

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de génie mécanique



MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Génie Energétique

Présenté par :

BENZAIR Nouredine

GADJA Omar

Thème

***Optimisation D'un Système De Refroidissement Des
Postes Téléphoniques Isolés Par L'échangeur***

Air-Sol

Soutenue publiquement le : 22 /06 /2019

Devant le jury:

Rouagdia.Karim	(M.C.A)	Président	UKM Ouargla
Kina.Mohammed Sallah	(M.A.A)	Examineur	UKM Ouargla
Drid Mohamed Mebrouk	(M.A.A)	Encadreur	UKM Ouargla

Année Universitaire: 2018 / 2019

REMERCIEMENT

Tout d'abord on remercie infiniment le bon dieu « ALLAH » puissant, de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il nous a donné tout le long de nos études.

On présente nos sincères remerciements avec nos profonds respects à notre promoteur, DRID MOHAMED MEBRUOK pour son suivi, pour sa collaboration et pour ses discussions aussi intéressantes que fructueuses. Ses précieux conseils ont grandement contribué à la réalisation de ce modeste travail.

On tient à remercier Mr. ROUAGHDIA KARIM d'avoir accepté de présider le jury et Mr. KINA MOHAMMED SALLAH à sa contribution à l'examinations de ce travail.

BENZAIR NOUREDDINE, GADJA Omar



DÉDICACE

*Je dédie ce modeste travail
À mes chers parents pour leurs
sacrifices.*

*À mes chers frères et sœurs
et ma famille GADJA Et
BENZAIR sans exception.*

*À tous nos copains et ce qui nous
aidé durant ce travail.*

*À tous mes enseignant du primaire,
à l'université pour leurs formation
et leur patience.*

BENZAIR NOUREDDINE, GADJA Omar



SOMMAIRE

REMERCIEMENT.....	I
DEDICACES.....	II
SOMMAIRE.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
NOMENCLATURE.....	XI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	XIII
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Généralités et recherche bibliographique

I.1 Histoire des télécommunications.....	3
I.2 Présentation de l'organisme d'AT.....	3
I.2.1 Présentation d'Algérie Télécom (AT).....	3
I.2.2 Organisation de la Société Algérie de Télécom.....	4
I.2.3 Activités de la Société Algérie de Télécom.....	6
I.2.4 Le réseau d'Algérie Télécom.....	6
I.2.4.1 Réseau commercial.....	6
I.2.4.2 Réseau de transmission.....	6
I.2.4.3 Réseau international.....	6
I.3 Présentation de la norme GSM.....	7
I.4 L'architecture du réseau GSM.....	7
I.4.1 Sous système radio (BSS).....	7
I.4.1.1 Station de base (BTS).....	8
I.4.1.2 Contrôleur de station de base (BSC).....	8
I.4.2 Sous système réseau (NSS).....	8
I.4.3 Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS).....	8
I.4.4 La station mobile (MS).....	9
I.5 Shelter.....	9
I.5.1 La description de Shelter.....	9

I.5.2	Caractéristiques des shelter	10
I.6	Les différentes méthodes de refroidissement de Shelter télécom	11
I.6.1	Le système de refroidissement active	11
I.6.1.1	La ventilation par des ventilateurs d'échappement	11
I.6.1.2	Refroidissement par Climatiseur (Mega Hissotto HP8)	11
I.6.2	Le système de refroidissement passif	12
I.6.2.1	Matériaux à changement de phase (MCPs)	12
I.6.2.1.1	Définition	12
I.6.2.2	les caractéristiques	12
I.6.2.2	Un couvert de végétation	13
I.6.2.3	La cheminée solaire	14
I.6.2.4	Echangeur de l'air du sol	14
I.6.2.5	L'isolation thermique des parois externes	15
I.7	Facteurs liés aux conditions climatiques	16
I.7.1	La température de l'air ambiant	16
I.7.2	La vitesse de l'air	16
I.7.3	L'humidité de l'air	17
I.7.4	L'ensoleillement	17
I.8	Classification des zones climatiques en Algérie	17
I.9	Caractéristiques climatiques la zone Ouargla	17
I.10	Revue Bibliographique	19

Chapitre II: Généralité et Modélisation Mathématique

II.	Généralités sur les transferts de chaleur	22
II.1	Introduction	22
II.2	Définitions	22
II.2.1	Champ de température	22
II.2.2	Gradient de température	22
II.2.3	Flux de thermique	23
II.3	Formulation d'un problème de transfert de chaleur	23
II.3.1	Bilan d'énergie	23
II.3.2	Expression des flux d'énergie	23
II.3.2.1	Conduction thermique	24

II.3.2.2 Convection thermique	24
II.3.2.3 Rayonnement thermique.....	25
II.4 Caractéristiques de l'écoulement.....	26
II.4.1 Régime d'écoulement des fluides.....	26
II.4.1.1 Ecoulement laminaire (laminar flow).....	27
II.4.1.2 Ecoulement turbulent (turbulent flow).....	27
II.4.1.3 Ecoulement intermédiaire (transition flow).....	27
II.5 Système de refroidissement de (Shelter) télécom.....	28
II.5.1 Technique de la géothermie.....	28
II.5.1.1 Principe de la géothermie.....	28
II.5.1.2 Différents types de gisements géothermiques.....	29
II.5.1.3 Les avantages de la géothermie	30
II.5.1.4 Les inconvénients de la géothermie	30
II.5.2 L'échangeur air-sol	30
II.5.2 Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour rafraîchissement	31
II.6 Le puits canadien	32
II.6.1 Les principaux éléments d'un puits canadien.....	33
II.6.1.1 Entrée d'air neuf.....	33
II.6.1.2 L'échangeur géothermique.....	34
II.6.1.3 Le système d'évacuation des condensats.....	35
II.6.1.4 Ventilateur	35
II.6.2 Eléments pour la conception d'un puits canadien.....	36
II.6.2.1 Débits d'air.....	36
II.6.2.2 Les propriétés thermiques du sol	36
II.6.2.2.1 Conductivité thermique du sol	36
II.6.2.2.2 Capacité calorifique du sol	37
II.6.2.3 Les propriétés physiques et thermiques de matériau des tubes	38
II.7 Description du problème.....	38
II.8 Bilan Thermique.....	39
II.8.1 Par conduction	40
II.8.2 Par convection Thermique	44
II.8.2.1 L'étude de processus thermique à l'intérieur de la conduite.....	44
II.8.2.2 Hypothèses supplémentaires	45
II.9 Equation du mouvement.....	45

II.10 Les conditions aux limites	46
II.10.1 Cas le flux aux côtés des parois est constant	46
II.10.2 Cas d'une variation de la température à la paroi.....	47

Chapitre III: Résolution Numérique

III.1 Procédure de résolution par Fluent.....	49
III.2 Gambit.....	49
III.2.1 La création de la géométrie	49
III.3 Fluent.....	52
III.3.1 Choix du maillage.....	53
III.3.2 Contrôle de la convergence.....	55
III.4 Résultats et Discussions.....	56
III.5 Champs des vitesses et des températures.....	56
III.5.1 L'écoulement à $Re=100$	57
III.5.2 L'écoulement à $Re=500$	61
III.5.3 L'écoulement à $Re=1000$	65
III.5.4 L'écoulement à $Re=1500$	69
III.5.5 L'écoulement à $Re=2000$	73
Conclusion général.....	78
Bibliographiques.....	79
Résumé.....	81

Liste Des Tableaux

Tableau I-1 :	Avantages et inconvénients comparés des différents matériaux MCP	13
Tableau I-2 :	Avantages et inconvénients échangeur air-sol	15
Tableau II-1 :	Les propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol.	37
Tableau III-1 :	La commande Move/Copy	50
Tableau III-2 :	La commande Boolean Operations	51
Tableau III-4 :	Taille de grille	54
Tableau III-5 :	Le tableau suivant contient le résidu compté pour chaque équation	55

Liste Des Figures

Figure (I.1):	Organigramme d'Algérie Télécom.....	05
Figure (I.2) :	Architecture du GSM	07
Figure (I.3) :	La technologie de la communication sans fils des Shelter.....	10
Figure (I.4) :	Caractéristiques des sheltre.....	10
Figure (I.5) :	La ventilation par les ventilateurs d'échappement.....	11
Figure (I.6) :	Refroidissement par climatiseur.....	12
Figure (I.7) :	Shelter couvre par vignes.....	13
Figure (I.8) :	Cheminée solaire.....	14
Figure (I.9) :	Shelter muni d'un échangeur air-sol.....	15
Figure (I.10) :	L'isolation thermique des parois externes.....	16
Figure (I.11) :	Interprétation des données climatiques de la région d'Ouargla (2019).	18
Figure (I.12) :	Disposition de l'échangeur air/sol.....	20
Figure (I.13) :	Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur.....	21
Figure (II.1) :	Isotherme et gradient thermique.....	22
Figure (II.2) :	Système et bilan énergétique.....	23
Figure (II.3) :	Représentation schématique du phénomène de conduction.....	24
Figure (II.4) :	Phénomène de convection dans un liquide.....	25
Figure (II.5) :	Régime d'écoulement.....	28
Figure (II.6) :	Carte des ressources géothermiques mondiales.....	30
Figure (II.7) :	Géométrie de l'échangeur air-sol modélisé.....	31
Figure (II.8) :	Aspect du maillage (coupe transversale).....	32
Figure (II.9) :	Aspect du maillage (coupe longitudinale).....	32
Figure (II.10) :	Shelter avec un échangeur de chaleur air-sol.....	33
Figure (II.11) :	Pris d'air d'échangeur air-sol.....	34
Figure (II.12) :	Echangeur géothermique.....	34
Figure (II.13) :	Système d'évacuation des condensats.....	35
Figure (II.14) :	Conductivité thermique des sols.....	37
Figure (II.15) :	Géométrie du système (a,b).....	39
Figure (II.16) :	Schématisation du Problème Physique.....	40
Figure (II.17) :	Echangeur de chaleur entre air et sol.....	44

Figure (III.1) :	Vue globale de Gambit.....	49
Figure (III.2) :	Création le premier cylindre.....	50
Figure (III.3) :	La commande Move/Copy	51
Figure (III.4) :	La commande Unite Real Volume	52
Figure (III.5) :	La création de la géométrie.....	52
Figure (III.6) :	Organigramme de calcul.....	53
Figure (III.7) :	Le maillage de la géométrie.....	54
Figure (III.8) :	Évolution du résidu en fonction de nombre d'itération (Re=2000).....	55
Figure (III.9):	Profiles de la vitesse de l'air (Re =100).....	57
Figure (III.10):	Profiles de température d'air.....	58
Figure (III.11):	Contours de température statique pour (Re=100).....	59
Figure (III.12):	Variation la température d'air en fonction de la longueur pour (Re=100).....	60
Figure (III.13):	Profiles de la vitesse de l'air (Re =500).....	61
Figure (III.14):	Profiles de température d'air.....	62
Figure (III.15):	Contours de température statique pour (Re=500).....	63
Figure (III.16):	Variation la température d'air en fonction de la longueur pour (Re =500).....	64
Figure (III.17):	Profiles de la vitesse de l'air (Re =1000).....	65
Figure (III.18):	Profiles de température d'air.....	66
Figure (III.19):	Contours de température statique pour (Re=1000).....	67
Figure (III.20):	Variation la température d'air en fonction de la longueur pour (Re =1000).....	68
Figure (III.21):	Profiles de la vitesse de l'air (Re =1500).....	69
Figure (III.22):	Profiles de température d'air.....	70
Figure (III.23):	Contours de température statique pour (Re=1500).....	71
Figure (III.24):	Variation la température d'air en fonction de la longueur pour (Re =1500).....	72
Figure (III.25):	Profiles de la vitesse de l'air (Re =2000).....	73
Figure (III.26):	Profiles de température d'air.....	74
Figure (III.27):	Contours de température statique pour (Re=2000).....	75
Figure (III.28):	Variation la température d'air en fonction de la longueur pour	

(Re =2000).....	76
Figure (III.29): Variation de la température moyenne de l'air.....	77

Nomenclature

- D : Diamètre de conduite (m)
e : épaisseur du conduit (m)
L : longueur du conduit (m)
h : coefficient de convection thermique ($W / m^2 K$)
 λ_s : conductivité thermique du solide ($W / m K$)
 λ : conductivité thermique du fluide ($W / m K$)
Q : flux de chaleur (W)
 q_{cd} : densité de flux de chaleur par conduction (W / m^2)
 q_{cv} : densité de flux de chaleur par convection (W / m^2)
 h_{cv} : coefficient de transfert par convection ($W.m^{-2}K^{-1}$)
 R_{cv} : Résistance thermique de la gaine du conduit à la convection, ($m^2.K/W$)
 R_{cd} : Résistance thermique de la gaine du conduit à la conduction, ($m^2.K/W$)
 T_s : température de la surface d'échange (K, °C)
 T_f : température du fluide loin de la surface d'échange (K, °C)
S : surface d'échange solide/fluide (m^2)
r : rayon intérieur du conduit (m)
T : température (K)
 T_a : Température de l'air - conduit, (K)
 T_{ae} : Température de l'air à l'entrée du conduit, (K)
 T_{sol} : Température du sol, (K)
 C_p : Chaleur massique de l'air, J/kg.K
V : Vitesse de circulation de l'air à l'intérieur du conduit, (m/s)
P : pression (Pa)
t : temps (s)
U : Composante de la vitesse selon Ox (m / s)
V : Composante de la vitesse selon Oy (m / s)
W : Composante de la vitesse selon Oz (m / s)
 U_o : vitesse axiale moyenne à l'entrée du conduit (m / s)

Symboles Grecs

- α : diffusivité thermique (m^2 / s)
 β : coefficient d'expansion thermique ($1 / \text{K}$)
 θ : coordonnée dans la direction azimutale (rad)
 μ : viscosité dynamique ($\text{kg m} / \text{s}$)
 ν : viscosité cinématique (m^2 / s)
 ρ : masse volumique (kg / m^3)

Indices

- i : relatif au nœud considéré
 $i + 1$: relatif au nœud en amont du nœud considéré
 $i - 1$: relatif au nœud en aval du nœud considéré

Exposants

- * : variable adimensionnelle
1 : désigne l'instant t
0 : désigne l'instant $t - \Delta t$

Nombres sans dimension

- Re : Nombre de Reynolds $R_e = \frac{\rho \cdot U \cdot D}{\mu}$
Pr : Nombre de Prandlt $P_r = \frac{\mu \cdot C_P}{\lambda_f}$

Liste des abréviations

PDG	: Président Directeur General
DAGL	: Direction d'Approvisionnement et Gestion de la Logistique
DAI	: Direction des Affaires Internationale
DCSI	: Direction Centrale de la Sécurité Interne
DDRT	: Division Développement Réseaux des Télécommunications
DEE	: Direction Energie et Environnement
DEP	: Direction Etudes et Programmes
DFC	: Direction Finance et Comptabilité
DFR	: Direction Facturation et Recouvrement
DGA	: Directeur Générale Adjoint
DGC	: Direction des Grands Comptent
DMAC	: Division Marketing et Actions Commerciales
DP ATHIR	: Direction Projet ATHIR
DP FTTX	: Direction Projet FTTX (Fibre To The x)
DP IDT	: Direction Projet IDT (informatisation des télécoms)
DRA	: Direction Réseaux d'Accès
DRB	: Direction Réseaux de Base
DREOI	: Direction Réseaux Entreprise et Offres Intégrées
DRGP	: Direction Relations Grand Publique
DRH	: Direction des Ressources Humaines
DRMS	: Direction Réseau Multi-Services
DRT	: Direction Réseaux Transport
DSEI	: Direction Systèmes et Equipements Informatiques
DSEIDSVT	: Direction Stratégie et Veille Technologique
DTT	: Direction Territoriale des Télécoms
MOBILIS	: Direction Territoriale des Télécoms d'AT Mobile, Filiale du groupe AT
REVSAT	: Algérie Télécom Satellite (ATS), Filiale du groupe Algérie Télécom
AT	: Algérie Télécom

Introduction générale

Introduction Générale

En Algérie comme ailleurs dans le monde, la consommation de l'énergie électrique due à l'utilisation trop importante de climatisation, surtout à la période d'été. Pour remédier ce problème, doivent être apportées des modifications architecturales sur méthodes de conception et de construction et aussi développer des nouvelles techniques de rafraîchissement.

La ventilation naturelle est un des moyens déjà utilisés auparavant dans l'architecture des villes traditionnelles au sud de l'Algérie. Pour réduire l'utilisation de l'électricité des dispositifs de climatisation et l'utilisation des CFC (Le chlorofluorocarbure) qui participent au réchauffement de la planète, les techniques de refroidissement passives sont devenues plus attractives ces dernières années ce qui justifie leur exploitation sous différentes formes.

Ainsi que le sol constitue un potentiel thermique (énergie géothermique) très important qui peut être exploité dans la climatisation. La récupération de l'énergie thermique du sol se fait essentiellement à travers des échangeurs de chaleur enterrés.

L'Algérie Télécom possède des armoires de télécommunication dont la puissance est limitée à cause de la dissipation thermique des équipements actifs qui entraîne une augmentation de la température interne des armoires. En plus de cette contrainte, les armoires sont soumises à des variations climatiques sévères et non maîtrisées (ensoleillement). En outre la présence de ces armoires dans des zones éloignées telles que les déserts où la température peut généralement dépasser 45 degrés Celsius sous l'ombre. Ceci nécessite l'intégration d'un système de refroidissement permettant de maintenir la température des composants en dessous de la limite imposée (55°C) et de réduire cette contrainte thermique de fonctionnement à haut débit.

Cet équipement a besoin des conditions bioclimatiques bien déterminées pour obtenir le rendement optimal.

Nous nous intéressons dans ce projet à étudier comment réduire la température interne dans un abri de la société Algérie Télécom à l'aide d'un système de refroidissement passif en utilisant la technique de rafraîchissement par l'échangeur air-sol.

Pour arriver à des résultats précis et répondre à ces objectifs, il est nécessaire de travailler sur une méthode adéquate avec le thème de recherche. Donc, à partir de cette recherche nous avons choisi de s'orienter vers une simulation numérique par code CFD d'un écoulement de l'air dans l'échangeur air sol avec transfert de chaleur.

Notre mémoire est composé de trois chapitres et organisée comme suit :

Le premier chapitre, nous présenterons le groupe d'Algérie Telecom et la norme GSM les différents modes de refroidissement passif ainsi les conditions climatiques de la région d'Ouargla et enfin analysé quelque revue bibliographique sur refroidissement de sheltre et l'échangeur air-sol.

Le second chapitre, commence d'abord par rappels sur le transfert thermique et caractéristique d'écoulement des fluides, puis sur la modélisation thermique et mathématique de l'échangeur air-sol pour rafraichissement.

Le troisième chapitre sera consacré à la simulation numérique par le code FLUENT, présentation les résultats de simulation et interprétations détaillés, comme le champ de température et vitesse de l'air pour différentes nombre de Reynolds.

Enfin, notre étude est clôturée par une conclusion.

Chapitre I

Généralités et recherche bibliographique

I.1 Histoire des télécommunications

Durant des siècles des hommes se contentent de la parole ou des écrits comme seuls moyens de Communication entre deux personnes éloignées d'une distance importante. Effectivement soit on envoyait un messager restituant le message qu'on lui avait appris, soit il remettait le message écrit qu'on lui avait remis [1].

- En 1876 Graham Bell ne devait pas savoir qu'il révolutionnerait à ce point la vie de tout un chacun en inventant le téléphone. Le transport de la voix pouvait se faire grâce à une paire de fils reliant deux appareils.
- En 1887 Heinrich Hertz découvre les ondes radio.
- En 1896, à Bologne Guglielmo Marconi réalise la première transmission radio.
- En 1901, il réalise la première liaison radio transatlantique entre la Cornouailles et Terre Neuve.
- Dès le début du XXème Siècle les services de police se dotent de moyen de communication radio. Au début des années 50 aux Etats-Unis, la compagnie Bell Téléphone propose des services de radiotéléphone à ses abonnés.
- En 1964 on introduit la notion de partage des ressources dans les réseaux de radiocommunication pour satisfaire une demande grandissante qui avait fait planer une menace de saturation sur les réseaux.
- En 1971 : Bell Téléphone fait apparaître la notion de cellule dans le réseau. Sa première mise en place se fera à Chicago en 1978 sur le système «Advanced Mobile Phone Service » qui y est toujours opérationnel. On a alors un changement de contrôle devenu dynamique, pour la prise en charge du récepteur par différents émetteurs, réalisable par zone, ou cellule.
- En 1982 normalisation de l'« Advanced Mobile Phone Service » pour tout l'Amérique du Nord. (IS54/IS95).
- En 1987 l'Europe adopte un standard européen pour mettre fin à la cacophonie qui règne en matière de réseau de radiotéléphone.

I.2 Présentation de l'organisme d'AT

I.2.1 Présentation d'Algérie Télécom (AT)

Algérie Telecom (AT), est une société par actions à la capitale sociale opérant sur le marché des réseaux et services de télécommunications. Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restructuration du secteur des Postes et

Télécommunications, qui sépare notamment les activités Postales de celles des télécommunications.

Algérie Télécom est donc régie par la loi qui lui confère le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une Société Par Actions (SPA). Entre officiellement en activité à partir du 1er janvier 2003, elle s'engage dans le monde des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) avec trois objectifs :

- ✓ Rentabilité.
- ✓ Efficacité.
- ✓ Qualité de service.

I.2.2 Organisation de la Société Algérie de Télécom

Algérie Telecom est organisée en Directions Centrales, Régionales et Directions Opérationnelles de Wilaya autour de ses métiers fixes et services et d'autre part des fonctions supports réseaux. A cette structure s'ajoutent une filiale mobile (ATM MOBILIS) et deux autres filiales chargées l'une de l'internet (ATI DJAWEB) et l'autre des télécommunications spatiales (ATS REVSAT).

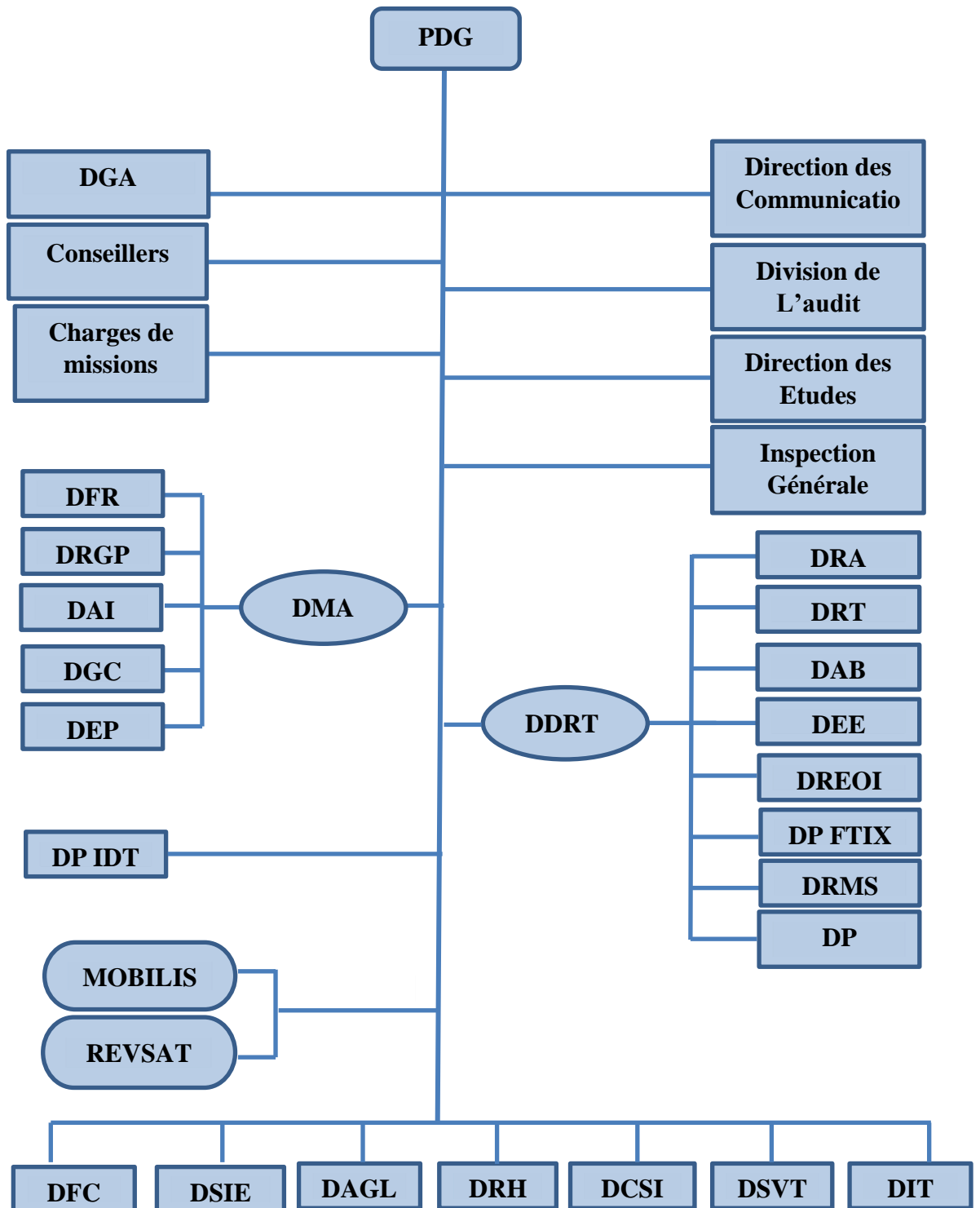


Figure (I.1): Organigramme d'Algérie Télécom.

I.2.3 Activités de la Société Algérie de Télécom

L'activité majeure d'Algérie Télécom est de :

- Fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de messages écrits, de données numériques, d'informations audiovisuelles.
- Développer, exploiter et gérer les réseaux publics et privés de télécommunications.
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions avec tous les opérateurs des réseaux. [2]

Algérie Télécom dans le cadre du renforcement et de la diversification de ses activités, mis en œuvre un plan de filialisation des activités liées au mobile et satellite qui s'est traduit par sa transformation en groupe auquel sont rattachées trois filiales :

- ✓ **Algérie Télécom Mobile ATM (Mobilis)** société par actions au capital social de 100.000.000 DA, pour la téléphonie mobile.
- ✓ **Algérie Télécom Satellite ATS (VSAT)**, société par actions au capital social de 100.000.000 DA, pour le réseau satellitaire.
- ✓ **Algérie Télécom Internet ATI**, pour le réseau internet DJAWEB, FAWRI ADSL.

I.2.4 Le réseau d'Algérie Télécom

I.2.4.1 Réseau commercial

Depuis la création d'Algérie Telecom, le réseau commercial a été renforcé d'année en année pour se rapprocher des clients, 231 agences commerciales des télécommunications (ACTEL) en 2017 contre 225 agences en 2005 , 240 point de présences commerciales et 49 414 kiosques Multi Services (KMS). [3]

1.2.4.2 Réseau de transmission

Les réseaux public de transmission de données par paquets X25 (DZPAC) d'AT possède 7 600 accès ; Le Backbone national de transmission d'AT a 10 GB/s, 2,5 GB/s, et 80GB/s en cours de réalisation ; Réseau radio rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités, 961 communes (APC) rattachées en fibres optiques. [3]

1.2.4.3 Réseau international

Liaisons sous-marine à fibre optique reliant l'Algérie au réseau mondial de télécommunications ALPAL II + SEA ME IV , Liaison sous-marine en fibre optique, Orval, reliant l'Algérie (Oran) à l'Espagne (Valence), d'une capacité de 20 Tbit/s [3]

I.3 Présentation de la norme GSM

Le GSM est la première norme de téléphonie cellulaire de seconde génération qui soit Pleinement numérique, c'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles. Avec plus de 400 millions d'utilisateurs à la fin de l'année 2000 dans le monde, soit la moitié du nombre total d'utilisateurs de téléphonie mobile, Le réseau GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est le plus importante des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles où entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services proposés sont la transmission de données à faibles débits et la transmission de messages alphanumériques courts [2].

I.4 L'architecture du réseau GSM

L'architecture de base du système GSM comprend, quatre sous-systèmes principaux (fig. I.1) dont chacun dispose d'un certain nombre d'unités fonctionnelles et est connecté à l'autre à travers des interfaces standard qui seront décrites ultérieurement. Les principaux sous-systèmes du réseau GSM sont [1] :

- ✓ La station mobile MS
- ✓ Le sous-système radio BSS
- ✓ Le sous-système réseau NSS
- ✓ Le sous-système d'exploitation OSS

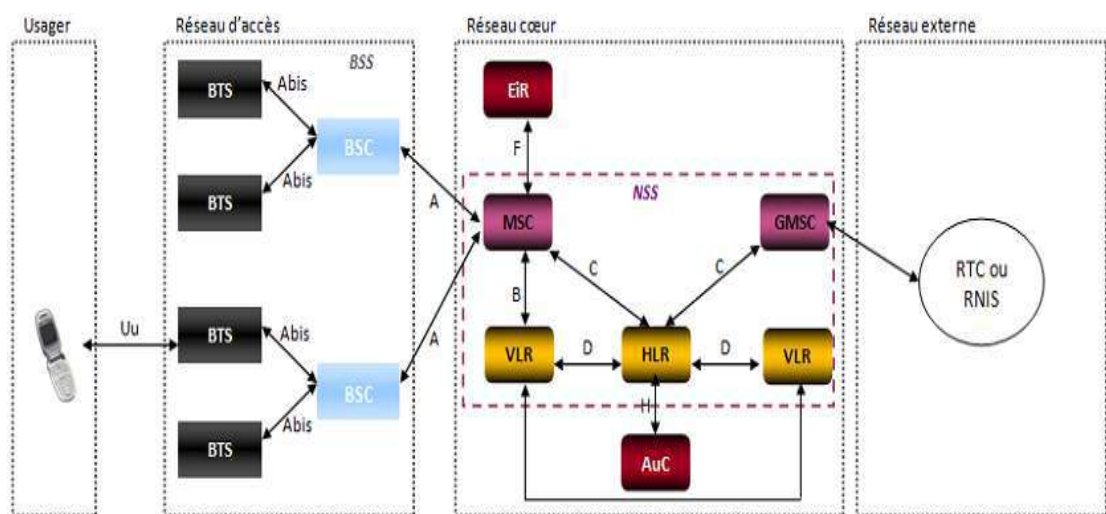


Figure (I.2) : Architecture du GSM [4]

I.4.1 Sous système radio (BSS)

C'est le réseau d'accès radio qui assure la transmission radioélectrique et gère la ressource radio.

Il contient la station de base BTS (Base Tranceiver Station) qui assure la couverture Radioélectrique d'une cellule, et le contrôleur de station de base BSC (Base Station Controller) qui supervise une ou plusieurs stations de base et joue le rôle de passerelle entre les stations de base et le centre de communication du service mobile MSC.

I.4.1.1 Station de base (BTS)

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs. Elle réalise aussi des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement (évaluation de la distance et de la puissance du signal émis par le terminal de l'abonné): Ces mesures sont directement

I.4.1.2 Contrôleur de station de base (BSC)

Administre un ensemble de stations de base BTS et communique avec elles par le biais de l'interface Abis (Organe "intelligent" du BSS) gère la ressource radio (Commande l'allocation des canaux, Utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS, Prend la décision de l'exécution d'un Handover).

I.4.2 Sous système réseau (NSS)

Le sous-système d'acheminement appelé NSS ou SMSS (Switching and Management Sub-System) qui comprend l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et la gestion de la mobilité. On peut dire que le NSS est le réseau coeur GSM, il contient :

- Mobile Switching Center (MSC).
- Visitor Location Register (VLR).
- Home Location Register (HLR)/Authentication Center (AUC).
- Equipment Identity Register (EIR).

I.4.3 Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS)

L'OSS permet d'administrer le réseau d'un opérateur. Selon la norme GSM 12.00, l'OSS présente deux niveaux :

- Les OMC (Operations and Maintenance Centre),

- Les NMC (Network Management Centre),

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau d'un opérateur par un Contrôle centralisé.

Les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC/MSC/VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau.

Les OMC sont composées des OMC-R (OMC-Radio) qui supervisent le sous-système radio et des OMC-S (OMC-System) qui supervisent le sous-système réseau.

I.4.4 La station mobile (MS) :

La station mobile est constituée du téléphone portable à proprement parler mais aussi d'une carte appelée carte SIM, qui est indispensable pour accéder au réseau. Cette carte contient, sur un microprocesseur, les informations personnelles de l'abonné. Ce dernier peut donc, par insertion de la carte SIM dans n'importe quel téléphone portable, recevoir des appels, en donner et avoir accès à tous les services qu'il a souscrit : le téléphone portable et l'utilisateur sont totalement indépendants. [5]

Le téléphone portable est identifié par le numéro IMEI. Ce numéro renseigne sur le type d'équipement, l'identité du constructeur et le numéro de série.

La carte SIM, elle contient le numéro IMSI, mais aussi une clé secrète pour la sécurité, ainsi que d'autres informations. Les numéros IMEI et IMSI sont indépendants, ce qui permet la séparation du téléphone portable et de l'utilisateur. De plus, la carte SIM protège l'abonné des connections frauduleuses par l'introduction d'un numéro d'identité personnel (code PIN) lors de l'accès au réseau.

I.5 Shelter

I.5.1 La description de Shelter

Le Shelter peut être utilisé avec n'importe quel équipement de télécommunication, par tout dans le monde avec n'importe quel climat. Il constitue une solution idéale par rapport à son coût, l'efficacité et la rapidité de l'installation. Le Shelter est bâti d'une carcasse d'acier galvanisé, il est constitué d'un plafond, parois et une étagère. Toutes ces parties sont fabriquées par deux plaques.

Il est protégé de toute infiltration de pluie par un second plafond pour le type tropical.

Concernant la fixation de l'installation intérieure de l'équipement, elle est potée sans percement tout au long des parois. Cela assure une fermeture parfaite de l'unité. Elles sont idéales pour être placées soit sur la terrasse ou au sol.

C'est très rare de pouvoir adopter une solution pour les Shelters de la même micro-onde. Les cas sont numérotés Voir Figure I.3. [6]



Figure (I.3) : La technologie de la communication sans fils des Shelter.

I.5.2 Caractéristiques des sheltre

Se composent de l'assemblage de dalles isolantes (fibre de verre comprimée entre plaques en métal ou en matière plastique), ou des panneaux métalliques équipés pour dissiper par convection naturelle la chaleur produite par l'équipement, ils sont équipés d'une porte d'accès et d'un port - Trous avec fermeture. Pour une station relais comprenant l'équipement de canal bilatéral, canal d'aide et auxiliaires, les dimensions sont environ: Largeur 2,34m. Longueur 3,10 m. hauteur 2.50 m La tare est proche de 2800 kg. L'abri peut être facilement déplacé sur place au moyen d'une grue mobile. Les abris sont amarrés sur une base en béton. Ils résistent à des vents assez faciles (voir figure I.4). [6]

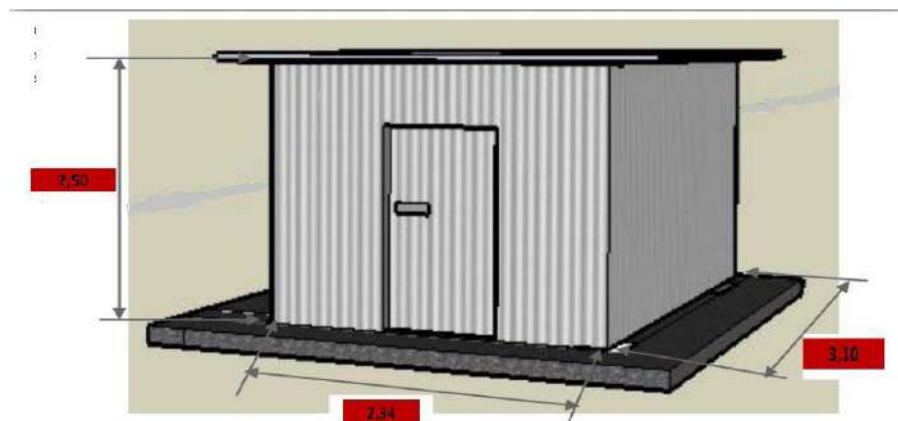


Figure (I.4) : Caractéristiques des sheltre

I.6 Les différentes méthodes de refroidissement de Shelter télécom

I.6.1 Le système de refroidissement active

I.6.1.1 La ventilation par des ventilateurs d'échappement

Cette mode est une ancienne technique pour contrôler la température à l'intérieure de Shelter télécom par la ventilation de l'air en utilisant les ventilateurs d'échappement tout simplement.

Ces ventilateurs d'échappement fonctionnent dans la plus part des cas en DC (Direct curent) venant des batteries vont garder une température pertinente par la circulation de l'air de l'extérieur à l'intérieur de Shelter télécom.

La température élevée avec les particules (surtout le sable) venant de l'extérieure diminuent la vie de l'équipement, pour cette raison cette option n'est pas populaire.

Aujourd'hui, cette option est dés fois utilisée dans des Shelters de batterie qui sont dés fois proches des Shelters centraux. Dans ce cas les ventilateurs vont priver aussi l'accumulation de l'hydrogène généré par les batteries à l'intérieure de Shelters de batterie. [6]

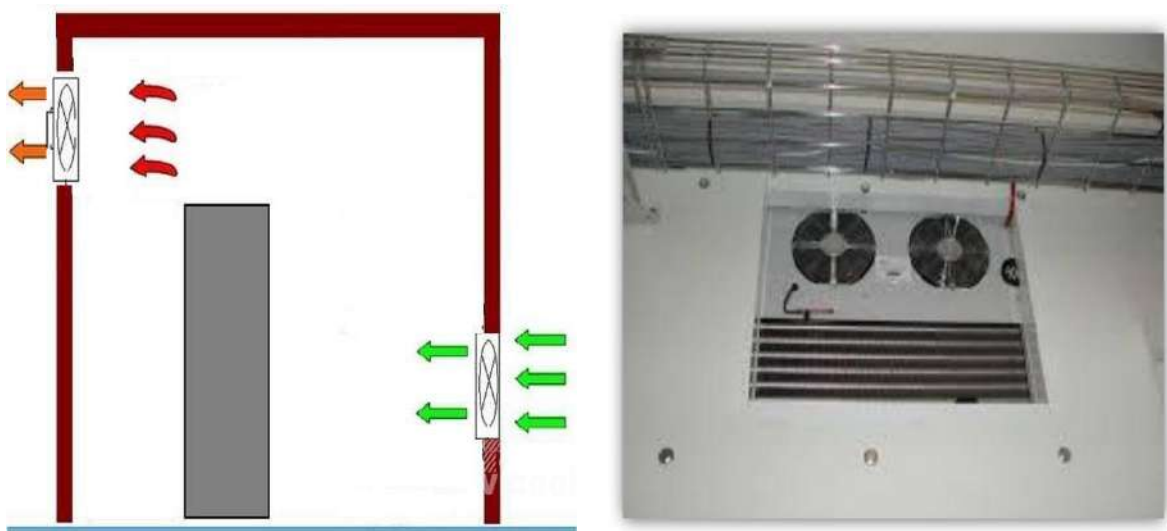


Figure (I.5) : La ventilation par les ventilateurs d'échappement.

I.6.1.2 Refroidissement par Climatiseur (Mega Hissotto HP8)

C'est un appareil split-système composé par deux parties une partie de traitement d'air et une deuxième de production de froid. Cette appareil peut être une armoire de climatisation ou un climatiseur individuelle (fenêtre ou murale). Dans certains cas la partie de traitement de l'air

(l'évaporateur) elle est placée à l'intérieur du locale et le bloc frigorifique (condenseur + groupe frigorifique) à l'extérieur on appel ce système par le split-système.



Figure (I .6) : Refroidissement par climatiseur

I.6.2 Le système de refroidissement passif

I.6.2.1 Matériaux à changement de phase (MCPs)

II.6.2.1.1 Définition

On appelle matériau à changement de phase, ou MCP, tout matériau capable de changer d'état physique dans une plage de température restreinte. Cette plage est grossièrement située entre 10 °C et 80 °C. Dans cet intervalle de température, le changement de phase prépondérant reste la fusion/solidification. Ces températures sont accessibles naturellement et sont omniprésentes dans la vie quotidienne (température d'ambiance d'une maison, température d'un corps humain, de l'eau chaude sanitaire, etc.). [7]

II.6.2.1.2 Les caractéristiques

Il existe quatre types des transformations MCP : gaz/liquide, gaz/solide, solide/solide et solide/liquide. En général, le secteur de l'énergie de construction utilise les formations solide/liquide, car ils ont une haute phase de change (enthalpie) par rapport en gaz/solide et gaz/liquide. Et réduire le volume des expansions (<10%) durant l'intégration. Chaque CAM à des avantages et désavantages comme il est détaillé dans ce tableau. I.1. [8]

La phase de changement	Avantages	Désavantages
Liquide/gaz	Grande valeur de la chaleur latente	Grand changement de volume
Solide/solide	Faible changement de volume. Pas de formation de fluide	Faible valeur de la chaleur latente
Solide/liquide	Faible changement de volume	valeur moyenne de la chaleur latente

Tableau I.1 Avantages et inconvénients comparés des différents matériaux MCP.

I.6.2.2 Un couvert de végétation

Jadis, l'homme a semé des vignes dans les murs et les toits de ses maisons. Tout le monde a entendu des jardins suspendus de Babylon. Aujourd'hui l'intégration de végétation dans la conception contemporaine en architecture est une opportunité pour les architectes.

Toutes les plantes sont capable de grandir verticalement ou autour d'un attachement, ils peuvent grandir au long des parois, clôtures ou d'autre structures (Voir Figure I.7). [8]



Figure (I.7): Shelter couvre par vignes

- Quand la végétation autour de shelter est abondante elle peut réduire chaleur et réduire aussi l'effet des vagues de chaleur.
- Les vignes installées autour la façade réduisent la consommation de l'énergie de -50 à 70% en air conditionné.
- les façades de végétation crient la fraîcheur par des différents processus. Mais les parois vertes ont quelques désavantages :

- les plantes doivent avoir une taille limitée pour éviter que l'installation des canaux soit bouchée par les restes des plantes, et ne pas empêcher la lumière d'arriver aux fenêtres.
- les parois vertes peuvent être aussi colonisées par les invertébrés. [9]

I.6.2.3 La cheminée solaire

La cheminée solaire est une conception bioclimatique pour promouvoir la ventilation naturelle de la chambre.

L'opération principale est simple : la paroi de la cheminée est chauffée directement du solaire, qui augmente la température de l'air à l'intérieur, ce qui va pousser l'air vers le haut d'une façon naturelle (convection).

Les pipelines de la cheminée sont teints par la couleur noir pour absorber facilement et d'une façon efficace la chaleur du solaire.

Quand l'air à l'intérieur de la cheminée est chauffé, il va augmenter et pousser l'air frais en bas. [10]

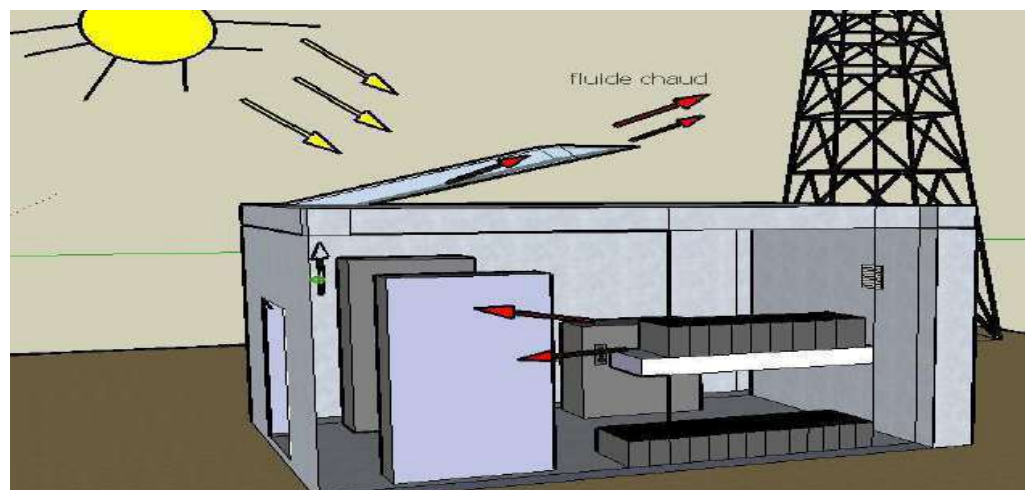


Figure (I.8): Cheminée solaire

1.6.2.4 Echangeur de l'air du sol

Le phénomène du refroidissement par l'énergie géothermique via un échangeur de chaleur air-sol (appeler puits Canadian), cela dépend essentiellement que en été la température de sous- sol est basse et stable contrairement de l'air.

L'avantage de puits Canadian est dans l'habilité et la résistance (de sol) du changement de la température de l'air (l'inertie thermique). L'air de l'extérieur est poussé à travers un passage

local premièrement à travers un tuyau d'une longueur au maximum 1,5 mètres enterré sous le sol. Le volume de l'air sort de sous-sol à travers un pipeline quelques mètres du local. Le type du sol influence aussi la fraîcheur de l'air (Voir Figure II.9). [6]

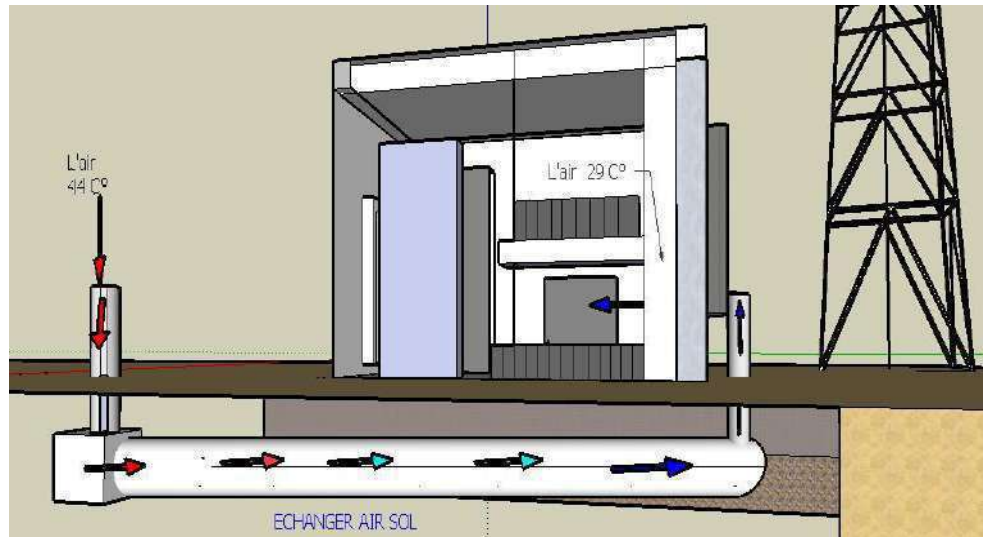


Figure (I.9): Shelter muni d'un échangeur air-sol

Avantages et inconvénients :

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Entre l'air frais - minimise la Consomme d'énergie - Coût du matériel très faible - Réduit les besoins en climatisation
inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Peut apporter des micro-organismes ou du radon dans le local - Technique de poses et entretien relativement délicats. - Coût de terrassement important - L'espace d'installation est grand

Tableau I-2 : Avantages et inconvénients échangeur air sol

I.6.2.5 L'isolation thermique des parois externes

Nous installons l'isolateur autour les parois extérieurs de Shelter en ordre pour baisser la température à l'intérieur de Shelter, où l'isolateur est fixer aux surfaces extérieurs en laissant une certaine distance entre le surface et la séparation, cette espace permet de

changer l'air et d'être comme une cheminée solaire et l'isolation va couvrir la lumière du solier. [11]



Figure (I.10) :L'isolation thermique des parois externes.

I.7 Facteurs liés aux conditions climatiques

I.7.1 La température de l'air ambiant

La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe. [12]

I.7.2 La vitesse de l'air

Le vent est l'air en mouvement ou l'agitation de l'air. Il est un déplacement de l'air des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires.

En effet les échanges convectifs entre la surface extérieure des parois et l'air extérieur sont fonction de la vitesse de l'air au voisinage des parois

I.7.3 L'humidité de l'air

L'humidité de l'air peut être exprimée comme la pression de vapeur d'eau dans certain volume d'air, l'humidité de l'air à l'intérieur de l'abri influence les équipements de façon directe et indirecte. L'humidité de l'air n'a pas un grand effet, elle n'a d'effet significatif que lorsque elle est extrêmement haute ou extrêmement basse [13].

I.7.4 L'ensoleillement

L'ensoleillement (ou durée d'insolation), en météorologie, est le temps pendant lequel un lieu est exposé au soleil.

La température de l'air extérieur atteint sa valeur maximale en milieu d'après-midi, soit au moment de maximum d'ensoleillement pour l'orientation Ouest qui est ainsi la plus défavorable. Parmi les parois verticales, ce sont les parois Est et Ouest qui reçoivent les ensoleillements les plus importants en été [13].

I.8 Classification des zones climatiques en Algérie

L'Algérie est un vaste pays elle est comprise entre 18° et 38° de latitude nord, et entre 9° de longitude ouest et 12° de longitude est, (le méridien international 0° Greenwich passant près de la ville de Mostaganem). [14]

En Algérie la première classification en zones climatiques a été faite par le CSTB en 1962 qui sert de base de calcul pour le dimensionnement de chauffage ou de climatisation. Une deuxième classification prenant en compte les données climatiques plus représentative de la période (1974 –1984) permet de définir avec plus de précision les zones climatiques de l'Algérie. Cette vaste étendue territoriale correspond à une diversité de zones climatiques qui peuvent se classer en trois catégories. [14]

- Le tell : climat tempéré humide de type méditerranéen ;
- Les hautes plaines : climat de type continental ;
- Le Sahara : climat aride et sec.

I.9 Caractéristiques climatiques la zone Ouargla

La wilaya d'Ouargla, est située au Sud-Est du pays couvrant une superficie de 163.233 km², plongée au fond d'une large cuvette de la vallée de l'Oued Mya. Latitude: 31°56' Nord. Longitude : 5°24' Est. Altitude : 142 m.

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par climat saharien. Avec une pluviométrie très réduite, vent forte, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie

biologique de l'écosystème. Sont des facteurs qui influent sur le bilan thermique des logements, des immeubles administratifs et collectifs, etc.

Selon l'Office National de la Météorologie 2019, les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 47°C. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 13.1°C. Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année, avec une vitesse pouvant atteindre 13.1 m/s. L'humidité relative enregistre des taux tournant de 15.5 à 52 %. Alors que l'évaporation est très importante pouvant aller jusqu'au 566,6mm. [15]

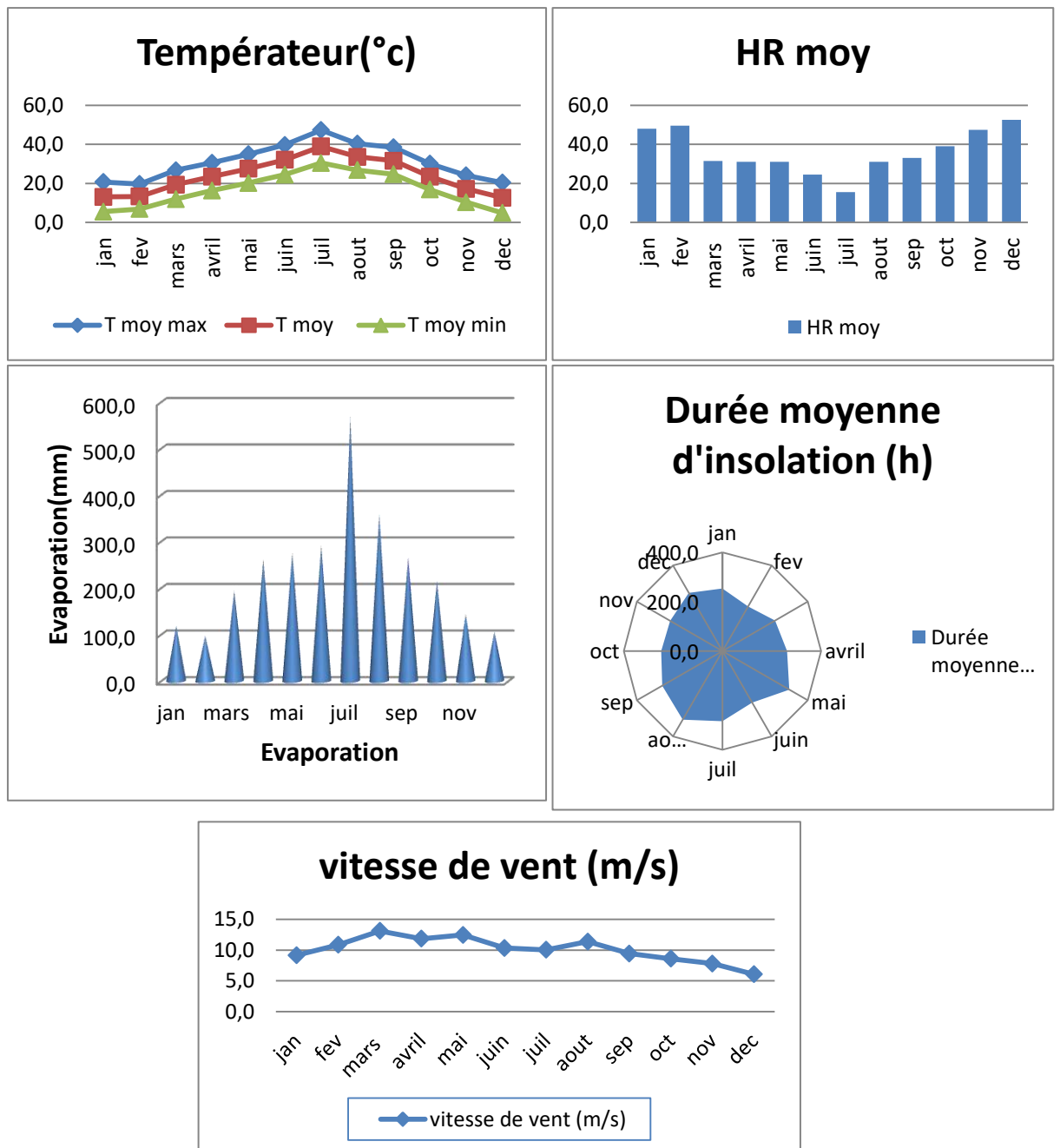


Figure (I.11) : Interprétation des données climatiques de la région d'Ouargla (2019). [15]

I.10 Revue Bibliographique

On va exposer quelques travaux de recherche effectués sur le refroidissement passif sur shelter télécom et l'échangeur air/sol.

♣ Boubekour Dokkar, [16] applique un système de refroidissement passif sur le shelter télécom de stations transitoires de base(BTS) dans la ville d'Ouargla (sud de l'Algérie) à l'aide de la cheminée solaire avec échangeur de chaleur air-sol. dans la présente étude, les utilisations de la cheminée solaire ainsi que de l'échangeur de chaleur air-terre (EAHE) sont introduites pour éliminer la chaleur intérieure indésirable de l'abri de télécommunication. Par conséquent, des analyses théoriques ont été effectuées pour enquêter sur le refroidissement et la ventilation par cheminée solaire combinée et canal d'air souterrain. En hiver, seule la cheminée solaire est utilisée pour le refroidissement des abris. En été, le bord de la cheminée solaire est parfaitement couplé avec le système de refroidissement souterrain. Les codes CFD commerciaux (Flowing 6.3) permettent de prédire les performances thermiques et le flux de fluide dans la cheminée solaire bidimensionnelle et le canal souterrain. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation du débit Au niveau de l'entrée du refuge, l'amélioration a marqué le refroidissement dans toutes les zones abritant, ce qui indique que la conception de bord a un abri sans climatisation conventionnelle.

♣ Nesrine Hatraf, [17] L'objectif principal est l'étude d'évaluer les performances d'un échangeur Air/Sol. Il est basé sur l'étude de l'influence des propriétés du sol, du site et de la nature du conduit sur l'évolution de la température de l'air le long de l'échangeur puis celle obtenue à la sortie qui pourra être exploitée. L'écart avec la température extérieure détermine les possibilités offertes à la technique du rafraîchissement par la géothermie pour être utilisée dans les sites de climats variés en Algérie.

♣ Le travail de recherche présenté par Badre Eddine Dounane et Boubakeur Hathat, [18] Le but de ce travail est d'évaluer un système échangeur air-sol propre à des zones à climat chaud. ils ont réalisé le projet par simulation numérique d'un écoulement Turbulent dans l'échangeur air-sol, ils ont utilisé le logiciel FLUENT pour le calcul numérique.

♣ N. Moumami, [19] l'étude de l'écoulement d'air et le transfert de chaleur convectif à travers un échangeur air/sol, pour le rafraîchissement. Ils ont étudié analytiquement et expérimentalement un échangeur air/sol pour déterminer les caractères principaux qui influent sur la performance de ce système présenté dans la figure.

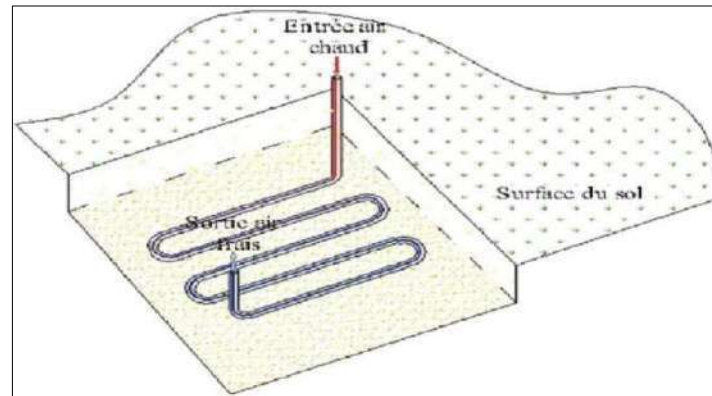


Figure (I.12) : Disposition de l'échangeur air/sol [19]

Dans cette étude, ils ont considéré que:

- Le régime de l'échange thermique est stationnaire.
- Le sol est considéré homogène.
- Les caractéristiques de l'air et du sol sont considérées constantes.
- Dans une section du conduit perpendiculaire à l'écoulement, l'air est considéré homogène, l'échange convectif est régi par un coefficient convectif moyen.
- La température extérieure du tube est constante.
- La vitesse de l'air est considérée constante le long du conduit.

Ils ont trouvé à partir des équations du bilan énergétique, l'expression analytique qui traduit l'évolution de la température de l'air dans l'échangeur

$$T_a = T_{ae} \exp\left(\frac{-2L}{\rho c v R}\right) + T_{sol} \left(1 - \exp\left(\frac{-2L}{\rho c v R}\right)\right) \dots \dots \dots (I.1)$$

Ils ont fait une comparaison avec des résultats théoriques et expérimentaux pour un débit 121,52 m³/h (figure I.13), ils ont constaté que la température du fluide continue à chuter avec la longueur de l'échangeur et le régime thermique est loin d'être établi et l'écart significatif entre le modèle théorique et les résultats expérimentaux. Ceci est dû aux hypothèses considérées et principalement aux valeurs approximatives des propriétés du matériau du conduit et celles du sol.

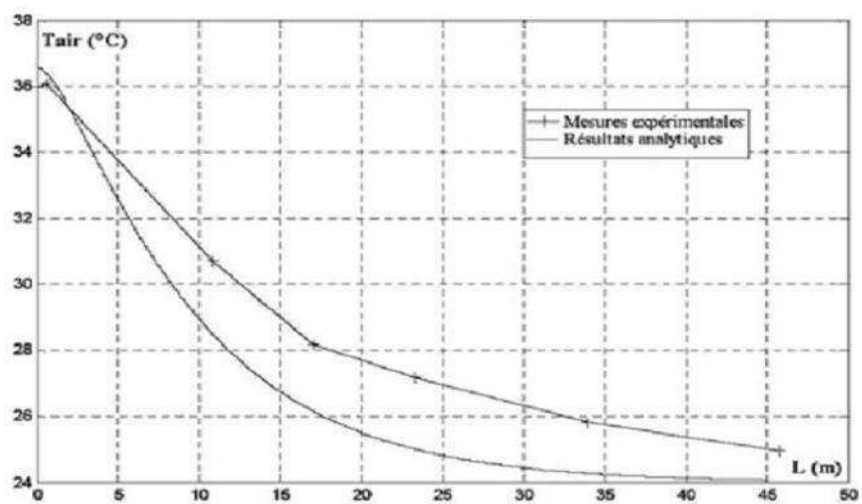


Figure (I.13): Variation de la température de l'air en fonction de la longueur de l'échangeur [19]

Chapitre II

Généralité et Modélisation Mathématique

II. Généralités sur les transferts de chaleur

II.1 Introduction

La thermodynamique correspond à une branche de la physique qui étudie le comportement thermique des corps, plus exactement les mouvements de chaleur.

De façon plus générale, la thermodynamique s'intéresse à l'étude de l'énergie interne (en particulier la température) et de ses transformations. [20]

II.2 Définitions

II.2.1 Champ de température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x,y,z,t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température.

Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire ou régime établi.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit transitoire ou variable.

II.2.2 Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température :

$$\vec{\text{grad}}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n} \dots\dots\dots (2.1)$$

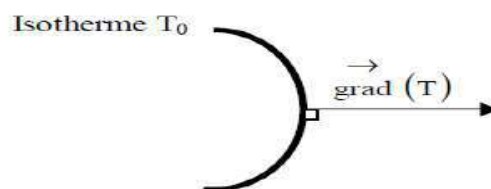


Figure (II.1) : Isotherme et gradient thermique

Avec : \vec{n} vecteur unitaire de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$ Dérivée de la température le long de la normale.

II.2.3 Flux de thermique

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$q = \frac{1}{S} \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps :

$$Q = \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

II.3 Formulation d'un problème de transfert de chaleur

II.3.1 Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :

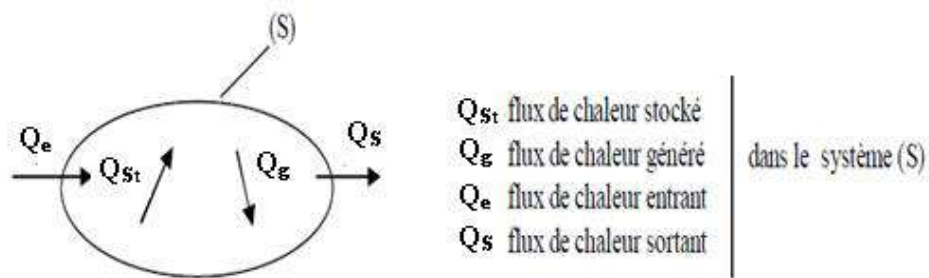


Figure (II.2) : Système et bilan énergétique

On applique alors le 1er principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$Q_e + Q_g = Q_s + Q_{st} \dots\dots\dots (2.4)$$

II.3.2 Expression des flux d'énergie

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie. En reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système.

II.3.2.1 Conduction thermique

L'énergie microscopique due à l'agitation moléculaire est transférée d'une région à une autre sous l'effet d'une différence de température, c'est-à-dire quand l'énergie moyenne d'agitation des molécules n'est pas la même en différents endroits du corps.

- Dans les fluides, la conduction thermique résulte des chocs entre les molécules « rapides » qui viennent des régions chaudes et les molécules « lentes » des régions froides : il y a un transfert d'énergie cinétique des plus rapides aux plus lentes.
- Dans les solides, le transfert thermique par déplacement des molécules n'existe pas car leur seul mouvement possible est une vibration autour de leurs positions d'équilibre ; c'est en fait cette énergie vibrationnelle qui est transportée le long du réseau cristallin.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$q_{cd} = -\lambda \text{ grad } T \dots\dots\dots (2.5)$$

Ou sous forme algébrique :

$$q_{cd} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots (2.6)$$

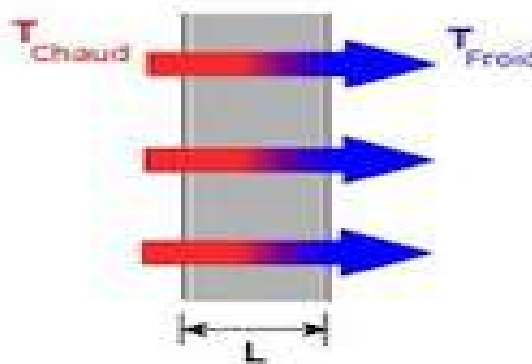


Figure (II.3) : Représentation schématique du phénomène de conduction.

Dans tous les cas, il y a un transfert d'énergie des régions chaudes vers les régions froides sans aucun mouvement macroscopique de matière.

II.3.2.2 Convection thermique

Elle apparaît uniquement dans les fluides où il peut y avoir un transport macroscopique de matière dû aux différences de densités engendrées par des différences trop importantes de températures.

On peut par exemple l'observer avec de l'eau chauffée dans une casserole : lorsque la différence de température entre le fond et la surface libre du liquide devient trop importante, le liquide du fond, plus chaud, se dilate et sa masse volumique devient plus petite : il remonte alors vers la surface vers les zones moins chaudes. Il cède alors de la chaleur en se refroidissant au fur et à mesure et se contracte. Sa masse volumique diminue et il finit par redescendre. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$q_{cv} = h_{cv}(T_S - T_f) \dots\dots\dots (2.7)$$

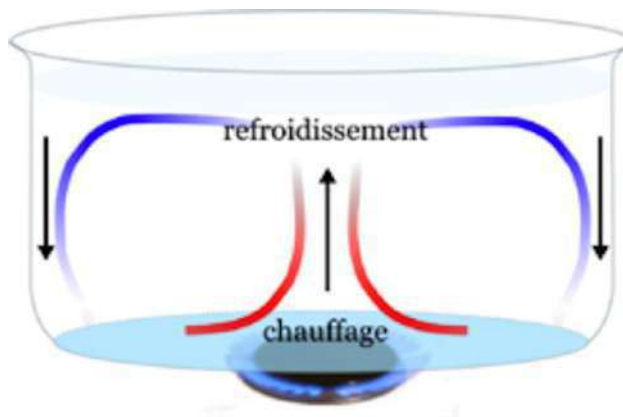


Figure (II.4): Phénomène de convection dans un liquide

Selon la nature du mécanisme qui provoque le mouvement du fluide on distingue:

- La convection libre ou naturelle: le fluide est mis en mouvement sous le seul effet des différences de masse volumique résultant des différences de températures sur les frontières et d'un champ de forces extérieures (la pesanteur).
- La convection forcée est provoquée par une circulation artificielle (pompe, turbine, ventilateur) d'un fluide. Le transfert est plus rapide que dans le cas de convection naturelle.

II.3.2.3 Rayonnement thermique

C'est le troisième mode de transfert thermique et il est entièrement de nature électromagnétique. Tout corps peut absorber une partie du rayonnement électromagnétique ambiant (ce sont les atomes et les molécules qui absorbent les photons).

Inversement, tout corps émet continuellement un rayonnement : sous l'effet de l'agitation thermique les atomes ou molécules entrent constamment en collision les uns avec les autres et une partie de l'énergie reçue lors d'une collision est rendue par émission de rayonnement

électromagnétique (désexcitation des atomes ou molécules qui reviennent dans leur état fondamental).

La densité maximum du flux thermique émise par un corps à la température T est donnée par la loi de " Stefan-Boltzmann" :

$$P_r = \sigma T^4 \dots\dots\dots (2.8)$$

Où T est la température absolue en K, σ est la constante de "Stefan-Boltzmann" $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/M}^2$ et P_r est appelée la puissance émissive du corps noir.

Seulement un " radiateur idéal " ou le corps noir peut émettre un flux thermique en concordance avec la relation (2.8). Le flux thermique émis par un radiateur réel, à la température T est plus petit que le flux thermique donné par la relation (2.9) et il s'exprime :

$$q = \epsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots (2.9)$$

Où ϵ est l'émissivité qui varie entre 0 et 1 (pour tous les corps réels, ϵ est inférieure à 1).

II.4 Caractéristiques de l'écoulement

Le domaine d'application de la mécanique des fluides, qui consiste à étudier les mouvements de fluides est extrêmement vaste incluant ainsi par exemple les turbomachines l'aéronautique, la combustion, l'hydraulique.

On s'intéresse en générale à deux types d'écoulements:

- Les écoulements externes utiles dans la conception d'aérodynamique.
- Les écoulements internes utiles dans la conception de systèmes de combustion, de refroidissement, d'hydraulique, etc....

II.4.1 Régime d'écoulement des fluides

Dans tout écoulement, une particule fluide se déplace sur une trajectoire appelée ligne de courant. L'ensemble des lignes de courant défini par des frontières fictives ou réelles constitue un filet de courant ou un tube de courant .Dans un fluide en mouvement dans une conduite, chaque particule du fluide est donc elle-même en mouvement et se déplace selon sa « ligne de courant » avec une certaine vitesse. Lorsque, en un point, tous les facteurs (vitesse, pression, viscosité, masse volumique etc..) sont indépendants du temps, on dit que l'écoulement est

stationnaire ou permanent ou établi. Si l'un des paramètres n'est pas stable dans le temps, le régime est dit instable ou variable. [21]

II.4.1.1 Ecoulement laminaire (laminar flow)

Est encore appelé écoulement lamellaire tranquille, visqueux ou l'écoulement laminaire de Poiseuille. Il se produit à faible vitesse, par lames ou filets, conservant leur individualité et glissant les uns sur les autres sans se mélanger comme des tubes emboîtés qui se déplacent à des vitesses différentes et parallèles dans tous les points dans la direction du flot, la vitesse est nulle sur la paroi et atteint son maximum au centre du tube selon une variation parabolique.

On admet que le régime laminaire s'établit au-dessous d'une valeur du nombre de Reynolds de 2300 (entre 2000 et 2500 selon les auteurs).

II.4.1.2 Ecoulement turbulent (turbulent flow)

Est encore appelé écoulement tourbillonnaire ou hydraulique. Il se produit aux moyennes et grandes vitesses, avec formation de tourbillons plus ou moins désordonnés, provoqués par le frottement des diverses couches du fluide.

Les vitesses d'écoulement sont parallèles comme dans le cas régime laminaire. On admettra par la suite que le régime turbulent s'établit au-dessus d'une valeur du nombre de Reynolds de 30000 (la valeur de Re n'est pas exactement définie et certains auteurs prennent une valeur inférieure alors que d'autres admettent que des valeurs de Re de 5000 même 10000 sont nécessaires pour que le régime turbulent soit parfaitement atteint).

En réalité, on fait une distinction entre le régime :

- « Faiblement turbulent », qui produit pour des nombres de Reynolds compris entre 4000 et 10000
- « Fortement turbulent » lorsque $Re > 10000$.

L'écoulement turbulent est très présent dans la pratique industrielle puisqu'il correspond à des écoulements à grandes vitesses compatibles avec les contraintes de productivité industrielle.

II.4.1.3 Ecoulement intermédiaire (transition flow)

Est aussi appelé écoulement transitoire, pour un nombre de Reynolds compris entre 2300-3000, il existe un écoulement instable passant alternativement de l'écoulement laminaire à l'écoulement turbulent pour lequel les petites perturbations s'amortissent jusqu'à ce que l'écoulement devienne laminaire, ce régime a peu d'intérêt dans la pratique industrielle. [21]

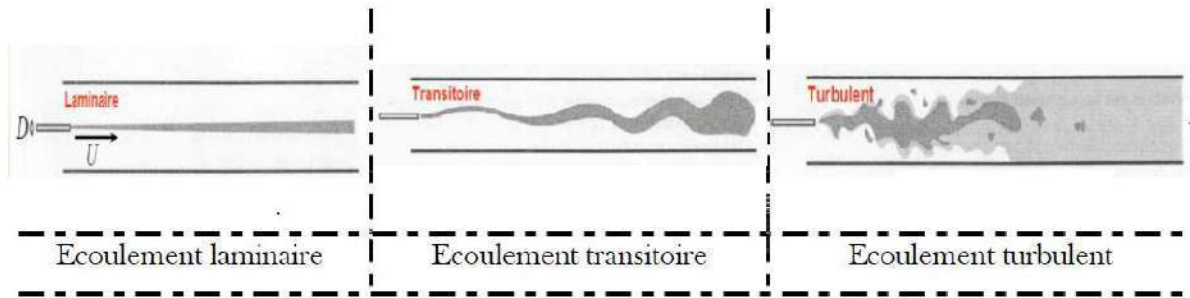


Figure (II.5) : Régime d'écoulement

II.5 Système de refroidissement de (Shelter) télécom

Le développement technologique dans de nombreux domaines de l'industrie, en particulier celle de l'électronique, a demandé une grande consommation d'énergie électrique. Dans les régions arides, la consommation d'énergie est accompagnée par un dégagement de chaleur qui est très néfaste pour le fonctionnement de ces appareils, et parce que l'abri des stations de télécommunication est très sollicité par des flux thermiques internes et externes, ce qui nécessite l'introduction des systèmes de refroidissement adaptés permettant de réduire les dépenses énergétiques.

La climatisation par la géothermie, peut offrir un apport considérable à la climatisation conventionnelle au terme de réduction de la consommation énergétique sur tout dans les régions à climat chaud, et pour assurer le confort d'été sans passer par des équipements de climatisation fortement consommateurs d'énergie dans l'abri de télécom, l'échangeur air-sol – appelé communément puits canadien ou puits provençal – constitue une solution intéressante de plus en plus mise en œuvre.

II.5.1 Technique de la géothermie

La Géothermie, du grec Géo (La terre) et thermie (la chaleur), est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la terre qui est convertie en chaleur d'une part, et de utilisé l'énergie géothermique pour chauffe ou rafraîchit des maisons et produit de l'électricité sans faire du mal à l'environnement. [23]

II.5.1.1 Principe de la géothermie

Le principe de fonctionnement de la géothermie se caractérise par l'exploitation de la chaleur contenue dans la croûte et les couches superficielles de la terre. Ainsi pour comprendre, il faut distinguer ses deux principes : la géothermie de surface et la géothermie profonde.

* D'une part, le principe de fonctionnement de la géothermie de surface exploite la récupération de la chaleur en hiver et de la fraîcheur en été dans la couche superficielle du sol. Cette énergie est exploitée facilement pour des besoins thermiques en utilisant l'inertie thermique du sol comme énergie renouvelable.

* D'autre part, le principe de fonctionnement de la géothermie profonde consiste à capter la chaleur de la croûte terrestre pour produire du chauffage en récupérant l'eau circulant dans des couches géologiques jusqu'à plusieurs milliers de mètres de profondeur.

II.5.1.2 Différents types de gisements géothermiques

Les gisements peuvent être classés selon plusieurs critères: Le contexte géologique, le niveau de température, le mode d'exploitation, le type d'utilisation.

On retrouve la classification en fonction de la température :

- Géothermie haute énergie ($T > 150^{\circ}\text{C}$) :

A cette température, on peut transformer directement la vapeur en électricité.

- Géothermie moyenne énergie ($90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$):

Elle permet de produire de l'électricité avec un fluide intermédiaire.

- Géothermie basse énergie ($30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$) :

Elle est utilisée pour fournir de la chaleur de manière directe aux bâtiments, serres...

- Géothermie très basse énergie ($T < 30^{\circ}\text{C}$):

Elle est utilisée pour rafraîchir les bâtiments soit par puits Canadiens (ou puits provençal) ou par PAC (Pompe A chaleur) géothermique.

La figure (II.6) représente les zones des ressources géothermiques dans le monde entier

- Zones propices au développement de la géothermie haute énergie.
- Zones favorables à la géothermie basse énergie (bassins sédimentaires)
- Zones de socle cristallin réservées pour la très basse énergie.

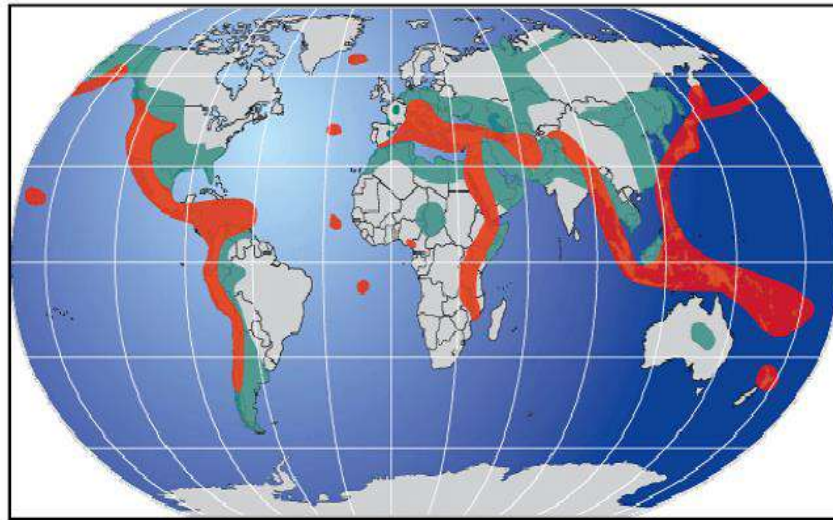


Figure (II.6) : Carte des ressources géothermiques mondiales.

II.5.1.3 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 renouvelables.
4. Énergie de base, généralement, indépendant des conditions climatiques.

II.5.1.4 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.

II.5.2 L'échangeur air-sol

L'échangeur air-sol est un système de rafraîchissement du bâtiment très peu consommateur d'énergie qui exploite d'inertie thermique du sol. Un modèle a été développé, qui tient compte des principaux phénomènes intervenant durant l'échange air-sol.

Il se compose de deux éléments : un modèle thermique de sol et un modèle d'échangeur. Le premier calcule la température du sol à partir du bilan énergétique à la surface du sol, de l'influence d'un bâtiment proche et de la puissance géothermique. Le second utilise la température du sol calculée pour déterminer la température de l'air en sortie d'échangeur. Ce modèle a été intégré à un outil de simulation thermique du bâtiment. [24]

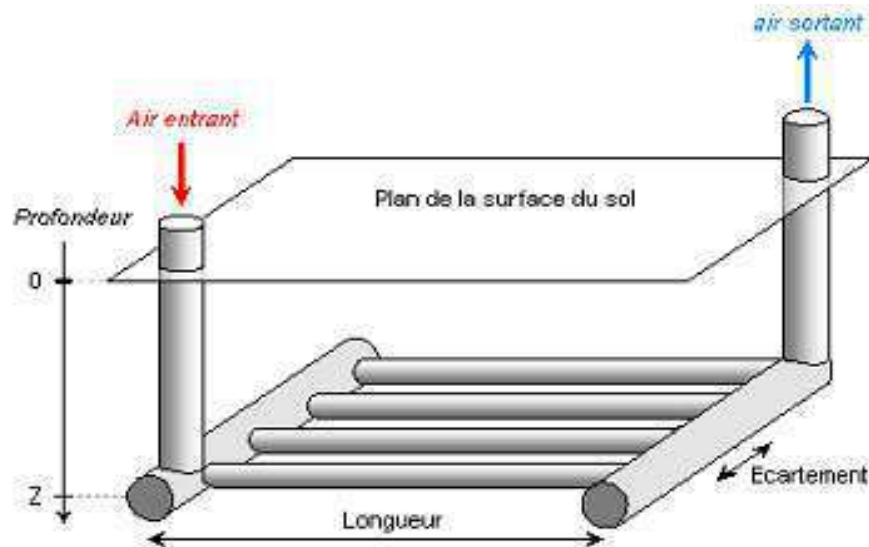


Figure (II.7) : Géométrie de l'échangeur air-sol modélisé

II.5.2 Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour rafraîchissement

L'échange thermique entre le sol et l'air circulant dans les tubes dépend de la structure de l'échangeur, de la température d'entrée de l'air et de la température du sol à proximité des tubes. Si la première température constitue une sollicitation qui peut être fournie par un fichier de données météorologiques, la seconde doit nécessairement être calculée, C'est pourquoi le modèle réalisé est structuré en deux parties. Une première partie calcule la température en tout point du sol, hors influence de l'échangeur (température du sol « non perturbé »). Cette température est utilisée comme condition aux limites du système étudié. Une deuxième partie, constituant le modèle d'échangeur proprement dit, calcule la température de l'air en sortie d'échangeur.

Seul l'échange thermique au niveau des tubes est considéré. Les tubes sont supposés identiques et le sol est supposé présenter des propriétés homogènes autour des tubes. Afin de tenir compte des aspects dynamiques et spatiaux de l'échange thermique, les tubes et le sol à son voisinage sont représentés par un maillage, ce maillage comprend plusieurs mailles cylindriques concentriques

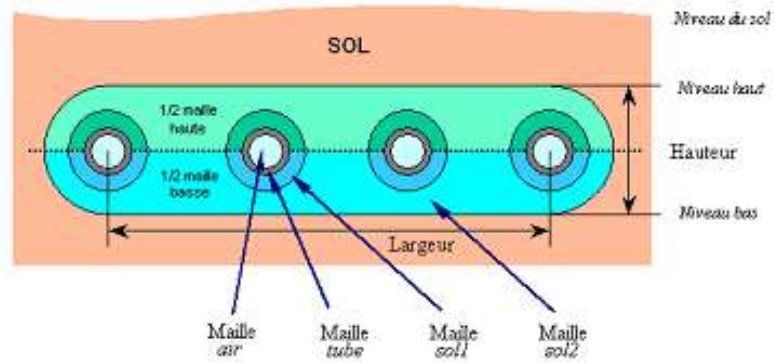


Figure (II.8) : Aspect du maillage (coupe transversale)

Ces mailles sont découpées régulièrement en sections verticales de manière à former le maillage complet

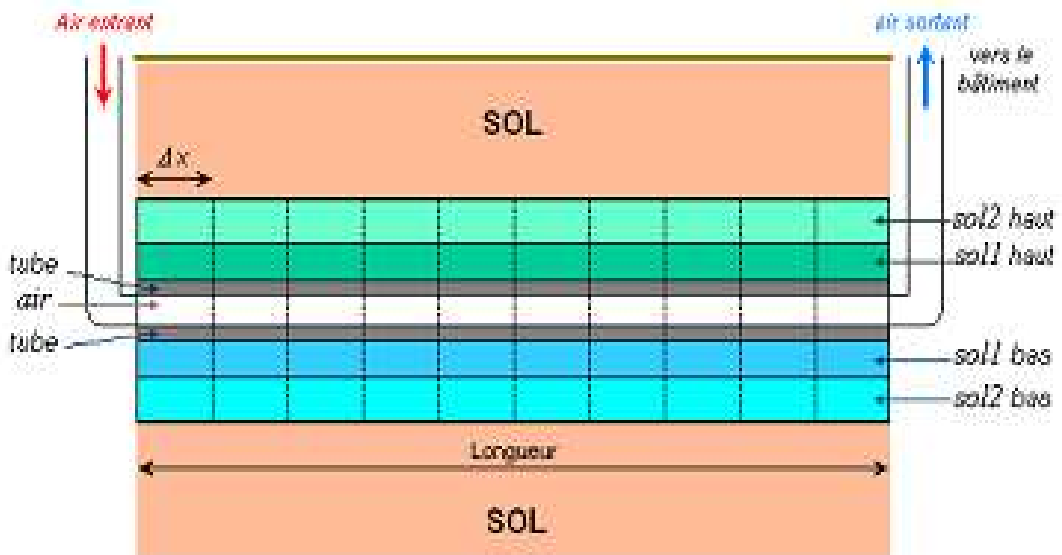


Figure (II.9) : Aspect du maillage (coupe longitudinale)

II.6 Le puits canadien

Le principe du puits canadien/provençal est de faire circuler l'air neuf de ventilation dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré. Le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du

sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à la température extérieure. Le puits est alors dit puits provençal. [22]

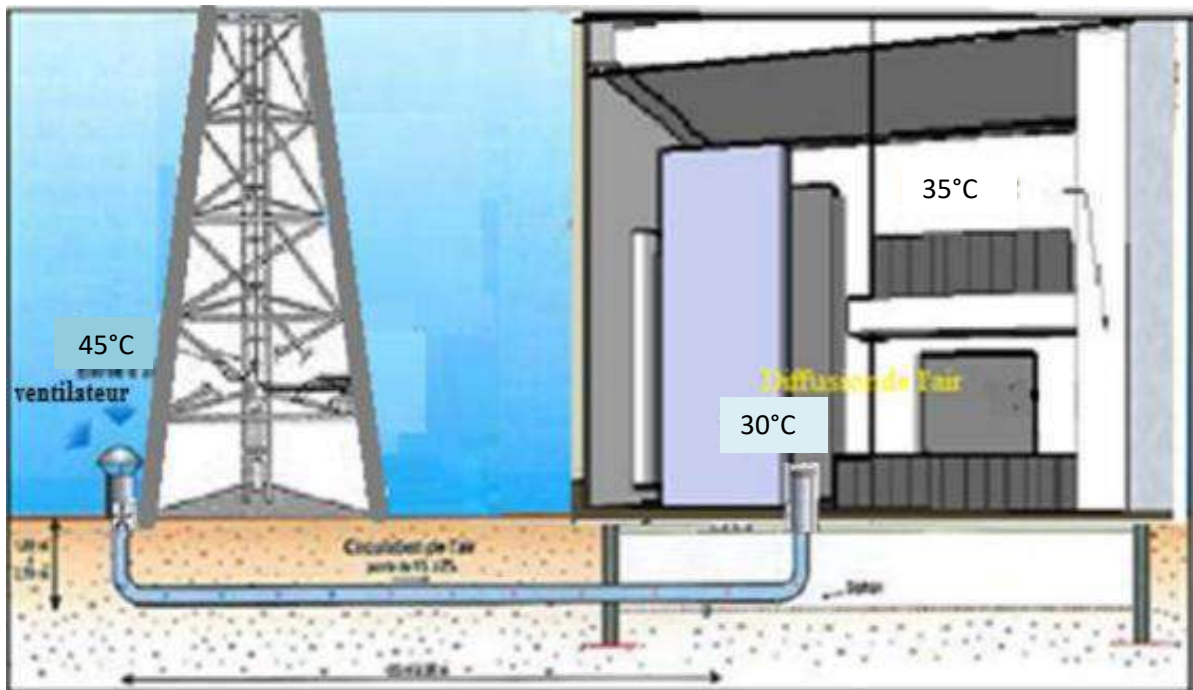


Figure (II.10) : Shelter avec un échangeur de chaleur air-sol.

II.6.1 Les principaux éléments d'un puits canadien

L'échangeur air-sol se compose en quatre principaux éléments à savoir :

- L'entrée d'air neuf.
- L'échangeur géothermique
- Le système d'évacuation des condensats
- Le ventilateur et le système de régulation du puits.

II.6.1.1 Entrée d'air neuf

Il s'agit du premier élément du puits canadien. Cette borne, qui se trouve à l'extérieur de la maison, capte l'air vers les tuyaux. Cet air est distribué à l'intérieur de shelter. Cet élément est composée de :

- Un chapeau de protection pour éviter que la pluie ne s'infilte dans le circuit.
- Une grille empêchant le passage des petits rongeurs et des insectes.
- Des filtres pour endiguer la poussière et la saleté

Ils seront vérifiés tous les mois et changés 2 à 3 fois par an.



Figure (II.11) : Pris d'air d'échangeur air-sol.

La matière de la prise d'air peut être : l'acier inoxydable, l'acier galvanisé, le polyéthylène.

II.6.1.2 L'échangeur géothermique

Il est constitué d'un ou plusieurs tubes assurant un triple rôle : canaliser le flux d'air, permettre les échanges thermiques entre l'air et le sol et assurer la tenue mécanique de l'ouvrage. Leurs principales caractéristiques sont leurs dimensions (diamètre, longueur) et leur matériau.



Figure (II.12) : Echangeur géothermique.

II.6.1.3 Le système d'évacuation des condensats

La vapeur d'eau contenue dans l'air qui circule dans le conduit enterré peut se condenser en fines gouttelettes lorsque celui-ci est en contact avec les parois intérieures froides du puits. La stagnation de cette eau de condensation au sein du puits favorise le développement de germes et de bactéries, peut perturber la circulation et altérer la qualité de l'air neuf dans le puits. Afin d'éviter ces phénomènes, le puits, dont le conduit est incliné (Pente de 1 à 3% sur 30 à 50 m), doit impérativement être muni d'un système d'évacuation des condensats.

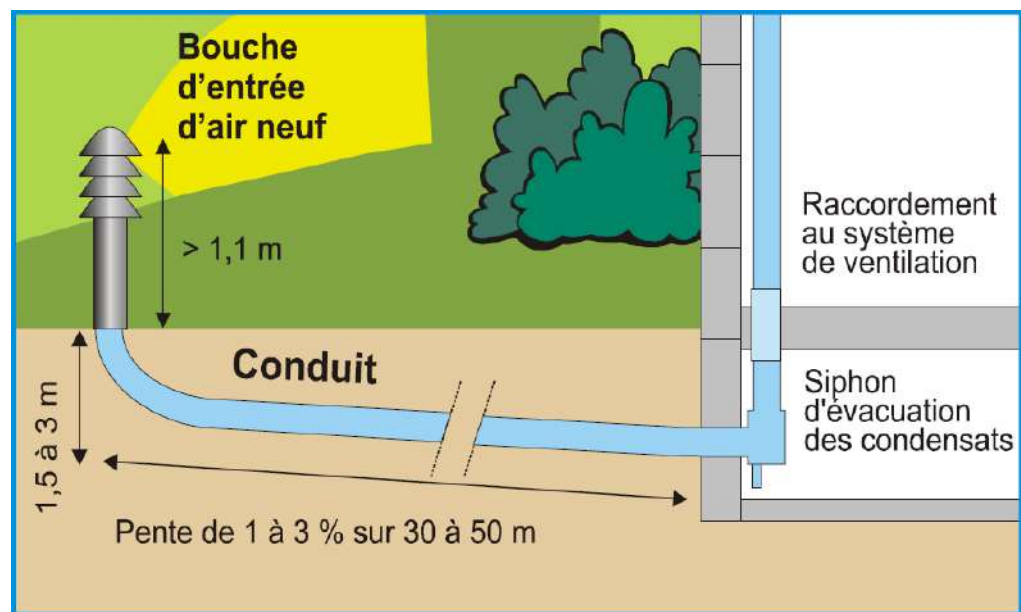


Figure (II.13) : Système d'évacuation des condensats

II.6.1.4 Ventilateur

Pour garantir l'apport en air neuf de l'abri, le système du puits canadien nécessite un couplage avec une ventilation mécanique capable de vaincre les pertes de charge engendrées par le passage dans l'échangeur. Le ventilateur doit être dimensionné de manière à assurer les débits réglementaires.

Le ventilateur peut être équipé d'un régulateur. Un thermostat placé à l'extérieur va favoriser le passage de l'air par le puits canadien ou par le by-pass en fonction de la température extérieure (gains en température faible en mi-saison par exemple donc passage par le by-pass).

Il existe deux principaux types de ventilation mécanique couplée avec échangeur air-sol :

- La ventilation mécanique contrôlée simple flux,
- La ventilation mécanique double flux.

II.6.2 Eléments pour la conception d'un puits canadien

La réalisation d'un système échangeur air-sol est conditionnée principalement par cinq paramètres à savoir :

- Le débit d'air,
- les propriétés thermiques de sol,
- Localisation géographique,
- les propriétés physiques et thermiques de matériau des tubes, et la géométrie de l'échangeur.

II.6.2.1 Débits d'air

Le débit d'air dans le conduit intervient simultanément sur l'échange convectif entre l'air et la canalisation et sur la puissance thermique apportée de l'abri. Un optimum est à déterminer, le débit global devant surtout correspondre aux besoins de renouvellement d'air de la pièce ou de la zone à ventiler.

II.6.2.2 Les propriétés thermiques du sol

La nature de sol est un des principaux éléments à prendre en compte lors de la conception d'un échangeur air-sol. La capacité calorifique et la conductivité du sol ont une influence importante sur l'efficacité du système. Elles dépendent de la composition du sol mais aussi de son taux d'humidité et des migrations d'eau en son sein.

Ces deux propriétés thermiques du sol sont expliquées ci-dessous :

II.6.2.2.1 Conductivité thermique du sol

La conductivité thermique d'un sol dépend non seulement de sa composition mais également de la disposition et de la forme de ses particules constitutives et sa teneur en eau. Le sol sera d'autant plus conducteur de chaleur qu'il sera humide. La conductivité thermique d'un sol peut donc varier dans le temps, notamment en fonction des évolutions de sa teneur en eau dues aux variations climatiques et au changement de saison.

La figure (II.14) montre la conductivité thermique de différents types de sols en fonction de leur teneur en eau :

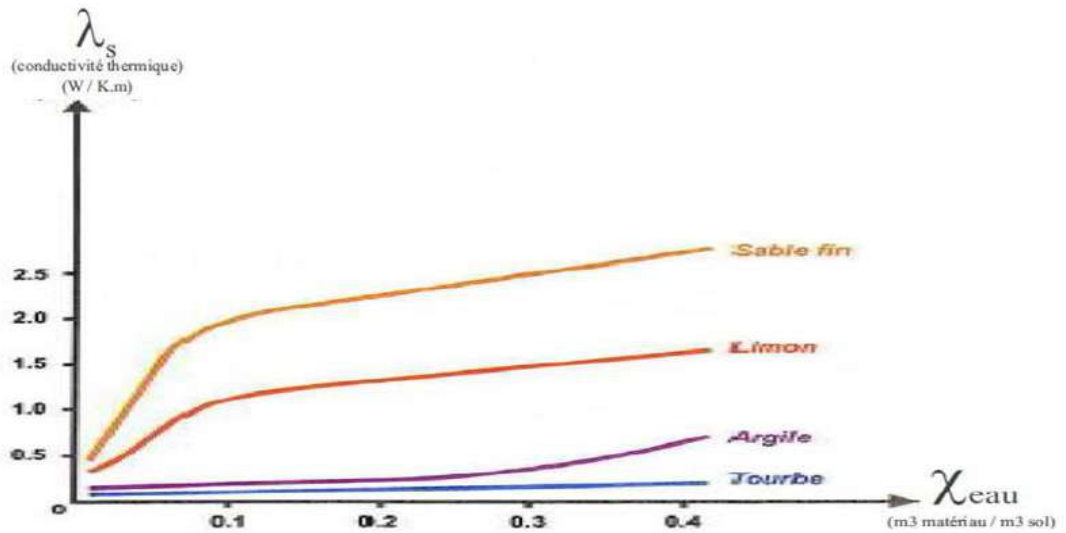


Figure (II.14) : Conductivité thermique des sols.

II.6.2.2 Capacité calorifique du sol

La capacité calorifique C_s d'un sol s'exprime par la moyenne pondérée des capacités calorifiques de ses constituants : minéraux, matière organique, eau, air :

$$C_s = \sum_i X_i \rho_i C_i \dots \dots \dots (2.10)$$

Où X_i, ρ_i, C_i représentent respectivement la teneur du matériau (m³ de matériau/m³ de sol), sa masse volumique et sa capacité calorifique. Comme l'eau et la matière organique ont une capacité calorifique supérieure à celle des éléments minéraux, un sol humide et riche en matière organique stockera mieux la chaleur qu'un sol sec, riche en minéraux.

Le tableau suivant montre les propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol :

	Masse volumique	Capacité calorifique	Conductivité thermique
Matière	ρ [Kg/m ³]	C [KJ/Kg k]	λ [W/m k]
Minéraux (moyenne)	2650	0.80	2.90
Sable et Gravier	1700 à 2200	0.91 à 1.18	2.00
Argile et limon	1200 à 1800	1.67 à 2.50	1.50
Matière organique	1300	1.90	1.25
Eau	1000	4.20	0.585
Glace	920	2.10	2.20
Air	1.250	1.00	0.023

Tableau (II.1): les propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol.

Le résultat qu'on peut extraire du Tableau (II.1) : il est préférable de choisir un sol argilo sableux humide pour l'installation d'un système puits canadien, celle-ci donne une quantité d'énergie récupérable optimale.

II.6.2.3 Les propriétés physiques et thermiques de matériau des tubes

Le matériau des tubes est plus important car il impacte directement sur les échanges thermiques sol/puits. Le choix du matériau varie en fonction des contraintes mécaniques, des dimensions et des performances thermiques recherchées.

L'utilisation de parois compactes à conductivité thermique élevée doit être favorisée car elle permet d'augmenter les échanges et ainsi de réduire la longueur du puits. La faible épaisseur des canalisations rendant ses propriétés thermiques peu influentes sur le comportement général du puits. Pourtant ces propriétés peuvent avoir un impact sur le comportement dynamique de l'échangeur, et il est nécessaire les prendre en compte.

II.7 Description du problème

La géométrie du problème considéré est une conduite cylindrique forme en U a une section circulaire constante enterrée à une profondeur Z . Dans lequel l'air s'écoule. Ce conduit à une longueur horizontale L et d'épaisseur fine e , diamètre intérieur D_i et diamètre extérieur D_e , soumis à une température de sol constante $T_s=293K$, l'air entré du conduit avec une température ambiante constante $T_a=318K$ et une vitesse constante selon les nombres des Reynolds qu'on a ($Re = 100, 500, 1000, 1500$ et 2000).

Pour simplifier le modèle mathématique, on considère les hypothèses les plus couramment utilisées dans ce type de problème. Nous supposons alors que :

- L'écoulement du fluide (l'air) est considéré laminaire, newtonien, incompressible tout le long du conduit.
- L'échange thermique se fait en régime stationnaire.
- Le sol entourant du conduit est considéré homogène et isotrope, avec conductivité thermique homogène dans toutes les couches de sol.
- On suppose que la température de tube est égal à la température de sol.

$$T_{sol} = T_{tube}$$

- Il n'y a ni réaction chimique ni source de chaleur et de masse.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.

La géométrie du système est représentée dans la figure (II.15) (a) et (b).

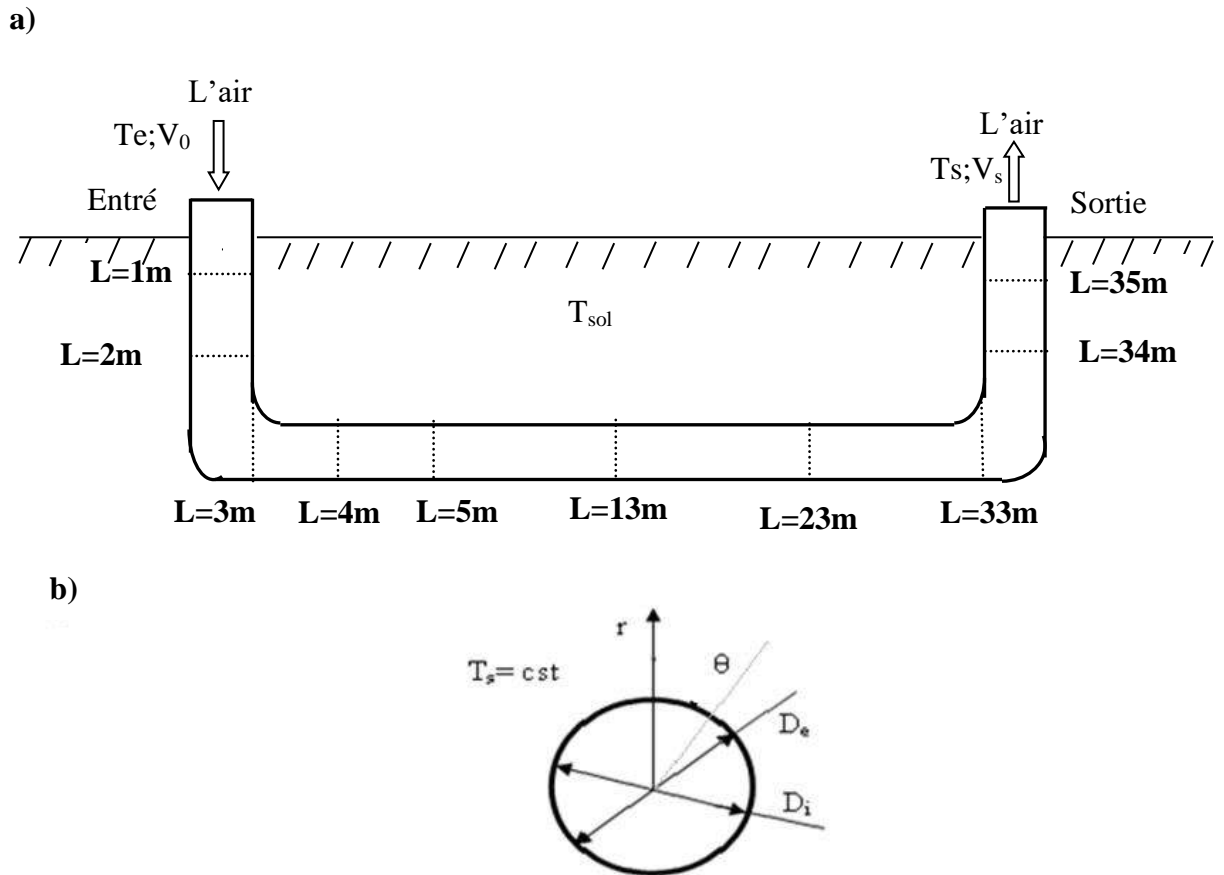


Figure (II.15) : Géométrie du système (a,b)

II.8 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_{air} , et à l'inverse de la résistance thermique de la paroi R .

$$\varphi = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} \dots \dots \dots (2.11)$$

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:

$$R = R_{cd} + R_{cv} \dots \dots \dots (2.12)$$

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

$$dQ = \varphi \cdot S \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} S \cdot dt \dots \dots \dots (2.13)$$

Telle que $S=S_{laterale}$

$$dQ = \varphi \cdot S \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} S \cdot dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} 2 \cdot r \cdot \pi \cdot L \cdot dt \dots \dots (2.14)$$

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

q_v est constant donc V est constant

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

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

$$dQ = c \cdot \rho \cdot V \cdot dT_{air} = c \cdot \rho \cdot r^2 \cdot \pi \cdot L dT_{air} \dots \dots \dots (2.15)$$

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

$$\frac{dT_{air}}{-T_{air} + T_{sol}} = \frac{2 \cdot dL}{c \cdot \rho \cdot r \cdot V \cdot R} \dots \dots \dots (2.16)$$

II.8.1 Par conduction :

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

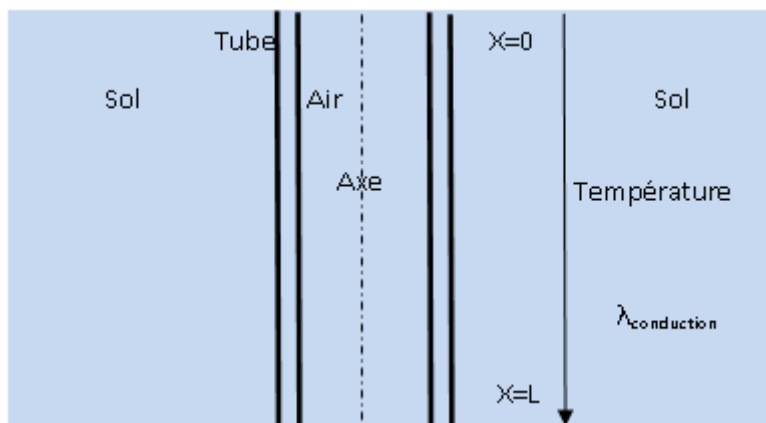


Figure (II.16) : Schématisation du Problème Physique

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q'}{\rho c} \dots \dots \dots (2.17)$$

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:

$$\frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \dots \dots \dots (2.18)$$

On pose

$$T(x, t) = \theta(x, t) + T_i$$

Alors eq (1) s'écrit par

$$\frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} \dots \dots \dots (2.19)$$

La solution générale de $\theta(x, t)$ est:

$$\theta(x, t) = f(t)R(x)$$

Remplaçons dans l'équation (2.19), on trouve :

$$\frac{\partial^2 f(t)R(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial f(t)R(x)}{\partial t}$$

Puis diviser par $\theta(x, t)$, on trouve :

$$\frac{d^2 R(x)}{R(x)dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{df(t)}{f(t)dt}$$

Cela signifie que

$$\left\{ \frac{d^2 R(x)}{R(x)dx^2} = cte \dots \dots \dots (2.20) \right.$$

$$\left. \frac{1}{\alpha f(t)} \frac{df(t)}{dt} = cte \dots \dots \dots (2.21) \right.$$

Cette constant, par exemple pendue $cte = a$

Le choix de la constant (a) est détermine des conditions initiales du système

L'équation (2.21) est :

$$\frac{1}{\alpha f(t)} \frac{df(t)}{dt} = a \Rightarrow \frac{df}{f} = \alpha a dt$$

$$\Rightarrow \ln f(t) - \ln f(i) = \alpha a t$$

$$\Rightarrow \ln \frac{f(t)}{f(i)} = \alpha a t$$

$$\Rightarrow \frac{f(t)}{f(i)} = e^{\alpha a t}$$

$$\Rightarrow f(t) = f(i)e^{\alpha a t} \dots\dots\dots(2.22)$$

($\alpha a = i\omega$) Fréquence que l'excitation pour cela en posant $\alpha a = i\omega$, alors :

$$f(t) = f(i)e^{i\omega t} \dots\dots\dots(2.23)$$

La deuxième équation (2.20) :

$$\frac{d^2R(x)}{R(x)dx^2} = a$$

$$\frac{d^2R(x)}{dx^2} - aR(x) = 0 \dots\dots\dots(2.24)$$

Sa solution s'écrit comme :

$$R(x) = Ae^{\sqrt{ax}} + Be^{-\sqrt{ax}}$$

Le premier terme ($Ae^{\sqrt{ax}}$), est physiquement inacceptable puisque

$$R(x)_{n \rightarrow \infty} = \infty \Rightarrow \text{Pour cela nous penons } A=0$$

On aura

$$R(x) = Be^{-\sqrt{a} x}$$

$$R(x) = B e^{-\sqrt{\frac{i\omega}{\alpha}} x} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\Rightarrow R(x) = B e^{\sqrt{-i\omega x}} = B \exp \left[-\sqrt{\frac{\omega}{\alpha}} e^{i\frac{\pi}{2}} x \right]$$

$$= B \exp \left[-\sqrt{\frac{\omega}{\alpha}} e^{i\frac{\pi}{4}} x \right]$$

$$= B \exp \left[-\sqrt{\frac{\omega}{\alpha}} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) x \right]$$

$$= B \exp \left[-\sqrt{\frac{\omega}{\alpha}} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}} \right) x \right]$$

Donc

$$R(x) = B \exp \left[-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} (1+i) x \right] \dots \dots \dots (2.26)$$

$$\Rightarrow \theta(x, t) = R(x)f(x)$$

$$\theta(x, t) = f(i) e^{i\omega t} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}(1+i)x} \dots \dots \dots (2.27)$$

Si $x=0$, on a

$$\theta(0, t) = T_0 \cos \omega t$$

$$\Rightarrow f_i B = T_0 \dots \dots \dots (2.28)$$

Développons l'expression $\theta(0, t)$:

$$\begin{aligned} \theta(x, t) &= T_0 e^{i\omega t} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}(1+i)x} \\ &= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \left(e^{i\omega t} e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \right) \\ &= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} e^{i(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x)} \\ &= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \left(\cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x) + i \sin(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \theta(x, t) &= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \left(\cos \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x + \sin \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x + i \sin \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x - \right. \\ &\left. i \cos \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x \right) \end{aligned}$$

Ou

$$\begin{aligned} e^{i\omega t} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} &= (\cos \omega t + i \sin \omega t) (\cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x - i \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x) \\ &= \cos \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x + \sin \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x + i \sin \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x - i \cos \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \theta(x, t) = T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \cos \left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x \right) \dots \dots \dots (2.29)$$

Alors finalement l'équation aura la forme :

$$T = T_i + T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x} \cos \left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} x \right) \dots \dots \dots (2.30)$$

II.8.2 Par convection thermique :

Le mode transfert de chaleur qui s'effectuent simultanément avec des transferts de masse sont appelés transferts thermique par convection.

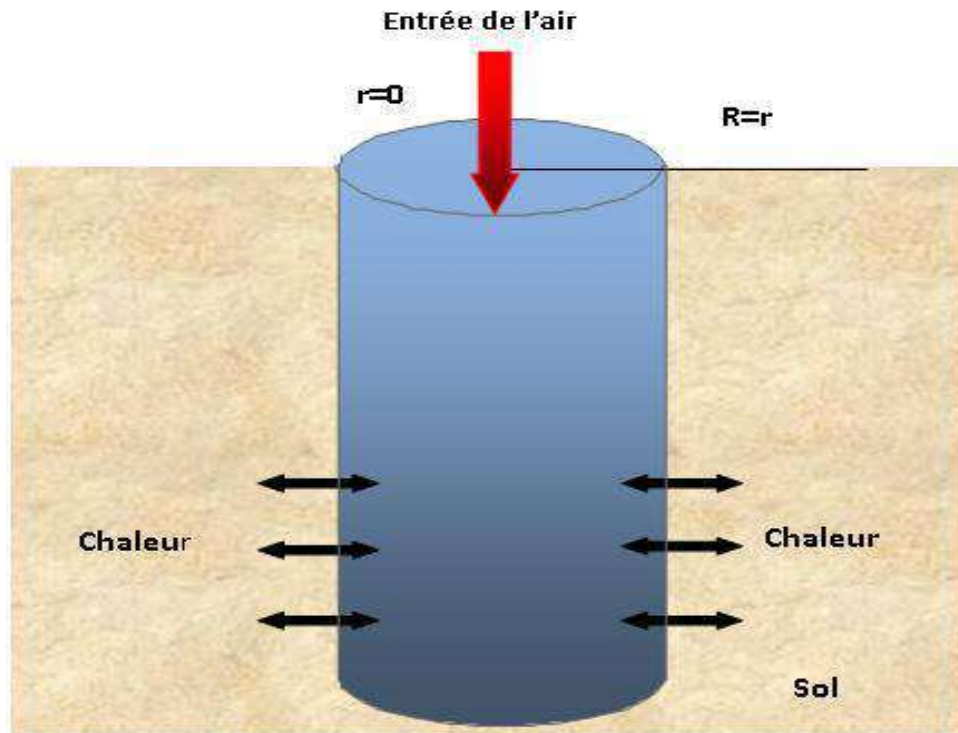


Figure (II.17) : Echangeur de chaleur entre air et sol

II.8.2.1 L'étude de processus thermique à l'intérieur de la conduite :

On considère, que la conductivité thermique de sol est égale la conductivité thermique de matière de conduit

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

Le bilan thermique est devient :

$$\rho \frac{DE}{Dt} = div(\lambda \overrightarrow{grad} T) - P div \vec{q} + \Phi \dots \dots \dots (2.31)$$

Comme nous avons indiqué antérieurement que l'air est considéré comme un fluide incompressible donc :

$$div \vec{q} = 0$$

-Mouvement unidirectionnel sur l'axe $\rightarrow x$

$$(v = w = 0), \text{ Établi } \frac{d}{dx} \rightarrow 0$$

II.8.2.2 Hypothèses supplémentaires :

- ✚ Les propriétés physiques de fluide est constantes λ, C_v, μ
- ✚ On donne l'énergie interne par $E = C_v T + E_0$
- ✚ Phénomène thermique est permanent

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

Donc l'équation de bilan thermique s'écrit comme :

$$\rho C_v u \frac{dT}{dx} = \lambda_f \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right] + \mu \left(\frac{du}{dr} \right)^2 \dots \dots \dots (2.32)$$

En générale, les deux termes de dissipation visqueuse $\mu \left(\frac{du}{dr} \right)^2$ et de conduction $\lambda_f \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right]$ sont égaux à zéro

Dans ces conditions, l'équation (2.32) s'écrit :

$$\rho C_v u \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda_f}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (2.33)$$

On tire l'attention que nous avons considéré le fluide est incompressible à une viscosité constante, sans oublier que l'écoulement d'air faite dans un tube de section circulaire. Ce conduit que le régime dynamique est permanent.

II.9 Equation du mouvement:

L'équation de mouvement est très connue dans le domaine d'écoulement des fluides que s'appelé l'équation de Navier-stokes, on l'utilisé comme suit pour un écoulement tridimensionnel :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = v \cdot \nabla^2 U \dots \dots \dots (2.34)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} = v \cdot \nabla^2 V \dots \dots \dots (2.35)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = v \cdot \nabla^2 w \dots \dots \dots (2.36)$$

En respectant les hypothèses précédentes on obtient :

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

L'équation de conservation de masse s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2.37)$$

Donc l'équation de Navier-Stokes sur l'axe d'abscisse cartésienne devient :

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \cdot \nabla^2 U = 0 \dots\dots\dots (2.38)$$

L'équation s'écrit aux coordonnées cylindriques comme suit :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\mu}{\rho} \nabla \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial r} \right] = \frac{\mu}{\rho} \nabla + \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial r} + \left[r \frac{\partial u}{\partial r} \right] \dots\dots\dots (2.39)$$

Avec :

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

On simplifiant l'équation et on l'égalisant par la constante $-\alpha$:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\mu}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \left[r \frac{\partial u}{\partial r} \right] = -\alpha \dots\dots\dots (2.40)$$

II.10 Les conditions aux limites :

Selon les démarches de simplifications les équations susvisés, on doit les faites cas par cas en respectant les conditions aux limites prescrites par la situation physique de domaine d'études :

II.10.1 Cas le flux aux côtés des parois est constant

Pour trouver les solutions de l'équation différentielle, on doit poser les conditions aux limites adéquates :

Dans l'instant $t \geq 0$, Le fluide entra à la conduite à l'instant $t \geq 0$ avec une température T_1

$$T_1(x = 0, t = t_1)$$

La condition de symétrie se traduit par

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

A la surface de contact air sol, la densité de flux s'écrit :

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

Par changement de variables suivant :

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

Avec :

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

Avec :

- ❖ Le nombre de Prandtl (Pr): Caractérise le comportement thermique du fluide. Il est défini comme le rapport de la viscosité cinématique du fluide sur sa diffusivité thermique
- ❖ Le nombre de Reynolds (Re) : Caractérise le régime de l'écoulement (laminaire, turbulent ou mixte). Il est défini comme le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

Après simplification mathématique on aura :

$$(1-r^{*2}) \cdot \frac{dT^*}{dx^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left(r^* \cdot \frac{dT^*}{dr^*} \right) \dots \dots \dots (2.41)$$

Les conditions aux limites liées au problème (2.41) sont :

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

II.10.2 Cas d'une variation de la température à la paroi :

Après le développement de l'équation de bilan thermique (2.33) on aura :

$$\rho C_v U \frac{dT}{dx} = \lambda_f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (2.42)$$

Implique que

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\lambda_f}{\rho_f C_f u} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (2.43)$$

En tenant compte :

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

L'équation sera :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{u} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (2.44)$$

Dans les coordonnées cartésiennes l'équation devienne :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{u} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \dots \dots \dots (2.45)$$

Chapitre III

Résolution Numérique

III.1 Procédure de résolution par Fluent

On expose la description du problème et la simulation par le code de calcul Fluent essentiellement la procédure qu'il propose pour résoudre les problèmes tel que le nôtre, La construction des géométries avec génération de maillage et l'incorporation des conditions aux limites sont effectuées par le préprocesseur Gambit.

III.2 Gambit

Le logiciel Gambit est un meilleur 2D/3D, pré processeur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD (Computational Fluide Dynamics). Il est permet de crée la géométrie et générer le maillage, cette maillage peuvent être utilise dans simulateur fluent.

Les options de génération de maillage de GAMBIT offrent Liberté de choix. IL permet de générer un maillage structuré ou non structuré en cordonnées cartésiennes, polaires, cylindrique ou axisymétrique.

Pour réussir un maillage sous Gambit, il faut suivre les étapes suivantes :

- Construire la géométrie soit double ou trois dimensions.
- Réaliser le maillage.
- Définir les paramètres des conditions aux limites et domaines des calculs.

III.2.1 La création de la géométrie

Après le lancement du logiciel, le GAMBIT ouvre la fenêtre de la géométrie, qui contient des boutons qui vous permettent de créer, déplacez, copiez, modifiez, et effacez des points, lignes, surfaces, et volumes comme ci-dessous :

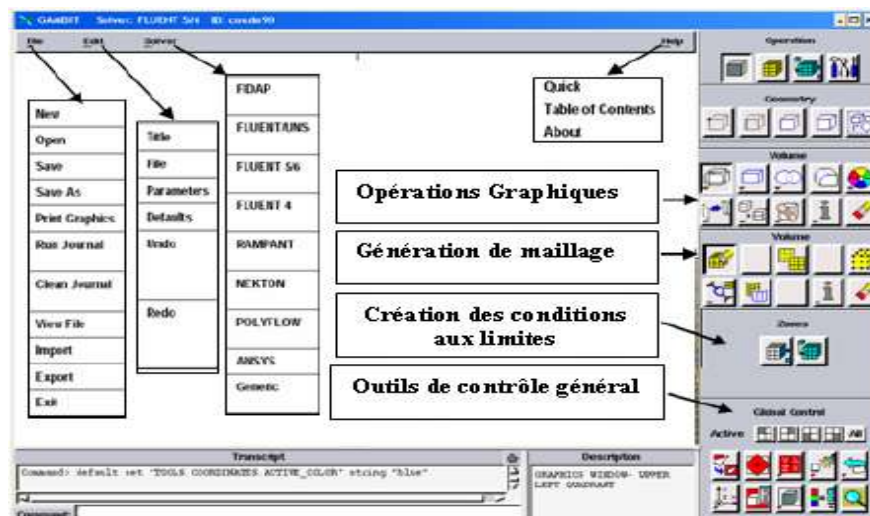
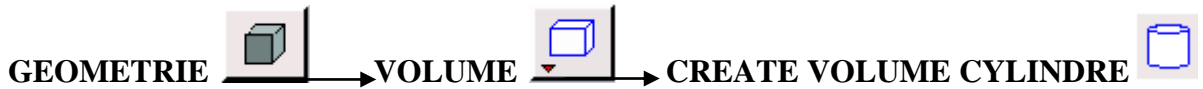


Figure (III.1) : Vue globale de Gambit

A l'aide de la fonction géométrie on doit créer le conduit cylindrique forme U qui se compose de trois cylindres, le premier cylindre horizontal son longueur de 30m et diamètre de 0,11m. et deux cylindres verticaux ils ont même hauteur 3m et même diamètre 0,11m.

On va entamer par le premier cylindre vertical comme suit :



En indiquant le diamètre et la hauteur sur la fenêtre. Comme il est montré ci-dessous :

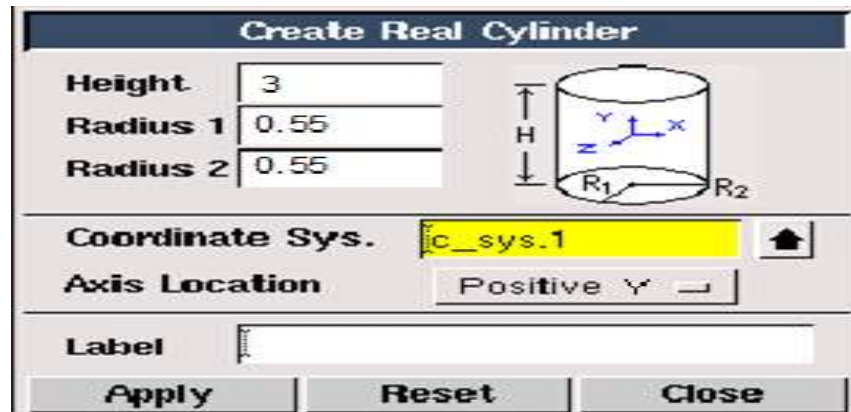


Figure (III.2) : Création le premier cylindre

Clinquant sur **APPLY**

Ensuite on va créer et adapter la disposition les deux cylindres restants avec les deux coudes, en utilisant les étapes suivantes :

***La commande Move/Copy:**

Le GAMBIT fournit La commande **Move/Copy** qui permet de repositionner, réorientez et/ou de créer des copies des points, lignes, surfaces, volumes, ou groupes. Chaque type de géométrie est associé avec son propre **Move/Copy** forme,

Cette commande contienne les options suivantes :

Opération	Description
Translate	Permet de déplacer la géométrie dans les trois directions en spécifiant le pas souhaité.
Rotate	Aide à faire tourner la géométrie par rapport un axe spécifié.
Reflect	Permet de refléter la géométrie par rapport un plan de réflexion spécifié.
Scale	Pour agrandir ou réduire la dimension d'une géométrie selon une échelle spécifiée.

Tableau (III.1) : La commande **Move/Copy**

Chaque option est accessible dans la commande **Move/Copy**. Comme il est montré ci-dessous :

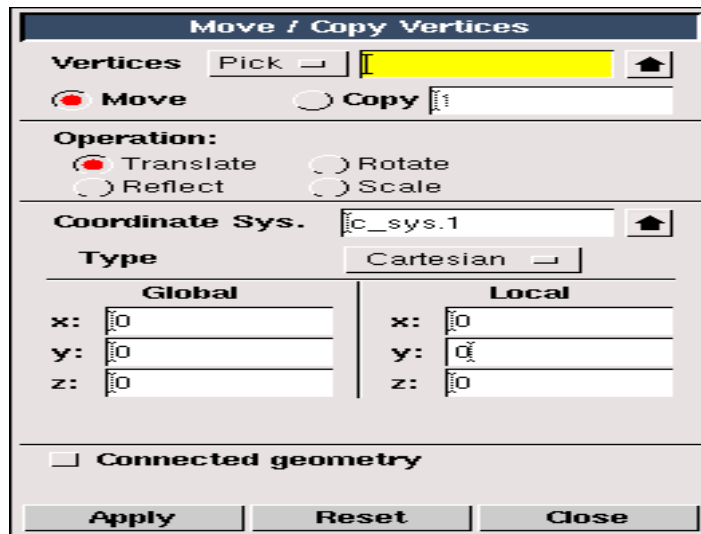


Figure (III.3) : La commande **Move/Copy**

Clinquant sur **APPLY**

***La commande Boolean Operations:**

La commande Boolean nous permet d'exécuter les opérations suivantes:


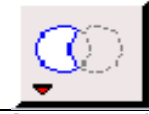

Symbole	Opération	Description
	Unite Real Volume	Unir deux faces ou plus dans une seule face
	Subtract Real Volume	Soustrait le morceau à droite entre deux ou plus faces
	Intersect Real Volume	Crée la face qui représente l'intersection de deux ou plus de faces

Tableau (III.2) : La commande **Boolean Operations**

Ce qui concerne notre géométrie on utilise l'opération d'Unité **Real Volume** qui permet à assembler les trois volumes des cylindres dans un volume unique. Comme il est présenté dans la figure (III.4)

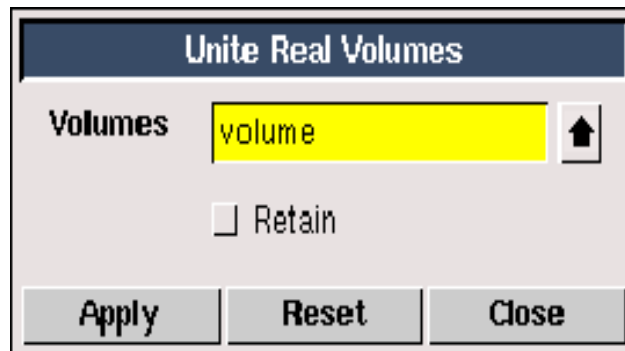


Figure (III.4) : La commande **Unite Real Volume**

Puis nous Cliquons sur **APPLY** et nous aurons :

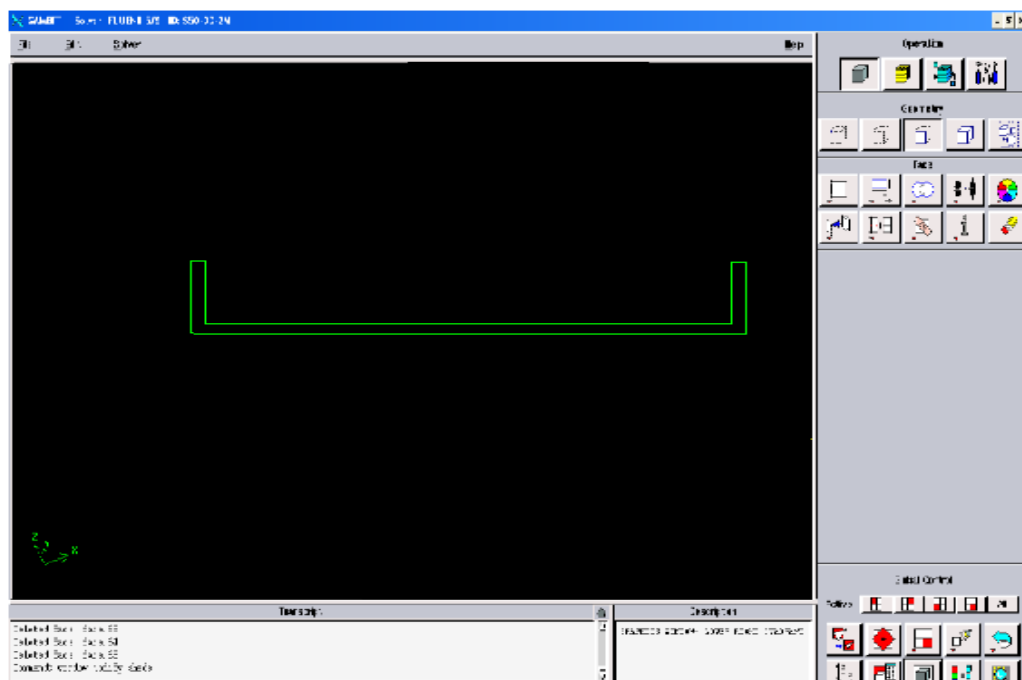


Figure (III.5) : La création de la géométrie

III.3 Fluent

Le code Fluent est un solveur très utilisé dans l'industrie à travers le monde. Fluent est un code de calcul basé sur la méthode des volumes finis et qui permet de simuler les écoulements de fluides compressible, incompressible, stationnaire ou instationnaire impliquant divers phénomènes physiques tels que le transfert de chaleur, la turbulence, les écoulements dans les machines tournantes, moteurs thermiques dans des géométries complexes.

Ce code permet aussi le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites, des dimensions et même des résultats déjà obtenus, Fluent contient également un outil de

visualisation des résultats qui permet d'afficher les champs de pression, vitesse et autres autour de la paroi.

Les étapes de la réalisation de cette étude ont été faites selon la procédure indiquée dans l'organigramme présenté dans la figure (III.6) :

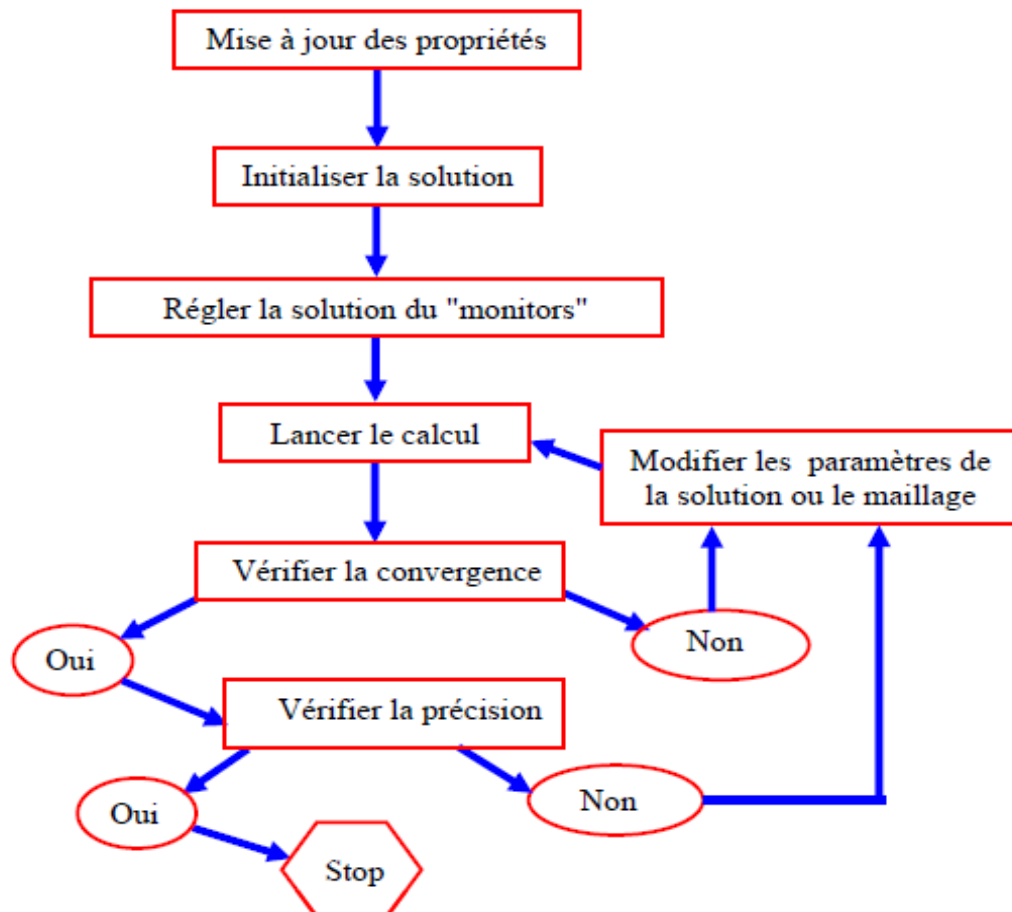


Figure (III.6) : Organigramme de calcul

III.3.1 Choix du maillage

Le nombre de cellules nécessaires pour résoudre un problème dépend de la précision attendue. Afin de choisir un maillage optimal pour obtenir des résultats acceptables, Il faut trouver un compromis entre le nombre de mailles et le temps de calcul qui augmente considérablement avec le raffinement de la discrétisation du domaine.

Nous divisons notre domaine à deux partie longitudinale, car il est très grand pour la capacité de calcul exécutable sur le (PC), donc on prend le cas final.

Finalement, notre choix a été définitivement orienté vers le maillage qui contient un nombre de nœuds 1628725.

Les valeurs admissibles des résidus choisis sont égales à 10^{-4} pour les équations de conservation de quantité de mouvement, équation de continuité, et 10^{-6} pour les équations de l'énergie.

Après avoir choisi le maillage et le raffinement, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Grid Size		
Cell	Face	nodes
1413278	4448077	1628725

Tableau (III.3) : Taille de grille

La figure suivante présentée les mailles dans le domaine informatique.

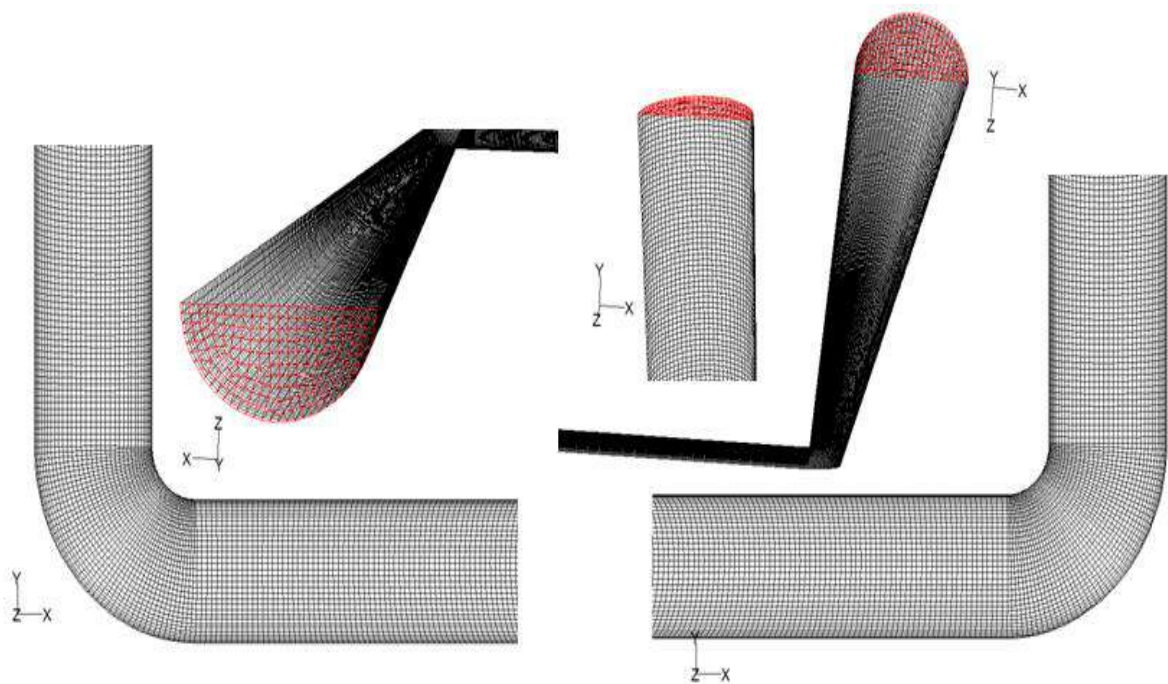


Figure (III.7) : Le maillage de la géométrie

III.3.2 Contrôle de la convergence

Pour s'assurer de la convergence des solutions, on présente les courbes des résidus (Figure III.8) de différentes équations de l'écoulement dans l'échangeur. Après 400 itérations le logiciel Fluent atteint la convergence dans le cas de $Re=2000$.

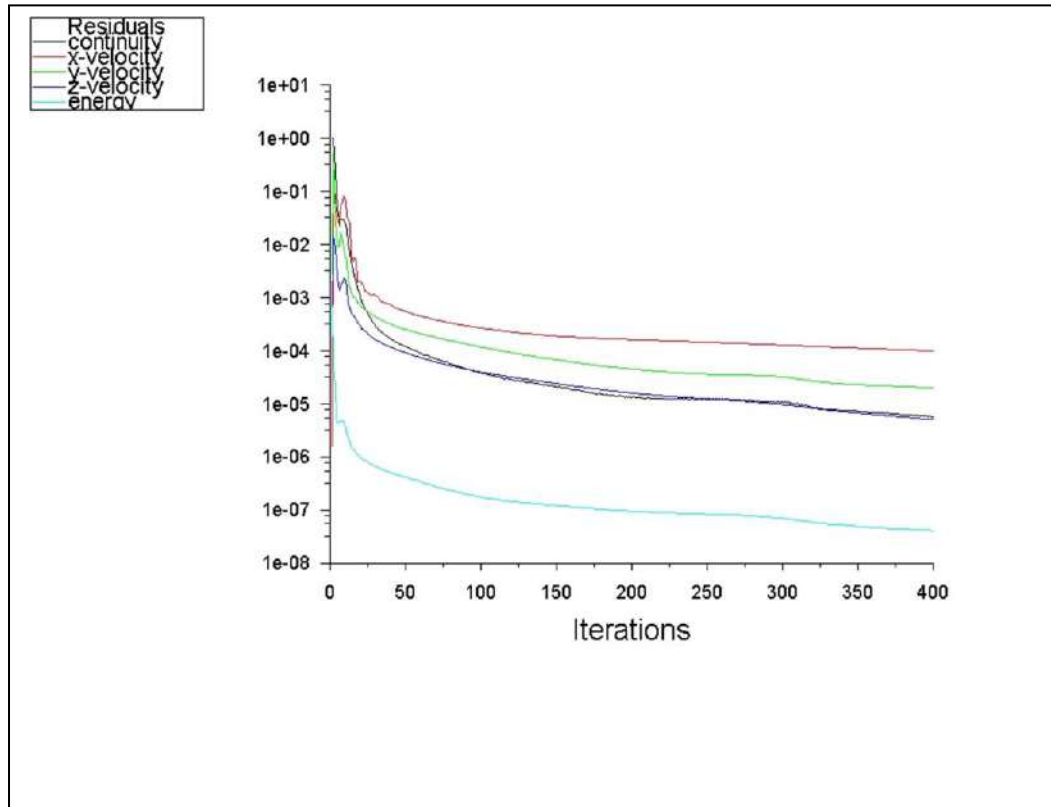


Figure (III.8) : Évolution du résidu en fonction de nombre d'itération ($Re=2000$)

Le tableau suivant contient le résidu compté pour chaque équation

Itération	Continuité	Vitesse -x	Vitesse -y	Vitesse -z	Energie
400	$5.7214 \cdot 10^{-6}$	$9.9850 \cdot 10^{-5}$	$1.9726 \cdot 10^{-5}$	$5.0455 \cdot 10^{-6}$	$4.1262 \cdot 10^{-8}$

Tableau (III.5) : Résultat de convergence

III.4 Résultats et Discussions

Dans cette partie, nous allons présenter et discuter les résultats du transfert de chaleur par convection dans un conduit cylindrique souterrain forme en U. la température de sol varie d'une façon linéaire ; Au niveau de sol, $T=318\text{K}$ (45°C) et à la profondeur de 3m, $T=293\text{K}$ (20°C). Ensuite nous présenterons les différents cas de convection obtenues pour les nombres de Reynolds $Re = 100, 500, 1000, 1500$ et 2000 dans la température ambiante $T= 318 \text{ K}$. Nous allons présenter les résultats de la simulation du modèle 3D par le code fluent.

Nous présentons les résultats de la simulation numérique obtenues par le code FLUENT, en considérant les propriétés thermo-physiques de l'air suivantes :

- La masse volumique : $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- La capacité calorifique : $C_p = 1006.43 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- La conductivité thermique : $k = 0.0242 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- La viscosité dynamique : $\mu = 1.7894001\text{e-}05 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

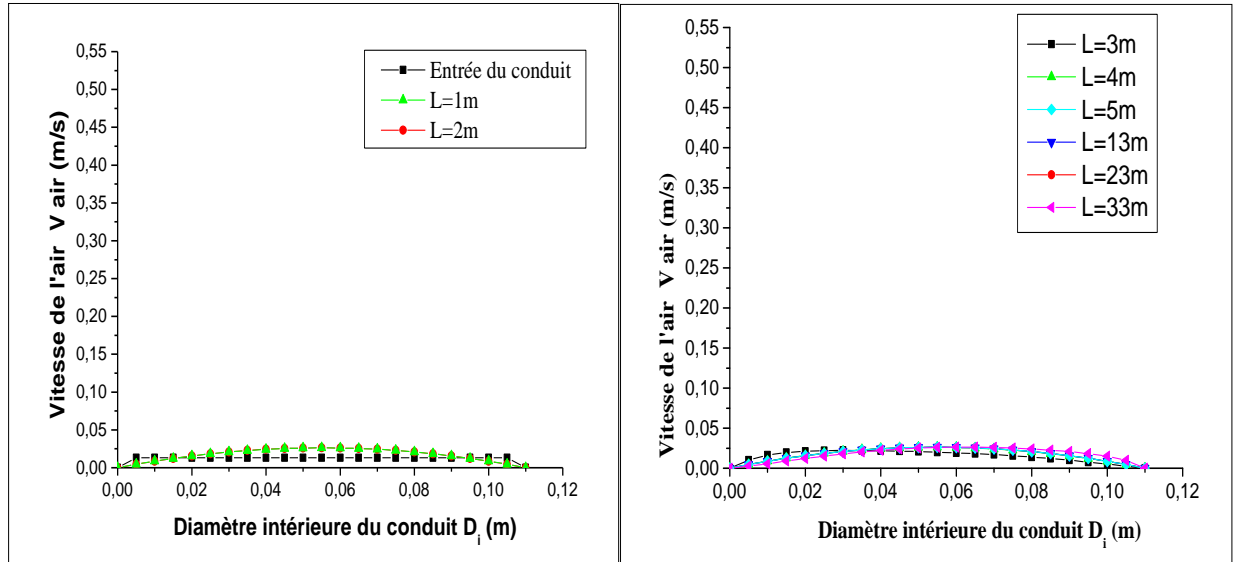
III.5 Champs des vitesses et des températures

Pour visualiser les profils de vitesses et champs de températures nous avons choisi de représenter leurs profils dans des points à l'entrée, section horizontale, et à la sortie de la conduite, et cela pour les nombres de Reynolds $Re=100, 500, 1000, 1500$ et 2000 .

III.5.1 L'écoulement à $Re=100$

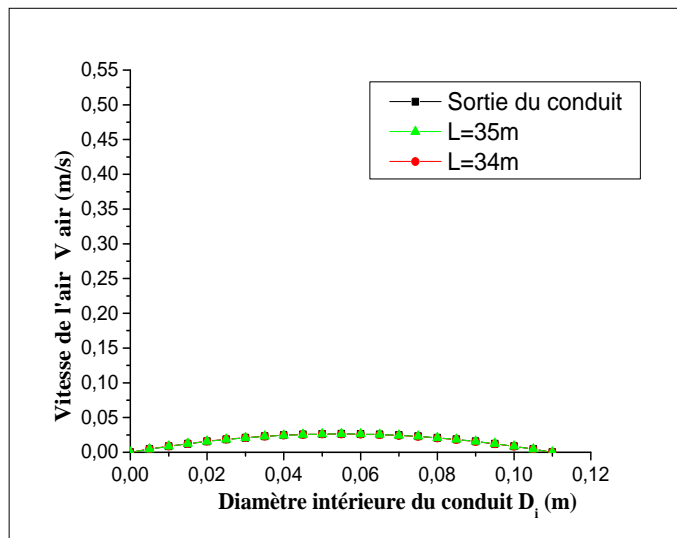
➤ Profils de vitesse :

La figure (III.9) montre que le nombre de Reynolds $Re = 100$, les profils de la vitesse de l'air dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol à l'entrée, au milieu, et à la sortie de la conduite.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 100$)

b) le conduit horizontal ($Re = 100$)

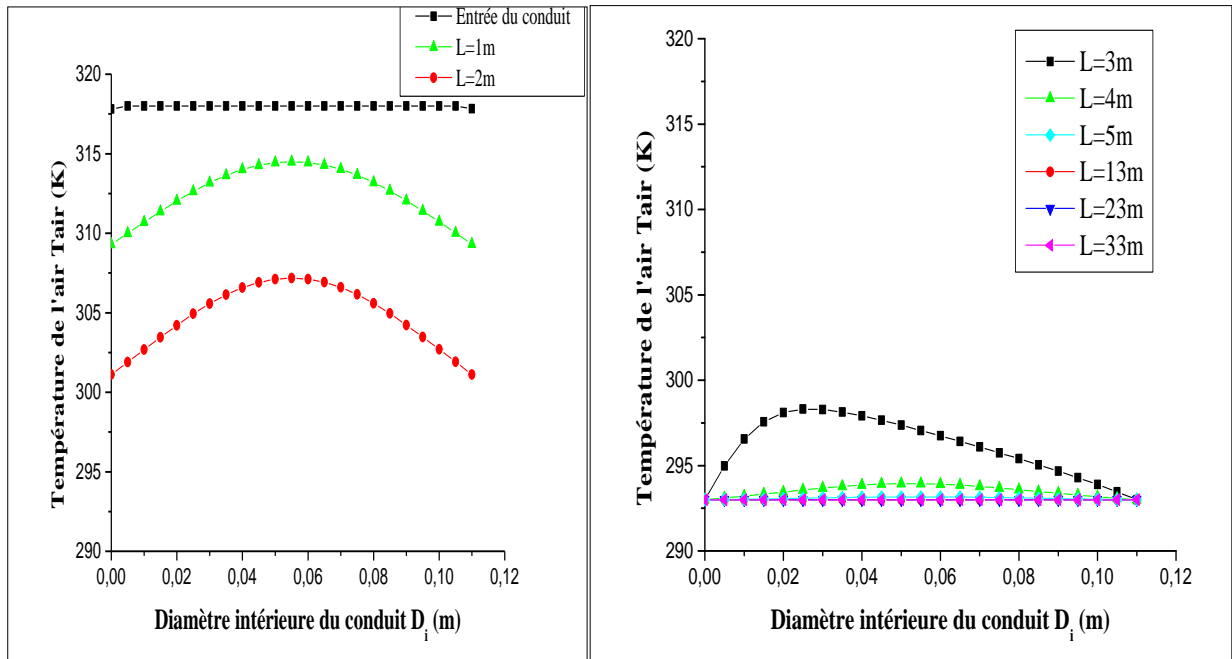


c) le conduit vertical de sortie ($Re = 100$)

Figure (III.9) : Profils de la vitesse de l'air ($Re = 100$)

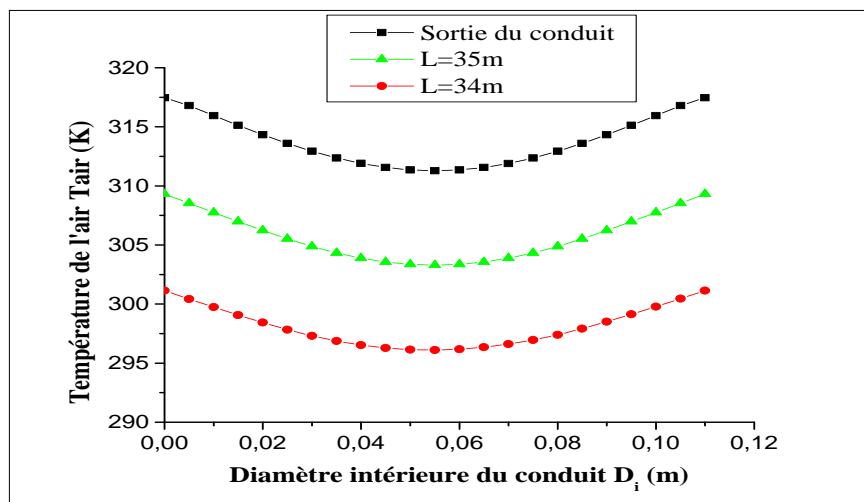
➤ Profils de température :

Les courbes suivantes représentent les profils de variation de la température d'air pour le nombre de Reynolds $Re = 100$, dans plusieurs sections de l'échangeur de air-sol de l'entrée jusqu'à la sortie.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 100$)

b) le conduit horizontal ($Re = 100$)



c) le conduit vertical de sortie ($Re = 100$)

Figure (III.10) : Profils de température d'air

➤ Champs de température :

La Figure suivante représente les Champs de température de l'air pour des différentes stations de la longueur de l'échangeur de l'entre jusqu'à la sortie pour $Re = 100$.

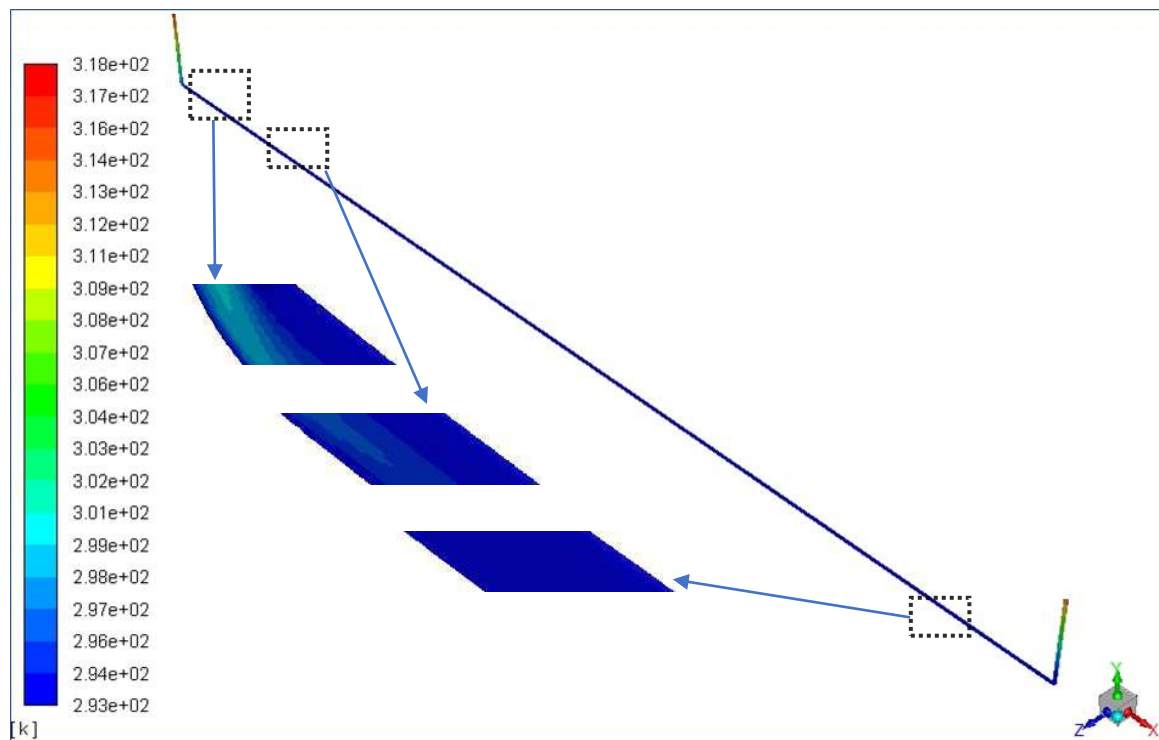
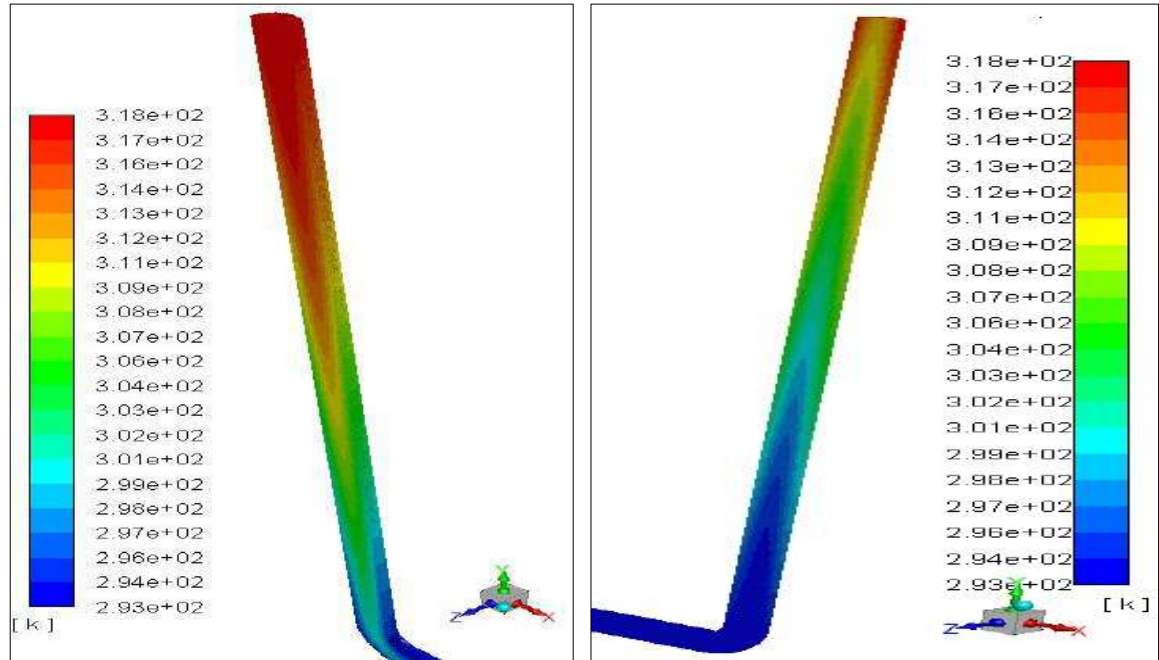


Figure (III.11) : Contours de température statique pour ($Re=100$)

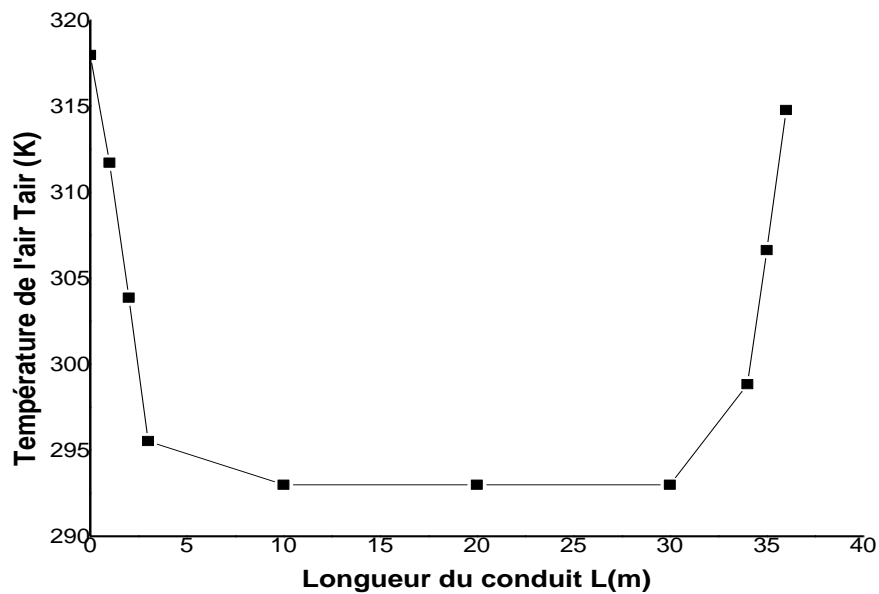


Figure (III.12) : Variation la température d'air en fonction de la longueur pour ($Re = 100$)

La figure (III.12) Indique que la valeur de Reynolds $Re = 100$, la différence de la température de l'air de l'entrée à la sortie du tube en fonction de la longueur de l'échangeur, On voit que la courbe décrit une diminution de température d'air au cours de la longueur de 3m, avec un écart de température de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$

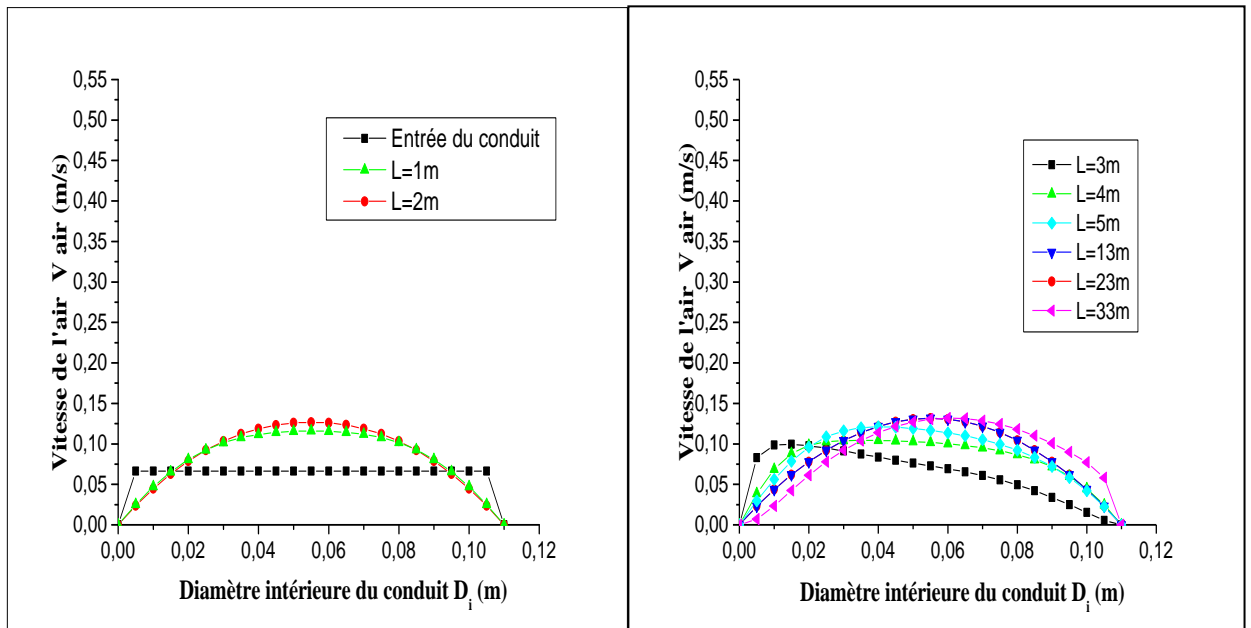
Puis la température de l'air d'entrée continue à diminuer jusqu'à la valeur de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ au long de première longueur de 10 m, mais à partir de là aucune variation de température a été remarqué.

On a constaté une augmentation de température de l'air à partir de la longueur 33 m jusqu'à la sortie est obtenu la valeur de la température de l'air de sortie $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, à cause de la verticalité de la conduite, qu'a été envahie par la température de sol. Cette valeur présente un écart de température de système $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,

III.5.2 L'écoulement à $Re=500$

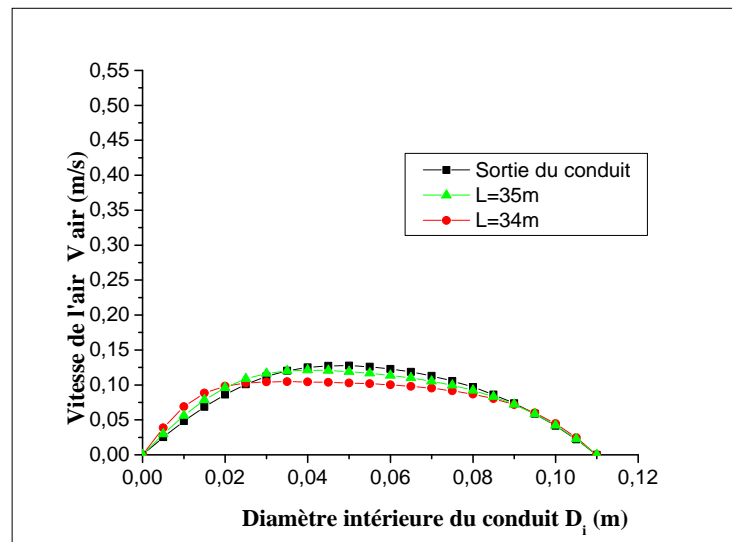
➤ Profils de vitesse :

La figure (III.13) montre que le nombre de Reynolds $Re = 500$, les profils de la vitesse de l'air dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol à l'entrée, au milieu, et à la sortie de la conduite.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 500$)

b) le conduit horizontal ($Re = 500$)

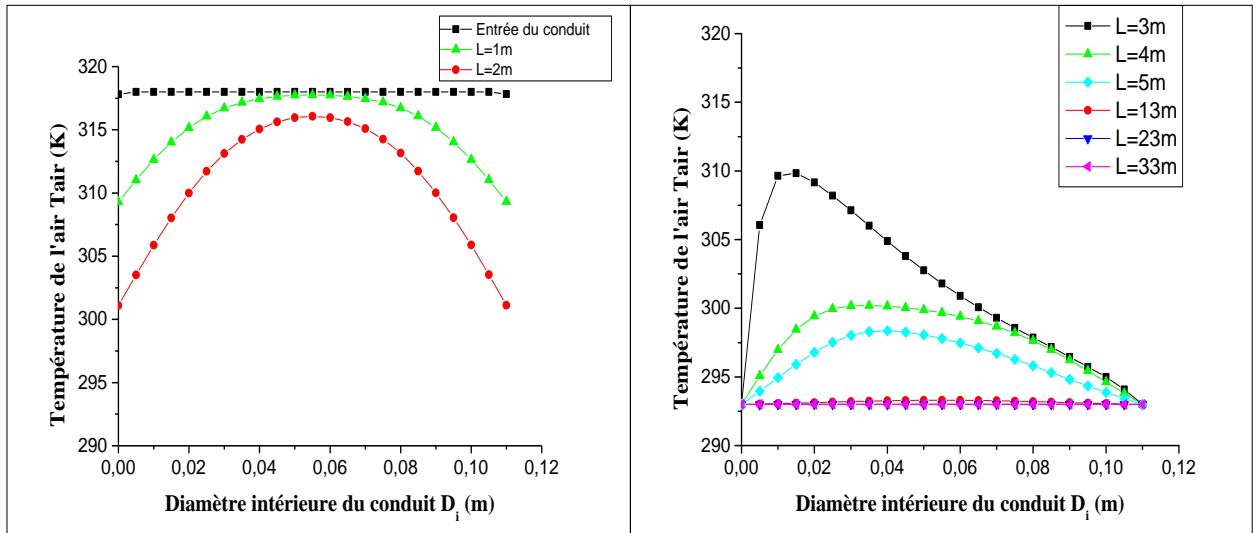


c) le conduit vertical de sortie ($Re = 500$)

Figure (III.13) : Profils de vitesse de l'air dans l'échangeur ($Re = 500$)

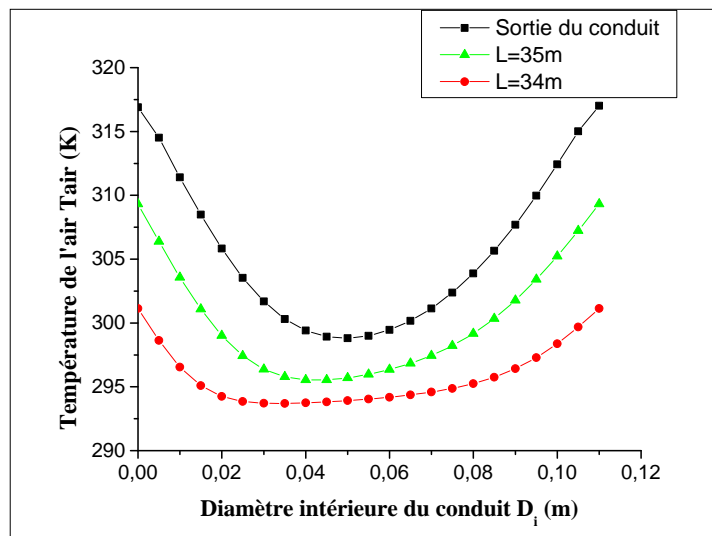
➤ Profils de température :

Les courbes suivantes représentent les profils de variation de la température d'air pour le nombre de Reynolds $Re = 500$, dans plusieurs sections de l'échangeur de air-sol de l'entrée jusqu'à la sortie.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 500$)

b) le conduit horizontal ($Re = 500$)



c) le conduit vertical de sortie ($Re = 500$)

Figure (III.14) : Profils de la température de l'air dans l'échangeur ($Re = 500$)

➤ Champs de température :

La Figure suivante représente les Champs de température de l'air pour des différentes stations de la longueur de l'échangeur de l'entre jusqu'à la sortie pour $Re = 500$.

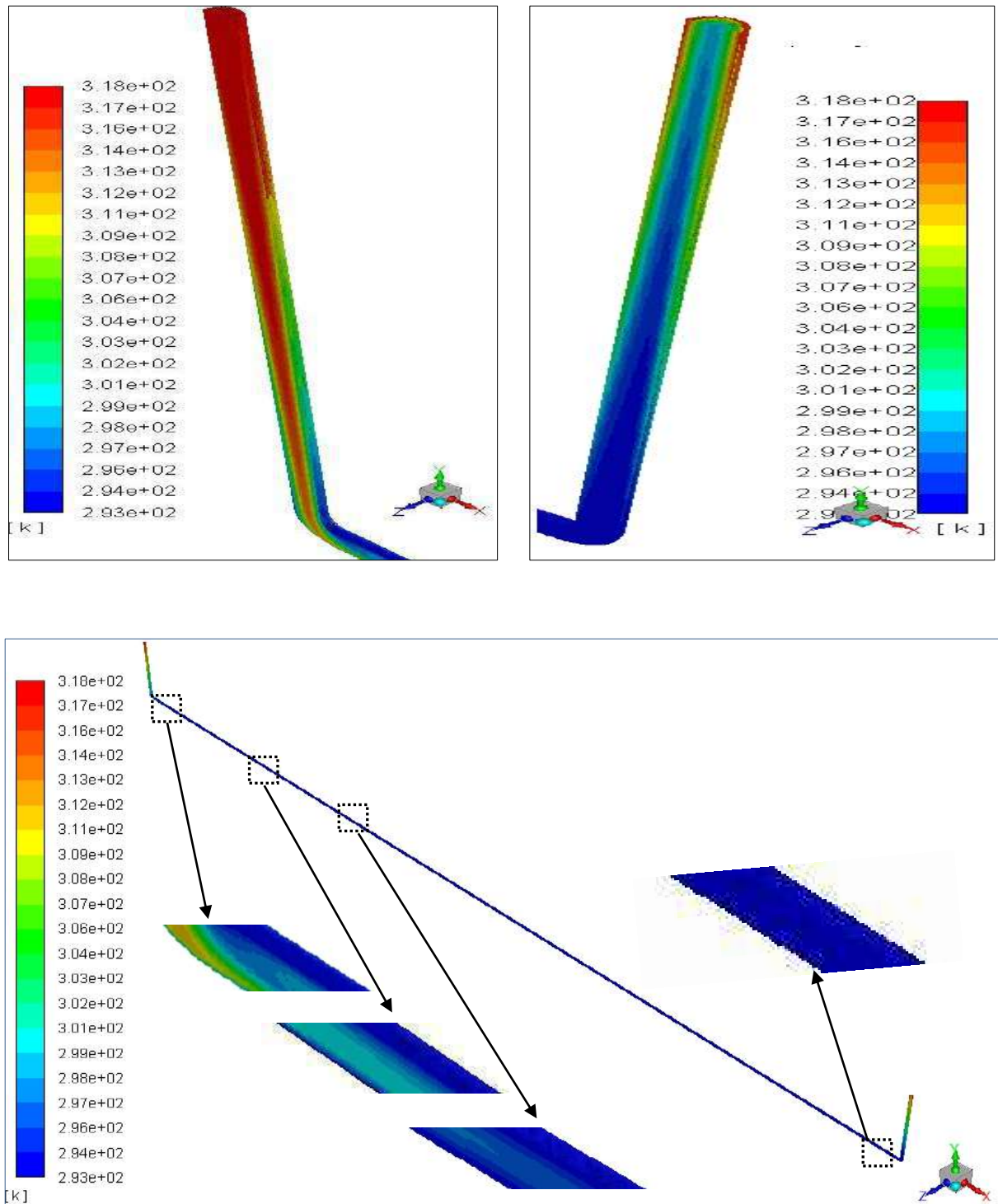


Figure (III.15) : Contours de température statique pour ($Re=500$)

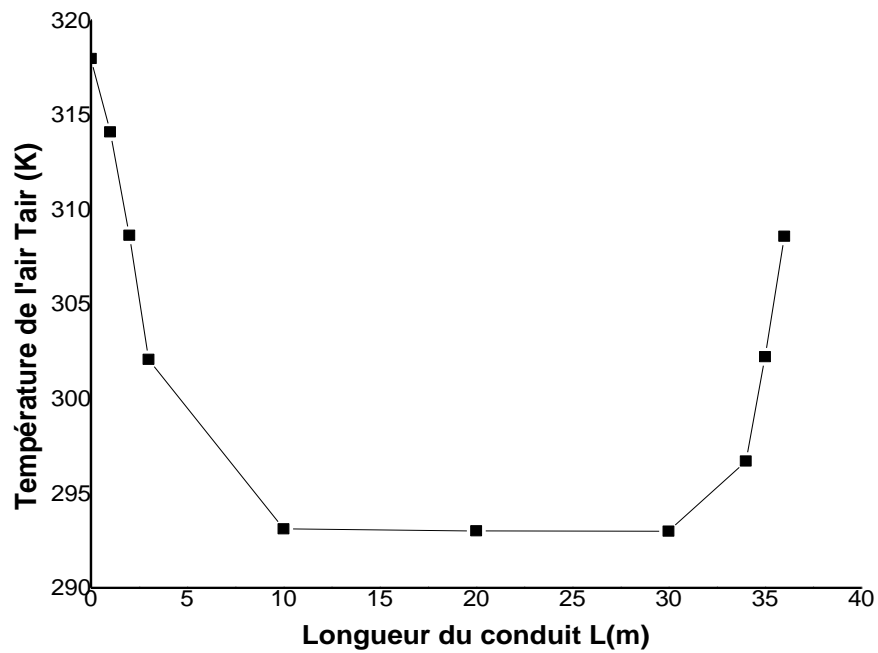


Figure (III.16) : Variation la température de l'air en fonction de la longueur pour ($Re = 500$)

La figure (III.16) montre pour le nombre de Reynolds $Re = 500$, la différence de la température de l'air de l'entrée à la sortie du tube en fonction de la longueur de l'échangeur, On voit que la courbe décrit une diminution de température de l'air au cours de la longueur de 3m, avec un écart de température de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

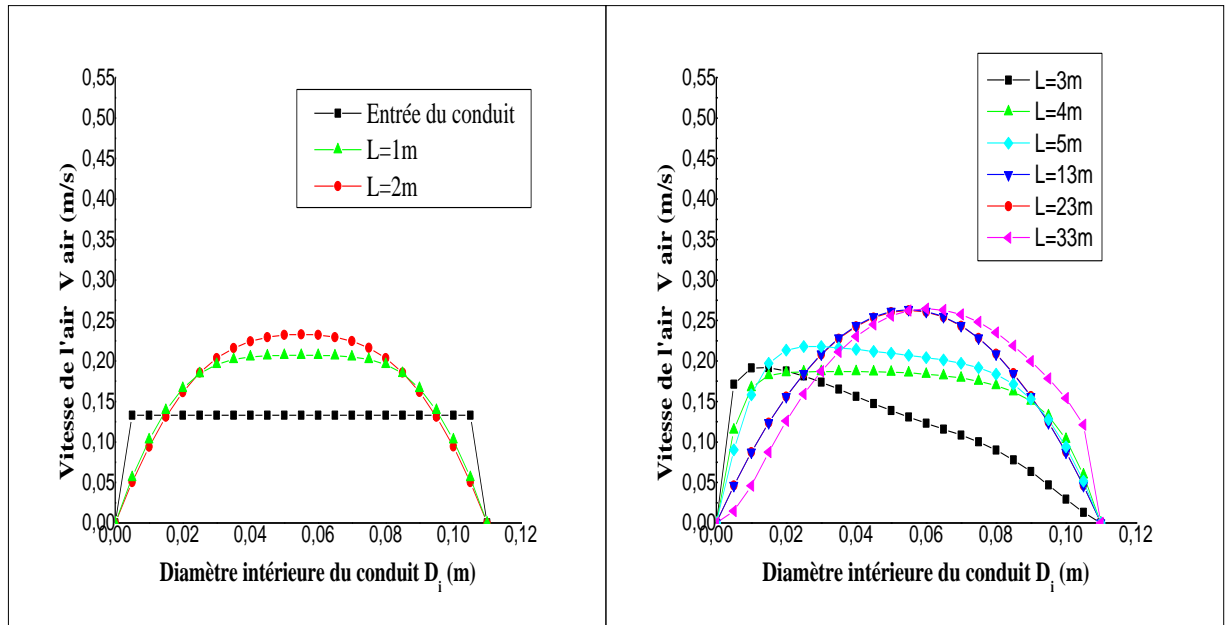
Puis la température de l'air d'entrée continue à diminuer jusqu'à la valeur de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ au long de première longueur de 11 m, mais à partir de là aucune variation de température a été remarqué.

On a constaté une augmentation de température de l'air à partir de la longueur 33 m jusqu'à la sortie est obtenu la valeur de la température de l'air de sortie $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ceci est dû au sens verticale de tube qui est affecté par la température du sol plus chaud. Cette valeur présente un écart de température de système $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

III.5.3 L'écoulement à $Re=1000$

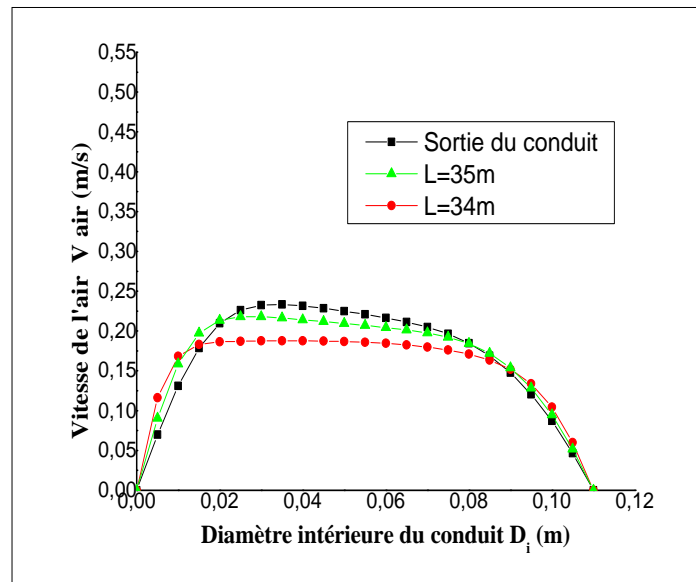
➤ **Profils de vitesse :**

La figure (III.17) montre que le nombre de Reynolds $Re = 1000$, les profils de la vitesse de l'air dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol à l'entrée, au milieu, et à la sortie de la conduite.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 1000$)

b) le conduit horizontal ($Re = 1000$)

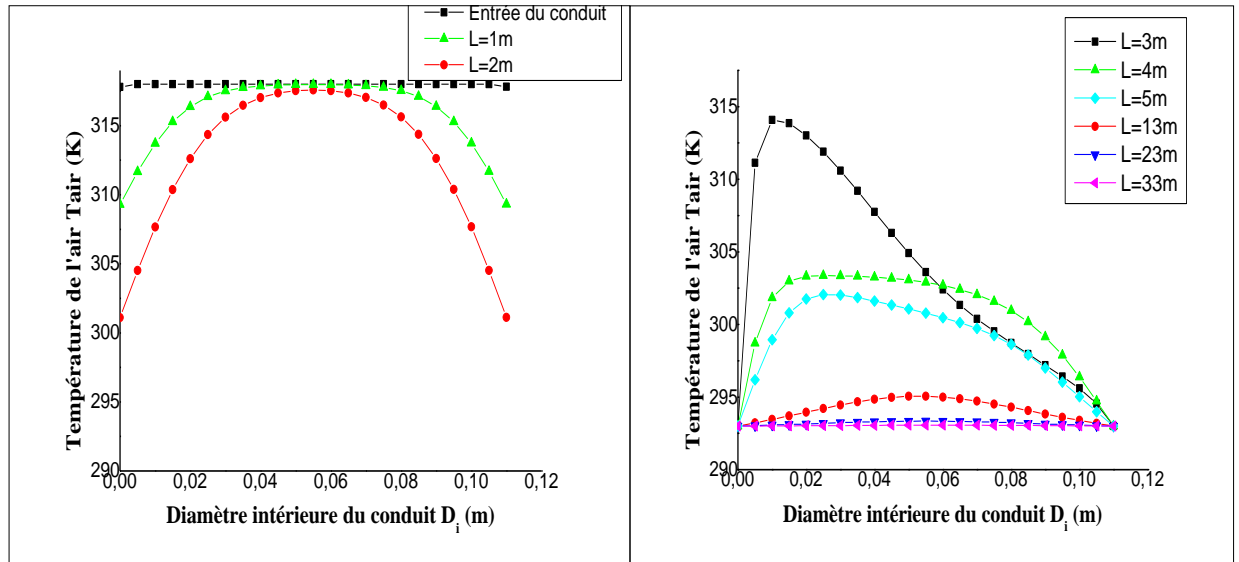


c) le conduit vertical de sortie ($Re = 1000$)

Figure (III.17) : Profils vitesse de l'air dans l'échangeur ($Re = 1000$)

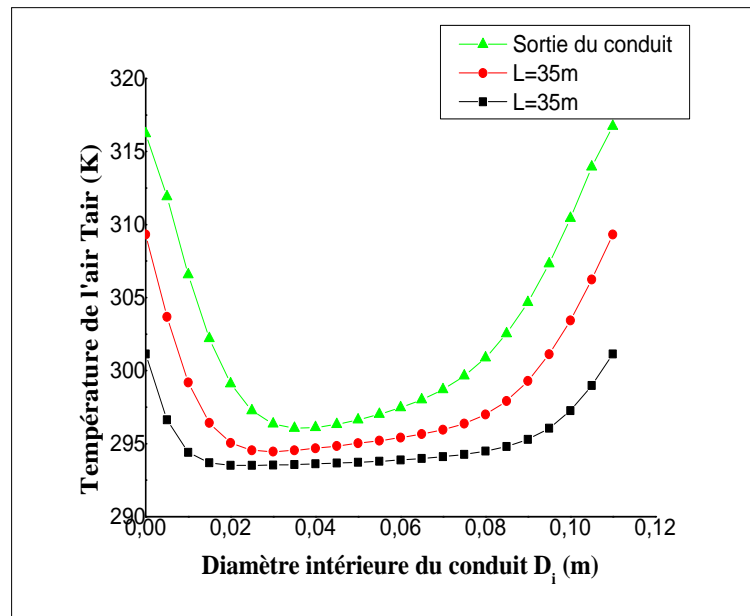
➤ Profils de température :

Les courbes suivantes représentent les profils de variation de la température d'air pour le nombre de Reynolds $Re = 1000$, dans plusieurs sections de l'échangeur de air-sol de l'entrée jusqu'à la sortie.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 1000$)

b) le conduit horizontal ($Re = 1000$)



c) le conduit vertical de sortie ($Re = 1000$)

Figure (III.18) : Profils de la température de l'air dans l'échangeur ($Re = 1000$)

➤ Champs de température :

La Figure suivante représente les Champs de température de l'air pour des différentes stations de la longueur de l'échangeur de l'entre jusqu'à la sortie pour $Re = 1000$.

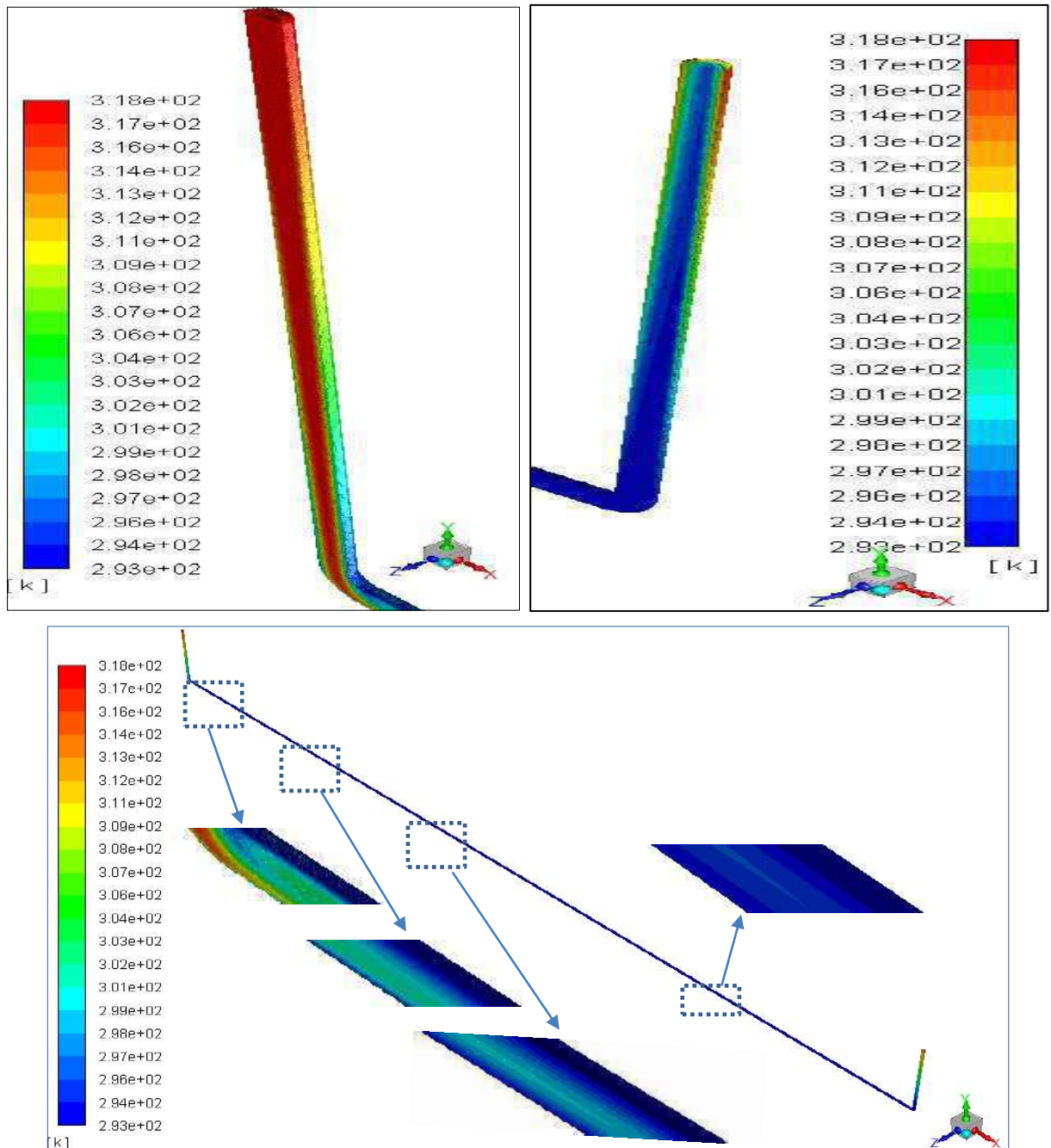


Figure (III.19) : Contours de température statique pour ($Re=1000$)

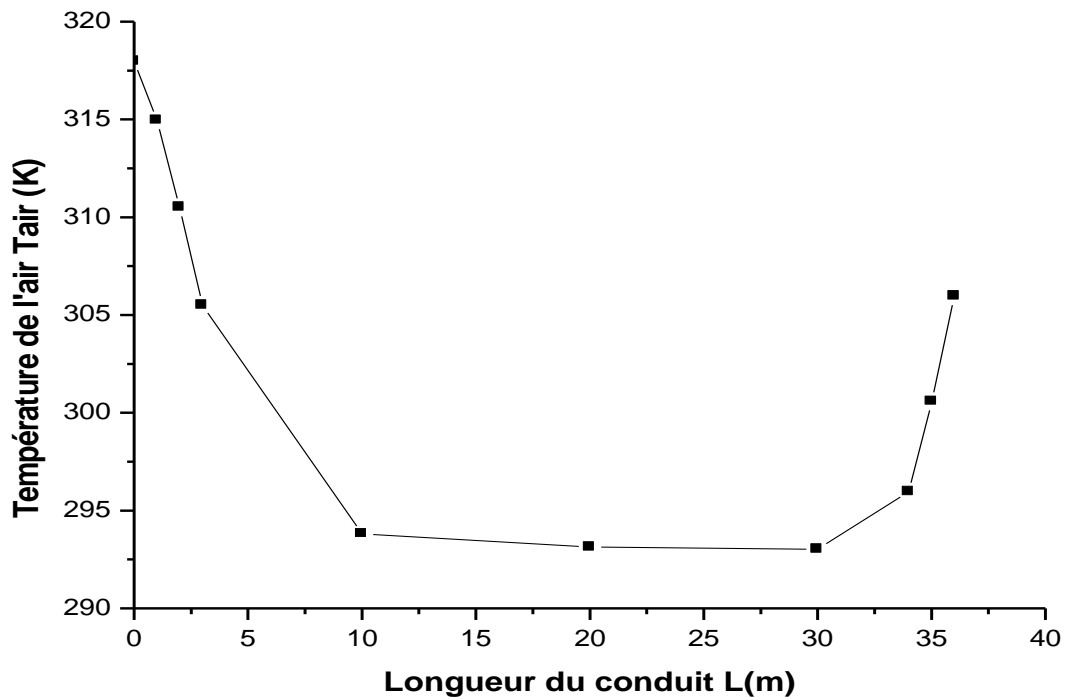


Figure (III.20) : Variation la température de l'air en fonction de la longueur pour (Re =1000).

La figure (III.20) montre pour le nombre de Reynolds $Re = 1000$, la variation de la température de l'air de l'entrée jusqu'à la sortie du tube en fonction de la longueur de l'échangeur air-sol, On voit que la courbe décrit une diminution de température de l'air au cours de la longueur de 10m, avec un écart de température de 24 °C.

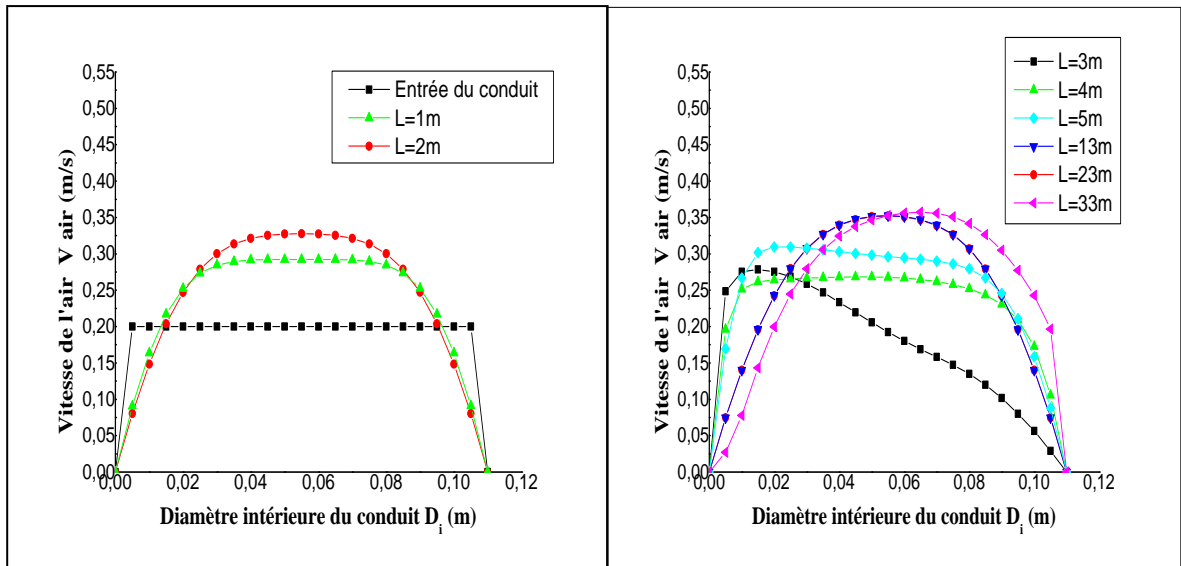
Ensuite la température de l'air continue à diminuer jusqu'à la valeur de 20°C au long de première longueur de 20 m, mais à partir de de cette longueur aucune variation de température a été remarqué.

On a constaté une augmentation de température de l'air à partir de la longueur 33 m jusqu'à la sortie est obtenu la valeur de la température de l'air de sortie 33°C, Ceci est dû au sens verticale de tube qui est affecté par la température du sol plus chaud. Cette valeur présente un écart de température de système 12°C.

III.5.4 L'écoulement à $Re=1500$

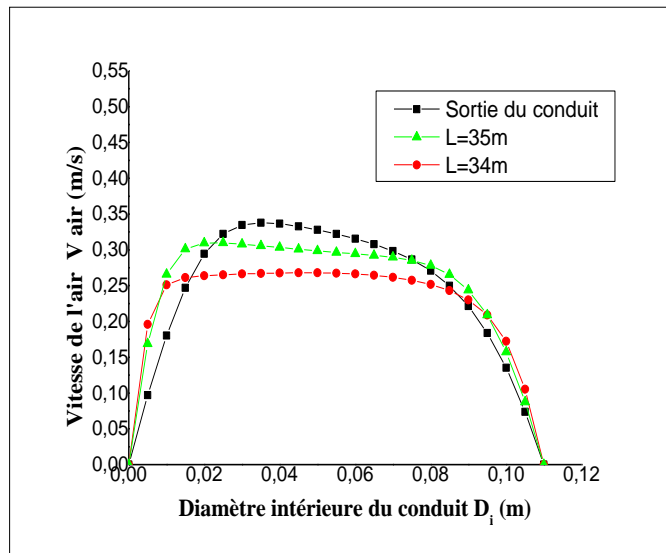
➤ Profils de vitesse :

La figure (III.21) montre que le nombre de Reynolds $Re = 1500$, les profils de la vitesse de l'air dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol à l'entrée, au milieu, et à la sortie de la conduite.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 1500$)

b) le conduit horizontal ($Re = 1500$)

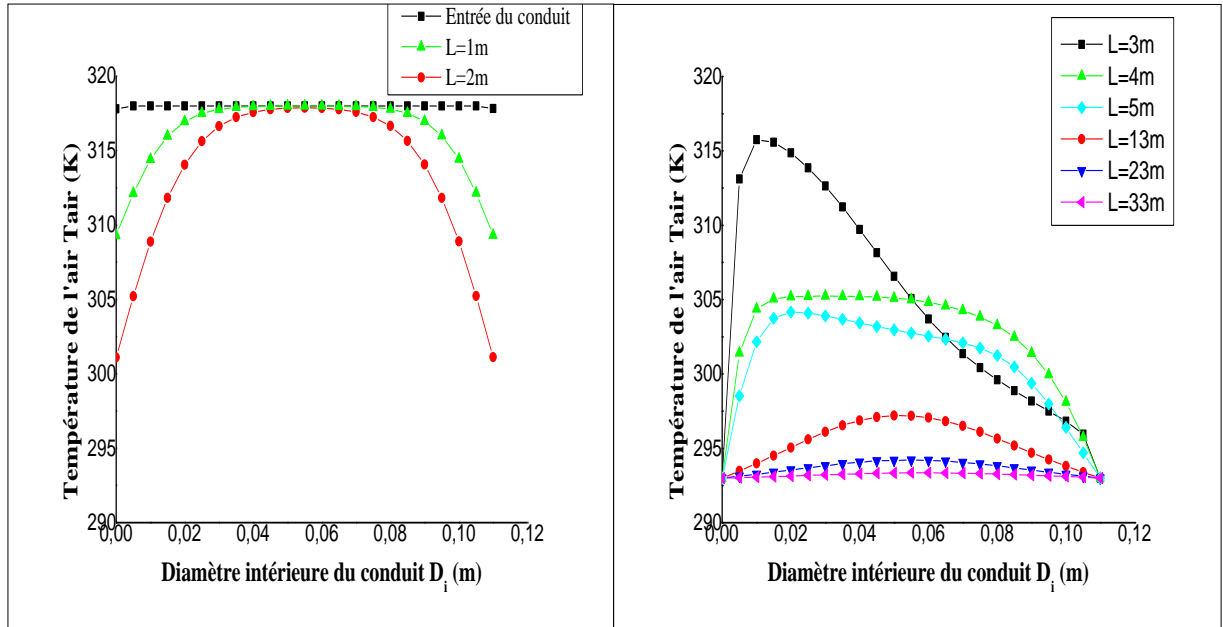


c) le conduit vertical de sortie ($Re = 1500$)

Figure (III.21) : Profils vitesse de l'air dans l'échangeur ($Re = 1500$)

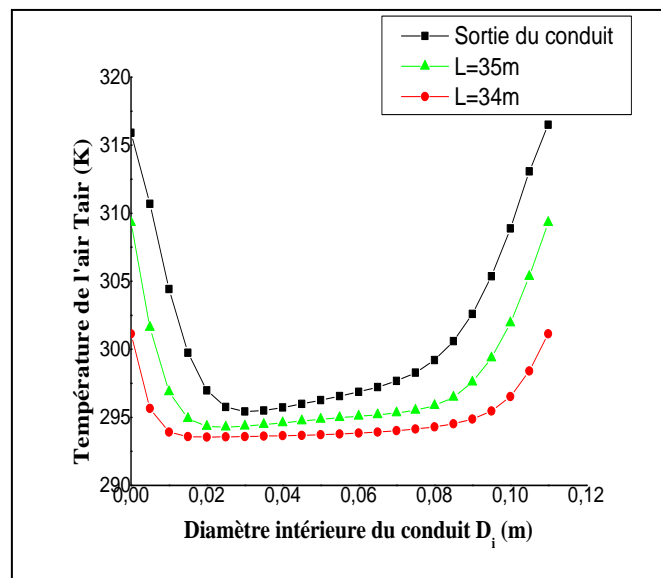
➤ Profils de température :

Les courbes suivantes représentent les profils de variation de la température d'air pour le nombre de Reynolds $Re = 1500$, dans plusieurs sections de l'échangeur de air-sol de l'entrée jusqu'à la sortie.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 1500$)

b) le conduit horizontal ($Re = 1500$)



c) le conduit vertical de sortie ($Re = 1500$)

Figure (III.22) : Profils de la température de l'air dans l'échangeur ($Re = 1500$)

➤ Champs de température :

La Figure suivante représente les Champs de température de l'air pour des différentes stations de la longueur de l'échangeur de l'entre jusqu'à la sortie pour $Re = 1500$.

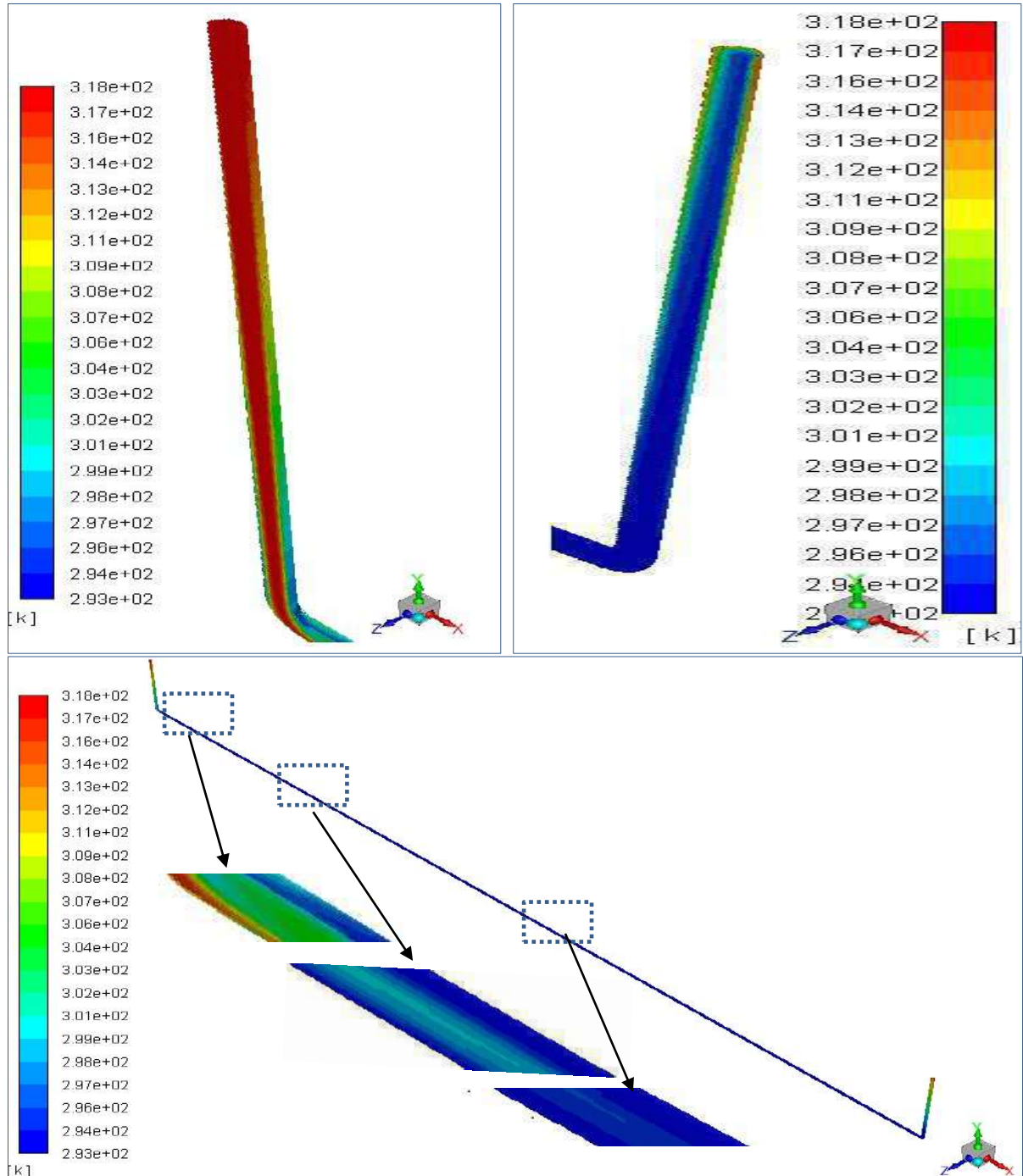


Figure (III.23) : Contours de température statique pour ($Re=1500$)

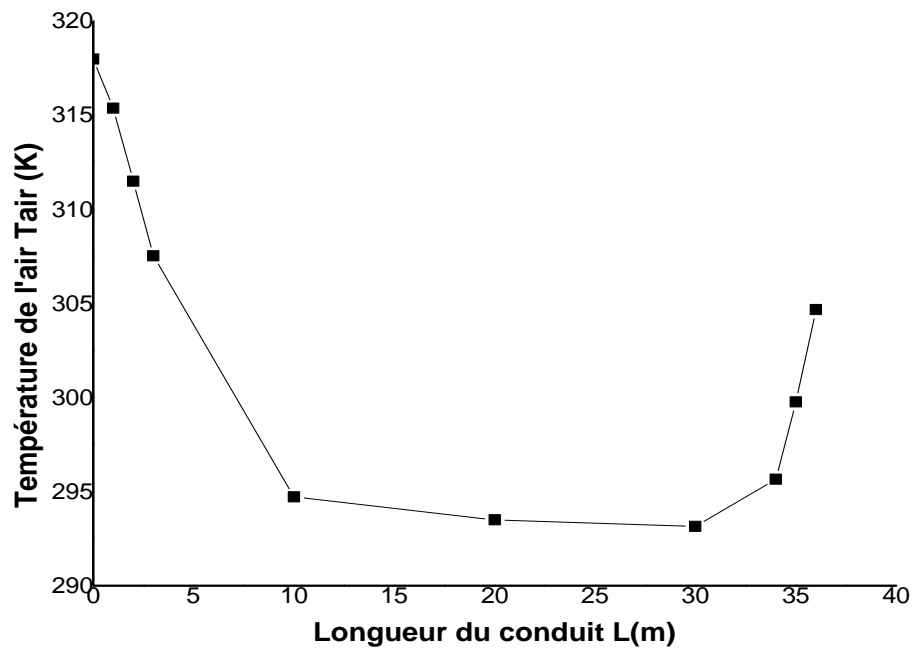


Figure (III.24) : Variation la température de l'air en fonction de la longueur pour ($Re = 1500$)

La figure (III.24) montre pour le nombre de Reynolds $Re = 1500$, la variation de la température de l'air de l'entrée jusqu'à la sortie du tube en fonction de la longueur de l'échangeur air-sol, On voit que la courbe décrit une diminution de température de l'air au cours de la longueur de 10m, avec un écart de température de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

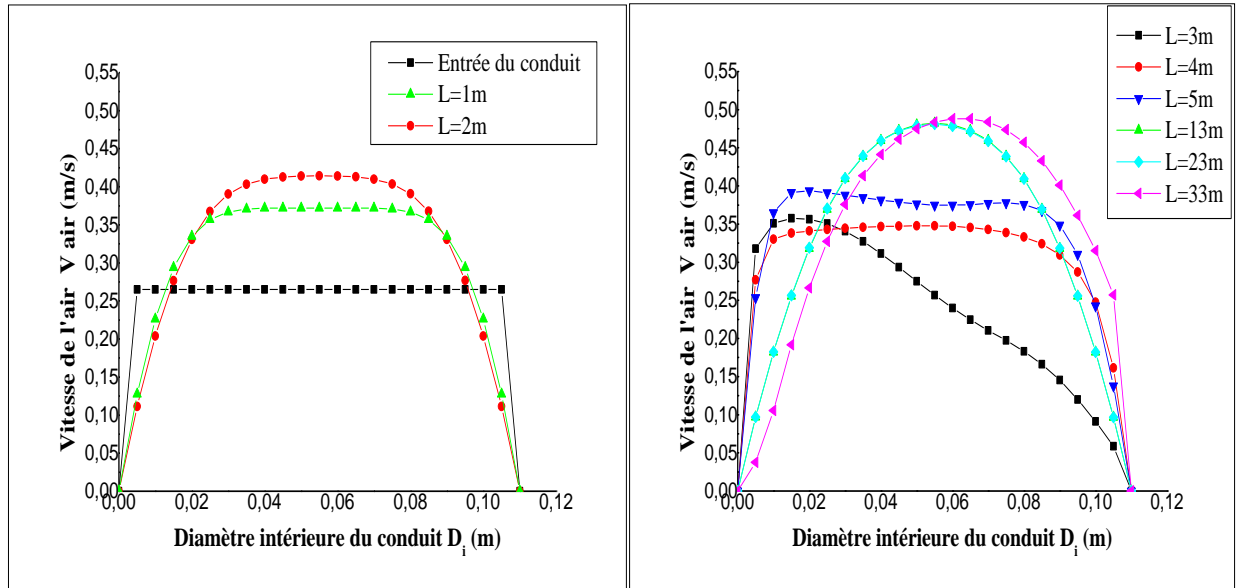
Ensuite la température de l'air continue à diminuer jusqu'à la valeur de 20°C au long de première longueur de 25 m, mais à partir de de cette longueur aucune variation de température a été remarqué.

On a constaté une augmentation de température de l'air à partir de la longueur 33 m jusqu'à la sortie est obtenu la valeur de la température de l'air de sortie 32°C , à cause de la verticalité de la conduite, qu'a été envahie par la température de sol. Cette valeur présente un écart de température de système 13°C .

III.5.4 L'écoulement à $Re=2000$

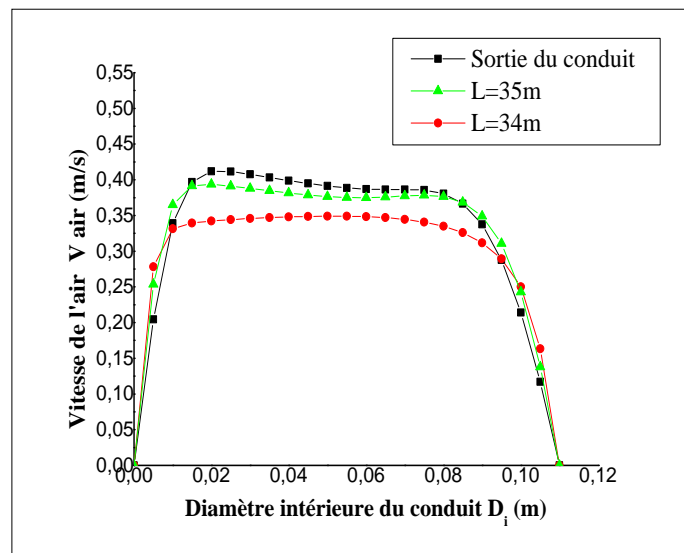
➤ Profils de vitesse :

La figure (III.25) montre que le nombre de Reynolds $Re = 2000$, les profils de la vitesse de l'air dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol à l'entrée, au milieu, et à la sortie de la conduite.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 2000$)

b) le conduit horizontal ($Re = 2000$)

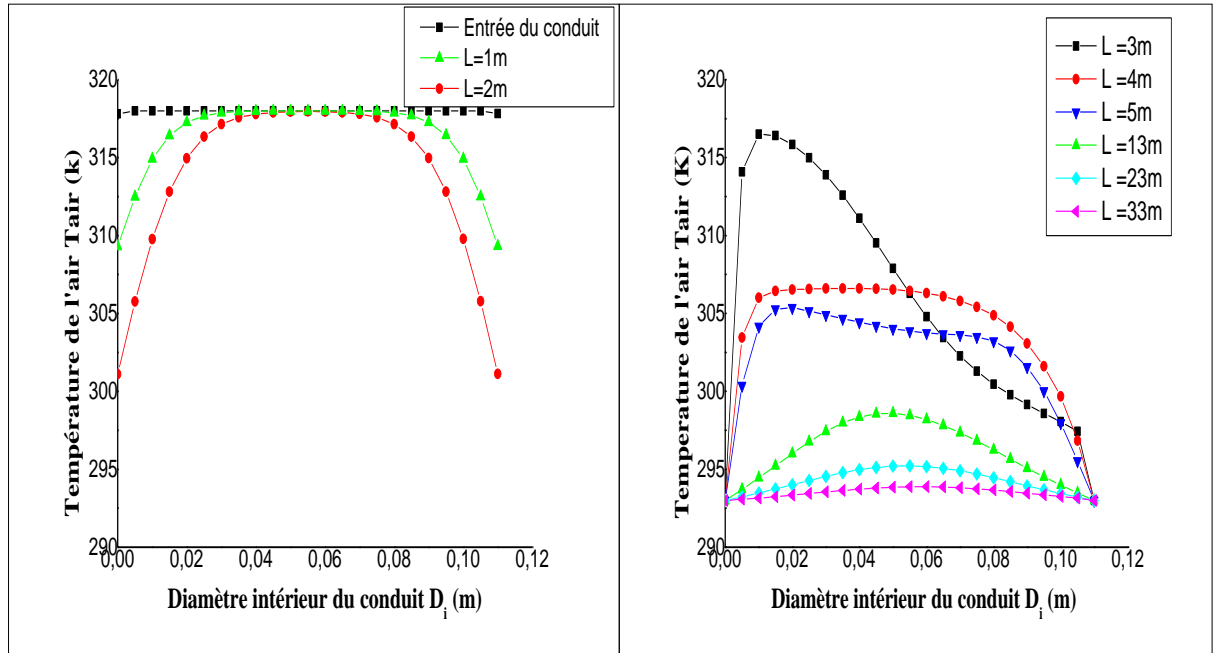


c) le conduit vertical de sortie ($Re = 2000$)

Figure (III.25) : Profils vitesse de l'air dans l'échangeur ($Re = 2000$)

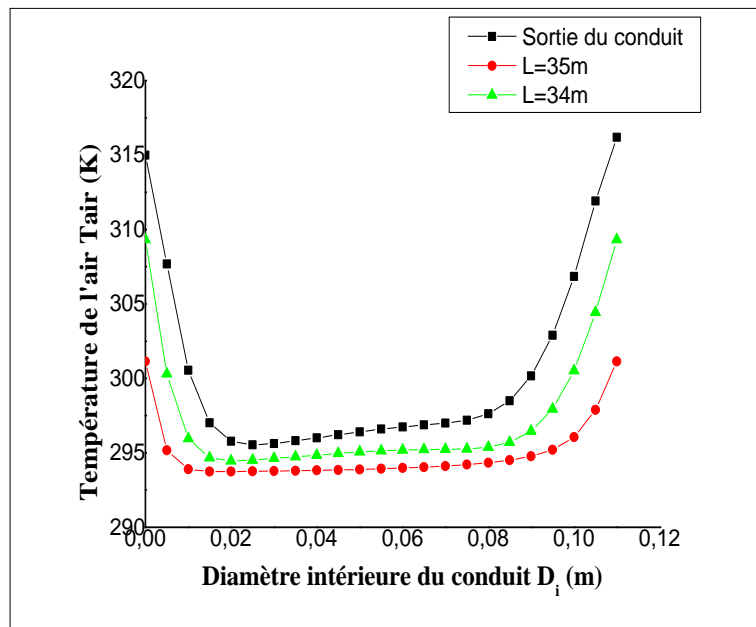
➤ Profils de température :

Les courbes suivantes représentent les profils de variation de la température d'air pour le nombre de Reynolds $Re = 2000$, dans plusieurs sections de l'échangeur air-sol de l'entrée jusqu'à la sortie.



a) le conduit vertical d'entrée ($Re = 2000$)

b) le conduit horizontal ($Re = 2000$)



c) le conduit vertical de sortie ($Re = 2000$)

Figure (III.26) : Profils de la température de l'air dans l'échangeur ($Re = 2000$)

➤ Champs de température :

La Figure suivante représente les Champs de température de l'air pour des différentes stations de la longueur de l'échangeur de l'entre jusqu'à la sortie pour $Re = 2000$.

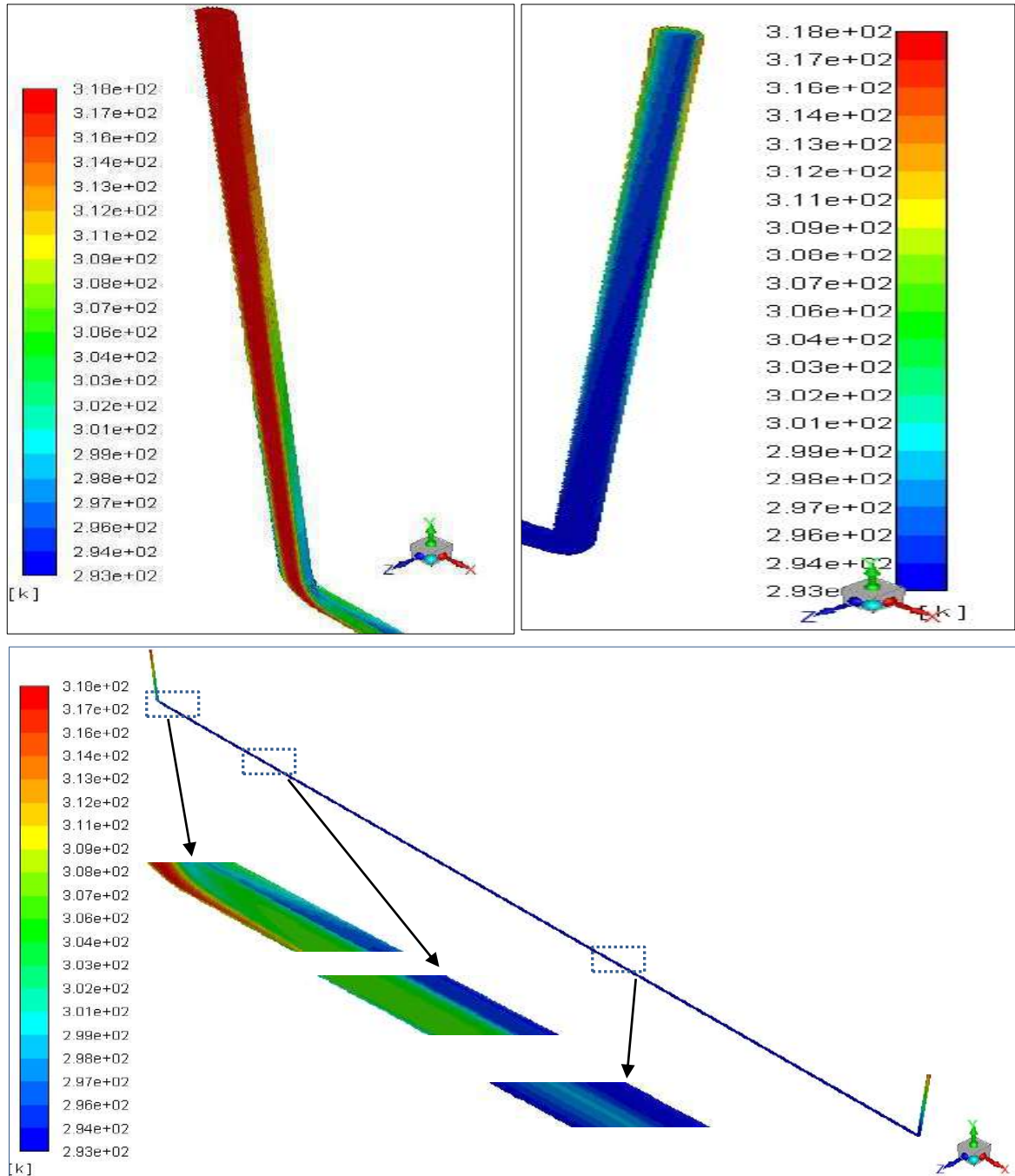


Figure (III.27) : Contours de température statique pour ($Re=2000$)

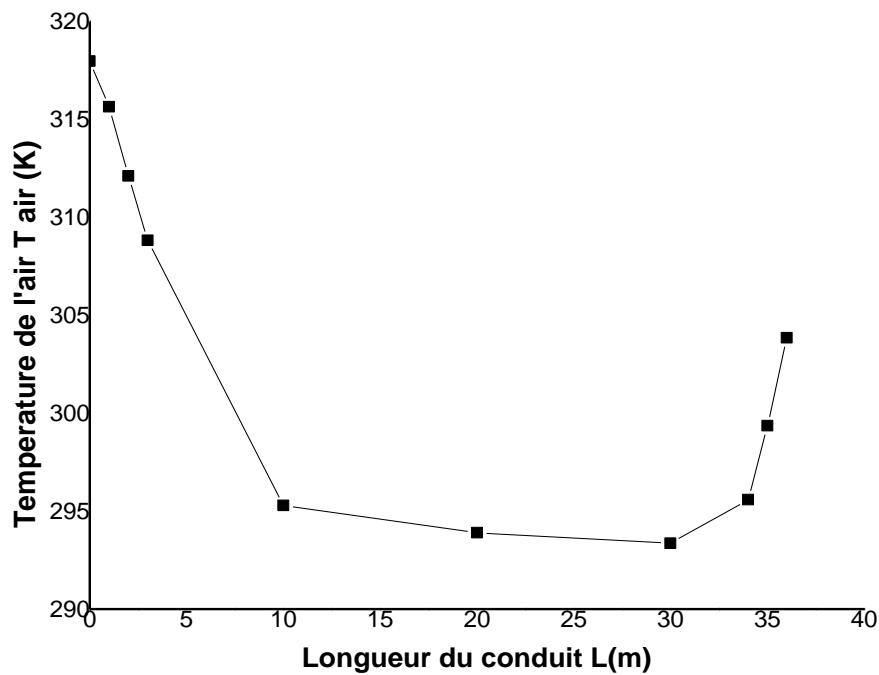


Figure (III.28): Variation la température de l'air en fonction de la longueur pour $Re = 2000$

La figure (III.28) montre pour le nombre de Reynolds $Re = 2000$, la variation de la température de l'air de l'entrée jusqu'à la sortie du tube en fonction de la longueur de l'échangeur air-sol, On voit que la courbe décrit une diminution de température de l'air au cours de la longueur de 10m, avec un écart de température de 23 °C.

Ensuite la température de l'air continue à diminuer jusqu'à la valeur de 20°C au long de première longueur de 30 m, mais à partir de de cette longueur aucune variation de température a été remarqué.

On a constaté une augmentation de température de l'air à partir de la longueur 33 m jusqu'à la sortie est obtenu la valeur de la température de l'air de sortie 31°C, à cause de la verticalité de la conduite, qu'a été envahie par la température de sol. Cette valeur présente un écart de température de système 14°C.

Finalement, La figure suivante représente la variation de température moyenne de l'air à l'entrée jusqu'à la sortie en fonction de la longueur de l'échangeur air-sol pour les différents nombres de Reynolds. On observe que la température de l'air sortie est diminuée quand le nombre de Reynolds augmente.

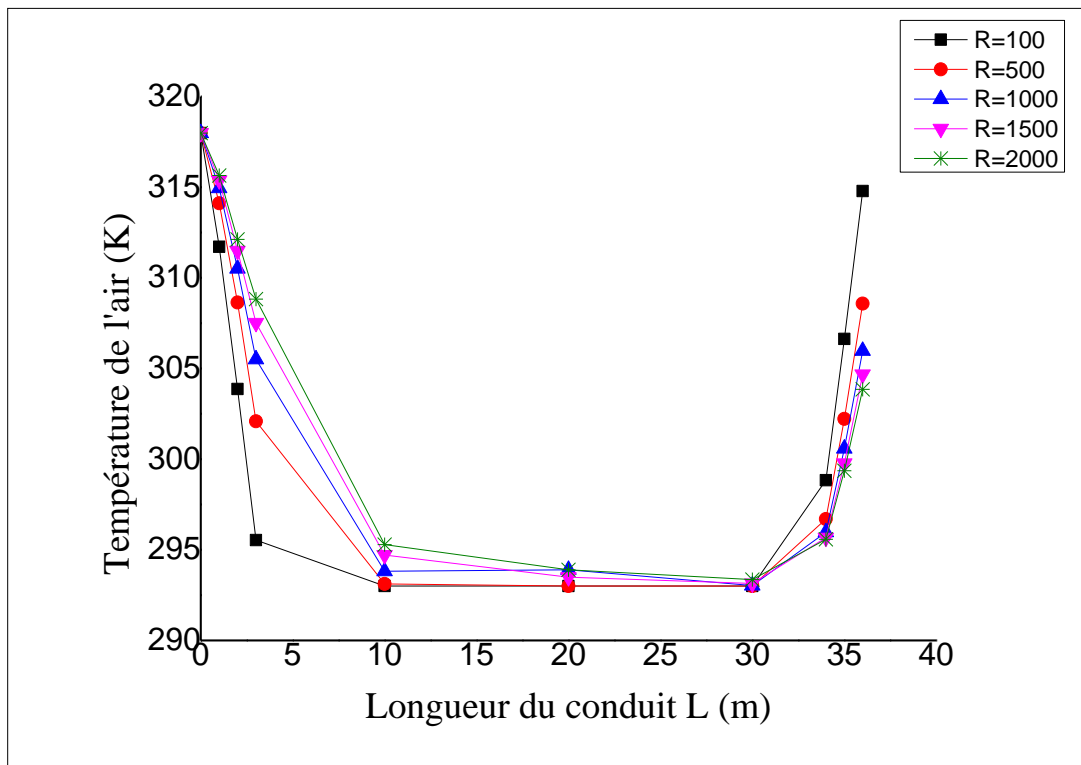


Figure (III.29) : Variation de la température moyenne de l'air

Conclusion

Conclusion

Malgré les développements technologiques dans le domaine de télécommunication, il y a des équipements électroniques qui dégagent une grande quantité de chaleur qui pose un grand problème de refroidissement. Les stations téléphoniques algériennes sont installées à l'intérieur des abris généralement installés dans des zones isolées.

Le refroidissement de l'abri par un système actif est très coûteux, pour cela on a besoin de rechercher une autre méthode de réduire la température à l'intérieur de l'abri. Pour refroidir une station de télécom autonome par un système de refroidissement passif, nous avons exploité l'énergie géothermique, pour cette exploitation on utilise un échangeur air-sol.

Dans notre travail nous avons utilisé le logiciel FLUENT pour réaliser une simulation numérique. Cette solveur résout directement les équations de Navier-Stokes, on a considéré que l'écoulement est laminaire, newtonien, stationnaire et unidirectionnel.

Après la simulation, les différents résultats obtenus dans cette étude montrent que la température de l'air de sortie est diminuée avec l'augmentation du nombre de Reynolds sur la même géométrie de l'échangeur. Dans le cas où le nombre de Reynolds est égal à 2000, on a trouvé la meilleure valeur de la température de sortie de l'air $T = 31^{\circ}\text{C}$ avec un écart de température de 14°C .

Il faut maintenir la température atteinte au fond de l'échangeur au bout de la conduite de sortie pour cela nous devons l'équiper par des isolateurs comme la laine... etc.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H.MEGNAFI, N.BOUKLI-HACENE, A.BERRICHE “Optimisation dans le réseau GSM”, ISBN : 978-613-1-58779-5, Edition Européenne, (2011).
- [2] S.C.MAHAMAT et I.A.R.BAWA, “Optimisation des réseaux GSM pour la migration vers l’UMTS”, Institut des Télécommunications Abdelhamid Boussouf d’Oran, soutenu (Juin 2005).
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Alg>, (2019).
- [4] ZNATY, “Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités”, (2008).
- [5] Hi-Tech Industrial Park, Nanshan District, Shenzhen, “ GB_000_E1 GSM, GPRS, EDGE Basics”, ZTE Plaza, Keji Road South, ZTE CORPORATION.
- [6] Fakih Mostapha ; Contribution à l’introduction de refroidissement passif dans une station de téléphone mobile, Mémoire de master en mécanique énergétique, Université Kasdi Merbah Ouargla (2013).
- [7] Gouareh Abderrahmane, Rachedi khouiled, Incorporation des matériaux à changement de phase pour l’habitat dans les zones arides. Mémoire de master en mécanique énergétique, Université Kasdi Merbah Ouargla (2012).
- [8] http://fr.wikipedia.org/wiki/Plante_grimpante (09/05/2012).
- [9] Med Bouattour et Fuchs Alain, LA VEGETALISATION DES BATIMENTS direction régionale de l’équipement ile de France (2009).
- [10] AKCHICHE Zineb, Etude de comportement d’une cheminée Solaire en vue de l’isolation thermique, Mémoire de magistère option : Energétique et Procédés, Université Kasdi Merbah Ouargla (2011).
- [11] Siradj Hocine, plan et simulation de système de refroidissement pour relais de télécommunication, Mémoire de master en mécanique énergétique, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2017).
- [12] NEUF : « climat intérieure/ confort, santé, confort visuel » Revue européenne d’architecture N°77, novembre décembre 1978. P12.
- [13] Ahmadou Samba al, boucle thermosiphon en deux phases pour le refroidissement des équipements de télécommunication à l’extérieur, Applied Thermal Engineering 50 (2013).

- [14] Benlatreche Toufik, Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics, Mémoire de magister, université Mentouri, Constantine, (2006).
- [15] « Données climatologiques », Office national de la métrologie, Station d'Ouargla, (Avril 2009).
- [16] Boubekour Dokkar, Refroidissement passif de l'abri de télécommunication à shelter d'une cheminée solaire avec échangeur de chaleur Terre-Air, Conférence de procédure, Espagne, Espagne, (2014).
- [17] Nesrine Hatraf, Simulation du comportement d'un échangeur Air/sol destiné au rafraîchissement des locaux, Premier Séminaire National de Génie Mécanique (SNGM01), Décembre (2011), Département de génie mécanique-Université de Biskra-Algérie
- [18] Badre Eddine Dounane et Boubakeur Hathat, conception et analyse de fonctionnement d'un échangeur air-sol, Mémoire de master en mécanique énergétique, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2011).
- [19] N. Moumami, H. Benfatah, N. Hatraf, A. Moumami et S. Youcef Ali, " Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra", Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3, pp. 399 - 406, (2010).
- [20] Yves JANNOT, Transferts thermiques Ecole des Mines Nancy, (2011).
- [21] Henrie FAUDUET, Mécanique des fluides et des solides, université du Paris (2008).
- [22] Julien HEINTZ, Les puits canadiens/provençaux Guide d'information, Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques
- [23] La Géothermie, <https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9othermie>
- [24] Stéphane Thiers, Bruno Peuportier, Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement de bâtiments, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, France (2012).

الملخص

في هذه المشروع قمنا بدراسة إمكانية استغلال الطاقة الحرارية الجوفية للأرض في خفض درجة الداخلية المأوى لاتصالات الجزائر عادة ما تكون في مناطق معزولة وذلك باستعمال المبادل الحراري هواء ارض وهي تعتبر تقنية من تقنيات التبريد الطبيعي السلبي و هذا لتقليل من استهلاك الطاقة حيث عمدنا على اجراء محاكات باستعمال برنامج فلوانت وذلك اعتبارا بان تدفق الهواء داخل أنبوب المحول يكون مستمر. وقد أظهرت النتائج انه كلما زاد عدد رينولدز كلما انخفضت درجة الحرارة في مخرج المبادل الحراري.

الكلمات المفتاحية:

الطاقة الحرارية الجوفية، المبادل الحراري هواء ارض، المأوى، فلوانت ، رينولدز

Résumé

Dans ce projet, nous avons étudié la possibilité d'utiliser l'énergie géothermique pour réduire la température interne dans l'abri de l'Algérie télécom, généralement installé dans des zones isolées, en utilisant l'échangeur air-sol, qui est une technique de refroidissement naturel passif pour réduire la consommation d'énergie. On utilise programme fluent pour le calcul numérique, on considère l'écoulement de l'air est laminaire.

Les résultats ont montré que le nombre de Reynolds augment la température de l'air sortie est diminué.

Mots-clés:

L'abri, La géothermie, Échangeur air-sol, Nombre de Reynolds, Fluent.

Abstract

In this project, we investigated the possibility of using Geothermic energy to reduce the internal temperature in the Algeria Telecom shelter, usually installed in isolated areas, using the Earth-to-air heat exchanger, which is a Passive natural cooling technique to reduce energy consumption.

We use fluent program for numerical calculation, we consider the flow of air is laminar.

The results showed that the Reynolds number increases the temperature of the outlet air is decreased.

key words:

shelter, Geothermic, Earth-to-air heat exchanger, Reynolds number, Fluent.