Variation de Nussult avec le nombre de Reynold pour différents Longueurs des tubes.

V.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté brièvement les résultats numérique de l'échangeur étudiée sur le logiciel ANSYS Workbench. Nous avons intéressé dans nos par le champ de température, et l'influence de quelques paramètres sur l'efficacité et le rendement de l'échangeur géothermique tel que le débit d'eau, le matériau de tube, la longueur de tube, cette significatif sur l'efficacité de l'échangeur eau/sol et donc une influence sur le chauffage

Conclusion

Générale:

Conclusion :

L'étude de L'échangeur de chaleur eau/sol en utilisant l'énergie géothermique était présenté dans notre mémoire, on à vu que l'influence des paramètres tel que le débit d'eau, le matériau de tube, la longueur de tube, à un effet significatif sur l'efficacité de l'échangeur eau/sol et donc une influence sur le chauffage.

Pour les résultats obtenues on a conclue que :

- L'augmentation de diamètre influe directement sur la température de l'eau à la sortie de l'échangeur de chaleur eau/sol.
- La diminution de débit est augmente la température de l'eau à la sortie de l'échangeur de chaleur eau/sol.
- La température maximal à la sortie de l'échangeur de chaleur est correspond à un tube de faible. Résistance thermique.
- les résultats montrent que la température de la source géothermique le plus chaude donne un meilleur chauffage pour l'eau.

Références bibliographiques

- [1] ..Dr. Marwan JARKAS. Les énergie renouvelables.2009
- [2]<http://www.geothermie-perspectives.fr/05-geothermie/04-applications-01.html>. (05/06/2011).
- [3] Julien HEINTZ (CETIAT). Michaël BLAZY (ANJOS VENTILATION). Ivan BORDAS (VIM). " Les puits canadiens/ provençaux (Guide d informations) "janvier 2008.
- [4] S. Ouali, '*Etude Géothermique du Sud de l'Algérie*', Mémoire de Magister géophysique, Université Boumerdès, Mars 2006*
- [5] Sung Lok Do.Jeff S.Haberl . à review of ground coupled heat pump models used in wholebuilding computersimulation programs. 2010
- [6] améliorer la performance des pompe à chaleur géothermique. Par emmanuelle brière . 2013. www.rncam.gc.ca
- [7] Géothermie chauffage, fonctionnement pompe à chaleur www.mtaterre.fr
- [8] LANGLOIS Antoine. Pompes à chaleur géothermiques utilisant des banques thermiques à matériau à changement de phase.2012
- [9] Yacine AHMOUDA. Etude numérique des phénomènes d'écoulement et d'échanges thermiques dans un échangeur eau/sol enterré de forme U.2014
- [10] Mouloud AISSANI.et ALL Simulation des Flux Thermiques lors du soudage TIG et prédiction de la taille des zones du cordon dans les tôles d'Acier 304L.
- [11] Loubna Benyahya. Modélisation statistique de la température de l'eau en rivière et en régime non-hivernal.2007
- [12] Philippe HUDON. Modélisation de puits géothermiques par charges horaires.2012
- [13] Maurizio Carlinia, Simulation numérique d'un échangeur de chaleur en fond de trou: application à une étude de cas en Italie centrale
- [14] Richard Lenhard Milan, Université de Zilina, Univerzita 8215/1, 010 26 Zilina, Slovaquie. Dispositif de simulation numérique pour le transport de chaleur géothermique avec circulation forcée de fluide

[15] Eui-Jong Kim Inha Modélisation numérique tridimensionnelle des échangeurs thermiques de sol verticaux. Article dans HVAC & R RESEARCH • Décembre 2011
DOI: 10.1080 / 10789669.2011.604700

[16] Tolga Y. Ozudogru Université technique d'Istanbul: Considérations sur les performances thermo-mécaniques à long terme et les effets de groupe pour la conception de pieux énergétiques

[17] Bidarmaghza., Modélisation numérique des échangeurs de chaleur souterrains avec différentes configurations de boucles de mise à la terre pour des applications géothermiques directes

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة هذا النوع من المبادلات الحرارية العمودية الحرارية الأرضية لتسخين المباني ، وقد استخدمنا هذا النموذج الرياضي التحليلي لحساب درجة حرارة الماء على طول هذا المبادل الحراري ANSYS Workbench ومحاكاة البرامج الرقمية تتكون هذه المحاكاة من اللعب على المتغيرات الثلاثة: الطول والتدفق والمواد التي يتكون منها المبادل الحراري. تظهر نتائج المحاكاة التي قمنا بها أن العوامل الثلاثة لها تأثير على ربحيتها وكفاءتها المبادل الحراري. بفضل هذه الدراسة يمكن تحسين المبادل الحراري.

Résumé

Ce travail vise à étudier ce type d'échangeur géothermique vertical pour chauffer les locaux, on a utilisé ce modèle mathématique analytique pour calculer la température de l'eau le long de cet échangeur de chaleur et la simulation numérique logiciel ANSYS Workbench. Cette simulation consiste à jouer sur les trois variables d'une longueur, un débit et une matière qui varient. Les résultats de notre simulation montrent que les trois facteurs de cet échangeur ont une influence sur sa rentabilité est son rendement. Grâce à cette étude on peut améliorer la capacité de notre installation est mieux utilisée. Les ressources renouvelables.

summary

This work aims to study this type of vertical geothermal heat exchanger to heat the premises, we used this analytical mathematical model to calculate the water temperature along this heat exchanger and the numerical software simulation ANSYS Workbench. This simulation consists in playing on the three variables of a length, a flow and a material which vary. The results of our simulation show that the three factors of this exchanger have an influence on its profitability and efficiency. Thanks to this study can improve the ability to use facility is better used renewable resources.