

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : Technologie
Filière : Génie Civil
Spécialité : Travaux publics
Thème

Transfert thermiques autour d'une pipeline

Présenté Par :

- 1) BOUZADA Rawya
- 2) BOUHAFS Omar

Le : 17/09/2020

Devant les jurys composés de :

Meme.MAROUF
Meme.TAHAR BERRABAH
Meme.DERBAL

Présidente
Encadrante
Examinatrice

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

D'abord nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la foi, le Courage et la patience pour bien mener ce travail.

Ensuite j'exprime mon profonde gratitude à mon encadreur madame AMINA TARAH BERRABAH qui a accepté de diriger ce travail, ses conseils et sa disponibilité durant toute l'année pour arriver à concrétiser ce document.

Par ailleurs nous tenons à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur par leurs présences et leurs disponibilités, à accepter d'évaluer ce travail.

Mes derniers remerciements s'adressent aux membres de ma famille qui ont été présent avec moi tout au long de ce mémoire, je pense particulièrement à mes parents, mes sœurs, ma grand-mère, mon frère et sœur des filles (Bouchra et yousra). J'espère l'honorer avec ce travail.

Enfin, je tiens à remercier les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

Merci à tous

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère, source de tendresse

mon très cher père, qui m'encourage

Dans les instants délicats

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A mes tantes et oncles

A toute ma famille

A tous mes amis



Je vous aime tous

Abstract:

The main objective of this research is to estimate the temperature distributions and the thermal gradient at the external surface of the tube along the horizontal and vertical axis, perimeter using an ANSYS thermal analysis model

Abstract :

L'objectif principal de cette recherche est d'estimer les distributions de température et le gradient thermique au niveau de la surface externe du tube suivant l'axe horizontal et vertical, périmètre en utilisant un modèle d'analyse thermique ANSYS.

الملخص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تقدير توزيعات درجة الحرارة والتدرج الحراري على السطح الخارجي للأنبوب على طول المحور الأفقي والرأسي، المحيط باستخدام نموذج التحليل الحراري اونسيس

Mot clef :

Le pipeline : est un mode de transport, sur de grandes distances de matières fluides, réalisé au moyen de tubes et accessoires sous pression, constituant un système souvent en réseau.

Advection : c'est le transport horizontal d'une masse d'air.

Albédo (α) : c'est le pourcentage de la lumière solaire sur la surface terrestre.

Table des matières

Introduction générale	01
Chapitre 1: GENERALITE SUR TRANSFERT THERMIQUE AU SOL.....	
1.1 Introduction	03
1.2 Notion de La température.....	03
1.2.1 Définitions	03
1.3 Notions chaleur	05
1.3.1 Définitions.....	05
1.4 Transfert de chaleur.....	07
1.4.1 Définitions.....	07
a. La conduction.....	08
b. La convection.....	10
c. rayonnement.....	10
d. L'advection.....	12
1.5 Bilan énergétique.....	13
1.5.1 Les échanges radiatifs.....	13
1.5.2 Généralité.....	13
1.5.3 Rayonnement solaire.....	13
1.6 Chaleur sensible et chaleur latente.....	14
1.6.1 Chaleur latente et changement d'état	14
1.7 Température du sol.....	16
1.7.2 Facteurs influent sur la température du sol.....	16
1.8 Propriété thermique et transfert de chaleur.....	17
1.8.1 Caractéristiques et propriétés thermique du sol.....	17
1.8.2 Généralité.....	17
1.9 Régime thermique	21
1.9.1 Cycles de variation à la surface du sol	21
1.9.2 Réchauffement et refroidissement du sol	21
1.10 Mesure de température du sol	22

1.11 Méthodes d'analyse thermique.....	23
1.12 Conclusion	25
Chapitre 2 : Description physique et mathématique du transfert thermique dans un milieu poreux.....	
2.1 Introduction.....	27
2.1.1 Transfert de chaleur dans les milieux poreux.....	27
2.2 Conduction de chaleur dans un milieu poreux.....	30
2.2.1 Transfert de chaleur par conduction.....	31
2.2.2 Transfert thermique dans un milieu poreux.....	32
a) L'équation d'énergie.....	32
2.3.1 L'équation générale de transfert de chaleur par conduction	33
2.3.1.2 L'équation différentielle gouvernant de la conduction de chaleur dans un corps tridimensionnel en coordonnées cylindriques.....	35
2.3.1.3 L'équation différentielle gouvernant de la conduction de chaleur dans un corps tridimensionnel en coordonnées sphériques.....	36
2.3.1.4 Conditions aux limites.....	37
2.3.2 Equation générale de transfert thermique dans un milieu poreux (conduction et convection).....	37
2.3.2.1 Transfert de chaleur par convection.....	37
2.3.2.2 L'équation de transfert de chaleur par conduction et convection.....	38
2.4 Conductivité thermiques de quelques types de sol en fonction de la teneur en eau...38	
2.5 Conclusion.....	39
Chapitre 3 : Logiciel de simulation ANSYS.....	
3.1 Introduction.....	41
3.1.1 Principaux produits.....	41
3.1.2 Les localisations d'états unis	41
3.1.3 Les filiales.....	41
3.2 Modalisation ANSYS.....	42
3.4 Conclusion.....	42

Chapitre 4 : Analyse du transfert thermique autour d'un pipeline par méthode des éléments finis.....

4.1 Introduction.....	44
4.2 Analyse du transfert thermique en régime permanente.....	44
a. Maillage.....	56
b. Développement des travaux.....	56
4.3 Variation de température.....	57
a. Profil a la température pour rayon 0.14m.....	57
b. Profil a la température pour rayon 0.32m.....	57
c. Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe vertical du Pipeline.....	58
Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline.....	58
4.4 Variation du gradient.....	59
a. Profil du gradient pour rayon 0.14m.....	59
b. Profil du gradient pour rayon 0.32m.....	59
c. Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe vertical du pipeline...60	60
d. Variation du gradient en fonction de la distance suivant le périmètre du pipeline....60	60
e. Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline61	61
4.5 Analyse du transfert thermique en régime transitoire.....	41
4.5.1 Introduction.....	41
4.6 Variation de température.....	41
a. Profil a la température pour rayon 0.14m pour 1jour de temps.....	41
b. Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe vertical du pipeline.....	42
c. Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline.....	43
4.7 Variation du gradient.....	43
a. Variation du gradient pour 1jour et 800jour.....	44
b. Profil du gradient pour rayon 0.14m.....	44
c. Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe vertical du pipeline...44	44
d. Variation du gradient en fonction de la distance suivant le périmètre du pipeline....45	45
e. Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline.....	45
4.8 Variation de température.....	46
a. Variation de la température pour 800jour.....	46
b. Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe vertical du pipeline.....	46
c. Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline.....	47

4.9	Variation du gradient.....	47
a.	Variation du gradient pour 1 jour et 800 jour	48
b.	Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe vertical du pipeline..	48
c.	Variation du gradient en fonction de la distance suivant le périmètre du pipeline...	49
d.	Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe horizontal du pipeline.....	49
5	Conclusion.....	
6	Conclusion Generale.....	50

LISTE DES NOTATIONS

- dQ** : Quantité de chaleur élémentaire $[M.L^2.T^{-2}]$.
S : Surface $[L^2]$.
T : Température $[\theta]$.
K_F : La conductivité thermique $[M.L.T^{-3}\theta^{-1}]$.
 $\frac{dT}{dx}$, $\overrightarrow{\text{grad}T}$: Gradient de température $[\theta.L^{-1}]$.
dz : Epaisseur d'un élément de volume. $[L]$.
C_v : Capacité thermique volumique isobare $[M.L^{-1}.T^{-2}.\theta^{-1}]$.
C_p : Capacité thermique massique isobare $[L^2.T^{-2}.\theta^{-1}]$.
D_F : Diffusivité thermique $[L^2.T^{-1}]$. **E_e** : Flux d'énergie entrante dans le système. $[M.L^2.T^{-3}]$.
ρ : La masse volumique du corps $[M.L^{-3}]$.
E_g : Flux d'énergie générée à l'intérieur du système. $[M.L^2.T^{-3}]$.
E_s : Flux d'énergie sortante du système. $[M.L^2.T^{-3}]$.
E_{ie} : Changement interne d'énergie du système, Flux d'énergie stockée dans le système. $[M.L^2.T^{-3}]$.
q̇ : Quantité d'énergie générée à l'intérieur du corps par unité du temps et du volume $[M.L^{-1}.T^{-3}]$.
ρ : La masse volumique du corps $[M.L^{-3}]$.
t : temps $[T]$.
V : Volume du corps $[L^3]$.
β : La capacité de stockage thermique du matériau, pente de la fonction d'emménagement d'énergie $[M.L^{-1}.T^{-2}.\theta^{-1}]$.
L : Chaleur latente de l'eau $[M.L^{-1}.T^{-2}]$.
r, θ, z : Les coordonnées cylindrique d'un système.
H : L'humidité pondérale.
R_s : Le rayonnement solaire $[L]$.
R_A : Le rayonnement atmosphérique $[L]$.

R_T : Le rayonnement terrestre [L].

R_N : Le rayonnement net [L].

R_i : Incident global absorbée par la surface terrestre [L].

α : L'albédo [-].

T_0 : Température initiale [θ].

H_r : L'humidité relative.

K_{F_S} : Conductivité thermique du solide [$M.L.T^{-3}.\theta^{-1}$].

K_F : Conductivité thermique globale a 52°C (125°F) [$M.L.T^{-3}.\theta^{-1}$].

$K_{F_{Sec}}$: Degré de saturation en eau a la saturation nulle [$M.L.T^{-3}.\theta^{-1}$].

\vec{q}_{V_F} : Flux de chaleur sensible transporté par convection forcée [W/m^2].

\vec{q}_{V_N} : Flux de chaleur sensible transporté par convection naturelle [W/m^2].

δT_i : Densité de chaleur interstitielle.

δT : Densité de chaleur.

\vec{q}_T : Flux total de chaleur sensible.

\vec{q}_V : Flux de chaleur sensible transporté par convection [W/m^2].

\vec{q}_F : Flux de chaleur sensible transporté par conduction [W/m^2].

\vec{V} : Vitesse ou flux de Darcy [$L.T^{-1}$].

T_s : Température du solide. [θ]

T_w : Température d'eau. [θ]

λ : Chaleur latente de vaporisation [J/kg].

K : perméabilité.

Q : Porosité.

$S_{r_{sat}}$: Conductivité thermique a la saturation complète en eau [$M.L.T^{-3}.\theta^{-1}$].

$q_{F_x}, q_{F_y}, q_{F_z}$: Densités de flux de chaleur entrantes respectivement à travers les faces x, y, et z.

$q_{F_{x+dx}}, q_{F_{y+dy}}, q_{F_{z+dz}}$: Densités de flux de chaleur sortante respectivement à travers les faces x+dx, y+dy, et z+dz.

$K_{F_x}, K_{F_y}, K_{F_z}$: Conductivité thermique respectivement suivant x, y, et z.

C_{p_w} : Capacité thermique massique de l'eau.

ρ_w : Masse volumique d'eau [M.L⁻³].

LISTE DE FIGURE

Figure 1.1 : Illustration des notions de transfert de chaleur de température et l'équilibre thermique.

Figure 1.2 : modes de transfert de chaleur.

Figure 1.3 : barre métallique chauffé à côté.

Figure 1.4: mouvement de chaleur dans une casserole et chaudière.

Figure 1.5: Absorption, réflexion et diffusion du rayonnement solaire.

Figure 1.6: Advection d'air froid.

Figure 1.7 : bilan des rayonnements au niveau du sol.

Figure 1.8: Conductivité thermique de quelques types de sols en fonction de la teneur en eau (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

Figure 1.9: Variation de la chaleur spécifique par unité de volume Avec l'humidité (Rosé, 1966 ; cité par G. Gras, 1988).

Figure 1.10: Variation de la diffusivité avec l'humidité (Rosé 1966, Cité par G. Gras, 1988).

Figure 1.12: Schéma d'un thermographe (In Guyot, 1997)

Figure 2.1 : les formes de l'eau dans le sol.

Figure 2.2: conductivité thermique de quelques types s de sols en fonction de la teneur en eau.

Figure 2.3 : Un élément de volume en coordonnées cartésiennes.

Figure 2. 4: Un élément de volume d'un corps tridimensionnel en coordonnées cylindriques.

Figure 2.5 : Un élément de volume d'un corps tridimensionnel en coordonnées sphériques.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Les échelles de température.

Tableau 1.2 : Résultat d'une cartographie thermique de surfaces au cours d'une belle journée d'été.

Tableau 1.3: Conductivité thermique de quelques constituants de sol (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

Tableau 1.4: Masse volumique, Capacités thermiques isobares massique et Volume de quelques constituants de sol (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

Tableau 2.1 : Classification de la porosité selon L'IUPAC (KUCHT).

Tableau 2.2 : les formes de l'eau dans le sol.

Introduction générale :

Pour cette mémoire de transfert thermique autour d'un pipeline, l'objectif principal c'est de faire une

Simulation numérique avec logiciel ANSYS dans le but d'étudier les comportements du flux de chaleur transférée.

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur des généralités sur le transfert thermique sur le sol en donnant un rappel des trois modes principales de transfert thermiques (la conduction, la convection et rayonnement) Qui sont réagis par des lois spécifiques.

Le deuxième chapitre est représenté l'analyse physique et mathématique dans un milieu poreux.

Dans le troisième chapitre-t-on représente logiciel de simulation ANSYS

Le quatrième chapitre est effectué des résultats et interprétation et le but de ce chapitre c'est de voir l'influence des différents paramètres sur le transfert de chaleur.

Pour notre travail et dont le but d'analysée la réponse thermique et particulièrement la variation de la température, gradient de température dans la zone encaissant un pipeline nous avons utilisé la méthode des éléments finis par logiciel ANSYS nous nous sommes intéressés a la variation du diamètre du pipeline pour déterminer les paramètres suscites, la modélisation du transfert thermique à l'aide de temps /w a été réalisé en conditions 3D en considérant un massif indéformable.

Après cette introduction, ce mémoire contient les chapitres suivants :

CHAPITRE 1 :
GENERALITE SUR
TRANSFERT
THERMIQUE AU
SOL.

1.1 Introduction :

les transferts thermiques sont omniprésents tant dans la vie même de notre planète (la fusion des glaciers, le réchauffement des eaux des océans les cycles climatiques) que dans l'existence humaine dans le terre exprimés par des gestes quotidiens de l'individu (réglage de la température de corps humain , préparation de la nourriture...) ayant montré auparavant les éléments qui font la différence thermodynamique et thermocinétique égale transfert de la chaleur , il faut encore remarquer que l'étude de ce dernier s'appuie sur des concepts et principes thermodynamiques.

A la base de l'étude de transfert thermique se trouvent les concepts de la quantité de chaleur et de différence de température, La température permettant de repérer l'énergie thermique d'un corps , elle est liée à sa capacité à céder ou à recevoir de l'énergie des corps environnants , la température et la chaleur sont des notions distinctes : la chaleur est une forme de l'énergie tandis que la température est un indicateur de l'état thermique résultant de l'agitation moléculaire , la chaleur évoluant toutes les autres lorsqu'il y a des transformations par exemple d'énergie mécanique , potentielle, chimique Cette forme dégradée de l'énergie est liée à la densité moléculaire et aux déplacements ou à la vibration des éléments constitutifs de la matière.

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique(ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

1.1 Notion de la température :

1.2.1 Définitions :

On appelle température la grandeur physique qui mesure le degré de chaleur d'un corps ou d'un milieu. Lorsque deux corps sont placés dans une enceinte adiabatique, le corps le plus chaud cède de la chaleur au corps le plus froid jusqu'à ce que les deux corps aient la même température. On dit alors qu'on a atteint l'équilibre thermique.

La température est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation microscopique de la matière, Selon la théorie cinétique, la température d'un corps est fonction de l'énergie cinétique moyenne de translation de ses molécules, L'énergie cinétique d'un corps est nulle à une température appelée zéro absolu (Figure 1.1).

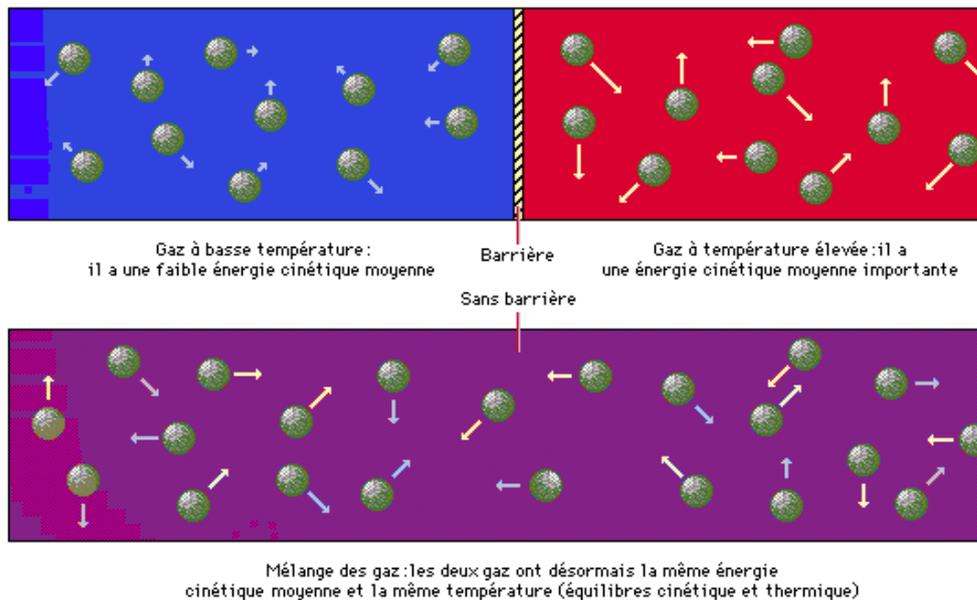


Figure 1.1 : Illustration des notions de transfert de chaleur de température et l'équilibre thermique.

1.2.2. Champ de température :

La propagation de la chaleur par tous les modes de transfert thermique par tous les modes de transfert thermique a lieu seulement s'il y a une différence de température entre les divers points d'un corps (ou d'un système des corps), la multitude des valeurs pour les points matériels qui constituent un système s'appelle champ de température on distribution de température au point de vue mathématique le champ de température est représenté par une fonction de coordonnées spatiales et de temps : $T = f(x, y, z, t)$.

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.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire.

1.2.3 Les différentes échelles de température :

L'unité utilisée pour les calculs est le kelvin ($^{\circ}\text{K}$). Les températures sont données en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) ou en degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), selon les zones il est donc nécessaire de réaliser les conversions selon :

GENERALITE SUR TRANSFERT THERMIQUE AU SOL.

Température en Kelvin	$T (^{\circ}\text{K})=T (^{\circ}\text{C}) +273.15$
Température en Fahrenheit	$T (^{\circ}\text{F})=1.8T (^{\circ}\text{C}) +32$
Température en Rankine	$T (^{\circ}\text{R})=1.8(T (^{\circ}\text{C}) +273.15)$
Température en Celsius	$T (^{\circ}\text{C})=T (^{\circ}\text{C})$

Tableau 1.1: Les échelles de température.

1.2.4. 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 :

$$\overrightarrow{gradT} = \frac{\partial n}{\partial T} \vec{n} \quad (1.1)$$

\vec{n} : Vecteur unitaire de la normale.

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

1.3 Notion de chaleur :

1.3.1 Définitions :

La sensation de chaud ou de froid ressentie au contact d'un objet est tout d'abord traduite par (cette objet est chaud car sa température est plus élevée que celle de mes doigts et il me communique de la chaleur) (ou l'inverse si l'objet est froid) cela est correct tant l'on reste au niveau quantitatif, mais ne donne aucune représentation microscopique de la chaleur. (1.1)

Le transfert de chaleur d'une partie substance a une autre partie, ou d'un corps a un autre corps s'effectue sous forme d'énergie cinétique d'agitation moléculaire désordonnée.

Ce transfert est le fait de différence de température entre deux corps, la chaleur se propage spontanément du corps ayant la température la plus élevée vers celui ayant la température la plus basse, élevant ainsi la température de ce dernier, tout en abaissant la température du premier dans la mesure où le volume des deux corps reste constant ceci constitue principe de la thermodynamique.

1.3.2 La chaleur :

Le terme chaleur peut désigner un transfert thermique en thermodynamique(3) .cette dernière notion est également reliée à :

- Energie interne dont la chaleur est une des formes d'échange.
- La chaleur latente mise en jeu dans les changements d'état.
- La capacité thermique ou capacité calorifique.
- L'équation de la chaleur.

Le terme chaleur et température sont souvent confondus .On s'exclame qu'il chaud lorsque la température est élevée, mais il s'agit de deux concepts bien distincts tout fois, ils sont tous deux reliés l'énergie thermique.

1.3.3 Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction de la haute température vers les basses températures par unité de temps :

$$\phi = Q/\Delta t \quad (1.3)$$

Lorsque ce flux de chaleur traverse une surface (S) on obtient une densité de flux de chaleur telle que :(1)

$$\phi = \Phi / S \quad (1.4)$$

1.3.4 Unités de chaleur :

On a vu qu'en physique, la quantité de chaleur est exprimée dans les mêmes unités que l'énergie et le travail, savoir en joules(J).

On utilise également les calories (Cal), définie comme la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 g d'eau de 14,5°C à 15, 5°C sous une pression de 1atm.

A partir de la calorie, on introduit parfois d'autres unités de quantité de chaleur :

La kilocalorie (Kcal) est égale à 1000 calories.

La thermie est égale à 1000 Kcal.

Le kilowattheure(KWh) est l'énergie fournie en 3600 secondes par une source d'énergie de puissance égale à 1 KW, soit 1000 J/s, comme 1joule équivaut à 0,2389 calories, 1Kwh représente 3.600.000, joules, soit encore 860.112 calories.

En définitives : 1Kwh=0.86 thermie.

- 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 :

Q_{st} : Flux de chaleur stocké

Q_g : Flux de chaleur généré

Q_e : Flux de chaleur entrant dans le système (S)

Q_s : Flux de chaleur sortant

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

$$: \varphi_e + \varphi_g = \varphi_s + \varphi_{st} \quad (1.5) (1)$$

1.4 Transfert de chaleur :

1.4.1 Définitions :

Le transfert thermique est un processus complexe qui est réalisé par la superposition des trois modes fondamentaux : conduction, convection et rayonnement dans le cas où l'un de ces trois modes est déterminant, l'effet des autres sont peu importants ; aussi ils peuvent être négligés, simplifiant convenablement l'analyse du cas concerné. En tenant compte de ces conditions, on va présenter ensuite le mécanisme d'apparition de chacun de ces modes.

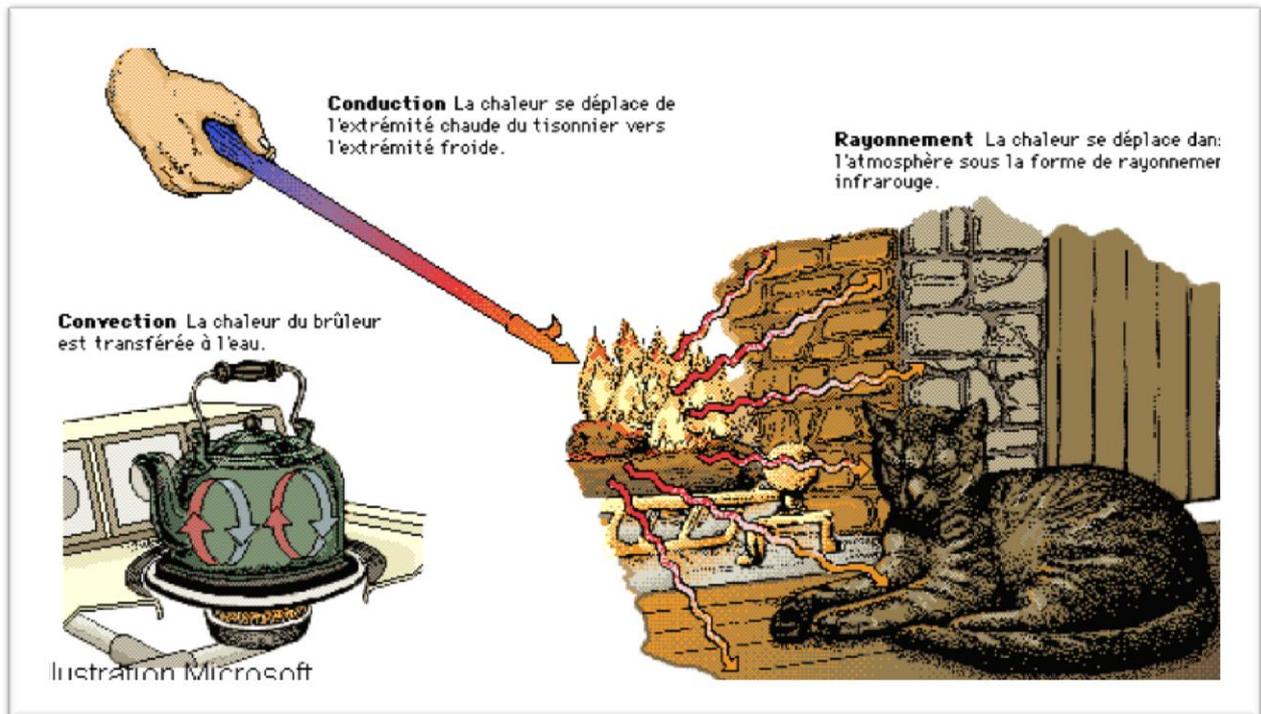


Figure 1.2 : modes de transfert de chaleur

a. conduction :

La conduction représente le processus de propagation de chaleur par le contact direct entre les particules d'un corps ou entre des corps ayant des niveaux énergétiques donc des températures différentes suite au mouvement de ces particules élémentaires, elle est déterminée essentiellement par diffusion des électrons libres des zones plus chaudes vers les zones plus froides, des exemples typiques pour la conduction sont : transfert de chaleur par des parois de bâtiments, des conduites qui transportent différents agents chauds ou froids.

Par exemple : une barre métallique dont l'une des extrémités est exposée à une flamme, s'échauffe progressivement, la chaleur se propage de proche à proche à l'intérieur du métal.

La barre métallique a le conduit de la chaleur : cette propriété s'appelle la conduction thermique.

Dans cette barre métallique chauffée en son extrémité A, on observe un gradient longitudinal de température $T(x)$: $T(A) > T(B)$

Cette différence de la potentielle température $T(A) - T(B)$ provoque un flux de chaleur ϕ .

$$\phi = hS (T(A) - T(B)) \quad (1.6)$$

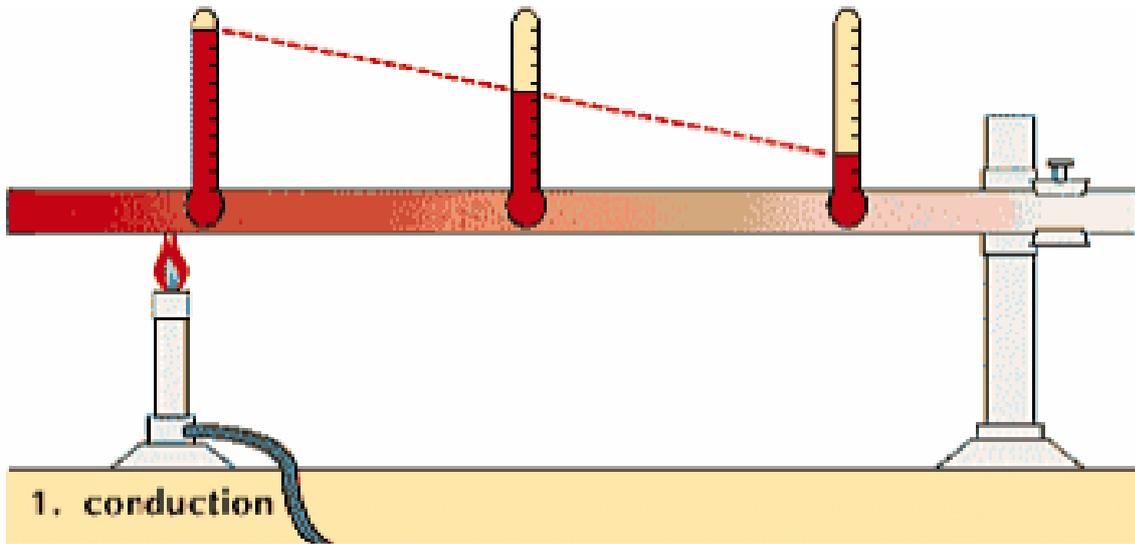


Figure 1.3 : barre métallique chauffé à coté

b. Convection :

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique a lieu dans les fluides-liquides ou gaz en mouvement la convection est le processus de transfert thermique déterminé par la mouvement des particules élémentaire d'un fluides-liquide ou gaz entre des zones ayant des températures différentes ce mouvement entraine un mélange intense des particules fluides qui changent de l'énergie (chaleur) , des exemples typiques pour la convection sont : l'échauffement ou refroidissement des fluides dans les échangeurs de chaleur ,le refroidissement du café en soufflant au-dessus de la tasse ,la préparation d'un gâteau dans un four à gaz.

1. Le mouvement dans une casserole posée sur le feu s'explique par les différences de densité créées par le chauffage(le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique a un objet, un matériau, un être vivant pour lui ...) Le fluide se met en mouvement spontanément quand la différence de température entre le haut et le bas de la couche d'eau atteint une valeur critique.
Un fluide peut être en mouvement de manière artificielle. Par exemple pour le chauffage central, la pompe active la circulation de l'eau, les échanges thermiques entre la chaudière et les radiateurs sont accélérées par convection forcée les radiateurs quant à eux cèdent la chaleur principalement par convection naturelle a l'air de la pièce.

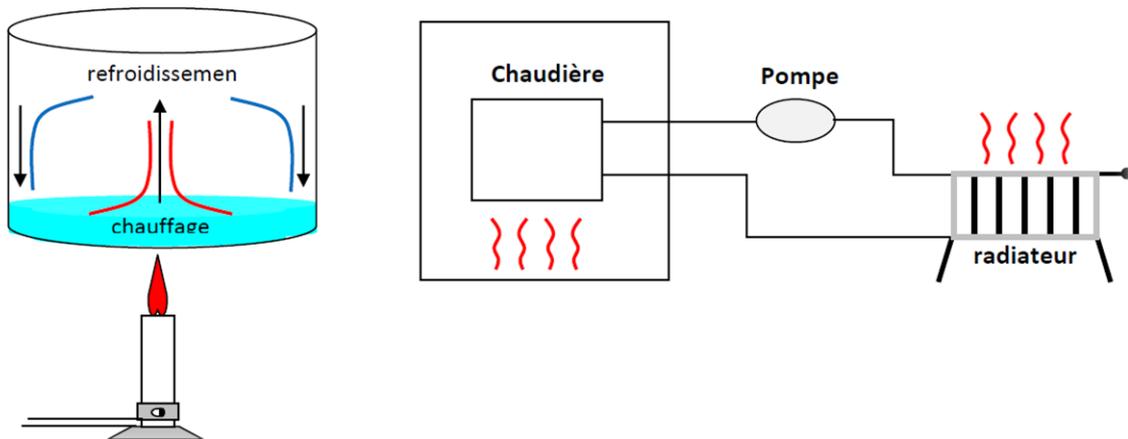


Figure 1.4: mouvement de chaleur dans une casserole et chaudière.

c. Rayonnement :

La matière émet et absorbe de la chaleur en permanence, l'émission de chaleur est due à l'agitation moléculaire. L'absorption de chaleur par le milieu élève sa température et accroît

Son agitation moléculaire et donc l'émission de chaleur, le transfert de chaleur par rayonnement suppose l'existence d'un émetteur de rayonnement d'un espace dans lequel le rayonnement se propage et d'un récepteur sur ou dans lequel le rayonnement est transformé

Le rayonnement thermique n'exige pas un support matériel il peut se produire même en vide.

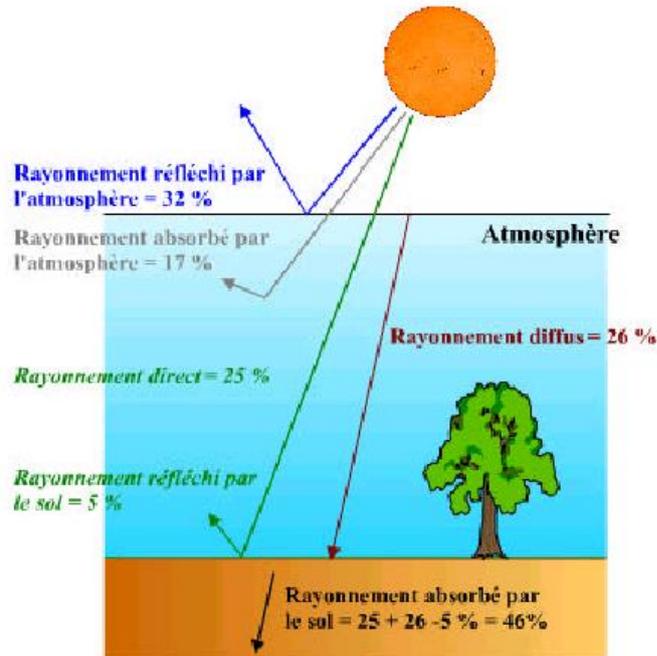


Figure 1.5: Absorption, réflexion et diffusion du rayonnement solaire.

L'advection :

Il existe des phénomènes d'advection de grande d'échelle (certaine km), liés aux changements de masse d'air et des phénomènes d'advection liées aux hétérogénéités de surface, à grand échelle ,en météorologie, l'advection désigne le transport horizontal d'une masse d'air avec ces propriétés spécifiques .

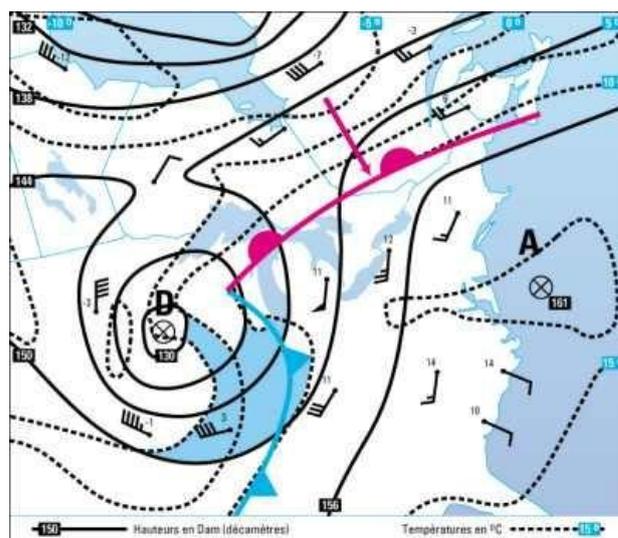


Figure 1.6: Advection d'air froid

1.5 Bilan énergétique :

La répartition et l'utilisation du flux d'énergie (solaire pour l'essentiel) qui atteint la surface du sol dépendent de sa teneur en eau alors que ce flux influence lui-même l'état et les mouvements de l'eau, dans le contexte système sol le principe de conservation de l'énergie peut s'exprimer par l'égalité entre le bilan des échanges radiatifs et le bilan des échanges thermiques, la différence entre les énergies radiatives absorbées et émises par le système soit le rayonnement net correspond ainsi la somme des énergies emmagasinées par le système et échangées avec l'extérieur sous forme de chaleur sensible et chaleur latente.

1.5.1 Les échanges radiatifs :

1.5.2 Généralité :

La température moyenne d'un sol traduit le degré moyen d'agitation thermique de ces molécules, autrement dit le niveau moyen de chaleur emmagasinée dans le sol, les variations de cette température moyenne au cours du temps reflètent le bilan des échanges entre le sol et le milieu extérieur. Ces échanges se produisent essentiellement en surface, avec l'atmosphère, d'une part sous forme d'échanges de chaleur sensible et latente.

1.5.3 Rayonnement solaire :

Le soleil constitue la principale source de l'énergie parvenant à la surface de la terre, l'analyse du spectre solaire montre qu'il se comporte comme un corps noir d'une température de 6000°K, lorsque qu'un corps est soumis à un flux radiatif il en absorbe une partie et réfléchit une autre et transmet le solde, le rayonnement solaire global composé de rayonnement solaire direct transmis par l'atmosphère, et du rayonnement solaire diffus réfléchi par l'atmosphère en direction du sol, est à son tour partiellement réfléchi par le sol.

Equation de bilan des rayonnements au niveau du sol :

$$R_n = (R_s + R_a)(1 - \alpha) - R_t \quad (1.7)$$

Avec:

R_s : Rayonnement solaire direct et diffus atteignant le sol ;

R_a : Rayonnement atmosphérique dirigé vers le sol ;

R_t : Rayonnement terrestre.

Le terme $(R_s + R_a)(1 - \alpha)$ représente la fraction du rayonnement incident global R_i absorbée par la surface terrestre. De manière simplifiée, on considère

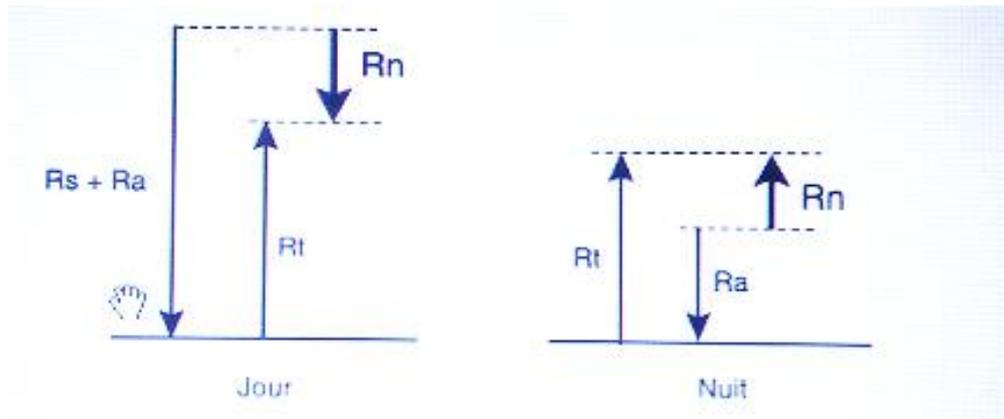


Figure 1.7: bilan des rayonnements au niveau du sol.

1.6 Chaleur sensible et Chaleur latente

Les échanges de chaleur entre le sol et l'atmosphère se produisent sous forme de chaleur sensible ou de chaleur latente. Dans le premier cas, le transfert porte sur l'énergie d'agitation thermique, alors que dans le second cette énergie a été convertie en énergie latente par un changement de phase, le transfert de chaleur étant de ce fait associé à un transfert de masse.

1.6.1 Chaleur latente de changement d'état :

Même si le mécanisme de phénomène est différent pour chaque cas, tous les modes de transfert thermique ont la même conséquence : la variation de la température dans le corps concerné parfois cette variation peut conduire à un changement de phase (vaporisation, condensation et solidification, fusion) .Dans cette situation la chaleur latente (chaleur nécessaire à l'unité de masse d'une substance pour passer d'un état physique à un autre.

Les échanges d'énergie d'agitation thermique par convection constituent le principal processus de transfert de chaleur sensible entre le sol et l'atmosphère. Le fluide transporteur est alors l'air atmosphérique.

Le flux de chaleur sensible \vec{C} dû à la convection naturelle peut s'écrire comme suit:

$$\vec{C} = -\rho_a C_{Pa} D_T \overrightarrow{\text{grad}T} \quad (1.8)$$

Avec : ρ_a : Masse volumique d'air ;

C_{Pa} : Capacité thermique massique isobare de l'air ;

D_T : La diffusivité moléculaire de thermo diffusion.

GENERALITE SUR TRANSFERT THERMIQUE AU SOL.

Chaleur sensible convertie lors de processus de vaporisation en chaleur latente est transférée par les flux de masse de vapeur d'eau. Ces flux peuvent être exprimés par la relation suivante:

$$\vec{q}_{vap} = -D_e \text{grad}v_{vap} \quad (1.9)$$

D_e : Coefficient d'échange, qui exprime de manière globale les effets diffusifs caractérisant le transfert de vapeur d'eau dans l'air.

$$v_{vap} = \frac{V_{vap}}{V_a} = \frac{P_{vap}}{P_a} \quad (1.10)$$

Avec :
 v_{vap} : Fraction volumique qui désigne la concentration en vapeur d'eau.
 V_{vap} : Volume de la vapeur d'eau.
 V_a : Volume d'air.

Le flux de chaleur latente associé au flux de masse de vapeur d'eau peut alors s'écrire comme:

$$\vec{\lambda E} = \lambda \rho_a \varepsilon \vec{q}_{vap} = -\frac{\rho_a C_{Pa}}{\gamma} D_e \vec{\text{grad}}P_{vap} \quad (1.11)$$

Dans cette expression:

λ : Chaleur latente de vaporisation ;

ρ_a : La masse volumique de l'air contenant la vapeur d'eau ;

ε : Le rapport du poids moléculaire de la vapeur à celui de l'air ($\varepsilon = 0.622$) ;

γ : Constante psychrométrique et PA : Pression atmosphérique.

Le coefficient de réflexion entre le bilan des échanges radiatifs et le bilan des échanges de chaleur :

$$Rn + M + C + \lambda E + \Delta S = 0 \quad (1.12).$$

M : La part d'énergie radiative absorbée par le système et transformée en énergie chimique par le *métabolisme* des plantes.

ΔS : La part d'énergie radiative convertie en chaleur et emmagasinée dans le système après déduction du bilan des échanges de chaleur sensible C et de chaleur latente λE .

1.7 Température du sol

1.7.1 Facteurs influant sur la température du sol :

1.7.2 Généralité :

Ces facteurs peuvent être classés selon deux grandes catégories: les variables météorologiques, les variables du terrain et celles du sous-sol. Les différences régionales importantes de température du sol sont principalement déterminées par les variables météorologiques tels le rayonnement solaire, la température de l'air et les précipitations; par ailleurs, les variations locales ou faibles résultent des différences des sols, des caractéristiques de surface et des propriétés thermiques des sols.

Les facteurs météorologiques, plus particulièrement le rayonnement solaire et la température de l'air, influent sur la température de la surface du sol et sur celle du sous-sol en agissant sur le taux de transmission des échanges de chaleur entre l'atmosphère et le sol. Le rayonnement solaire constitue cependant le facteur le plus important. Par exemple comme le cite André Musy et al ; 1991 la température moyenne annuelle du sol diffère entre le nord et le sud du Canada, cette variation étant fonction de la quantité d'énergie solaire absorbée à la surface du sol tout au cours de l'année. Une variation cyclique des températures de l'air et de la surface du sol se produit à la suite des changements saisonniers et quotidiens dans le rayonnement solaire. D'autres facteurs météorologiques tels le vent ou la pluie peuvent causer des variations locales assez importantes.

La neige constitue un autre facteur en importance qui influe sur la température du sol, non seulement à cause de ses propriétés d'isolant bien connues mais aussi à cause de l'humidité qu'elle dégage dans le sol au dégel. La végétation peut aussi agir comme isolant en protégeant le sol des températures extrêmes qui produisent des taux élevés de transmission de la chaleur. D'autres caractéristiques relatives au terrain, telle l'orientation des pentes, peuvent avoir des effets importants (*G.P. Williams et L.W. Gold ; 1977*).

Surface	Température de surfaces en C°
Sol sec	55 à 59
Sol légèrement humide	49 à 53
Sol très humide	34
Sèche	36 à 37

Tableau 1.2 : Résultat d'une cartographie thermique de surfaces au cours d'une belle journée d'été.

1.8 Les propriétés thermiques et transfert de chaleur:

1.8.1 Caractéristiques et propriétés thermique du sol :

1.8.2 Généralité :

Le transfert d'une chaleur s'inscrivant dans le contexte du général des échanges énergétiques, qui relèvent essentiellement de trois types de processus physiques.

Le principaux paramètres qui interviennent dans la description du comportement thermique d'un sol sont ceux qui permettent de caractériser, sur le plan quantitatif et capacitif, l'énergie-chaleur qu'il a emmagasinée, ces grandeur dépendent directement des propriétés thermique spécifique des divers composantes du sol.

a. Capacité thermique :

La capacité thermique C_T d'un corps est définie par le rapport $\frac{dQ}{dT}$ ou d_Q représente l'énergie-chaleur nécessaire à élever la température de ce corps de d_T . Cette grandeur n'est pas complètement définie, à moins que le type de transformation soit spécifié. Les phénomènes traités par la physique du sol se déroulent comme tous les phénomènes naturels, à pression atmosphérique, c'est-à-dire dans des conditions de la pression relativement constante, si bien que la capacité thermique d'un corps exprime par unité de masse, est complètement définie par la notion de capacité thermique massique-isobare C_p soit :

$$C_p \equiv \frac{dQ}{dT} \quad [\text{J/k}] \quad \text{et} \quad C_p \equiv \frac{C_T}{M} \quad [\text{J/kg.K}]$$

La capacité thermique massique isobare représente la capacité d'emmagasinement de chaleur d'un corps. Elle dépend en réalité de la température, mais dans la gamme de température que peuvent présenter les sols, ses variations restent négligeables.

b. La conductivité thermique (K_F) :

Le coefficient de *Fourier* ou conductivité thermique K_F représente la résistance de matériau à la propagation de la chaleur d'un point à un autre.

De manière analogue à la conductivité hydraulique de la loi de *Darcy*, ce paramètre prend, en milieu hétérogène et anisotrope, la forme d'un tenseur de second ordre, alors qu'il se réduit à un scalaire dans le cas d'un milieu homogène et isotrope. Les valeurs de la conductivité thermique de diverses composantes du sol sont répertoriées dans le tableau I.2.

GENERALITE SUR TRANSFERT THERMIQUE AU SOL.

Constituant	K_F [J/msk]
Minéraux (valeur moyenne)	2,90
Quartz	8,80
Matière organique	0,25
Eau	0,585
Glace	2,20
Air	0,023

Tableau 1.3: Conductivité thermique de quelques constituants de sol (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

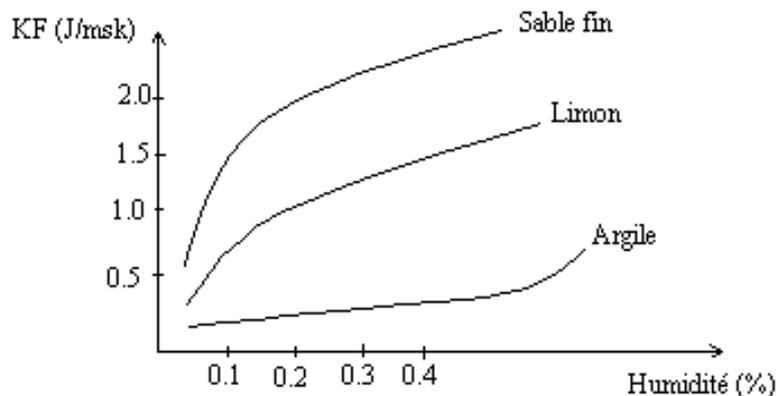


Figure 1.8: Conductivité thermique de quelques types de sols en fonction de la teneur en eau (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

La conductivité thermique d'un sol dépend non seulement de sa composition, de sa teneur en matière minérales et organiques, mais également de l'arrangement et de la forme de ses particules constitutives, des liaisons entre ces particules (pont d'eau), ainsi de la teneur en air (faiblement conducteur). Le sol apparaît ainsi d'autant plus comme mauvais conducteur de chaleur.

GENERALITE SUR TRANSFERT THERMIQUE AU SOL.

La conductivité thermique varie dès lors dans l'espace et dans le temps, notamment en fonction des variations de teneur en eau et en air

c. La capacité calorifique (chaleur spécifique) :

La chaleur spécifique ou massique c'est la quantité d'énergie nécessaire pour élever d'un degré de la température d'un gramme d'un matériau quelconque, la chaleur massique d'un sable de 0.84, d'une argile 0.92 (le sol vivant : bases pédologie biologie des sols Dejean-Michel Gobat, Michel Argo, Wily Matthey).

La chaleur spécifique par unité de volume de sol humide croit donc linéairement avec l'humidité figure (1.9)

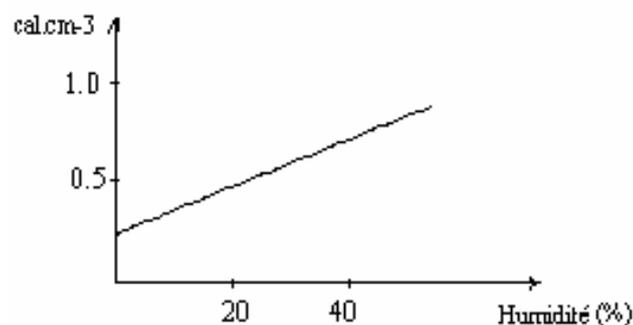


Figure 1.9: Variation de la chaleur spécifique par unité de volume Avec l'humidité (Rosé, 1966 ; cité par G. Gras, 1988).

Constituant	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg K)	ρC_p [J/m ³ K]
Minéraux (valeur moyenne)	$2,65 \cdot 10^{+3}$	$0,8 \cdot 10^{+3}$	$2,10 \cdot 10^{+3}$
Matière organique	$1,30 \cdot 10^{+3}$	$1,90 \cdot 10^{+3}$	$2,47 \cdot 10^{+3}$
Eau	$1,00 \cdot 10^{+3}$	$4,20 \cdot 10^{+3}$	$4,20 \cdot 10^{+3}$
Glace	$0,92 \cdot 10^{+3}$	$2,10 \cdot 10^{+3}$	$1,93 \cdot 10^{+3}$
Air	1,25	$1,00 \cdot 10^{+3}$	$1,25 \cdot 10^{+3}$

Tableau 1.4: Masse volumique, Capacités thermiques isobares massique et Volume de quelques constituants de sol (André Musy et Marc Soutter ; 1991)

d. La diffusivité thermique :

La diffusivité thermique D_F est le rapport $\frac{K_F}{C_v}$ de l'équation de Fourier présenté dans le chapitre deux de cet mémoire elle caractérise la vitesse d'égalisation de température: plus D_F est grand, plus l'égalisation est rapide.

En d'autre terme, la diffusivité est l'expression de la vitesse à laquelle une substance s'échauffe ou se refroidit sous l'influence d'un gradient thermique.

La diffusivité du sol dépend considérablement de la porosité totale. *West (1952)* a trouvé que la diffusivité d'un sol compact était réduite au $\frac{1}{15}$ ème de sa valeur initiale par le travail du sol.

Elle varie considérablement avec l'humidité, la courbe de la figure 1.9 ci-après présente un maximum: lorsque l'humidité augmente, la diffusivité augmente d'abord puisque K_F croit plus vite que C_v , en suite K_F croissant de moins en moins vite avec l'humidité D_F passe par un maximum puis décroît.

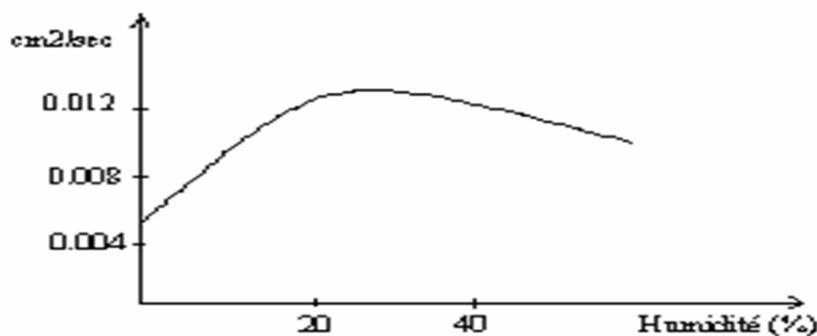


Figure 1.10: Variation de la diffusivité avec l'humidité (Rosé 1966, Cité par G. Gras, 1988)

e. Densité de chaleur :

La quantité de chaleur emmagasinée par un corps lorsque sa température passe de T_0 à T , notion qui s'avère indispensable à la formulation du principe de conservation, est définie par sa densité de chaleur δ_T , soit le produit de sa capacité thermique massique isobare, de sa masse volumique et de la variation de température :

$$\delta_T = \rho C_p (T - T_0) \quad (1.13) \quad (\text{le sol vivant : bases pédologie biologie des sols}$$

Dejean-Michel Gobat, Michel Argo, Wily Matthey).

1.9 Régime thermique :

1.9.1 Cycles de variations thermiques à la surface du sol :

La température du sol présente continuelles variations sous l'influence des conditions climatiques qui déterminent l'intensité des échanges énergétiques entre le sol et l'atmosphère et notamment l'intensité des rayonnements solaires s'effectuent de manière relativement stable selon des cycles périodiques notamment à l'échelle quotidienne et à l'échelle annuelle le régime ou comportement thermique d'un sol que l'on peut décrire par la variation de son profil de température, présente dès lors un comportement cyclique similaire

La mesure de profils de température dans un sol permet de mettre en évidence des cycles de variation thermique, rythme de la course de l'astre solaire ces cycles quotidiens et annuels sont étroitement liés aux variations d'intensité du rayonnement solaire qui se manifestent sur des périodes de 24 h par l'alternance du jour et de la nuit et sur des périodes annuelles par l'évolution de l'inclinaison moyenne du soleil sur l'horizon, il existe des phénomènes venant perturber ces comportements en particulier ceux qui influencent le bilan énergétique (passage nuageux, sécheresse des afflux d'air froid ou chaud) telle que les caractéristiques thermiques du sol variant au cours des temps avec les variations de teneur en eau selon la profondeur.

La variation de température à la surface du sol T_{Surf} (°C) est supposée suivre une variation sinusoïdale en fonction du temps t (s ou j) avec une amplitude ΔT et une fréquence angulaire ω (rad/s ou rad/j) autour d'une valeur moyenne T_{Surf} :

$$T_{Surf} = T_m + \Delta T \sin(\omega t) \quad (1.14)$$

1.9.2 Réchauffement et refroidissement du sol :

La transmission de la chaleur q_s dans le sol dépend d'abord de la couleur, le sol foncé se réchauffant plus vite. Grosverner et al (in Wheeler et al., 1995) ont mesuré une température de 55.9°C dans le premier centimètre d'une courbe noire, d'autre côté ce qui n'affecte pas d'influence de l'activité biologique; l'humidité d'un sol joue un rôle important en raison de la chaleur massique de l'eau environ cinq fois plus élevée que celle de l'air on des solides en explique ainsi le développement tardif des plantes de terrains, retard accentué d'ailleurs par la perte de nombreuses calories utilisées pour l'évaporation d'eau.

Pédoclimatique :

Le climat interne du sol, intégrant les effets combinés de sa température, de son humidité et de son aération.

Le passage d'un feu peut élever très rapidement la température de la couche d'une surface ((le sol vivant : bases pédologie biologie des sols Dejean-Michel Gobat, Michel Argo, Wiley Matthey).

1.10 Mesure de la température du sol

Le thermomètre à mercure :

Le thermomètre à mercure a été inventé par Gabriel Fahrenheit en 1724. Son fonctionnement repose sur du mercure contenu dans un tube de verre. Le volume du mercure, donc la longueur de la colonne dans le tube, est fonction de sa température. On peut lire cette dernière grâce à des marques inscrites le long du tube

Son principe repose sur la dilatation du mercure en fonction de la température de l'air. L'étranglement du tube empêchant le mercure de réintégrer le réservoir, il reste bloqué à son maximum. Un autre système consiste à placer une barrette index qui est poussée vers le haut par la colonne de mercure et qui reste dans la position atteinte au moment du maximum de température.

Le thermomètre à alcool :

Lorsque la température s'élève, le mercure ou l'**alcool** se réchauffe et son volume augmente. Le niveau de la colonne de liquide monte donc et on peut ainsi déterminer la température en lisant sa valeur sur l'échelle graduée. Histoire : C'est vers 1592 que Galilée inventa le thermoscope, l'ancêtre du **thermomètre**.

L'emploi des deux thermomètres à minimum et à maximum renseigne sur l'amplitude thermique pour une période de temps donné

Le thermographe :

C'est un thermomètre enregistreur dont le principe repose sur la dilatation différentielle de deux lames couplées qui laissent sur un graphe (figure 1.11) en rotation la trace amplifiée de leur mouvement. L'information ainsi obtenue est continue et fournit l'heure des événements et des variations brusques mais, en contrepartie, elle est moins sûre et moins précise que celle obtenue avec un thermomètre traditionnel.

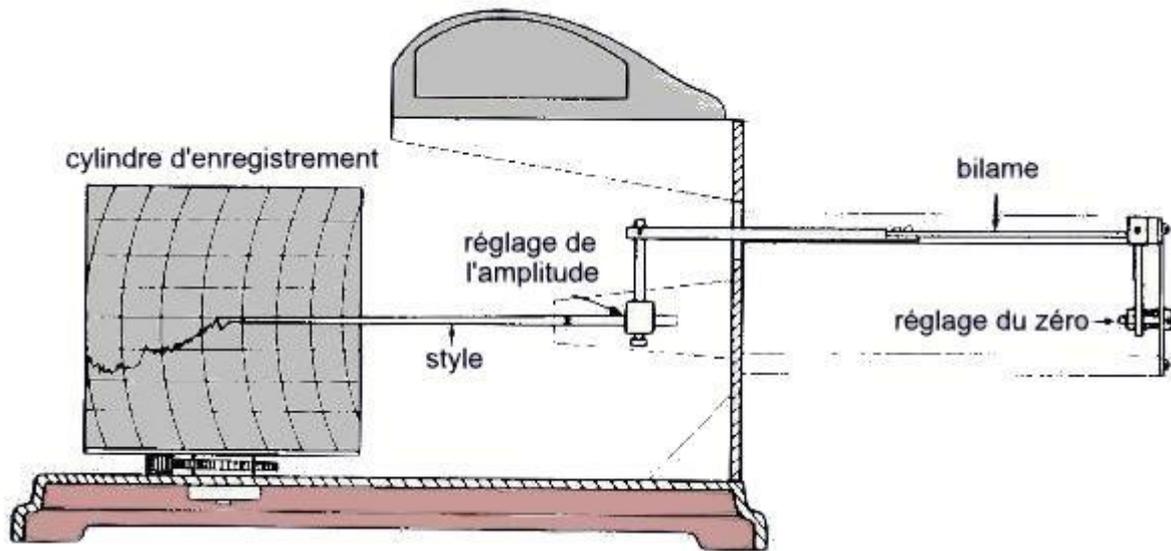


Figure 1.11: Schéma d'un thermographe (In Guyot, 1997).

Le thermomètre de Bourdon :

Pour les applications vibratoires, les boîtiers des manomètres à tube de **Bourdon** sont remplis avec un liquide qui permet d'amortir les mouvements de l'aiguille et donc d'assurer une meilleure lisibilité de l'indication de la pression.

Le thermocouple : Il est constitué de deux soudures de deux métaux différents, l'une étant maintenue à température constante et l'autre placée au point du sol étudié. La différence de température entre les deux soudures produit une force électromotrice mesurée par un potentiomètre.

Des mesures correctes nécessitent un bon contact entre le thermomètre et le sol; il faut éviter les effets parasites dus à la conductivité des supports métalliques ou à l'échauffement par rayonnement des parties des appareils qui sortent du sol. Enfin, la capacité calorifique du thermomètre doit être faible.

1.11 Méthodes d'analyse thermiques :

La thermogravimétrie(TG) :

La thermogravimétrie consiste à mesurer la variation de poids d'un échantillon soumis à un traitement thermique c'est donc une analyse quantitative.

Elle permet d'étudier le phénomène chimique, physique ou physicochimique qui se traduit, sous l'effet de la température et sous atmosphère contrôlée par une variation de poids.

L'analyse thermique différentielle (ATD) :

Permet de l'accéder à la variation de la température d'un échantillon soumis à un traitement thermique.

Elle renseigne sur les affects accompagnant le chauffage de l'échantillon .ceux-ci sont souvent associés à des transferts de masse entre la phase liquide ou solide et la phase gazeux (déshydratation, oxydation) ils peuvent apparaitre aussi sans variation de masse dans le cas des transformations de structure.

Conclusion :

Lorsque la chaleur pénètre dans un corps, son énergie calorifique et sa température augmentent. Le montant de l'augmentation de la température dépend de la taille et de la

Nature de sa matière. Par exemple, le soleil travaille pour chauffer ensemble le sable de la plage et l'eau de mer, mais le sable de la plage chauffe plus vite que l'eau de mer car la chaleur spécifique du sable est faible par rapport à la chaleur pour la qualité de l'eau

De mer.

Le transfert de chaleur est effectué dans différents corps par différents processus, la chaleur du corps solide est transmise par transfert d'énergie cinétique lorsque les particules entrent en collision. Avec l'un l'autre, Le mouvement du fluide dans un liquide ou un gaz est dû à une température différente et est transmis dans le vide par des ondes électromagnétiques

D'autre part, il y a des facteurs qui affectent la distribution de la chaleur qui est l'angle de la lumière du soleil atteignant la terre, la hauteur au-dessus du niveau de la mer, la nature des corps à la surface de la terre, le degré de clarté de l'atmosphère chaque fois que

le pourcentage d'humidité ou la quantité de poussière ou le nombre de nuages augmente, cela signifie donc que l'atmosphère retient le rayonnement, le sol qui atteint son apogée lorsque le temps est clair, la différence de durée de la nuit et du jour affecte la différence de la quantité de chaleur atteignant la terre, pendant la journée la terre reçoit plus de lumière solaire que la nuit ce qui nuit à l'augmentation de la température pendant la journée, l'emplacement par rapport à l'eau comme les zones proches des surfaces l'eau est modérée en été et chaude en hiver.

CHAPITRE 2 :
DESCRIPTION
PHYSIQUE ET
MATHEMATIQUE
DU TRANSFERT
THERMIQUE DANS
UN MILIEU POREUX

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

2.1 Introduction :

Les mécanismes de transfert dans les milieux poreux sont fortement influencés par la configuration des pores et des minéraux, le transfert de chaleur peut impliquer la phase solide et les pores, elle produit essentiellement dans la phase minérale.

Le transfert thermique par la conductivité thermique du matériau dans le milieu poreux résulte du transfert de la proximité par proximité entre les particules du matériau, la majorité du matériaux poreux sont considérés comme homogènes par rapport à la conductivité thermique par contre le flux thermique se fait par conduction thermique ou diffusion thermique avec une diminution de la température du gradient, la convection est un processus similaire à la conduction de la chaleur sauf que le transfert d'énergie est effectué au moyen d'un déformation thermiques des deux côtés des frontières qui favorisent un solide du fluide en mouvement

Un milieu poreux peut se présente généralement sous les deux formes suivantes:

Milieu poreux non consolidé dans lequel la phase solide est formée de grain ou de fibres non soudés entre eux (gravier, sable, billes de verre et acier, limons matériaux divers).

Milieu poreux consolidé dans lequel la phase solide est formée de grain cimentés (roches calcaires, grés, argiles tissus végétaux et animaux). (S.Bories,M.Prat)

La première partie de ce chapitre contient une démonstration de l'équation gouvernant la conduction thermique dans un milieu poreux. Cependant, le transport en milieu poreux se fait par conduction dans la matrice solide et par conduction et convection dans la phase liquide, dans ce contexte la deuxième partie du chapitre est consacré à l'étude de l'équation régissant le transfert thermique par les deux phénomènes suscités.

2.1.1 Transfert de chaleur dans les milieux poreux :

Les facteurs pouvant influencés les propriétés thermiques d'un sol sont :

Porosité

Taille des grains et des pores

Mouvement d'eau

Teneur en eau

Température

Effets volumétrique

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

A. Un pore :

C'est une cavité fermée ou ouverte, elle est classée selon sa dimension : (Etude de la conduction thermique dans les matériaux poreux, département physique, faculté de science exacte, université de Béjaïa).

Diamètre des pores	Classe
< 2 nm	Microporosité
De 2 à 50 nm	méso porosité
> 50 nm	Macroporosité

Tableau 2.1 : Classification de la porosité selon l'IUPAC (KUCHT).

B. La porosité :

Est le paramètre principal décrivant un milieu poreux (K. Sundaravadivelu), elle est définie par le rapport entre le volume occupé par les pores (les vides) et le volume total du milieu :

$$\varphi = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

Elle varie entre 0 (solides pleins) et 1 (volume complètement vide) ne sont pas uniformes dans leur distribution et leur forme à travers la matrice poreuse. Cette uniformité peut avoir un rôle significatif sur l'écoulement et le transfert de chaleur près des frontières (paroi solide ou surface libre).

C. Effets de la porosité :

Les sols consistent en un ensemble de particules solides entourées de vides, les particules solides sont des grains de différents minéraux alors que les vides peuvent être remplis d'eau, d'air ou d'air et d'eau en proportions variables. La structure physique du sol est un paramètre important, car l'arrangement des particules solides a un impact sur la direction de propagation du flux de chaleur. En effet, le nombre et la nature des contacts entre particules forment un ensemble de facteurs ayant une influence sur la conductivité thermique effective du sol.

D. Effet de l'eau :

L'eau a un effet complexe mais important sur les transferts de chaleur au sein du sol dans lequel il se trouve. C'est le constituant qui dépend le plus de la température (Winterkorn et al.

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

(1946)), et il peut se trouver sous ses trois formes liquide, solide et gazeux. L'importance de l'eau sur les propriétés thermiques des sols est à l'étude depuis plusieurs années ; à

Commencer par les travaux de Patten(1909), l'influence de l'eau se manifeste surtout lorsque le sol subit un gradient thermique .en plus de la géométrie issue de l'énergie de la terre, Al Nakshabandi & Kohnke (1965) montrent que l'eau a un gros impact sur la conductivité thermique effective d'un sol.

2.1.2 Les formes de l'eau dans le sol : (propriétés mécanique et physiques des sols)

L'eau peut se trouver dans plusieurs états à l'intérieur d'un sol, ces états se distinguent essentiellement par l'intensité des forces qui lient l'eau les grains.

On distingue classiquement :

#l'eau de constitution qui entre dans la composition chimique /minéralogique de certains minéraux (essentiellement les argiles) ;

#l'eau liée à la surface des grains, qui est solidaire des grains ;

#l'eau capillaire qui est retenue par les pores les plus fins du sol au-dessus du niveau de la nappe : la zone de remontée capillaire peut être complètement ou partiellement saturée ;

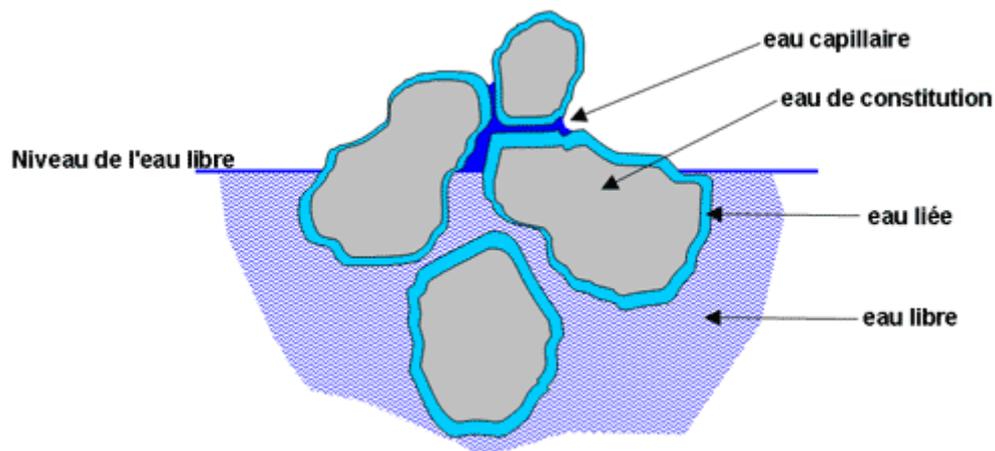


Figure2.1 : les formes de l'eau dans le sol.

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

2.1.2.1 Conductivité thermique de quelques types de sols en fonction de la teneur en eau :

La conductivité d'un sol dépend non seulement de sa composition et de sa teneur en matières minérales et organiques, mais également de l'arrangement et de la forme de ses particules constitutives des liaisons entre ces particules, ainsi que de sa teneur en air et teneur en eau. La diminution de la teneur en matière organique fait baisser à la fois la capacité thermique de sol et sa conductivité thermique. La conductivité thermique s'accroît aussi rapidement quand l'humidité augmente donc la conductivité thermique augmente aussi. (Physique du sol- André Musy, Marc Soutter)

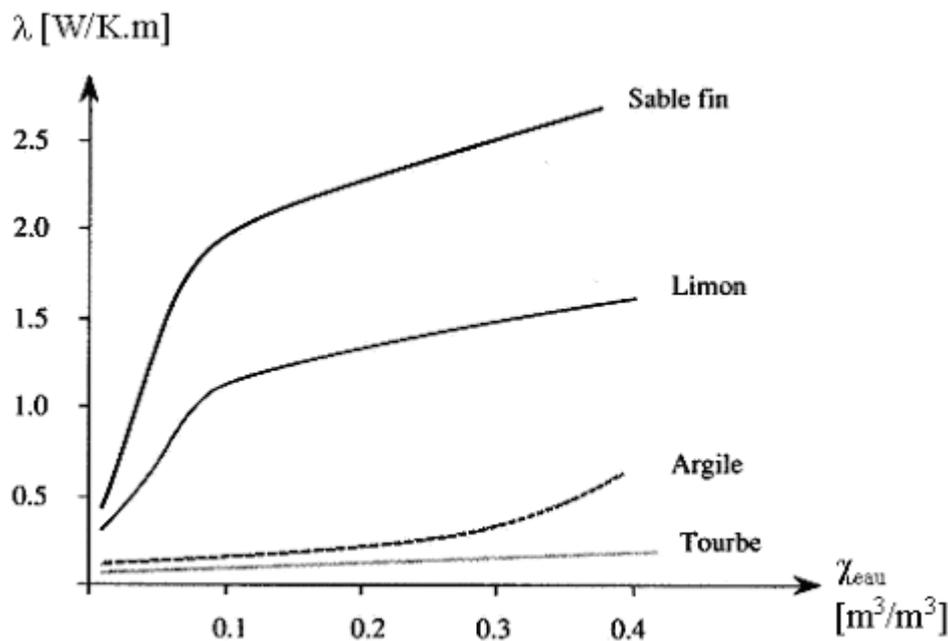


Figure 2.2: conductivité thermique de quelques types de sols en fonction de la teneur en eau.

2.2 CONDUCTION DE LA CHALEUR DANS UN MILIEU POREUX :

La complexité de l'analyse de la conduction thermique à travers un milieu poreux est sa modélisation structurelle, c'est parce que le volume élémentaire représentatif est tridimensionnel et a des structures compliquées qui entrent très fortement dans différents milieux poreux, car la conductivité thermique de la phase solide est généralement différente de celle de celle du fluide dont la manière dont le solide est interconnecté influence significativement la conduction, même lorsqu'il s'agit de particules non consolidées, le contact entre les particules joue un rôle important. (Principles of Heat Transfer in Porous Media) De Maasoud Kaviany).

Le transfert thermique conductif dans les matériaux poreux résulte de la transmission de proche en proche de la chaleur par contact entre molécules d'une même ou de différentes

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

phases. Le flux thermique φ est donc proportionnel essentiellement au gradient de température local à travers la conductivité thermique λ de la phase considérée.

Du point de vue du transfert par conduction, la majorité des matériaux poreux sont considérés comme des matériaux homogènes.

2.2.1 L'équation de Transfert de chaleur par conduction :

Le flux de chaleur sensible transféré par conduction ou diffusion thermique est ainsi proportionnel à un gradient de température décroissant, soit selon la loi de Fourier (C. Daubigny, Etude expérimentale du transfert de masse en milieu poreux).

$$\vec{q}_F = -K_F \vec{\text{grad}}T \quad (2.1)$$

L'équation de Fourier sous l'influence d'un gradient de température $\frac{dT}{dx}$ est telle que:

$$\frac{dQ}{dt} = -K_F S \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

L'équation de Fourier combine cette équation avec le principe de conservation de la chaleur: Soit un volume élémentaire de surface S d'épaisseur dz , la quantité de chaleur entrant pendant le temps dt :

$$dQ_z = -K_F S \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_z dt \quad (2.3)$$

Sortant pendant le même temps dt :

$$dQ_{z+dz} = -K_F S \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z+dz} dt \quad (2.4)$$

Avec:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z+dz} = \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dz \quad (2.5)$$

La quantité de chaleur qui reste dans l'élément est:

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

$$dQ = dQ_z - dQ_{z+dz} = -K_F S \left[\left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_z - \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z+dz} \right] dt \quad (2.6)$$

$$dQ = K_F S \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dz dt \quad (2.7)$$

$$dQ = (C_v S dz) \frac{\partial T}{\partial t} dt \quad (2.8)$$

$$K_F \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = C_v \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.9)$$

Au un homogène isotrope est la suivante:

$$K_F \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = C_v \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.10)$$

Soit :

$$\frac{K_F}{C_v} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.11)$$

2.2.2 Transfert thermique dans un milieu poreux :

- L'équation d'énergie :

On concentre sur l'équation qui exprime la première loi de la thermodynamique dans un Milieu poreux isotopique où les effets radiatifs, la dissipation visqueuse et le travail

D'échange de pression sont négligeables avec un équilibre thermique local : $T_s = T_f = T$. On

Suppose aussi que la conduction dans les phases solide et fluide se produit en parallèle, et

La conductivité thermique du milieu est la moyenne arithmétique des conductivités des

Phases solide et fluide. Dans notre cas, le milieu poreux est isotrope donc la conductivité

Est un scalaire

L'équation d'équilibre énergétique suivante est satisfaite grâce à la conservation d'énergie (S. Rao ; 1982).

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

$$E_e + E_g = E_s + E_{ie} \quad (2.12).$$

Où :

E_e : L'énergie entrante dans le système ;

E_g : L'énergie générée à l'intérieure du système ;

E_s : L'énergie sortante du système ;

E_{ie} : Changement interne d'énergie du système

A. L'énergie générée dans un corps :

Le flux de chaleur généré E_g est gouverné par l'équation suivante (S. Rao, 1982) :

$$E_g = \dot{q}V \quad (2.13)$$

E_g : Flux d'énergie généré à l'intérieur du corps ;

\dot{q} : Quantité d'énergie générée à l'intérieur du corps par unité du temps et de volume ;

V : Volume du corps ;

B. L'énergie réservée à l'intérieur d'un corps :

$$E_{ie} = \rho \cdot C_p V \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.14)$$

E_{ie} : Le flux d'énergie stockée dans le corps.

ρ : La masse volumique du matériau constituant le corps.

C_p : Chaleur spécifique du corps par unité de masse.

T : Température du corps.

t : Le temps.

V : Volume du corps.

2.3.1 L'équation générale de transfert de chaleur par conduction :

La méthode consiste à établir le bilan thermique d'une quantité de matière à l'état solide, contenue, Dans un volume infinitésimal dv , délimité par une surface des, appartenant à un

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

milieu en trois Dimensions, Les grandeurs thermo physiques sont supposées indépendantes de l'espace et de la température.

Nous supposons en outre que le volume dv contient des sources internes dégageant de la chaleur, Avec une puissance volumique q (par effet Joule par exemple).

Si le phénomène considéré est instationnaire, cela signifie que l'échange de chaleur à travers la Surface des provoque une variation de la quantité de chaleur accumulée dans le volume dv

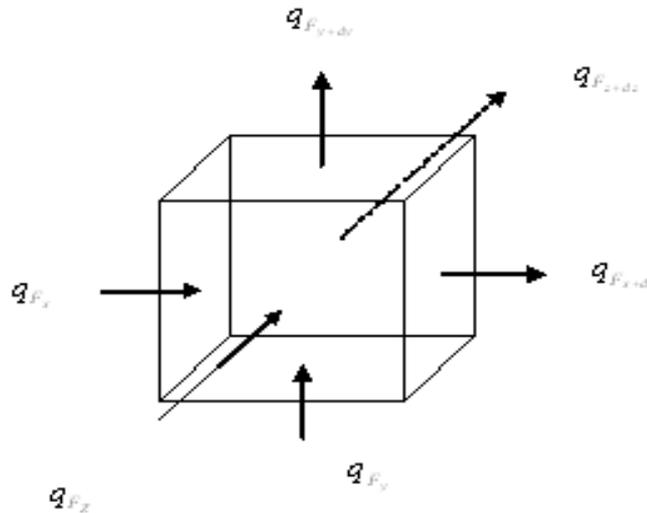


Figure 2.3 : Un élément de volume en coordonnées cartésiennes.

L'équation (2.12) peut être traduite dans le cas générale par:

$$(q_{F_x} + q_{F_y} + q_{F_z})dt + \dot{q}dt = (q_{F_{x+dx}} + q_{F_{y+dy}} + q_{F_{z+dz}})dt + \beta dT \quad (2.15).$$

q_{F_x} : La densité de flux de chaleur entrante à travers la face de position x .

$$q_{F_x} = -K_{F_x} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.16)$$

Avec :

K_{F_x} : La conductivité thermique du matériau suivant x .

$q_{F_{x+dx}}$: La densité de flux de chaleur sortante par la face de position $x+dx$

$$q_{F_{x+dx}} = q_{F_x} + \frac{\partial q_{F_x}}{\partial x} dx \quad (2.17).$$

$$q_{F_{x+dx}} = -K_{F_x} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{F_x} \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \quad (2.18).$$

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

De même suivant y on obtient :

$$q_{F_y} = -K_{F_y} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.19).$$

$$q_{F_{y+dy}} = -K_{F_y} \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} (K_{F_y} \frac{\partial T}{\partial y}) dy \quad (2.20).$$

D'une façon similaire dans la direction z on peut écrire :

$$q_{F_z} = -K_{F_z} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.21).$$

$$q_{F_{z+dz}} = -K_{F_z} \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} (K_{F_z} \frac{\partial T}{\partial z}) dz \quad (2.22).$$

En remplaçant les équations (2.16), (2.18), (2.19), (2.20), (2.21), et (2.22) dans l'équation (2.15) on obtient :

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{F_x} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{F_y} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{F_z} \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} = \beta \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.23).$$

L'équation (2.23) est l'équation différentielle gouvernant la conduction de la chaleur dans un élément de volume.

$$K_{F_x} = K_{F_y} = K_{F_z} = C^{ste}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{K_F} = \frac{\beta}{K_F} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.24)$$

2.3.1.1 L'équation différentielle gouvernant la conduction de la chaleur dans un corps tridimensionnel en coordonnées cylindrique :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \Phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{K_F} = \frac{\beta}{K_F} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.25).$$

Sachant que :

$$x = r \cos \Phi;$$

$$y = r \sin \Phi$$

$$z = z$$

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

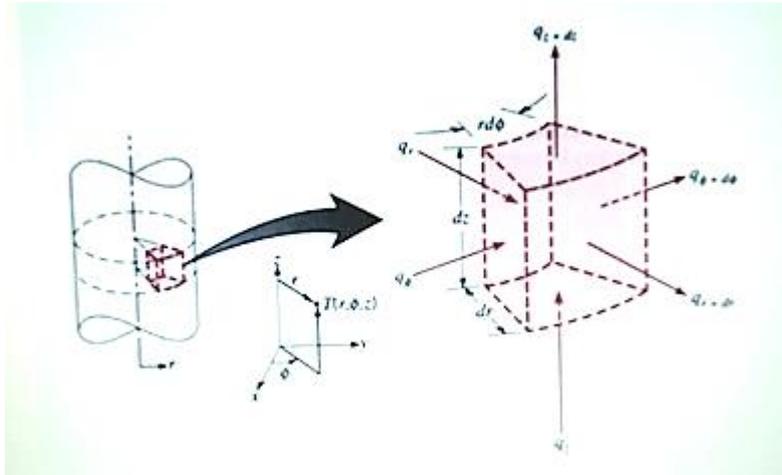


Figure 2. 4 : Un élément de volume d'un corps tridimensionnel en coordonnées cylindriques.

2.3.1.2 L'équation différentielle gouvernant la conduction de chaleur dans un corps tridimensionnel en coordonnées sphériques :

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \Phi^2} + \frac{\dot{q}}{K_F} = \frac{\beta}{K_F} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.26)$$

Sachant que :

$$x = r \sin \theta \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta \sin \varphi$$

$$z = r \cos \theta$$

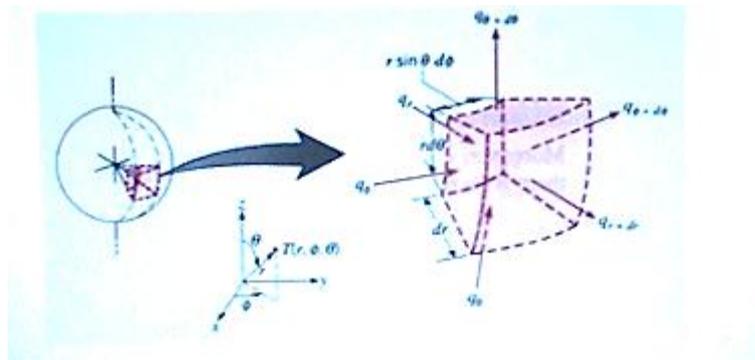


Figure 2.5 : Un élément de volume d'un corps tridimensionnel en coordonnées sphériques.

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

- Conditions aux limites :

Pour déterminer la distribution de T dans un milieu, il faut spécifier les conditions aux limites du domaine de calcul (du matériau). De plus, lorsque le régime est instationnaire, il faut spécifier la condition initiale dans le temps. Condition du 1^{ère} type ou de Dirichlet : T imposée. Si le corps est thermiquement isolé, le flux est nul en tout point de sa surface. On dira qu'il s'agit d'un corps adiabatique. Condition du 3^{ème} type : transfert convectif imposé (h et T)

2.3.2 EQUATION GENERALE DE TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX (CONDUCTION ET CONVECTION) :

2.3.2.1 Transfert de chaleur par convection :

Dans un milieu poreux (sol), la convection thermique est un processus similaire à la conduction thermique, à ceci près que le transfert d'énergie d'agitation thermique s'effectue dans ce cas entre les molécules situées de part et d'autre de la frontière séparant un solide d'un fluide en mouvement. Le transfert ne s'effectue ainsi plus seulement par agitation moléculaire, mais également par déplacement de masse du fluide. Il faut donc associer au problème purement physique du transfert de la chaleur, un problème de mécanique des fluides (André Musy et Marc Soutter ; 1991).

a. Convection forcée :

Le cas de la convection forcée est rencontré très souvent en pratique dans les échangeurs de chaleur de tous genres. Ainsi, par exemple pour refroidissement de centrales nucléaires, la récupération de la chaleur dans les collecteurs solaires, la circulation des liquides cryogéniques dans les systèmes de refroidissement de machines thermiques.

b. Convection naturelle :

La convection naturelle est la forme d'échange convectif la plus souvent observée. Les transferts par convection naturelle résultent simplement du mouvement du fluide provoqué par les différences de densité dues aux variations spatiales de température. Le flux de chaleur sensible transféré par convection thermique forcée \vec{q}_{V_F} s'écrit dès lors comme le produit de la densité de chaleur interstitielle et du flux de Darcy :

$$\vec{q}_{V_F} = \delta T_i \vec{V} \quad (2.27)$$

La convection naturelle peut être observée à la surface d'un solide immergé dans un fluide d'extension infinie ou dans un espace confiné. Comme pour la convection forcée, il existe en convection naturelle une couche limite. En convection naturelle les échanges sont nettement

DESCRIPTION PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS UN MILIEU POREUX

moins intenses qu'en convection forcée. La convection naturelle explique les mouvements des grandes masses d'air autour de la terre, actions de vents formations des nuages et formations de courants océaniques.

Le flux de chaleur sensible transféré par convection naturelle peut donc s'exprimer de la manière suivante, D_T étant la diffusivité moléculaire de thermo diffusion :

$$\vec{q}_{V_N} = -\rho_w C_{PW} D_T \vec{\text{grad}}T \quad (2.28)$$

d Flux de chaleur sensible total :

La loi dynamique exprimant le flux total de chaleur sensible résulte ainsi de la somme des flux transférés par conduction et convection thermique, soit, dans le cas d'un sol

Saturé et en négligeant les transferts par thermo diffusion :

$$\vec{q}_T = -K_F \vec{\text{grad}}T + \delta T_i \vec{V} \quad (2.29)$$

2.3.2.2 L'équation de transfert de chaleur par conduction et convection :

L'équation générale décrivant les échanges de chaleur sensible dans un sol découle de la combinaison de la loi dynamique et du principe de continuité. Elle peut être formulée de diverses manières, dont la plus simple est la suivante, dans le cas d'un sol saturé :

$$\text{div}(-K_F \vec{\text{grad}}T + \delta T_i \vec{V}) = -\frac{\partial \delta T}{\partial t} \quad (2.30)$$

Les transferts couplés d'eau et de chaleur s'expriment dès lors par l'application simultanée de ces deux expressions. Toutefois, comme les deux processus que traduisent ces expressions exercent une influence l'un sur l'autre, il faudrait, pour décrire complètement le phénomène, tenir compte de cette interaction. (Gras.R, (1988)).

Conclusion :

De ce chapitre, nous concluons que le transfert thermique dans le milieu poreux est soumis aux caractéristiques du milieu telles que la porosité, le mouvement et le trajet de l'eau, le volume des grains et la porosité

Le transfert thermique dans le milieu poreux se fait par les deux mécanismes que nous avons connus précédemment. La conductivité thermique et le chargement thermique peuvent être exprimés dans des équations que nous obtenons en développant des hypothèses et basées sur des lois de base bien connues qui aident ces derniers à obtenir des données numériques précises et donc d'excellentes courbes.

CHAPITRE 3 :
LOGICIEL DE
SIMULATION ANSYS

3.1. Introduction :

ANSYS est un éditeur de logiciels spécialisé en simulation numérique l'entreprise a son siège à Canonsburg en Pennsylvanie aux états Unis .Ansys développe, promeut et assure le support de ses logiciels de simulation servant à prédire le comportement d'un produit dans son environnement. Ses produits majeurs sont des logiciels qui mettent en œuvre la méthode des éléments finis, afin de résoudre des modèles préalablement discrétisés. La société possède de nombreuses filiales à travers le monde, notamment en Europe et en Asie.

Créé en 1970 aux états unis est le numéro un mondial des logiciels de modélisation et simulation.

Les utilisateurs ANSYS sont de domaines industriels différents telles que la construction de machines, les secteurs de l'énergie, l'automobile, le ferroviaire, l'aérospatial, le médicale, la microtechnique, la micro-électronique ou encore les biens de consommation.

CADFEM est le centre de compétences et le partenaire ANSYS en Europe et en Afrique.

L'analyse par éléments finis est un moyen de simuler les conditions de chargement sur un modèle et de déterminer le comportement d'un modèle soumis à des sollicitations.

ANSYS est un logiciel de FEA complet, utilisé par des ingénieurs du monde entier dans pratiquement tous les domaines d'ingénierie :

- Structurale
- Thermique
- Fluide
- Electrique
- Electromagnétique

L'analyse thermique est utilisée pour déterminer la répartition de la température d'un corps. D'autres grandeurs sont intéressantes incluant la quantité de chaleur échangée, les gradients et les flux thermiques.

Les trois modes primaires de transfert de chaleur peuvent être simulés : conduction, convection, rayonnement.

Analyse stationnaire :

Les effets dépendant du temps sont ignorés.

Analyse transitoire :

Déterminer la température, etc. ...en fonction du temps.

Permet la simulation des changements de phase (fonte et solidification).

3.1.1 Principaux produits :

ANSYS structural :

Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures ses principales capacités sont :

L'analyse statique

L'analyse modale

L'analyse harmonique

L'analyse temporelle

La gestion de différentes situations non linéaire

3.1.2 Les localisations aux états Unis :

Outre à Canonsburg (siège), la société est localisée dans les villes suivantes : Ann Arbor , Austin , Beaverton , Berkeley , Bloomington , Boulder , Brookfield , Burlington , Evanston , Houston , Irvine , Lebanon , Orlando ,Pittsburgh , Providence et San Jose .

3.1.3 Les filiales :

Ansys possède des filiales dans le monde entier , au Canada ; en Asie (Chine , Corée du Sud , Inde , Japon , Singapour et Taiwan) et en Europe , notamment en France ou la société Ansys France SAS est localisée sur trois sites Montigny le Bretonneau, Villeurbanne (centre de développement , anciennement CADO SA) Labège et Toulon (depuis le rachat d'Optis en 2018).

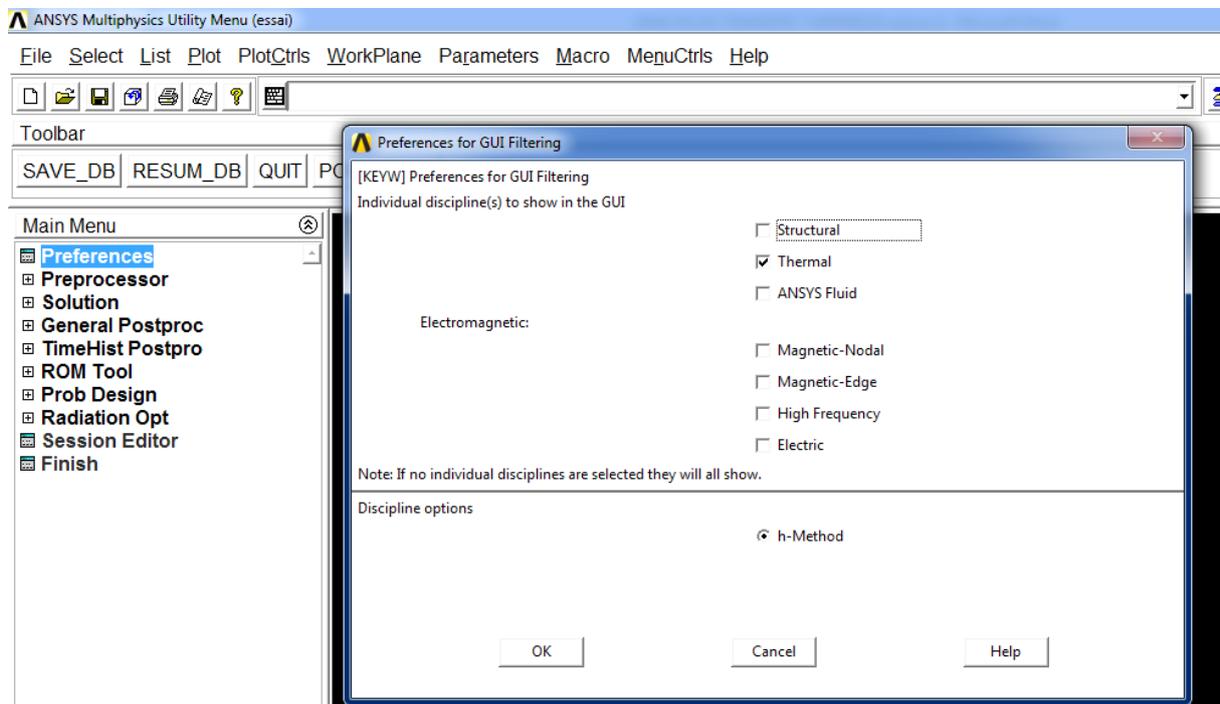
Pour mener notre étude par modélisation numérique on utilise logiciel numérique Ansys qui est l'un des codes de calcul :

3.2 MODILISATION ANSYS

1. Preferences

Thermal

Ok



2. Preprocessor

Element type

Add/edit/delete

LOGICIEL DE SIMULATION ANSYS

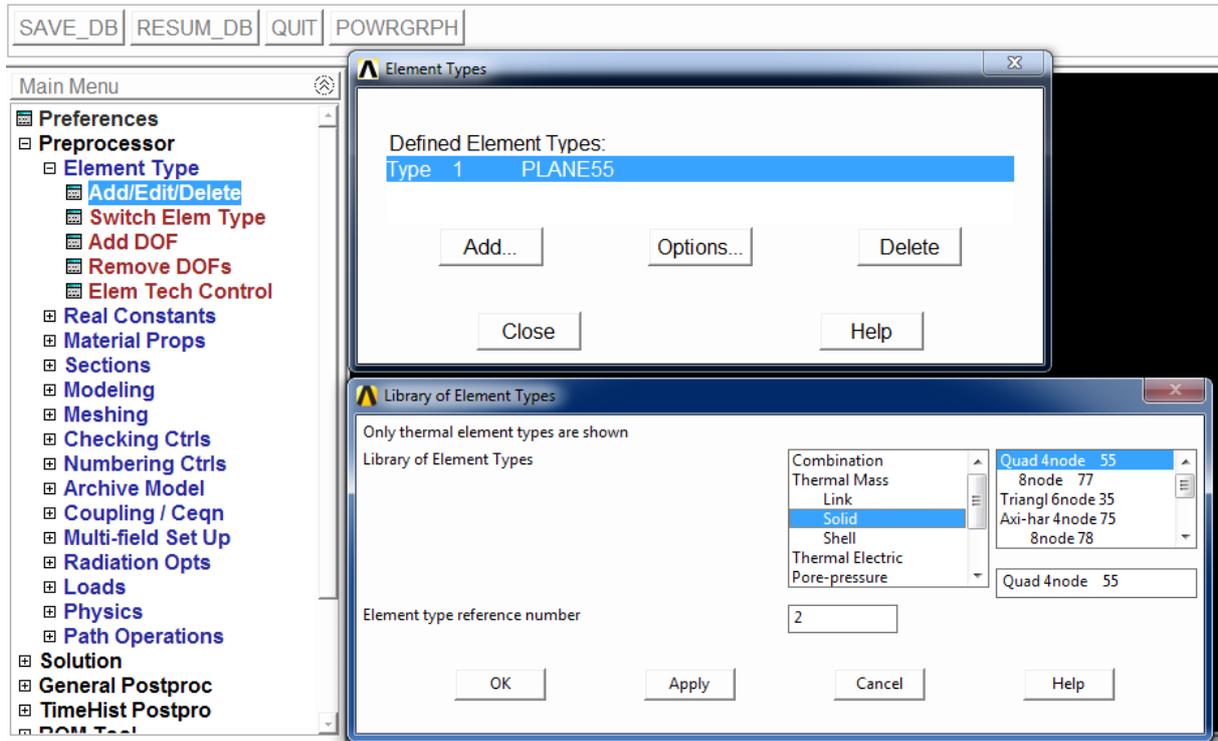
Add

Solide

4node55

Ok

Close



3. Modeling

Create

Areas

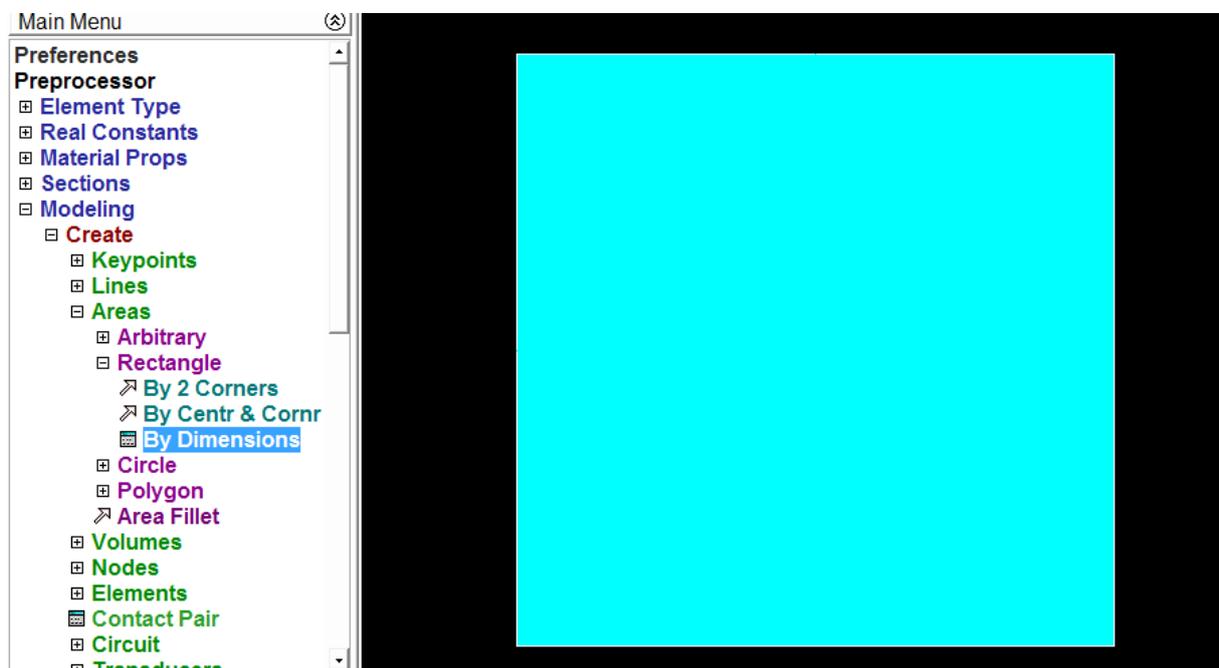
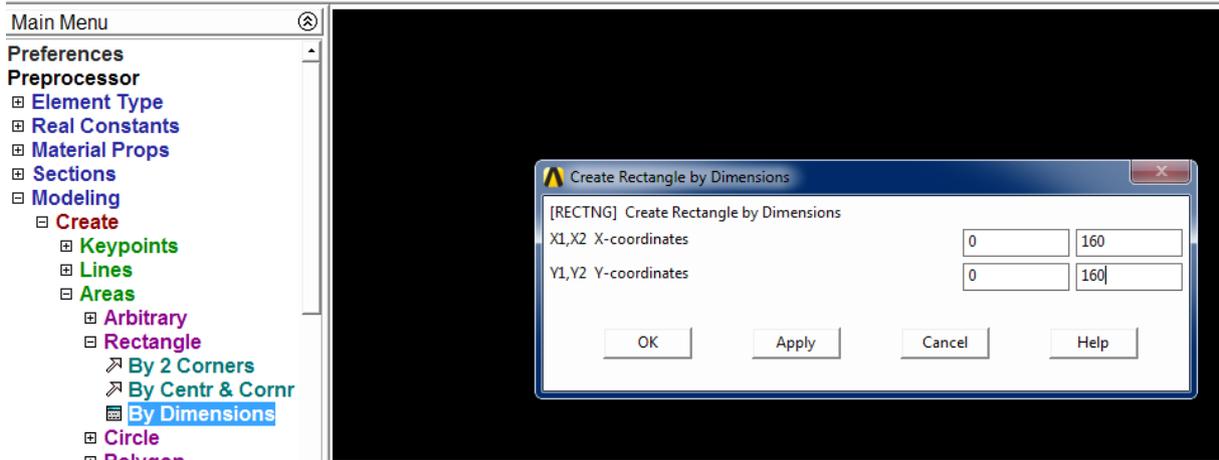
0	1.6
0.8	0.8

Rectangle

By dimension

Ok

LOGICIEL DE SIMULATION ANSYS



4. Modeling

Create

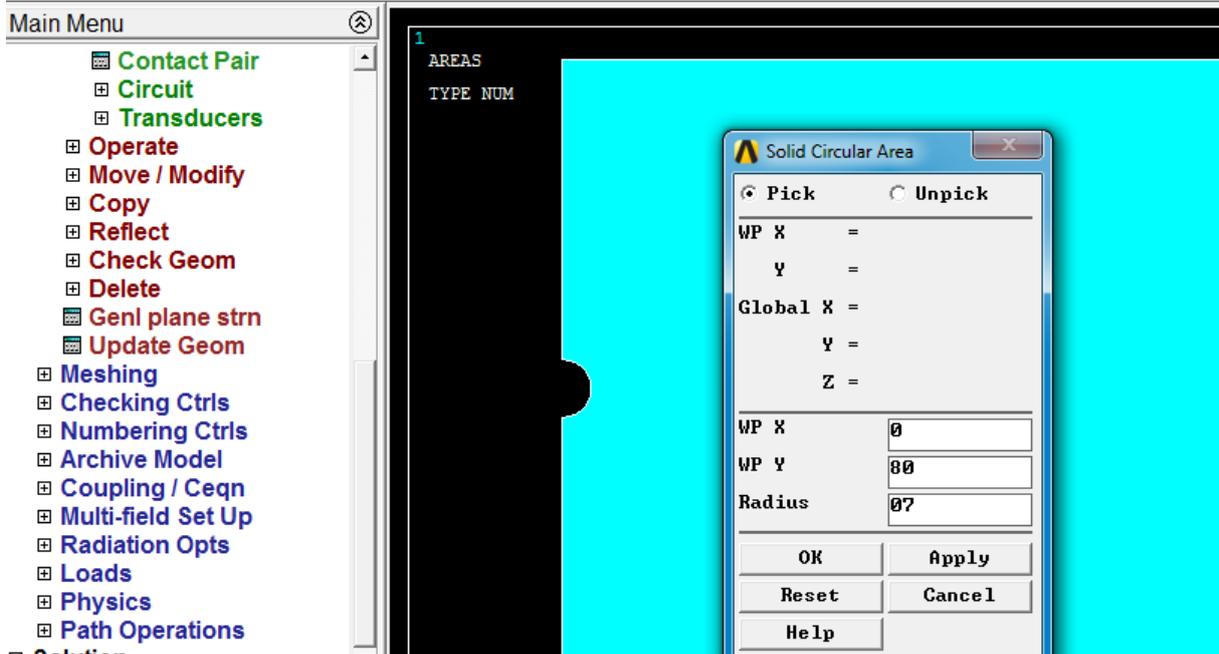
Areas

Circle

X	0
Y	0
R	0.14

Solide circle

LOGICIEL DE SIMULATION ANSYS

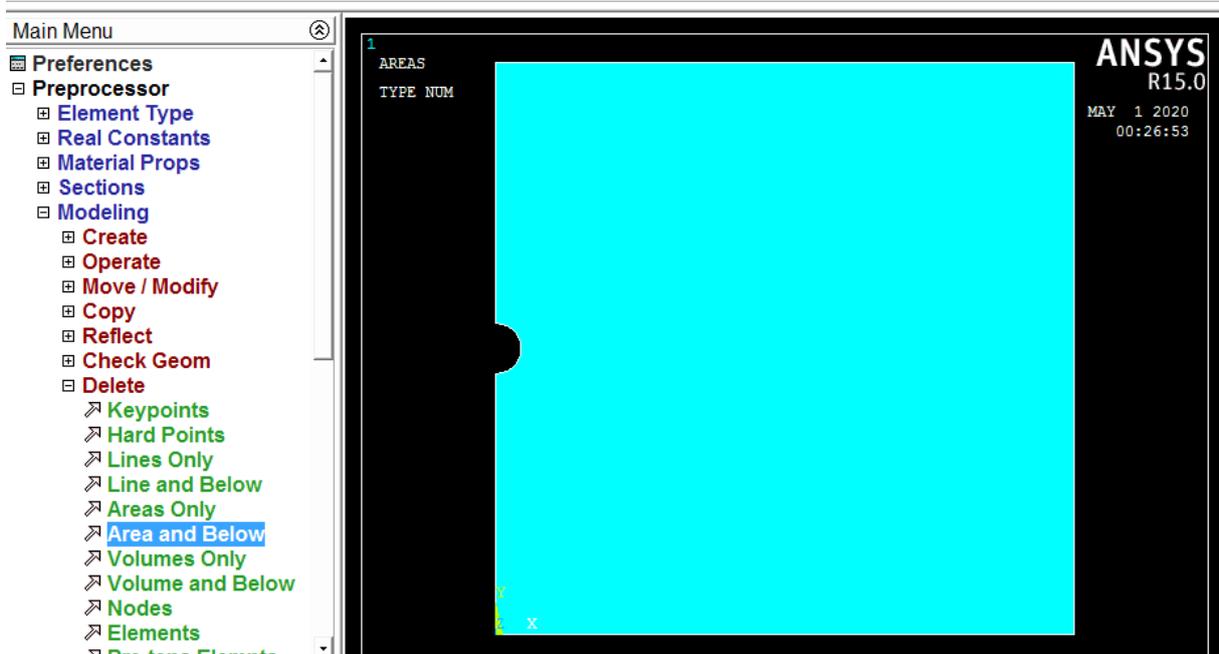


6. Modeling

Delete

Area and below

Ok



7. Material props

Material models

Thermal

Conductivité

Isotropic

LOGICIEL DE SIMULATION ANSYS

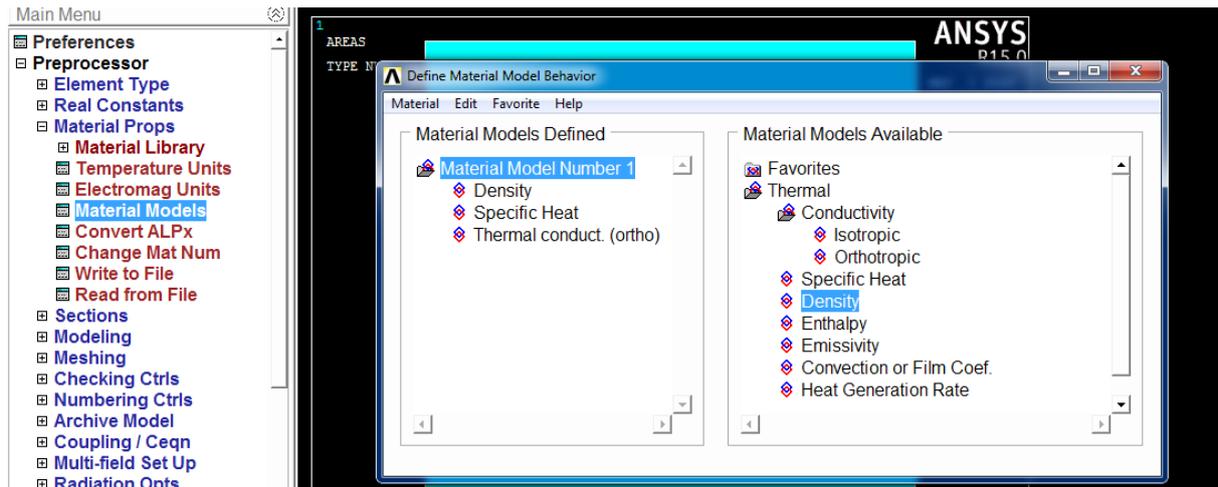
Conductivité Isotropic	Specific heat	Density
500	44	265

500

Specific heat 44

Density 265

Ok



8. Preprocessor

Loads

Define loads

Apply

Thermal

Temperature

On lines temp 03

On lines temp -02

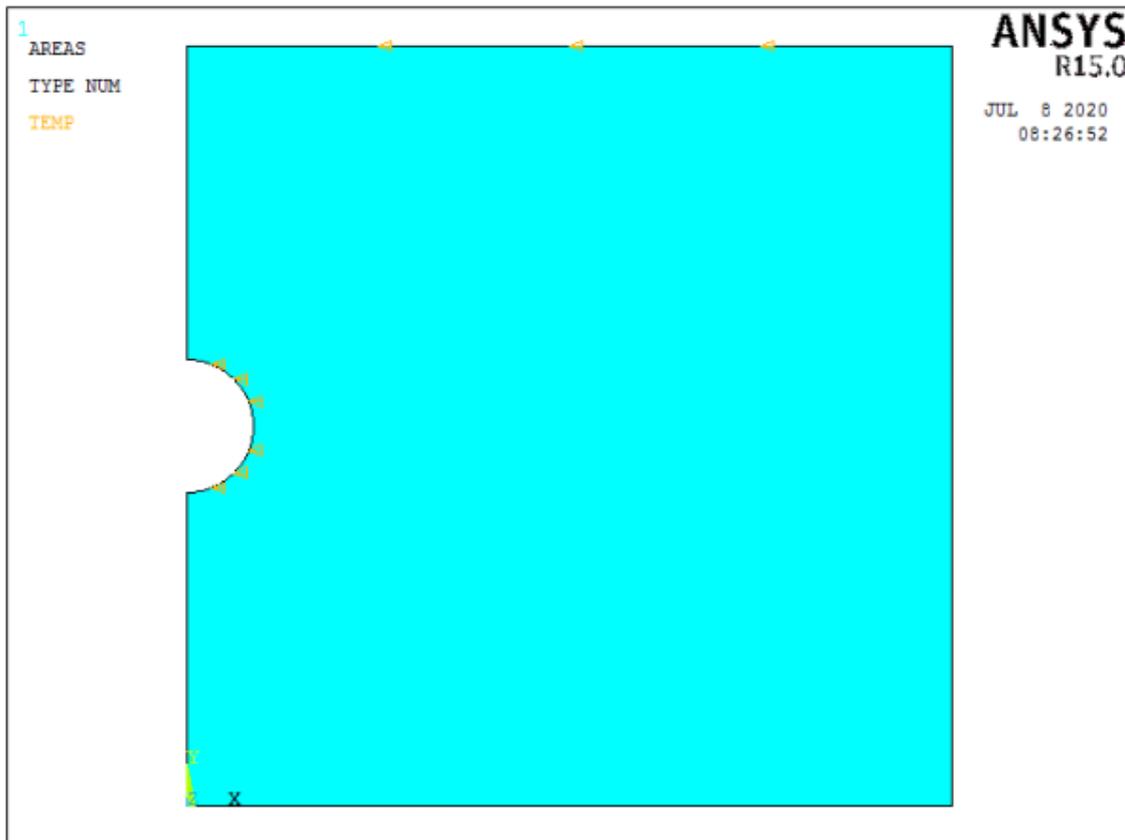
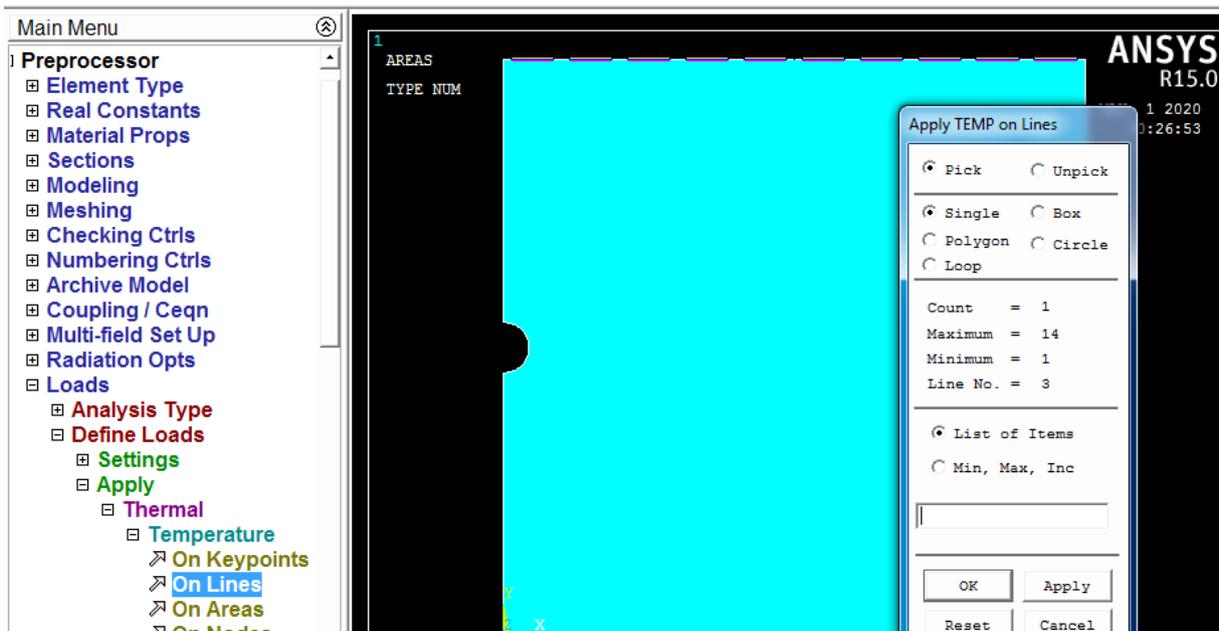


Schéma de temperature



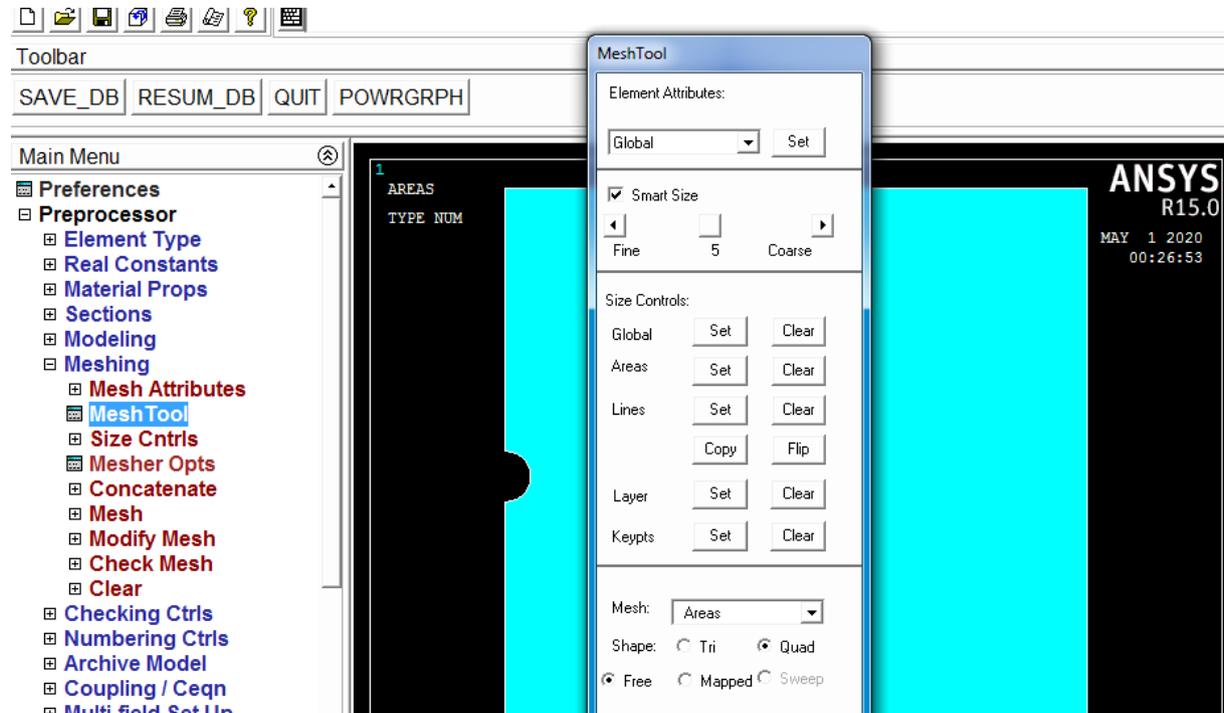
9. Meshing

Mesh tool

Global set

1 planess ok

Mahes ok



10. Solution

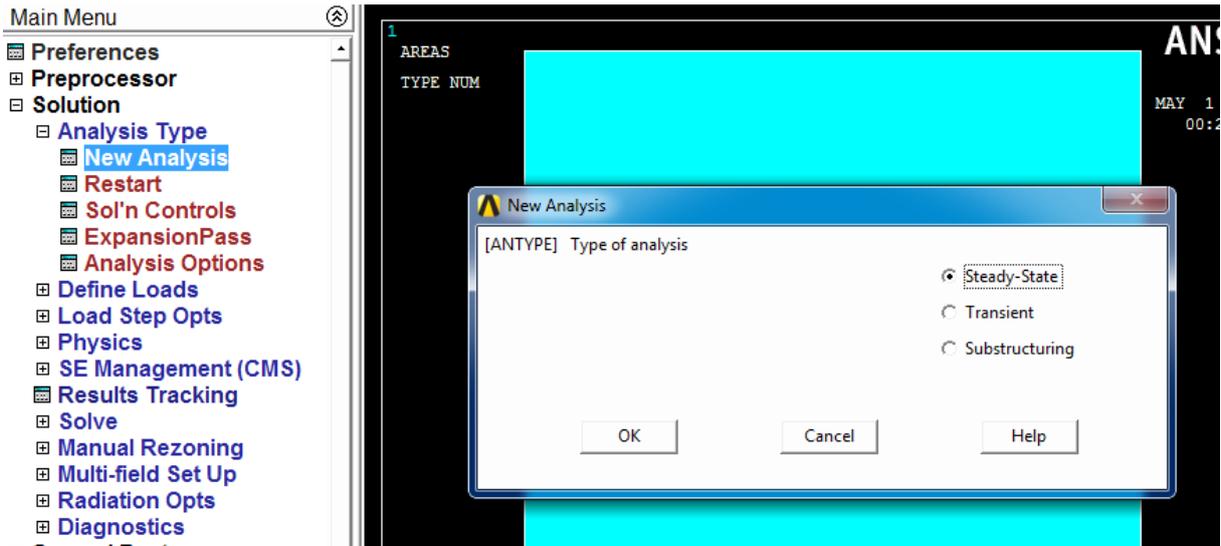
Analysis type

New analysis

Steady state ok

Sol n controls ok

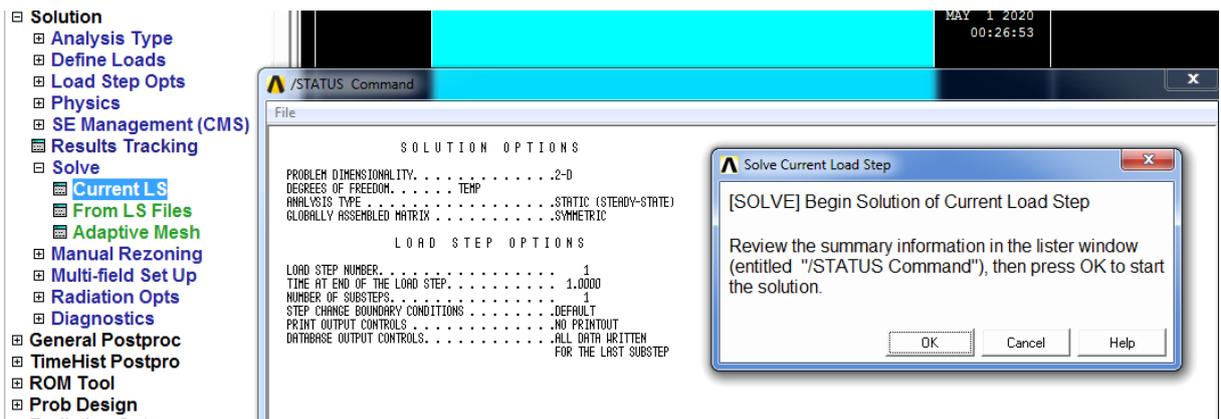
LOGICIEL DE SIMULATION ANSYS



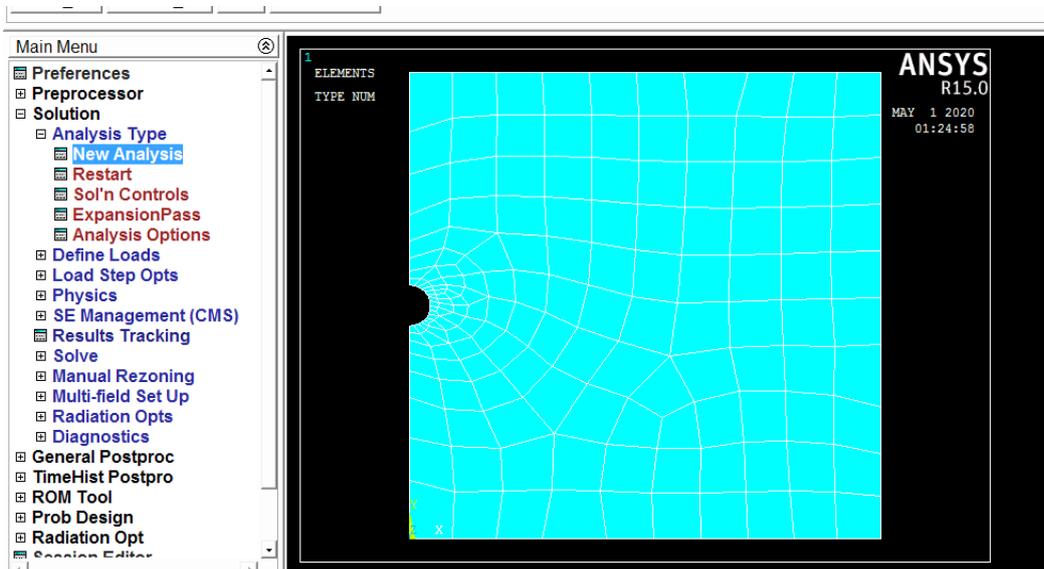
11. Solution

Solve

Current Is ok



J'ai obtenu cette résultats.



12. General posture

Plot résultats

Contour plot

Nodd solu DOF solution

Nodal température

Path questions

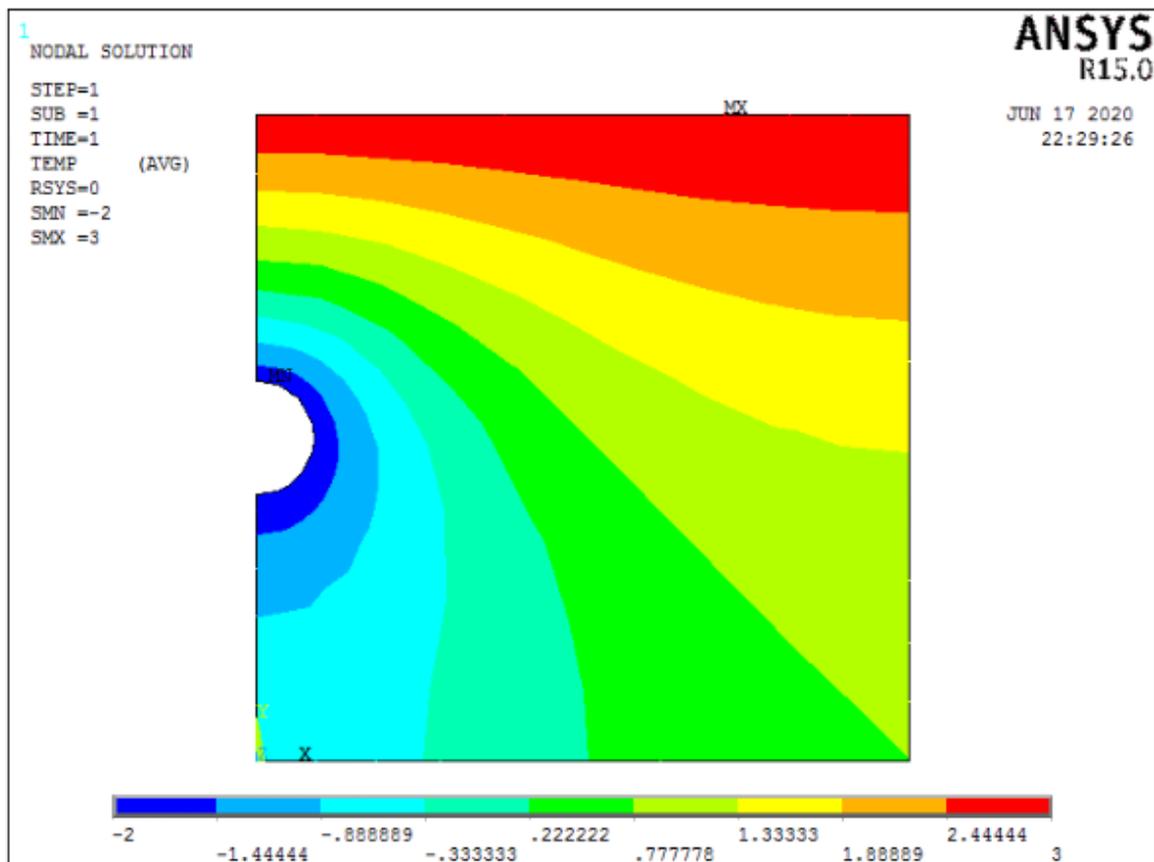
Plot

Elements

Define path

By nodesOk path 1

Ok



Conclusion :

Logiciel Ansys base sur la méthode des Element finis, comprend plusieurs composantes chaque composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquat (type des éléments, conditions aux limites)

Dans notre étude analytique on à utiliser module thermal qui permet de traiter la majorité des transferts de chaleur, on trouve dans le manuel d'aider de Ansys toutes les instructions qui permettant son exploitation à travers son interface utilis taire graphique ainsi que toute les documents nécessaire de nombreux processus de calcul sont disponible dans ce code et chaque processus est une sorte d'ensemble de fonctions qui effectuent une tache spécifique par exemple dans le préprocesseur général Preprocessor on construit le modèle , le processus solution dans lequel on applique les conditions initiales et aux limites le processus post Processus permet d'exploiter les résultats obtenus de différentes manières (courbes, tableaux).

*Chapitre 4 : Analyse
du transfert thermique
autour d'un pipeline
par méthode des
éléments finis.*

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

4.1 Introduction :

Les premiers pipelines c'est d'aqueducs pour la collecte et la distribution d'eau potable et d'irrigation, et avec le début de la révolution industrielle utilise les pipelines pour l'exploitation du pétrole et du gaz, cette dernier est affecté par la température.

Donc ce chapitre étudie l'influence du diamètre du pipeline sur quelques caractéristiques du transfert thermique telles que la température, le gradient et le flux thermique, Cette analyse contient l'application du code Temps/w à l'étude du transfert thermique en condition bidimensionnelles pour le cas d'un pipeline peu profond.

Les premiers calculs sont réalisés en considérant le régime permanent du transfert thermique, tandis qu'en second lieu la modélisation en régime transitoire a permis d'étudier l'évolution du phénomène dans le temps.

4.2 Analyse du transfert thermique en régime permanent :

On définit un transfert thermique en régime permanent (ou stationnaire) quand les températures ne dépendent pas du temps, la température se traduit par le mouvement désordonné des atomes (translation, rotations vibrations...) que l'on appelle couramment agitation thermique, plus la température élevée et plus cette agitation est importante.

Une zone carrée de la cavité souterraine de $(1.6 \times 1.6 \text{ m})$ occupe par présence d'une ouverture qui est un pipeline, la température de l'ouverture du pipeline est -2°C encastrée dans le sol et $+3^\circ\text{C}$ température pour la surface externe de la forme carrée de la cavité souterraine, ceci est indiqué dans la figure (4.1).

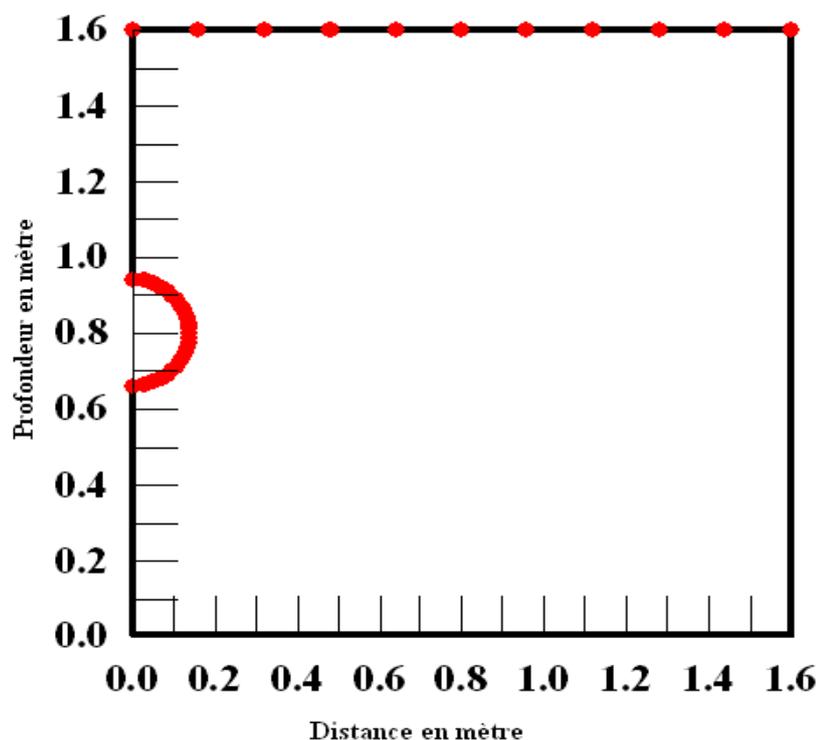


Figure 4.1 : Géométrie du problème et conditions aux limites.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Les courbes de la teneur en eau liquide et de la conductivité thermique du sol sont représentées respectivement sous les deux formes suivantes, La teneur en eau volumique du sol vaut $\Theta = 0,377$ alors que sa capacité thermique volumique est

$$C_v = 0,157 \text{ [MJ/(m}^3 \cdot \text{°C)]}$$

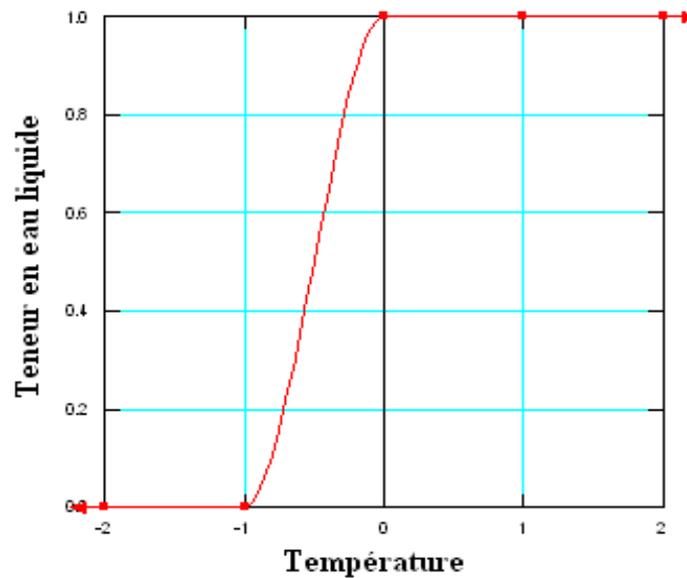


Figure 4.2 : Fonction de la teneur en eau liquide.

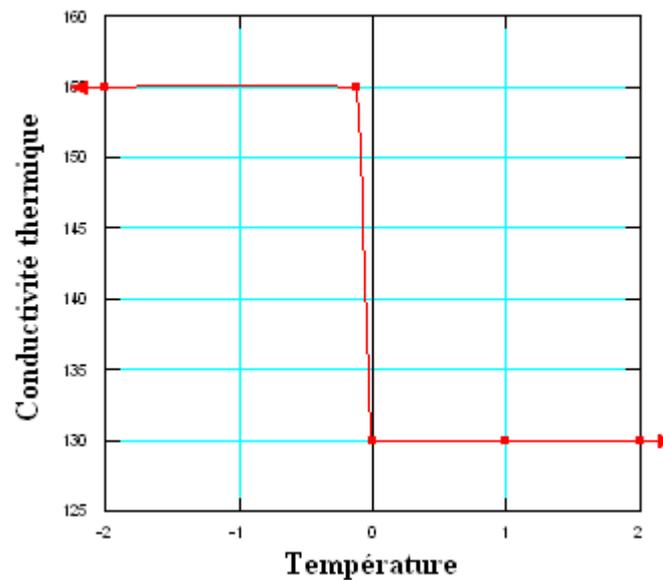


Figure 4.3 : Fonction de la conductivité thermique.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

a. Le maillage :

La modélisation géométrique d'une distribution thermique dans l'exemple étudié est représentée sur la figure (4.1) sur deux axes horizontale et verticale, les caractéristiques numériques sont résumées dans tableau (4.1).

Nombre de nœuds	174
Nombre des éléments	144
Type d'élément	Quadrilatérale à 04 nœuds

Tableau IV.1 : Caractéristiques numériques du maillage.

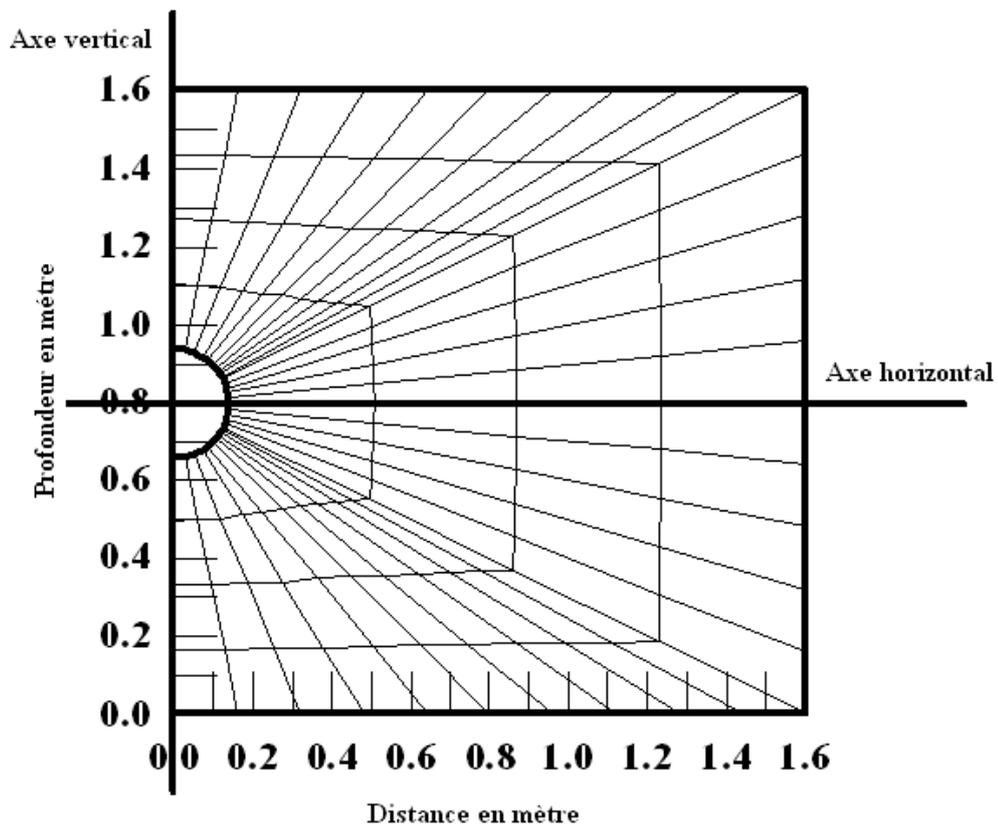


Figure 4.4 : Maillage adopté.

b. Développement des travaux :

L'utilisation du code temps/w le but principal de celui-ci est analyser les différentes caractéristiques thermique du milieu, l'influence du rayon sur ces caractéristiques.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Cette étude dans régime permanent est réalisée d'une part sur deux axes (horizontale et verticale), d'autre part sur le périmètre de l'ouverture.

4.3 Variation de température :

a) Profil de la température pour $R=0,14m$:

Il est représenté dans la zone précédemment étudiée, les distributions des températures dans différentes diagonales du pipeline, la concentration des températures dans la zone périphérique de l'ouverture, plus le rayon du pipeline est petit plus la concentration des températures distribuées est élevée, je veux dire il existe une relation inverse qui semble avoir un rayon qui affecte le processus de distribution de la chaleur, les distributions sont représenté dans les figures suivantes 4.5, 4.6 .

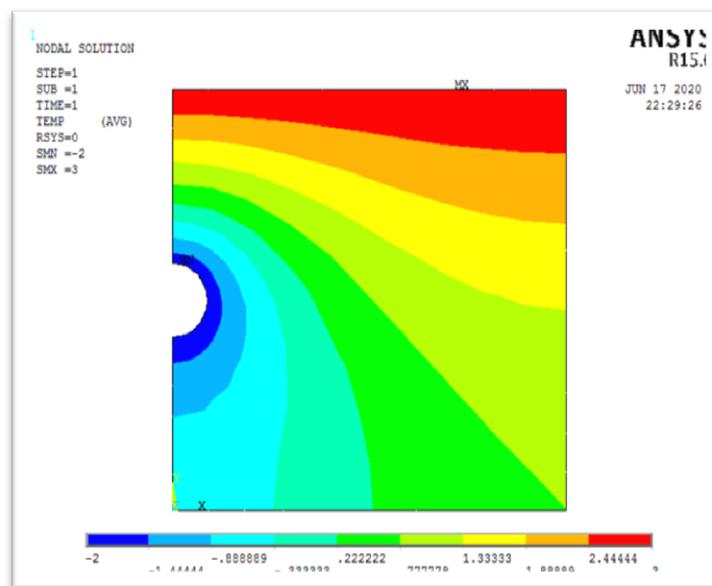
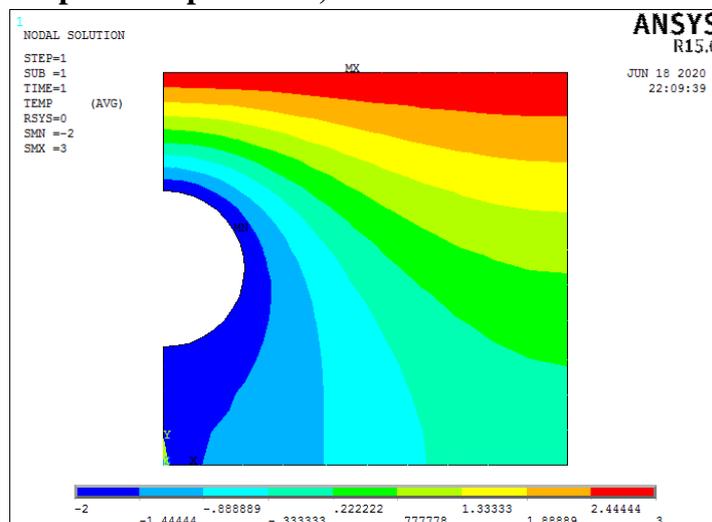


Figure 4.5 : Profil de la température pour $R=0,14m$

b. profil de la température pour $R=0,32m$



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Figure 4.6 : Profil de la température pour $R=0,32m$

C. suivant l'axe vertical :

La figure(4.7) représente la variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe vertical dans deux différents rayons, on remarque que la température sur le plan de l'axe vertical, décroissant au diamètre jusqu'à atteindre la stabilité.

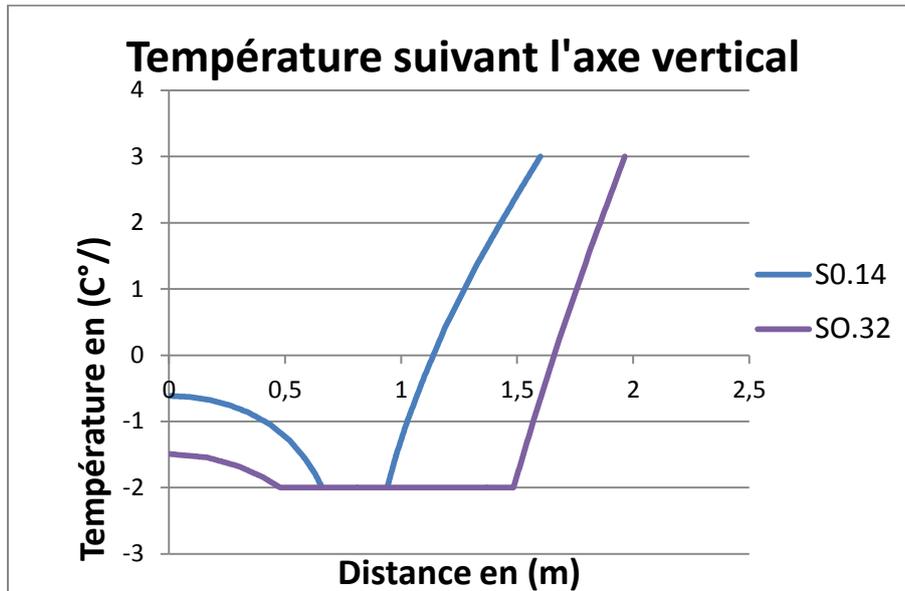


Figure 4.7 : Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe vertical.

d. suivant l'axe horizontal :

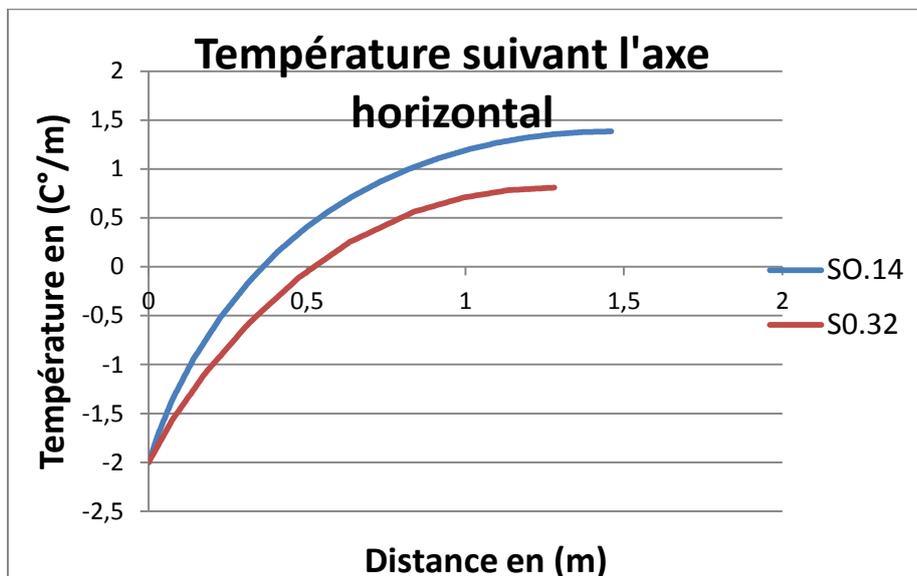


Figure 4.8 : Variation de la température en fonction de la distance suivant l'axe horizontal.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

4.4 Variation du gradient :

Le calcul en régime permanent aide à déterminer les distributions des gradients de température à long terme autour du pipeline, il apparait dans les deux figures suivantes (4.9, 4.10) de sorte qu'il semble que les températures sont élevées autour du tunnel des cotes inférieur et supérieur du tunnel.

a. profil du gradient pour $R=0,14m$:

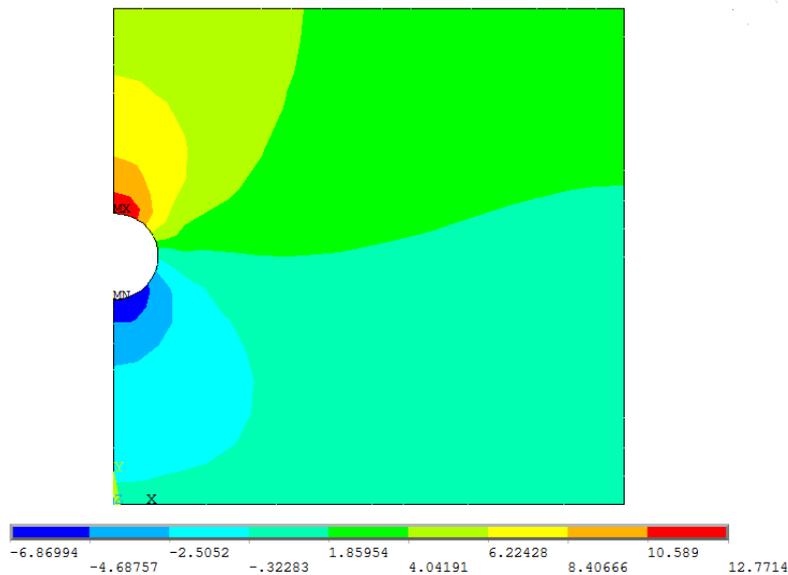


Figure 4.9: Profil du gradient pour $R=0,14m$.

b. Profil du gradient pour $R=0,32m$:

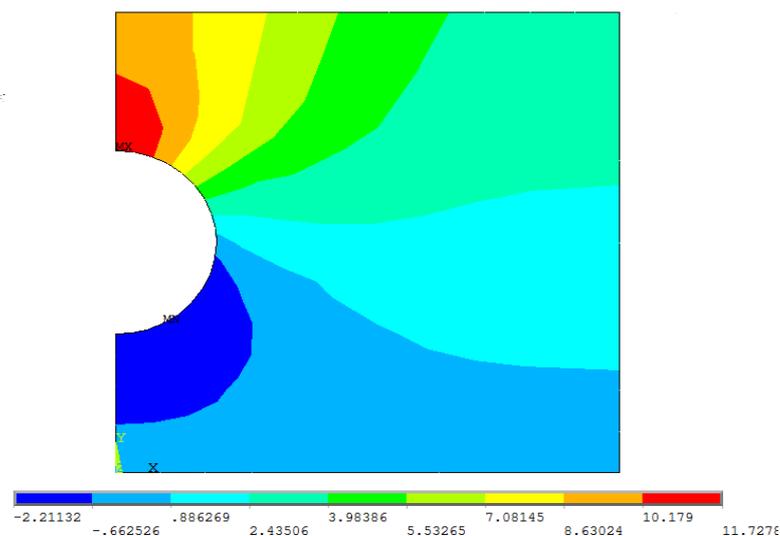


Figure 4.10 : Profil du gradient pour $R=0,32m$.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

c. suivant l'axe vertical :

La figure (4.11) montre une variation du gradient de température le long de l'axe vertical dans un premier temps nous remarquons la diminution de la température jusqu'à $(-2C^{\circ})$ ensuite elle augmente à mesure que nous nous éloignons du tunnel de sorte qu'il a une différence dans la distribution de la chaleur avec la différence du rayon du pipeline

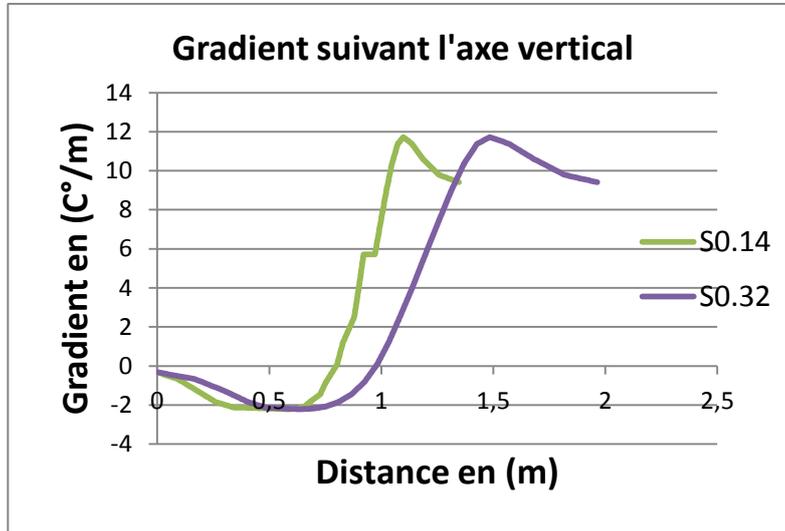


Figure 4.11: Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe vertical

d. suivant le périmètre

La figure (4.12) montre la variation du gradient de température le long du périmètre du tunnel du pipeline l'élévation de la température sur le périmètre de l'ouverture du pipeline on constate que la température augmente autour du périmètre du pipeline à des températures plus élevées, d'autres part augmentation de rayon entrain une diminution de la température

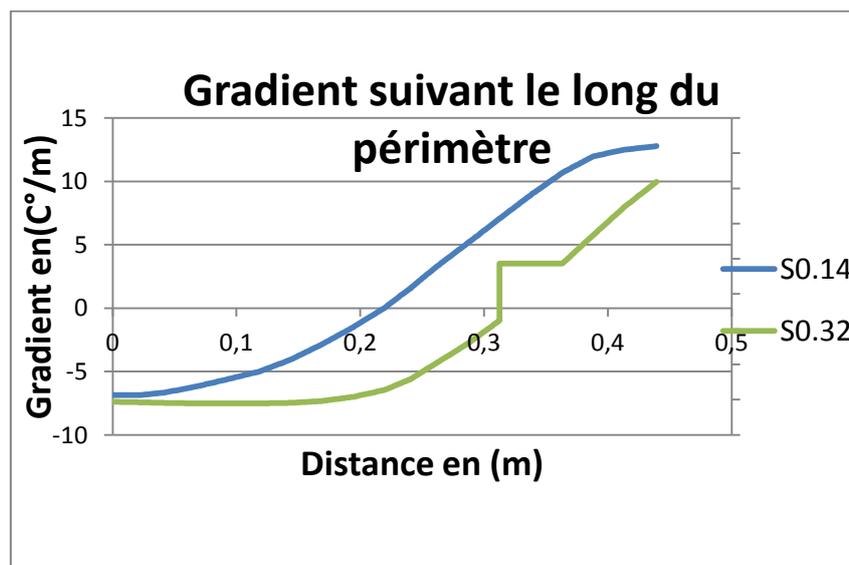


Figure 4.12 : Variation du gradient en fonction de la distance suivant le périmètre.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

e. suivant l'axe horizontal :

La figure (4.13) représente la variation du gradient de la température le long de l'axe horizontal, la concentration de la chaleur est la plus élevée près de la surface et commence à diminuer à mesure que nous nous éloignons de la surface.

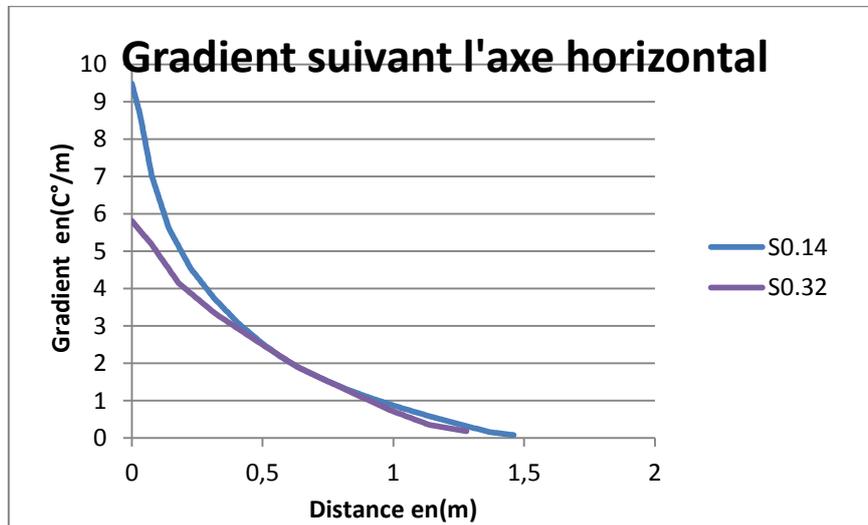


Figure 4.13 : Variation du gradient en fonction de la distance suivant l'axe horizontal.

4.5 ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE EN REGIME TRANSITOIRE

4.5.1 Introduction :

Le système transitoire est caractérisé par l'étude des changements thermiques au fil du temps autour du pipeline, dans une zone carrée de la cavité souterraine occupée par la présence d'une ouverture qui est un pipeline, la température de la surface externe du pipeline est -2°C encastrée dans le sol et $+3^{\circ}\text{C}$ température pour la surface externe de la forme carrée de la cavité souterraine ayant une configuration similaire à celle précédemment traitée en régime permanent.

Variation de la température pour $R=0,14\text{m}$

a Profil de température pour 1 jour :

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

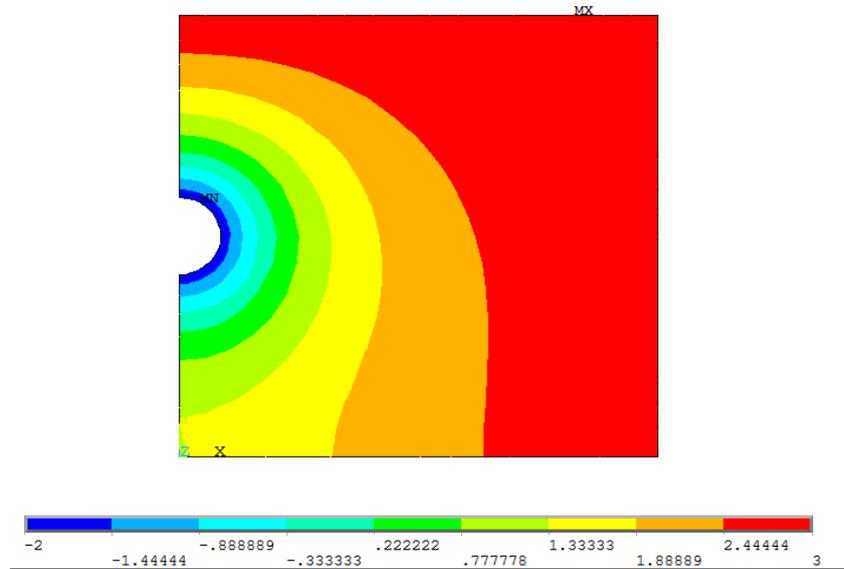


Figure 4.14 : Profil de la température pour 1 jour pour $R=0,14m$

d. suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour $R=0,14m$

La figure (4.15) montre la variation de la température le long de l'axe vertical de surface pour les deux temps suivants 1jour puis 800 jours, on remarque dans les deux temps que la température diminuer vers des valeurs constantes puis augmente vers grande valeur de température (+ 3C°) .

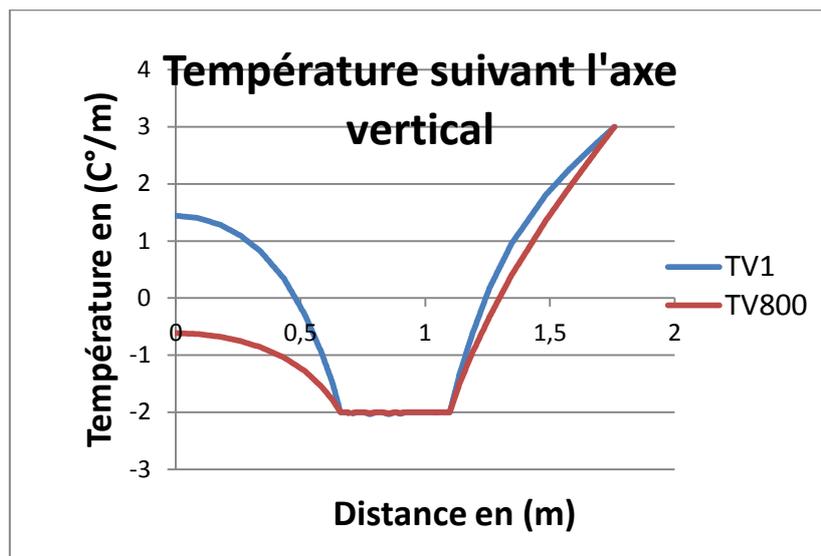


Figure 4.15 : Variation de la température suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour $R=0,14m$.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

e. suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0,14m$.

La figure (4.16) montre La variation de température le long de l'axe horizontal les températures élevées sont stables à la surface et la température est diminuée à $-2C^{\circ}$ près de l'ouverture.

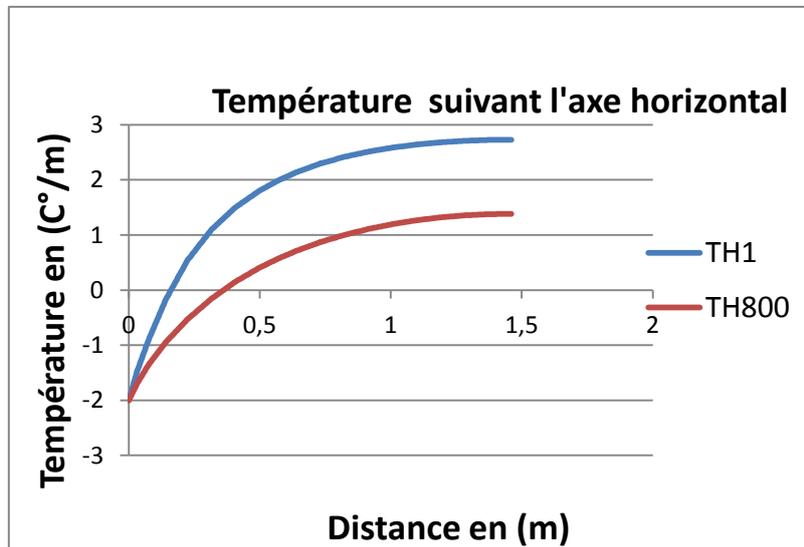
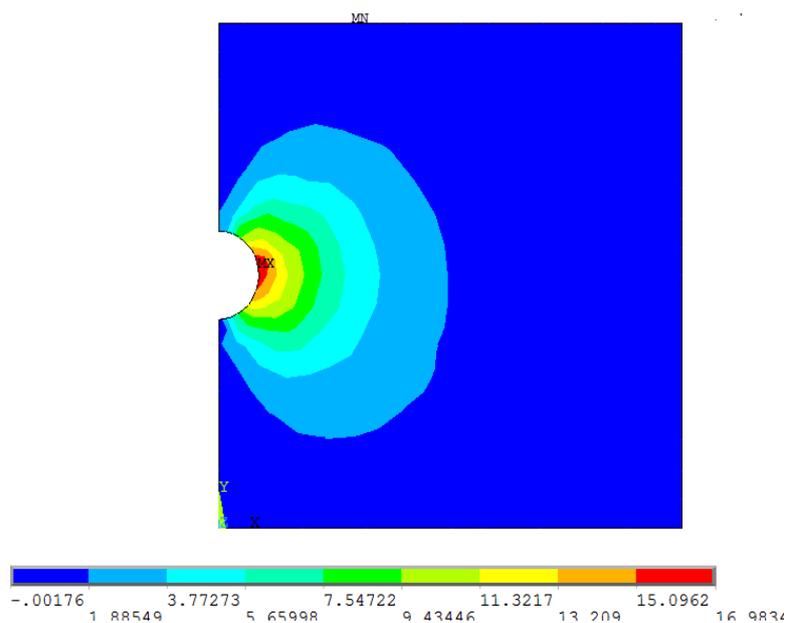


Figure 4.16: Variation de la température suivant l'axe horizontal pour trois pas de temps pour $R=0,14m$

4.7 Profil de variation du gradient

a. Profil du gradient pour 1 jour :



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Figure 4.17 : Profil du gradient pour 1 jour pour R=0,14m

C .Profil du gradient pour 800 jours :

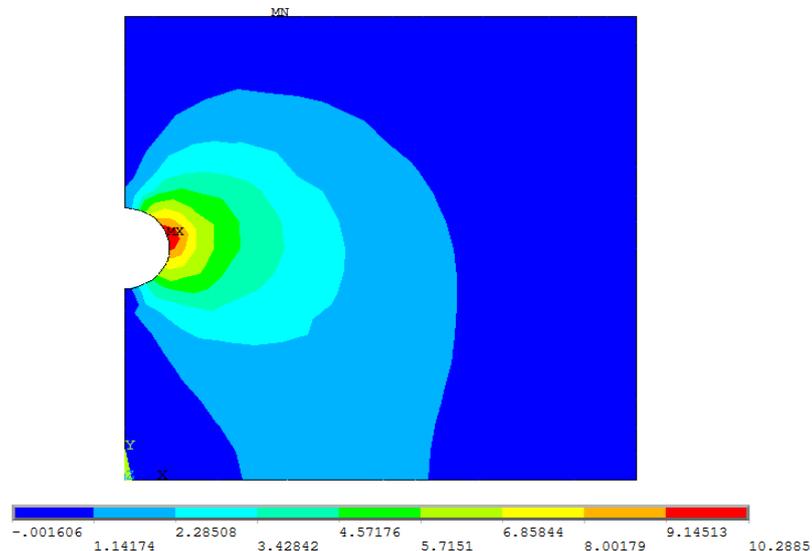


Figure 4.18 : Profil du gradient pour 800 jours pour R=0,14m

a. Suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour R=0,14m.

La figure (4.19) montre l'évolution du gradient de température selon l'axe vertical des temps différents sont observés dans les deux périodes de temps 1 jour et 800 jours, une montée en température jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum puis une diminution de la température jusqu'à atteindre une valeur constante.

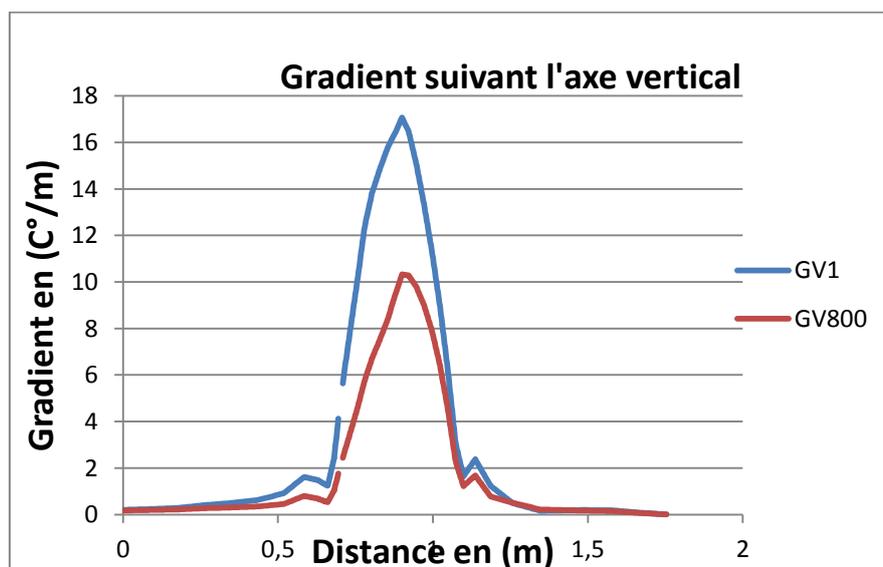


Figure 4.19 : Variation du gradient suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour R=0,14m.

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

b. suivant le périmètre pour deux pas de temps pour $R=0,14m$

La figure (4.20) montre l'évolution du gradient de température suivant le périmètre de l'ouverture du pipeline dans les deux temps, une montée en température jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum puis une diminution de la température jusqu'à atteindre une valeur constante.

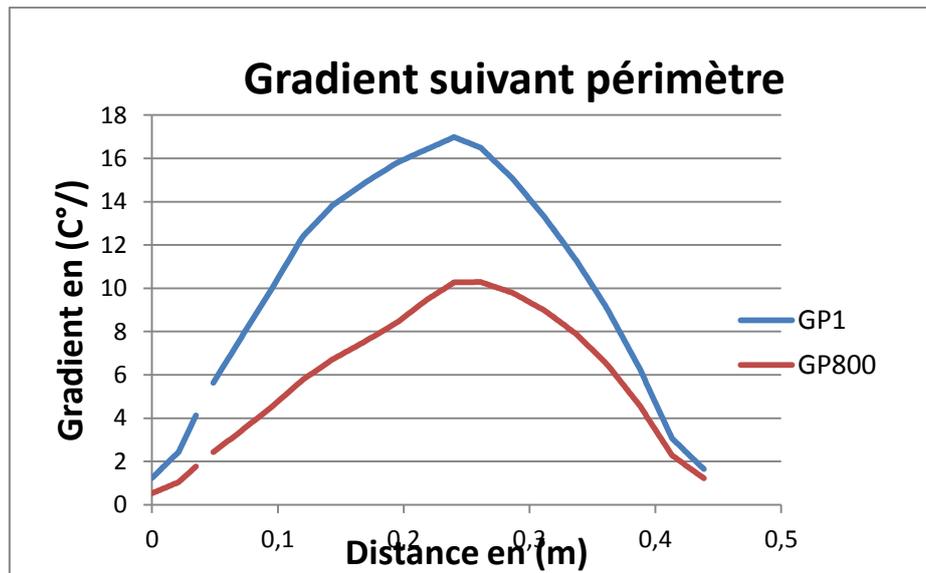
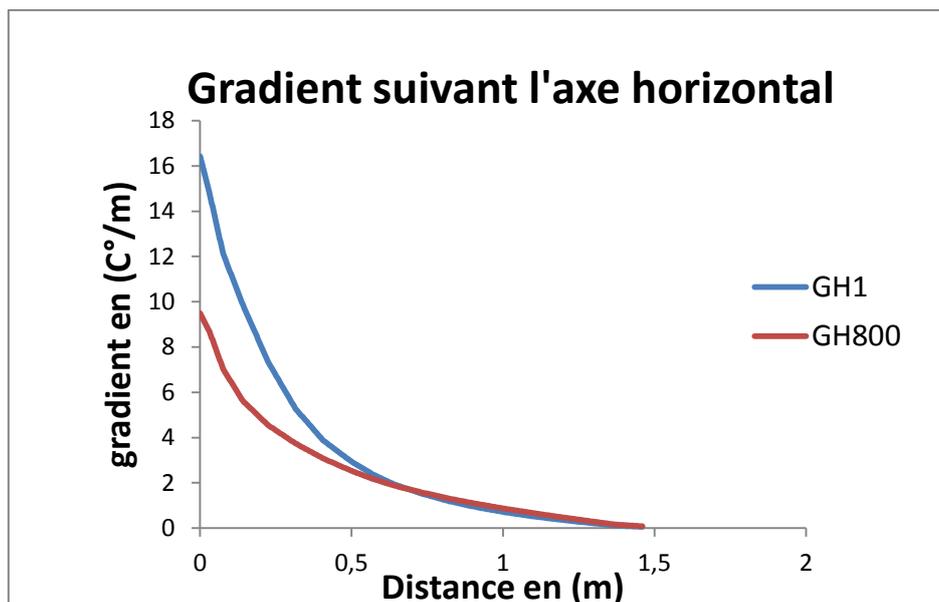


Figure 4.20 : Variation du gradient suivant le périmètre pour deux pas de temps pour $R=0,14m$

c. suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0,14m$

La figure (4.21) représente la variation de gradient thermique suivant l'axe horizontal de la surface, dans les différents temps il y a une élévation de la température au niveau de la surface et diminue à un niveau inférieur de cela.



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Figure 4.21 : Variation du gradient suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0,14m$.

4.8 Profil de variation de température $R=0,32m$.

a. Profil de température pour 800 jours

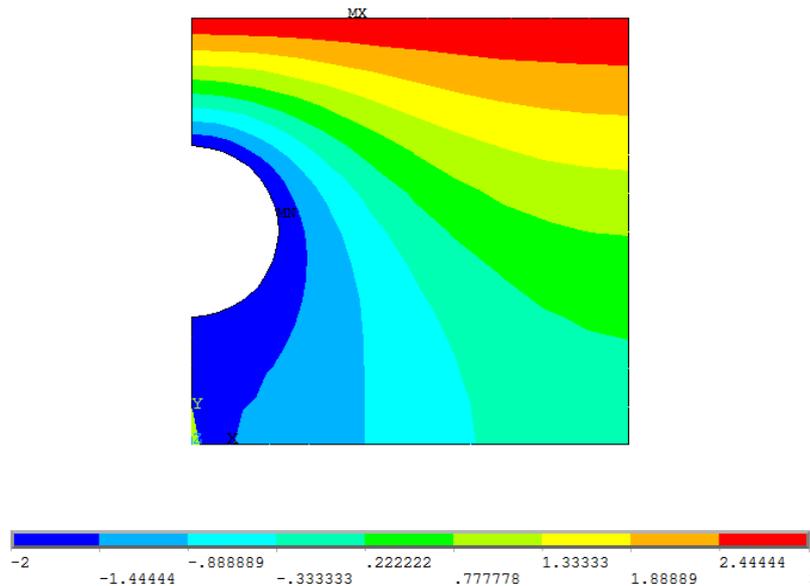
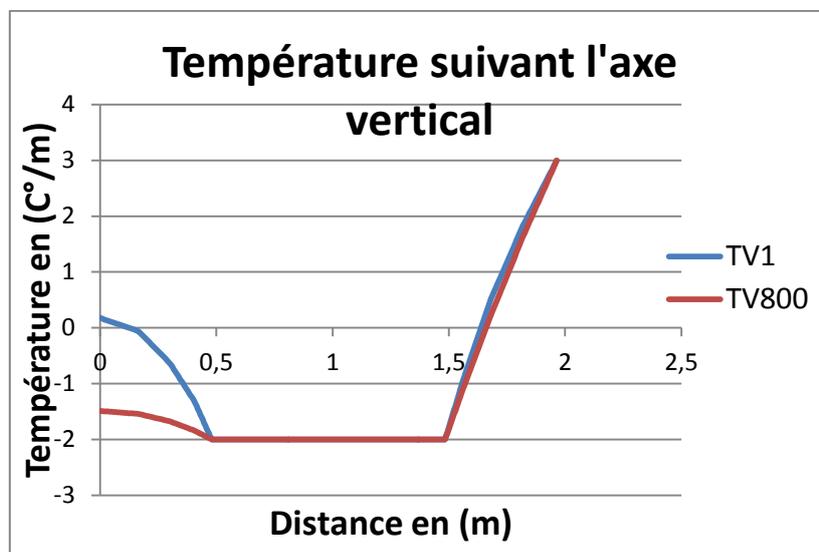


Figure 4.22 : Profil de la température pour 800 jours pour $R=0,32m$.

b. suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour $R=0,32m$.

La figure (4.23) représente la variation de la température par rapport à l'axe vertical au cours des deux périodes spécifiées précédemment à rayon 0.32m, on remarque que la température sur le plan de l'axe vertical, décroissant au diamètre jusqu'à atteindre la stabilité.



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Figure 4.23 : Variation de la température suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour $R=0,32m$.

d. suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0.32m$

La figure (4.24) montre La variation de température le long de l'axe horizontal les températures élevées sont stables à la surface et la température est diminuée à $-2C^{\circ}$ près de l'ouverture.

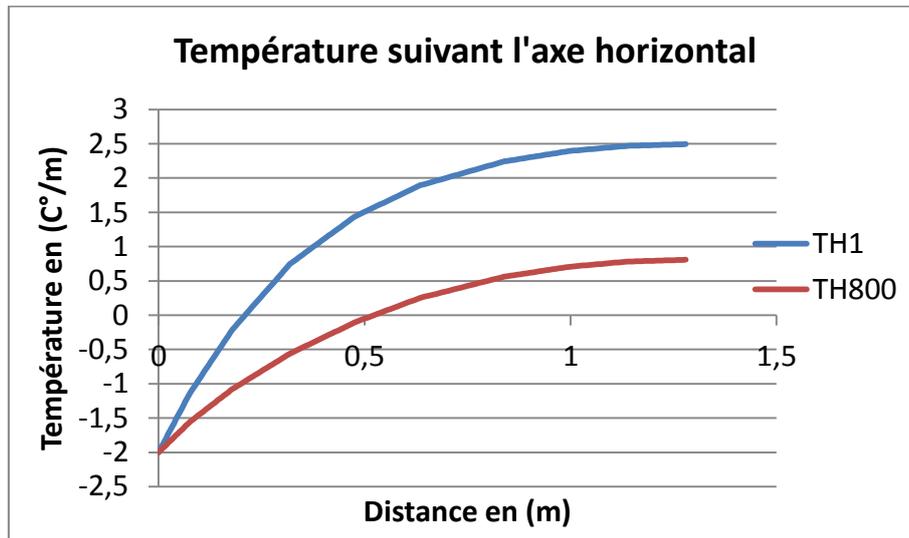
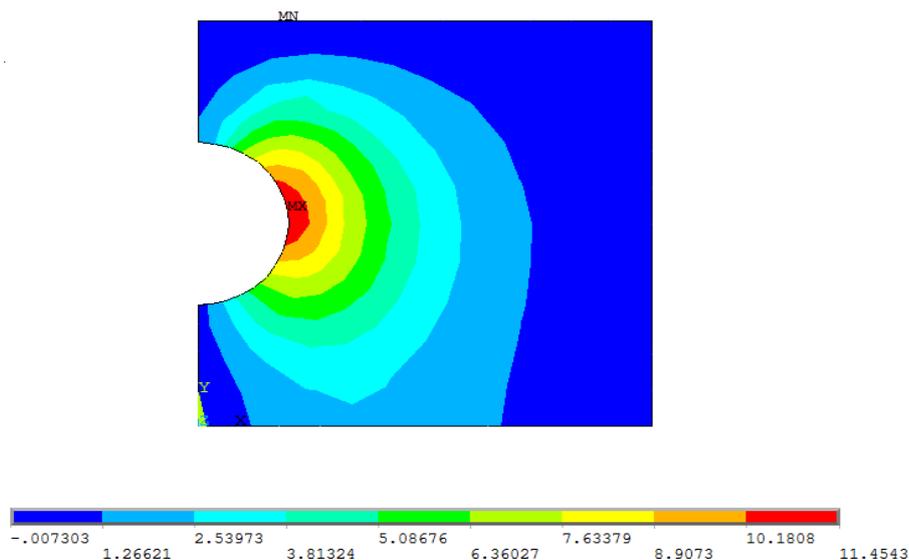


Figure 4.24 : Variation de la température suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0.32m$.

4.9 Profil de Variation du gradient $R=0,32m$.

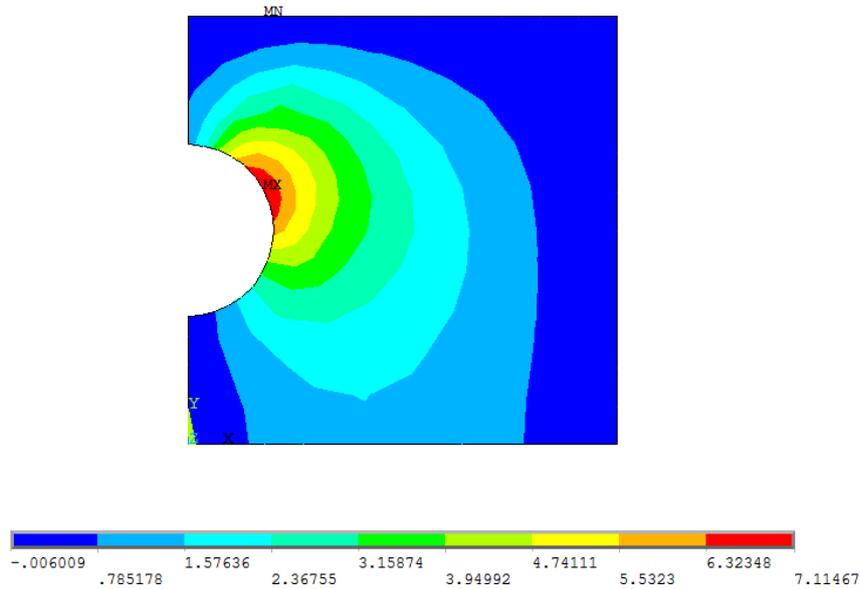
a. Profil du gradient pour 1 jour



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

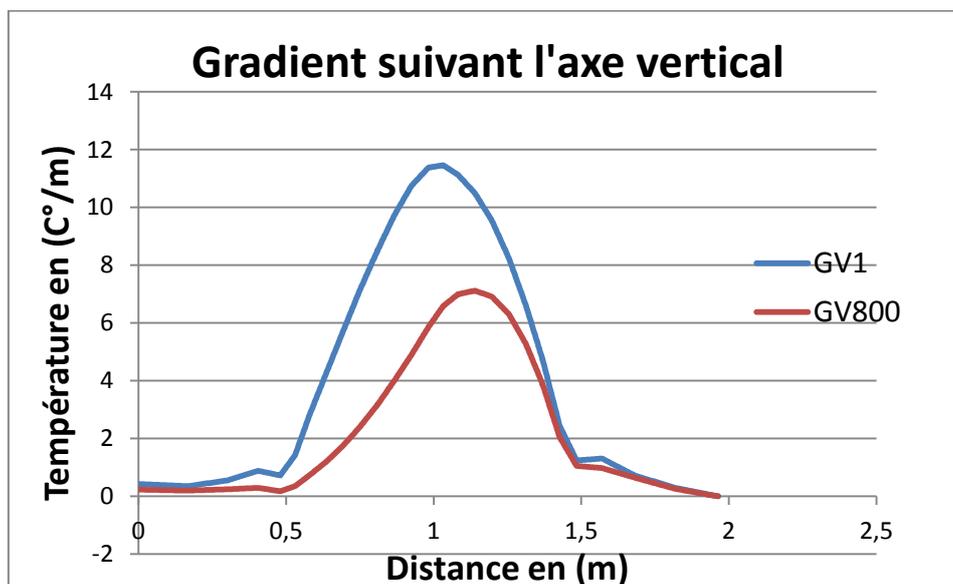
Figure 4.25 : Profil du gradient pour 30 jours pour R=0,32m.

b. Profil du gradient pour 800 jours



c. suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour R=0.32m.

La figure (4.27) montre l'évolution du gradient de température selon l'axe vertical des temps différents sont observés dans les deux périodes de temps 1 jour et 800 jours, une montée en température jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum puis une diminution de la température jusqu'à atteindre une valeur constante.



ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Figure 4.27 : Variation du gradient suivant l'axe vertical pour deux pas de temps pour $R=0,32m$.

d. Suivant le périmètre pour deux pas de temps pour $R=0,32m$.

La figure (4.28) montre l'évolution du gradient de température suivant le périmètre de l'ouverture du pipeline dans les deux temps, une montée en température jusqu'à ce qu'elle atteigne son maximum puis une diminution de la température, a autre coté plus le rayon est élevé plus la température set basse.

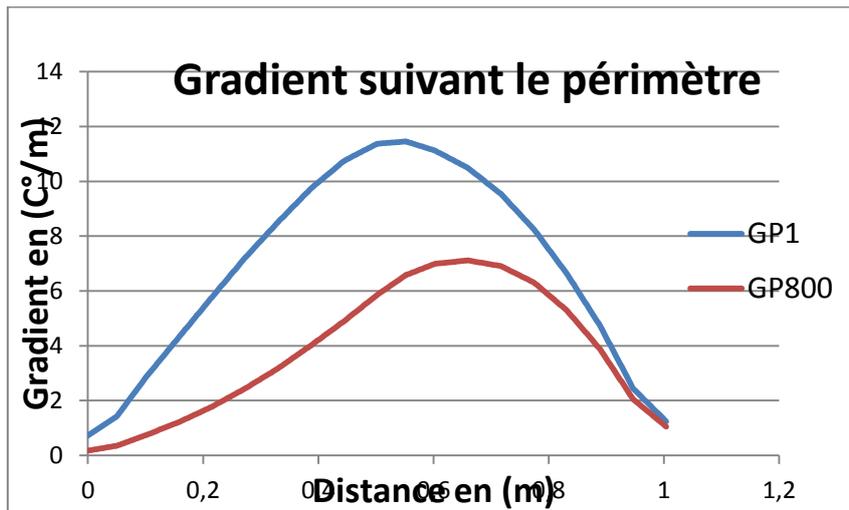


Figure 4.28 : Variation du gradient suivant le périmètre pour deux pas de temps pour $R=0,32m$.

e. suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0,32m$

La figure (4.29) représente la variation de gradient thermique suivant l'axe horizontal de la surface, dans les différents temps il y a une élévation de la température au niveau de la surface et diminue à un niveau inférieur de cela.

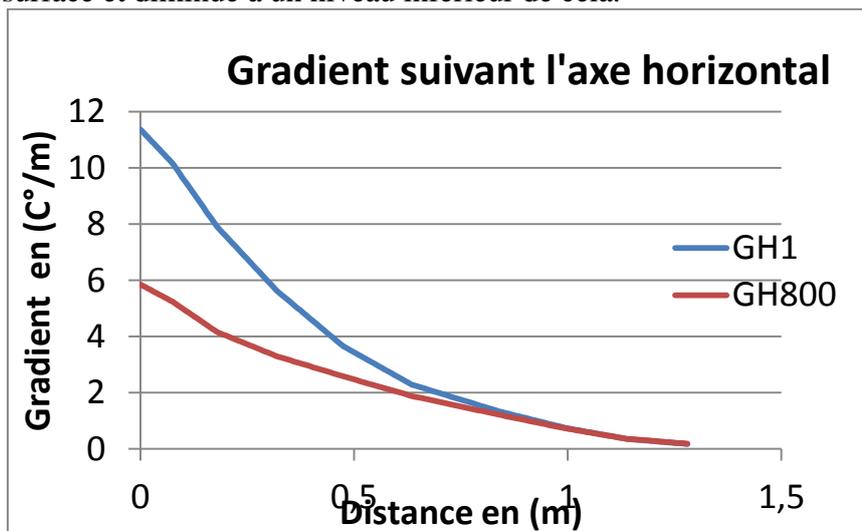


Figure 4.29 : Variation du gradient suivant l'axe horizontal pour deux pas de temps pour $R=0,32m$

ANALYSE DU TRANSFERT THERMIQUE AUTOUR D'UN PIPELINE PAR METHODE DES ELEMENTS FINIS

Conclusion :

Nous déduisons de l'effet du rayon du pipeline sur les différentes caractéristiques thermiques Y compris sur les variations de température et sur variations de gradient de température en régime permanent indiquées dans première partie du chapitre qui ne nécessitent pas de temps ainsi que dans le cas du temps de transitoire nécessitant du temps aux trois niveau (niveau vertical niveau horizontal et au niveau du rayon) de sorte qu'une augmentation du rayon entraine une diminution de la température et du gradient de température .

Nous concluons également que le temps est un facteur affectant les propriétés thermiques d'un autre côté, provoquant une légère diminution à l'état stationnaire et une diminution importante à l'état transitoire.

Ce résultat est très utile dans la pratique de l'ingénieur puisqu'il renseigne justement sur le rayon d'action de l'ouverture en question lors d'un transfert thermique. Ceci peut avoir une influence sur les ouvrages avoisinant en surface.

Conclusion générale :

Nous concluons que le transfert de chaleur est une branche du génie thermique qui consiste à générer utiliser, convertir et échanger de l'énergie thermique entre les systèmes physiques. Il classe le transfert de chaleur en différents mécanismes. Conductivité de charge et du rayonnement thermique et la convection thermique .la conductivité thermique est une caractéristique distinctive car elle est liée au mouvement de l'énergie thermique à travers la terre, de plus frais vers le plus chaudes, tandis que la chaleur se répartit entre eux pour atteindre l'équilibre thermique du matériau, la convection se fait dans les liquides et la chaleur rayonne en envoyant un rayonnement électromagnétique.

Les propriétés thermiques du sol sont affectées par la teneur en eau volumétrique, la fraction volumique des solides du sol et la fraction du volume d'air .ces propriétés sont importantes car elles indiquent la quantité d'énergie qui est divisée dans le sol,

Pour que les températures soient chaudes en surface et diminuent avec la profondeur en fonction des propriétés du sol la température est influencée par des facteurs de variables métrologique (conductivité), Variables du sous-sol (chaleur spécifique), variables du terrain (diffusivité).

Le transfert thermique a lieu dans le milieu poreux par conductivité thermique et convection et peut être fait en même temps, chacune des équations de ce chapitre montre un processus de transfert thermique dans le milieu poreux, Ce sont des équations faciles que nous pouvons obtenir grâce à des hypothèses sur le milieu et l'environnement.

Pour caractériser notre étude nous avons appliqué le programme ANSYS qui aide à programmer l'information numérique en distribution thermique en transit et temps stable, le chargement de température et le gradient thermique autour d'un pipeline dans le plan de l'axe vertical ou horizontal est affecté par le changement de rayon ainsi que par le temps.

REFERENCES

REFERENCES :

1. Bioclimatologie : concepts et application sané de parveaux ...books.google.dz.
2. Mesure des propriétés thermiques des matériaux De Yves Jannot, Alain Degiovanni.
3. Transferts thermiques De Ana-Maria Bianchi, Yves Fautrelle, Jacqueline Etay.
4. Thermique Yves Jannot, Ecole des Mines Nancy 2éme années transferts thermique.
5. Ingénieur des eaux et du sol processus et aménagements De Marc Soutter, André Mermoud, André Musy books.google.dz.
6. Transferts thermiques De Ana-Maria Bianchi, Yves Fautrelle, Jacqueline Etay.
7. le sol vivant : bases pédologie biologie des sols De Jean-Michel Gobat, Michel Argo, Wily Matthey books.google.dz.
8. Physique du sol De André Musy, Marc Soutter books.google.dz.
9. analyse physico-chimique des catalyseurs industriels : manuel pratique De John Lynch books.google.dz.
10. S. Bories, M. Prat, Transferts de chaleur dans les milieux poreux (thème de doctorat contribution à l'étude de transfert de masse et de chaleur dans un canal poreux).
11. Al Nakshabandi, G. & Kohnke, H. (1965). Thermal conductivity and diffusivity of soils as related to moisture tension and other physical properties. *Agricultural meteorology*, 2(4), 271-279. doi : 10.1016/0002-1571(65)90013-0.
12. Etude de la conduction thermique dans matériaux poreux, département physique, faculté de science exacte, université de Bejaïa.
13. C. Daubigny, Etude expérimentale du transfert de masse en milieu poreux. Hétérogène, Thèse doctorat de l'université de Louis Pasteur de Strasbourg, 2003.
14. D.A. Nield, A. Bejan, Convection in porous media, 2nd ed, Springer-Verlag, New York, 1999.
15. K. Sundaravadivelu, C.P. Tso, Flow through two types of heterogeneous porous media With isoflux boundary condition, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46, 2003, pp. 2329–2339.
16. propriétés mécanique et physiques des sols ; tice.inpl- nancy.fr, books.google.dz.
17. [Physique du sol- André Musy, Marc Soutter Google Livres books.google.dz] et [Le génie agricole au service du développement: production vivrière en zones.. books.google.dz.
18. Gras.R, (1988), physique du sol pour l'aménagement.
19. Rao.S.S(1982) Finite Element Method engineering, pergamon Presse, PP 419-424, USA.
20. André Musy & Marc Soutter, (1991), physique du sol, P149-167 collection Gérer l'environnement.
21. ANSYS-Wikipédia en Wikipédia .org