

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR**  
**FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME**  
**DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES**

## **Thème**

**Etude d'un système de chauffage pour une installation d'élevage de**  
**volaille en utilisant les énergies renouvelables**

**Soutenu le : 18/ 06 / 2018**

**Présenté par :**

 **Mr HAIDOUR AHMED**

**Encadré par : Mr. MEDIANI Ahmed**

**URER-MS. Adrar**

**Président : Mr. HARROUZ ABDELKADER**

**Université d'Adrar**

**Examineur : Mlle. FOULLANINE MERIAMA**

**URER-MS. Adrar**

**2017 - 2018**



# Dédicace

Je dédie ce travail à toute ma famille, surtout ma mère **Loughma Moulouda** et mon père **Abderrahmane (Dahane)**.

**Mr. Haidour Ahmed.**

# Remerciements

Un très grand merci au bon **DIEU** qui est toujours présent avec moi dans le bonheur et dans le pire.

Avant de décrire ce travail de recherche que j'ai effectué dans l'université d'Adrar, je tiens à exprimer mes remerciements à un certain nombre des personnes.

Mes remerciements vont tout d'abord à mon encadreur **Mr. Mediani Ahmed**, qu'il trouve en ces quelques mots toutes mes reconnaissances et mon gratitude, pour son assistance, ses conseils et sa compréhension pour sa disponibilité et son sollicitude au long de ce travail, où j'ai eu beaucoup de doute et d'incertitude. Je salue son esprit critique et encouragements qu'ont permis de mener ce travail à terme.

Je remercie vivement **Mr. Harrouz Abdelkader**, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Je le remercie également pour ses discussions utiles et fructueuses, et ses conseils précieux. Je tiens à remercier tout particulièrement **Mlle. Foullanine Meriama**; pour l'intérêt qui m'a fait l'honneur d'examiner mon jury de mémoire.

**Mr. Haidour Ahmed**

**Table de matière**

<b>DEDICACES</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>ii</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>iii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>vi</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>viii</b>
<b>NOMENCLATURE</b>	<b>ix</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
Chapitre I: ENERGIES RENOUVELABLES	
I.1. Introduction	4
I.2. Energies renouvelables	5
I.2.1. Energie photovoltaïque	5
I.2.2. Energie éolienne	5
I.2.3. Energie hydraulique	6
I.2.4. Biomasse	6
I.2.5. Energie géothermique	7
I.2.6. Energie solaire thermique	8
I.2.6.1. Aspects géométriques	9
Chapitre II: LE SYSTEME BIOPHYSIQUE	
(BATIMENT D'ELEVAGE)	
II.1. définition et rôle du bâtiment d'élevage volaille	16
II.1.1. importance économique du bâtiment d'élevage	16
II.1.2. le rôle du bâtiment d'élevage	16
II.1.2.1. rôle de protection	16
II.1.2.2. milieu de vie des volailles	16

II.2. Echanges d'énergie intervenant dans le bâtiment d'élevage	18
II.2.1. Echanges par convection	20
a) Convection libre ou naturelle	20
b) Convection forcée	21
c) Convection mixte	21
II.2.2. Echanges par conduction	24
II.2.3. Echanges par renouvellement d'air	24
II.2.4. Echanges par rayonnement	25
II.2.4.1. Rayonnement solaire	25
II.2.4.2. Rayonnement terrestre	27
Chapitre III: ETUDE THERMIQUE	
III.1. Introduction	30
III.2. Principales sources d'échange de chaleur pour la modélisation	30
III.3. Bilan thermique de la surface du sol	31
III.4. Etude thermique dans le sol	33
III.4.1. Equation de la température	33
III.4.2. Evolution de température d'un milieu conducteur	34
III.4.3. Echange par conduction dans un milieu semi infini	34
III.4.4. Loi de variation de la température dans le sol	35
III.5. Calcul thermique au niveau des tubes	36
III.5.1. Tube mince	38
III.5.2. Tubes épais	39
III.5.3. Profil des températures	43
III.6. Echange thermique par convection Forcée	44

Chapitre IV: RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV.1. Introduction:	48
IV.2. Système de stockage d'énergie thermique sous sol	48
IV.2.1. Hypothèses du modèle	49
IV.2.2. Hypothèses géométriques	50
IV.3. Principaux paramètres de dimensionnement	51
IV.3.1. Le débit d'eau total	51
IV.3.2. Le nombre et le diamètre des tubes	51
IV.3.3. La vitesse de l'eau dans les tubes	51
IV.3.4. La longueur des tubes	52
IV.3.5. La distance entre tubes	52
IV.3.6. La profondeur d'enfouissement des tubes	52
IV.4. Détermination des dimensions de stockage	53
IV.5. Interprétation	54
CONCLUSION	62
ANNEXE	A
REFERENCES	
RESUME	
المخلص	
ABSTRACT	

## LISTE DES FIGURES

---

Le figure	La Page
Figure I.1: Système PV	1
Figure I.2: Système éolienne	1
Figure I.3: Système hydraulique	6
Figure I.4: Cycle de la biomasse	6
Figure I.5: Système géothermique	7
Figure I.6: Système thermique	8
Figure I.7: Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil	9
Figure I.8. Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L	10
Figure I.9: Repérage de la position du Soleil.	11
Figure I.10: Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich	13
Figure I.11: Equation du temps ET et déclinaison $\delta$ en fonction du jour de l'année.	13
Figure II.1. Un plan du bâtiment d'élevage	18
Figure II.2: Echanges thermiques dans l'élevage	19
Figure III.1. Schéma présentant les échanges retenus pour la modélisation	30
Figure III.2. Bilan des flux thermiques à la surface du sol	31
Figure III.3. Tube cylindrique	36
Figure III.4. Géométrie de référence	37
Figure III.5. Echange thermique par convection forcée dans un tube enterré	44
Figure IV.1. Système de stockage énergie thermique sous sol	49

## LISTE DES FIGURES

---

Figure IV.2. Modèle d'étude du stockage thermique dans le sol	50
Figure IV.3. Evolution de température on fonction de rayon (r).	53
Figure IV.4. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement diffus calculée et mesurée)	55
Figure IV.5. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement direct calculée et mesurée)	55
Figure IV.6. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement global calculée et mesurée)	56
Figure IV.7. Evolution de température on fonction de profondeur (sol argileux)	57
Figure IV.8. Evolution de température on fonction de profondeur (sol sable)	57
Figure IV.9. Evolution de température on fonction de profondeur (terre à 10% humidité)	58
Figure IV.10. Evolution de température on fonction de tempe (sol argileux)	59
Figure IV.11. Evolution de température on fonction de tempe (sol sable)	59
Figure IV.12. Evolution de température on fonction de tempe (terre à 10% humidité)	60

## LISTE DES TABLEAUX

---

Le tableau	La Page
Tableau II.1. Les normes de température	17
Tableau II.2. Normes de construction du bâtiment d'élevage en fonction du type de production et de la taille des bandes	17
Tableau. II.3. Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées.	26
Tableau III.1: Les valeurs de l'albédo par rapport les types des Surface	32
Tableau(IV.1).Caractéristiques thermiques des sols utilisé à notre travail.	54

## Nomenclature

**A** : Surface d'échange [m<sup>2</sup>];

**a** : diffusivité thermique du sol,

**C<sub>p</sub>** : Chaleur spécifique . . . [J / kg.°K];

**D** : Taux de renouvellement (nombre de volume / unité de temps);

**Di** : diamètre intérieur (m)

**e**: Épaisseur du tube (m)

**G**: Rayonnement solaire global horizontal

**Gr**: Nombre de Grasshoff

**g**: la pesanteur 9,81 . . . . [m/s<sup>2</sup>];

**h** : Coefficient d'échange par convection [ w / m<sup>2</sup>.°K];

**h<sub>surf</sub>** : Coefficient d'échange convectif à la surface du sol

**I** : l'énergie reçue (irradiation) en W.m<sup>2</sup>.durée<sup>-1</sup> ou kWh.m<sup>-2</sup>.durée<sup>-1</sup>

**I\*** : le flux reçu (éclairage) en W.m

**J**: le numéro du jour de l'année.( jours )

**k** : Conductivité thermique . . . . [w/m.°K];

**L** : longueur caractéristique.(m)

**ṁ** : Débit massique d'eau (Kg.s<sup>-1</sup>)

**Nu**: nombre de NUSSELT.

**P<sub>v</sub>**: Est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en mm Hg.

**Pr**: Nombre de Prandtl

**Q** : flux de chaleur (w)

**Q<sub>cv</sub>**: la quantité de chaleur échangée par convection.[w]

**Φ<sub>cond</sub>**: Flux thermique conductifs vers le sol [W.m<sup>-2</sup>]

**Φ<sub>rad\_r</sub>** : Flux thermique radiatif reçu du soleil par la surface du sol [W.m<sup>-2</sup>]

**Φ<sub>rad\_sc</sub>** : Flux thermique radiatif net échangé avec le ciel [W.m<sup>-2</sup>]

**Φ<sub>conv\_sens</sub>** : Flux thermique convectif sensible reçu par la surface du sol [W.m<sup>-2</sup>]

**R** : La résistance thermique (°C/W)

**Ra**: Nombre de Rayleigh

**Re**: Nombre de Reynolds

**R<sub>i</sub>** : Le rayon intérieur (tube mince)

**S** : La section de tube (m<sup>2</sup>)

**T** : température du corps. . . [°K].

**T<sub>v</sub>** : température de la volaille; [°K]

$T_c$  : de la paroi (couverture) ; [°K]

$T_s$  : de la surface du sol; [°K]

$T_w$  : de stockage; [°K]

$T_z$  : du sol a une profondeur de 1m; [°K]

$T_{ai}$  : de l'air intérieur ;[°K]

$T_{ae}$  : de l'air extérieur (atmosphère ambiante extérieur);[°K]

$T_p$ : Température de la paroi . . . . [°K];

$T_f$ : Température du fluide. . . [°K];

$T_{ciel}$  : température fictive du ciel, sa valeur est donnée par l'expression de SWINDBANK[°K]

$U$  : La vitesse du vent . . . . [m/s]

$v_{vent}$  : Vitesse du vent au niveau du sol

$V$  : La vitesse d'écoulement du fluide en [m / s]

$V_{ai}$  : Volume du bâtiment d'élevage. [m<sup>3</sup>];

$\omega$ : est compté positivement l'après-midi.(° )

### Symboles grecs:

$\beta$  : coefficient de dilatation volumique . . . .[1/°K];

$\lambda_s$ : conductivité thermique du sol (W/m °C)

$\rho$  : Masse volumique . . . [kg / m<sup>3</sup>];

$\rho_s$ : densité du sol

$\lambda$ : La conductivité thermique (W/m °C)

$\gamma$  : viscosité cinématique (m<sup>2</sup>/s)

$\alpha_{sol}$  :Coefficient d'albédo de la surface du sol

$\sigma$  : est la constante de STEFAN BOLTZMAN =  $5,68 \times 10^{-8}$ [w/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>];

$\nu$  : Viscosité cinématique . . . . [m<sup>2</sup> / s];

$\mu$  : Viscosité dynamique . . . [kg / m.s];

$\epsilon_{sol}$  : Émissivité de la surface du sol

$\delta$ : l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial.(° )

# **INTRODUCTION GENERALE**

### INTRODUCTION GENERALE

Pour la bonne gestion d'élevage volaille, l'aviculteur recherche des exigences de base pour les troupeaux de volaille, qu'il faut suivre les systèmes scientifiques.

Cette recherche étudie le bon climat et les températures optimales dans un système d'énergies renouvelables d'élevage volaille.

Aujourd'hui, les plusieurs élevages volailles utilisent les systèmes dirigés par les énergies fossiles pour gérer et réguler les conditions de chauffage, et généralement, les conditions climatiques; ces systèmes sont plus chers, et qu'ils sont inconfortables à la nature.

Donc, pour éliminer les difficultés précédentes, les aviculteurs recherchent des systèmes dirigés par les énergies renouvelables.

Ce projet étudie les problèmes suivants:

- Comment est-ce qu'on peut créer un système de chauffage utilisant l'énergie renouvelable?
- Quelles sont les dimensions de ce système?
- Quelles conditions devront changer?

Le chauffage des élevages volailles est une des activités les plus importantes dans ce domaine, donc il faut fournir les températures optimales pour recueillir un bon produit, et diminution de lourdes pertes matérielles.

Plusieurs scientifiques et chercheurs ont montré que l'efficacité thermique des élevages volailles utilisant l'énergie solaire et géothermique pour le chauffage des élevages volailles, mais cette dernière, rentable n'est pas tout à fait pratique, car elle n'est pas disponible partout, par contre celle emmagasinée dans la terre est une bonne option pour le chauffage des élevages volailles.

Le système de chauffage que nous réalisons est un système énergétique, il est d'équiper un élevage volaille récupérer, stocker et utiliser l'excédent d'énergie pour chauffer l'élevage volaille.

Ce concept permet de rendre l'élevage volaille plus autonome au niveau énergétique et ainsi de réduire ses consommations.

Cette recherche tentera d'y parvenir sur la base du système qui utilise l'énergie solaire par cellules photovoltaïques, en plus des panneaux thermiques, des couches de la terre et nous contrôlerons la température du système par des organisations thermiques réparties dans tout le périmètre de l'établissement.

Notre travail s'occupe essentiellement de l'étude de l'exploitation thermique de l'énergie solaire avec les moyennes de récupération.

- Le premier chapitre est constituée d'une étude sur les différentes sources d'énergie renouvelables existantes est donnée.

- Au second chapitre nous avons donnée un bref aperçu sur les élevages volailles, certains phénomènes relatifs à la volaille, les corrélations des coefficients d'échanger thermique et les modes de transfert de chaleur dans l'élevage volaille.

- Le troisième chapitre présente tous les calculs utilities que parmi de définie le dimensionnement de système.

- Le quatrième chapitre est une étude donnant les différents résultats obtenus avec discussion et l'interprétation des graphes.

# **Chapitre I**

## **ENERGIES RENOUVELABLES**

**I.1. Introduction:**

Energie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme potentiellement inépuisable à l'échelle de temps humaine. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend donc non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Par exemple, le bois est une énergie renouvelable tant qu'on abat moins d'arbres qu'il n'en pousse. Le comportement des consommateurs d'énergie, d'où la notion de développement durable, est donc un facteur à prendre en compte dans le concept d'énergie renouvelable.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil, mais aussi la Lune et la Terre. Les énergies (solaires, éoliennes, hydrauliques, marémotrices, géothermiques et de biomasse) en sont les formes les plus courantes. Hormis l'énergie marémotrice provenant des forces d'attractions combinées du Soleil et de la Lune, toutes les énergies renouvelables ont donc pour origine l'énergie nucléaire naturelle, provenant soit du soleil, due à la fusion nucléaire de l'hydrogène, soit de la Terre, due à la désintégration naturelle des roches de la croûte terrestre.

Trois facteurs militent en faveur des énergies renouvelables : la sauvegarde de l'environnement, l'épuisement inévitable des ressources limitées de la planète et les considérations économiques. Les énergies renouvelables ne peuvent pas remplacer dès aujourd'hui toutes les énergies conventionnelles, mais elles peuvent suppléer l'énergie produite par les services publics et enrichir la gamme des énergies exploitées à l'heure actuelle. De plus, pour les pays en voie de développement, il est d'une importance capitale de diversifier leurs sources d'énergie car leur rapide croissance industrielle exerce de fortes pressions sur des ressources déjà limitées et accélère la dégradation des écosystèmes de la planète.

## I.2. Energies renouvelables:

### I.2.1. Energie photovoltaïque:



**Figure I.1: Système PV**

L'énergie photovoltaïque est une énergie électrique renouvelable produite à partir du rayonnement solaire. La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie.

### I.2.2. Energie éolienne:



**Figure I.2: Système éolienne**

L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie directement tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne.

### I.2.3. Energie hydraulique:



Figure I.3: Système hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes: chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues.

### I.2.4. Biomasse:

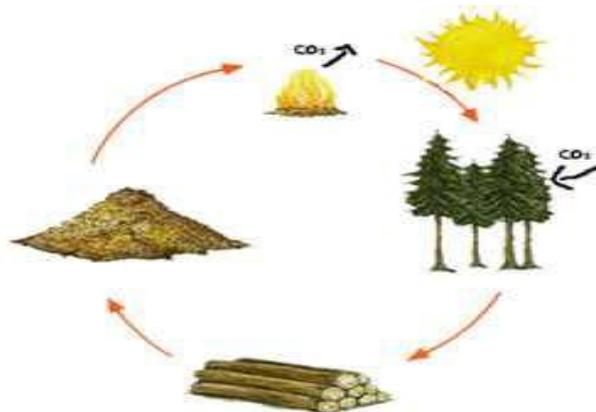


Figure I.4: Cycle de la biomasse

Energie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Elle est exploitée par combustion ou métabolisation. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites.

## I.2.5. Energie géothermique:

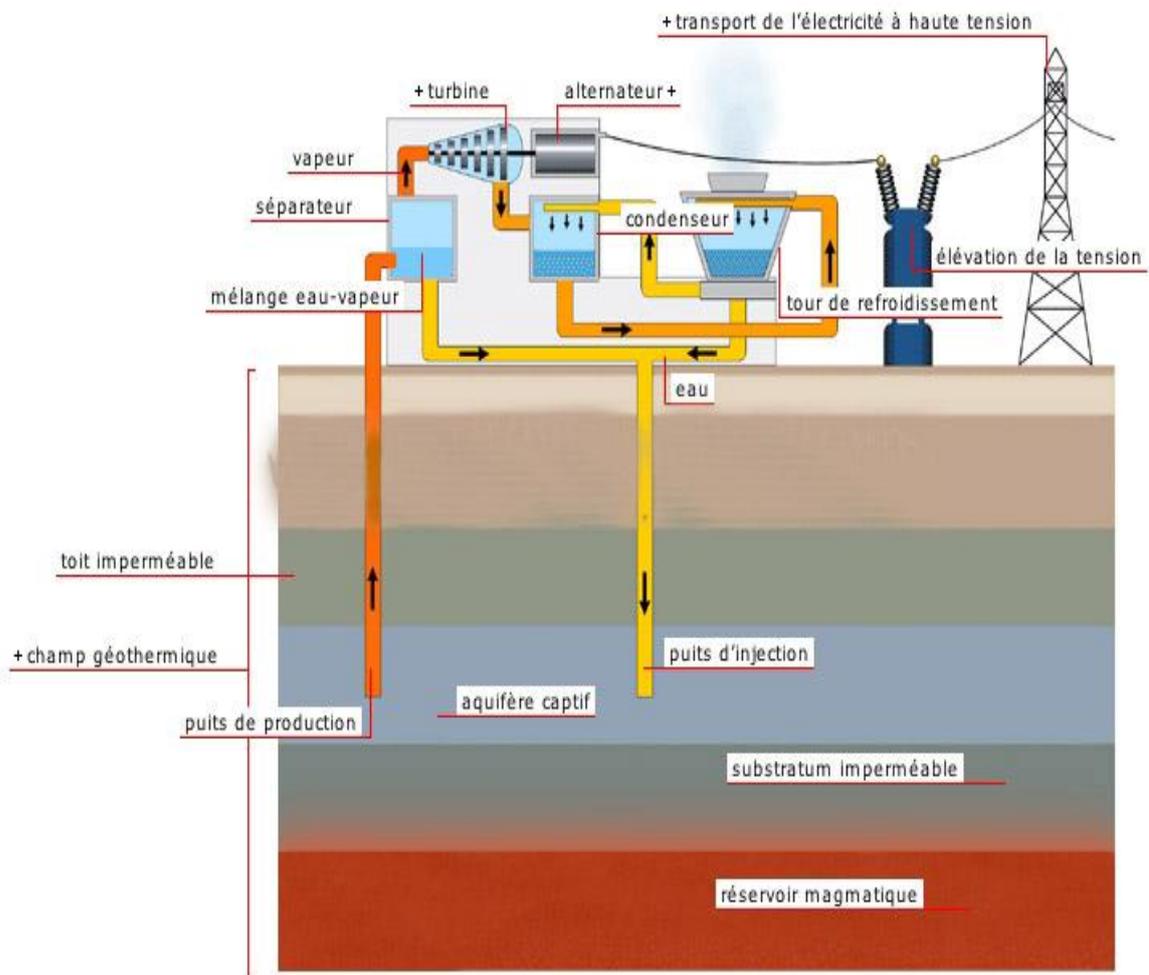


Figure I.5: Système géothermique

L'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

### I.2.6. Energie solaire thermique:

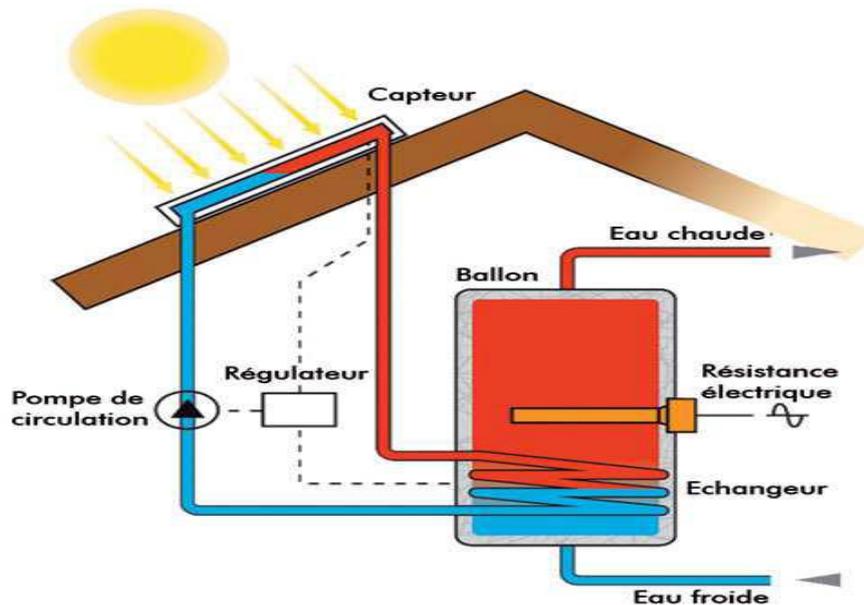


Figure I.6: Système thermique

L'énergie solaire est indispensable à la vie terrestre, elle permet le cycle de l'eau, la photosynthèse et un climat favorable au développement des espèces végétales et animales. A présent, elle nous permet aussi de créer de l'électricité.

On désigne par énergie solaire thermique, la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. La production de cette énergie peut être, soit utilisée directement, par exemple pour chauffer un bâtiment d'élevage volaille, ou indirectement, afin de produire de l'électricité, grâce à la dilatation donc à la pression engendrée par un fluide chauffé.<sup>[1]</sup>

On peut obtenir directement de la chaleur à partir de l'énergie solaire ; il suffit d'exposer au rayonnement solaire un bâtiment d'élevage qui chauffe et qui peut échanger de la chaleur avec un système adopté. Ainsi, on peut chauffer des bâtiments et l'eau destinée à des usages sanitaires (chauffe-eau solaire). Pour cela, on utilise deux dispositifs :

- ❖ Un dispositif de capteurs plans situé sur le toit (chauffe l'eau et/ou le bâtiment d'élevage);
- ❖ Un mur Trombe-Michel (chauffe uniquement le bâtiment d'élevage).

### I.2.6.1. Aspects géométriques:

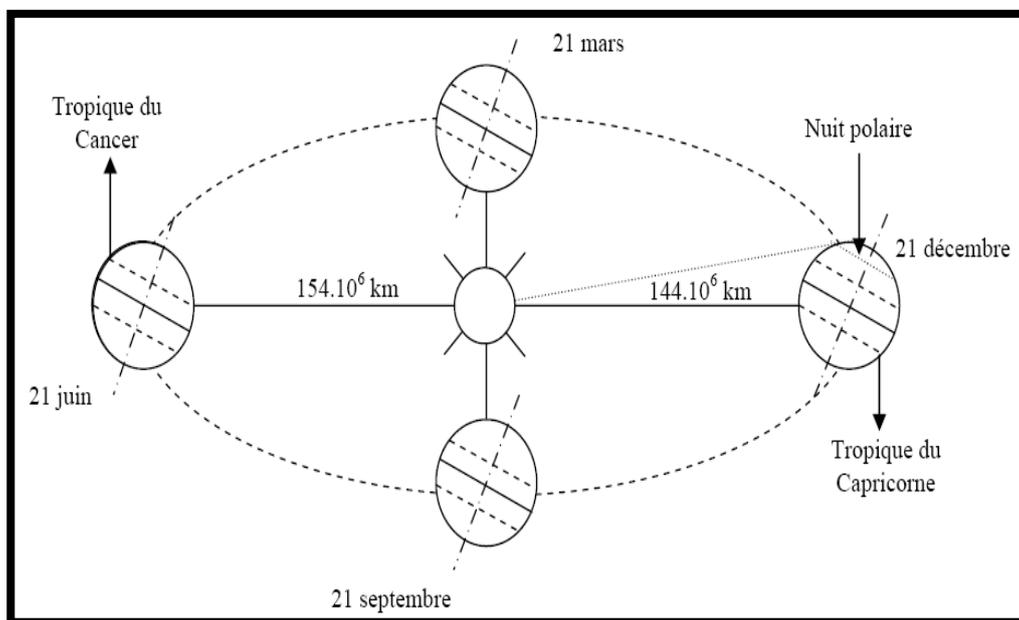
Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la Terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.<sup>[5]</sup>

#### - Mouvements de la Terre:

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 106 km.

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut  $23^{\circ}27'$ . Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la Figure.(I.7).<sup>[5]</sup>



**Figure I.7: Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil**

On appelle déclinaison  $\delta$  l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre  $-23,45^{\circ}$  et  $+23,45^{\circ}$ . Elle est nulle aux

équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation:

$$\delta = 23,45^\circ \sin[0,980^\circ(j + 284)]$$

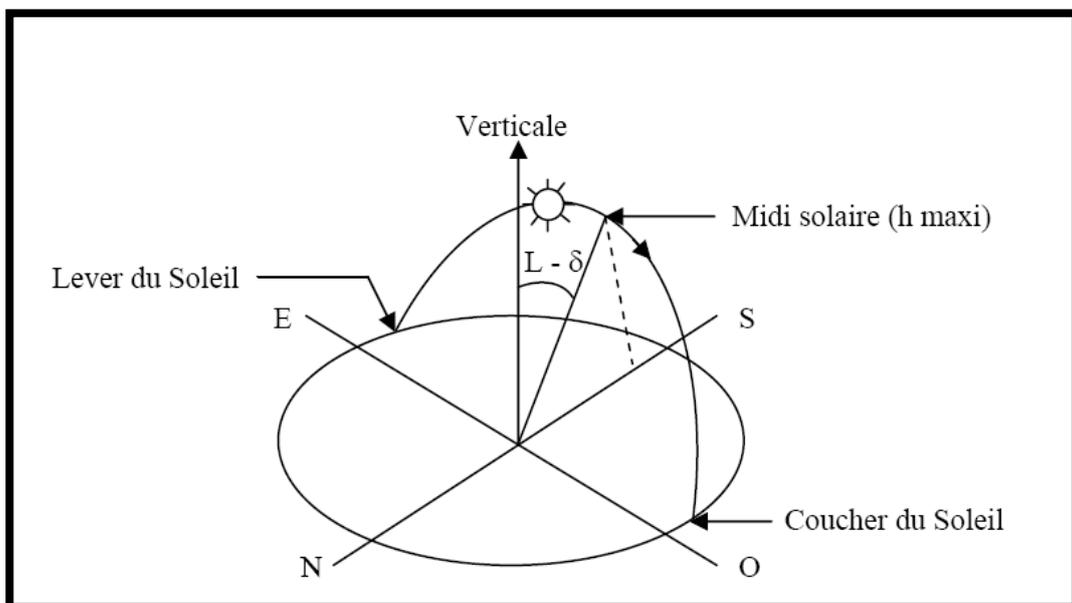
Où  $j$  est le numéro du jour de l'année.

- **Mouvement apparent du Soleil:**

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude  $L$  au nord de l'équateur est représenté sur la figure (I.8).

Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à  $(L-d)$ .

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.<sup>[5]</sup>

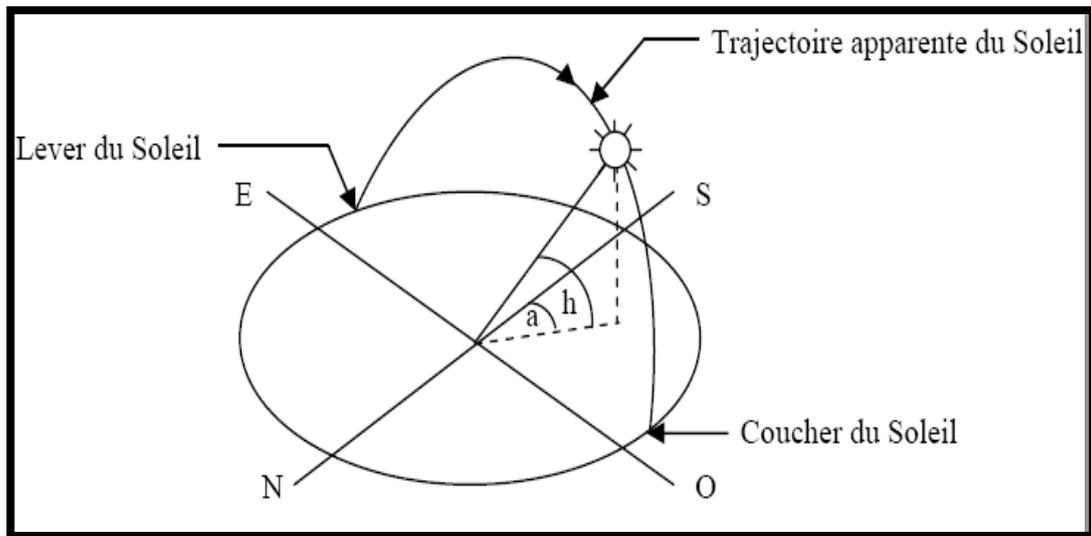


**Figure I.8. Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude  $L$**

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles:

- L'**azimut  $a$** : c'est l'angle que fait la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal avec la direction Sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.
- La **hauteur  $h$**  du Soleil: c'est l'angle que fait la direction du Soleil avec sa projection sur un plan horizontal.

Ces deux angles sont représentés sur la figure (I.9):



**Figure I.9: Repérage de la position du Soleil.**

On définit également l'angle horaire  $\omega$  par:

$$\omega = 15^\circ (\text{TS} - 12)$$

$\omega$ : est compté positivement l'après-midi.

La hauteur  $h$  du Soleil peut alors se déduire de la relation:

$$\sin(h) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (\text{I.1})$$

Et l'azimut ( $a$ ) par la relation :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)}$$

- **Heures et temps:**

**Durée du jour:**

Le module  $\omega_1$  l'angle horaire au lever du Soleil s'obtient en écrivant  $\sin(h) = 0$  dans la formule (I.1), ce qui conduit à :

$$\cos(\omega_1) = -\tan(L) \tan(\delta)$$

L'heure solaire au lever du Soleil a donc pour valeur :

$$(TS)_1 = 12 - \frac{\omega_1}{15} \quad (\mathbf{I.2})$$

L'angle horaire ( $\omega_c$ ) au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc ( $\omega_c = -\omega_1$ ) et la durée du jour vaut :

$$d = 2 \frac{\omega_1}{15}$$

### Relation entre temps légal et temps solaire :

Les relations se rapportant au mouvement du Soleil utilisent le temps solaire TS qui diffère généralement du temps légal TL (heure des montres) du lieu considéré. Cette différence est liée à :

- La différence (fixée par chaque pays) entre l'heure légale TL et l'heure civile TCF du fuseau horaire dans lequel il se trouve :

$$C = TL - TCF$$

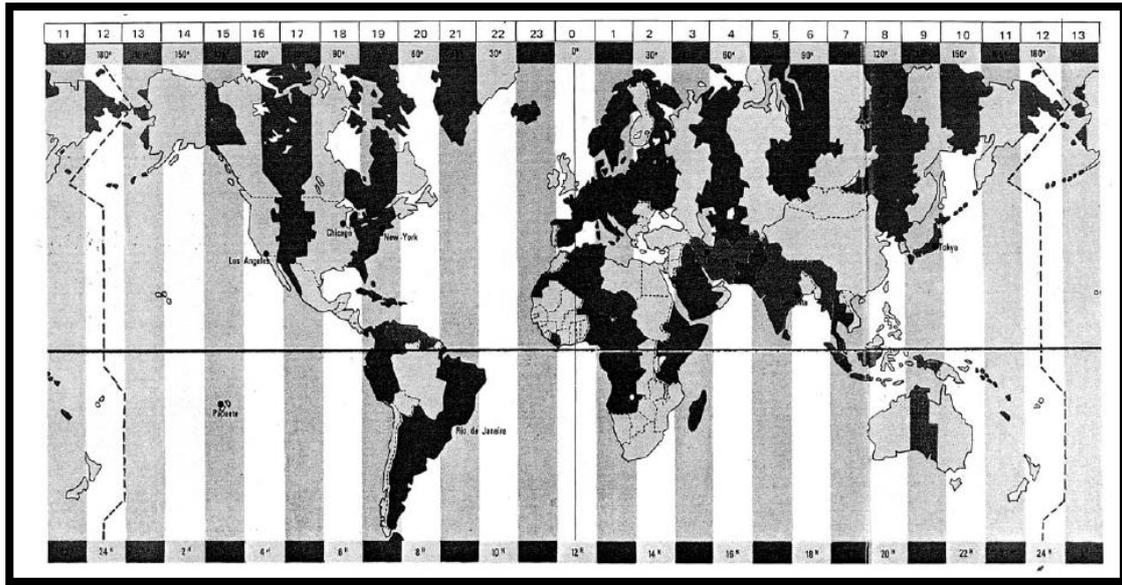
L'heure civile TCF du fuseau horaire est égale au temps universel TU (temps solaire du méridien de Greenwich) augmenté de la valeur du décalage horaire que l'on trouvera sur la Figure (I.10).

La variation de la vitesse de la Terre sur sa trajectoire autour du Soleil qui introduit un terme correctif appelé équation du temps et noté ET:

$$ET = 0,0002 - 0,4797 \cos(\omega j) + 3,2265 \cos(2\omega j) + 0,0903 \cos(3\omega j) + 7,3509 \sin(\omega j) \\ + 9,3912 \sin(2\omega j) + 0,3361 \sin(3\omega j)$$

Où: j Numéro du jour de l'année.  $\omega = 0,984$

ET: Equation du temps (terme correctif) en min.



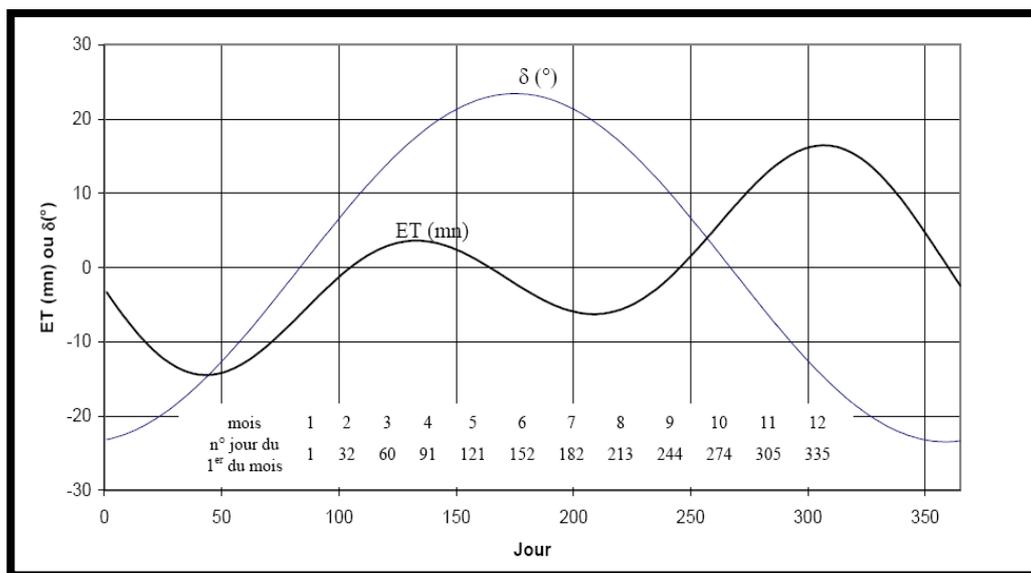
**Figure I.10: Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich**

La différence de longitude ( $l - l_{ref}$ ) entre le lieu considéré et le lieu servant de référence au temps légal (en général le centre du fuseau).

Le temps solaire TS se calcule finalement par la formule :

$$TS = TL - C + ET + \frac{(l_{ref} - l)}{15}$$

La correction maximale due à l'équation du temps est de l'ordre de 16 mn, on peut ne pas en tenir compte en première approximation. On trouvera les variations annuelles de la déclinaison et de l'équation du temps sur la Figure (I.11).<sup>[5]</sup>



**Figure I.11: Equation du temps ET et déclinaison  $\delta$  en fonction du jour de l'année.**

Le problème est souvent de déterminer la différence  $C$  entre  $TL$  et  $TCF$  en un lieu donné, on peut procéder de la manière suivante :

- ❖ Il est possible de connaître  $TL$  et  $TU$  (écouter une radio internationale...) d'où ( $TL - TU$ ).
- ❖ La différence ( $TCF - TU$ ).
- ❖ On en déduit  $C = (TL - TU) - (TCF - TU)$ .

#### - **Durée et taux d'ensoleillement:**

##### **Durée d'ensoleillement:**

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages.

On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation  $SS$  le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le Soleil.<sup>[5]</sup>

##### **Taux d'ensoleillement:**

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$ . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0}$$

La durée maximale d'ensoleillement  $SS_0$  pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule **(I.2)**.<sup>[5]</sup>

# **Chapitre II**

## **LE SYSTEME BIOPHYSIQUE (BATIMENT D'ELEVAGE)**

**II.1.DEFINITION ET ROLE DE LE BATIMENT D'ELEVAGE VOLAILLE:****II.1.1.IMPORTANCE ECONOMIQUE DU BATIMENT D'ELEVAGE:**

Le bâtiment d'élevage volaille représente un investissement à long terme (au moins 10 ans). Il faut le construire dès le départ conformément aux normes pour éviter les premières « fausses économies ». L'amortissement des bâtiments représente une faible part du prix de revient des productions avicoles. Il vaut mieux faire un petit poulailler bien conçu permettant d'avoir de bons résultats techniques qu'un grand bâtiment mal adopté. <sup>[12]</sup>

**II.1.2.LE ROLE DU BATIMENT D'ELEVAGE:****II.1.2.1. ROLE DE PROTECTION:**

Le bâtiment protège les volailles:

- contre le milieu extérieur: pluies, soleil, vent, ...etc.
- contre les prédateurs: voleurs, chats, civettes, ...etc.

**II.1.2.2. MILIEU DE VIE DES VOLAILLES:**

Le bâtiment d'élevage permet de créer un environnement propice à l'élevage de volailles, c'est-à-dire répondant à leurs besoins physiologiques. Ces besoins sont déterminés par:

- La température.
- La vitesse de l'air.
- L'humidité.

Au démarrage, le poussin a besoin de chaleur (35°C) et craint les courants d'air. Le bâtiment doit être correctement chauffé, sans entrées d'air intempestives. Au contraire, les poulets en finition ont besoin de fraîcheur. En saison chaude, des vitesses d'air élevées (environ 1 mètre par seconde) à leur niveau sont nécessaires.

Ainsi, les besoins physiologiques du poulet varient en cours d'élevage selon l'âge et le bâtiment doit répondre à chaque demande. Il est primordial de gérer correctement la ventilation par des systèmes de régulation efficaces. <sup>[12]</sup>

En l'Algérie, la plupart des bâtiments sont trop fermes ou trop ouverts car la ventilation n'est pas régulée. Depuis quelques années, la tendance est à la construction de bâtiments très ouverts (dont les parois latérales sont grillagées à partir de 40 à 60 cm du sol), ce qui permet d'éviter les « coups de chaleur ». Au démarrage des poussins, des sacs d'aliments ou des bâches en plastique sont utilisés pour boucher les ouvertures. Bien qu'efficace les tous premiers jours, cette technique est rapidement mal adoptée dès qu'il faut commencer à aérer le bâtiment (à partir de 8<sup>ème</sup> jours d'âge). En effet la taille des ouvertures est difficile à maîtriser et aucune régulation efficace ne peut être mise en place, sans parler des courants d'air parasites.

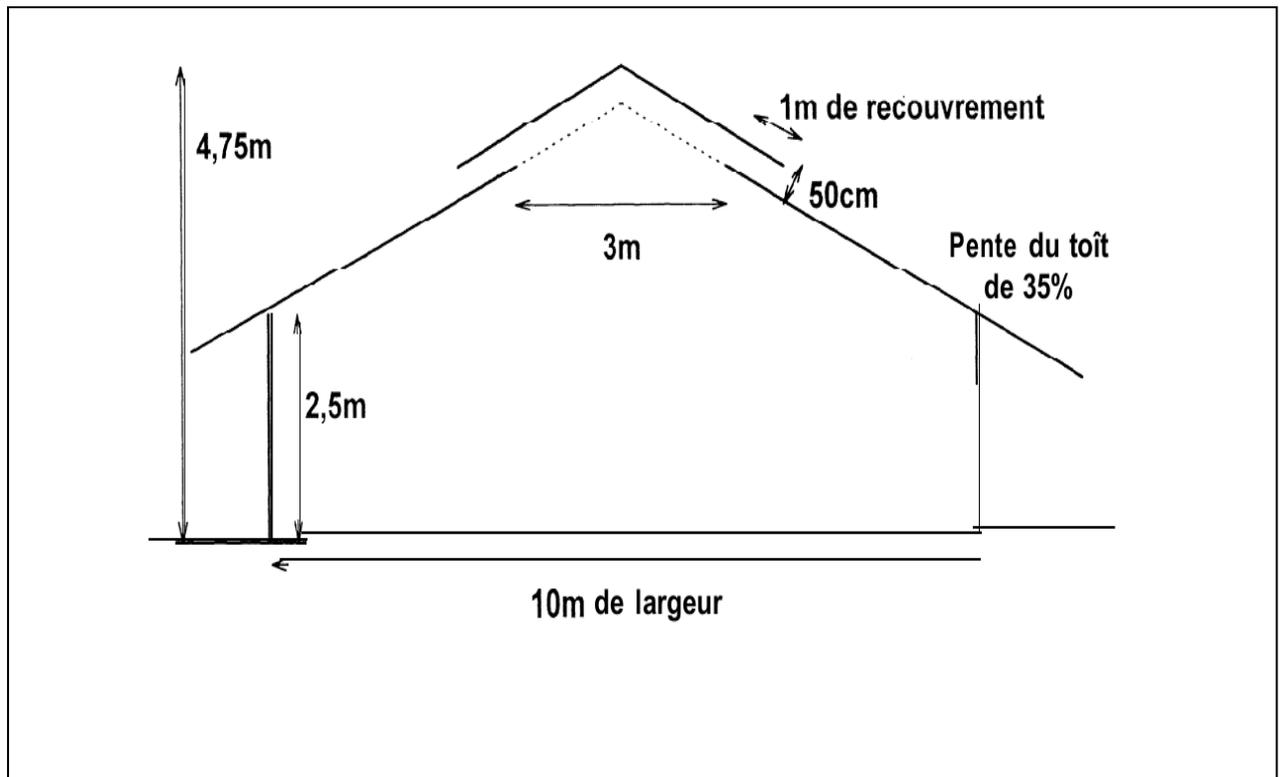
**Tableau II.1. Les normes de température**<sup>[12]</sup>

Age	Température sous le chauffage	Température de l'aire de vie
Premiers jours	38	> 28
Première semaine	35	28
Deuxième semaine	32	28
Troisième semaine	29	28
Quatrième semaine	25	25

**Tableau II.2. Normes de construction du bâtiment d'élevage en fonction du type de production et de la taille des bandes**<sup>[12]</sup>

surface en m <sup>2</sup>	élevage de poules de chaires	élevage de poules pondeuses	largeur en m	longueur en m
50	500	250	5	10
100	1000	500	6	17
200	2000	1000	7	30
500	5000	2500	8	62,5
750	7500	3750	10	75
1000	10000	5000	10 ou 12	100 ou 83

Par exemple:



## II.2. ECHANGES D'ENERGIE INTERVENANT DANS LE BATIMENT D'ELEVAGE:

Dans ce qui suit, nous allons étudier les transferts de chaleur par rayonnement, convection, conduction et par renouvellement d'air, entre les différents sous-systèmes du bâtiment d'élevage et l'extérieur (figure.II.2).

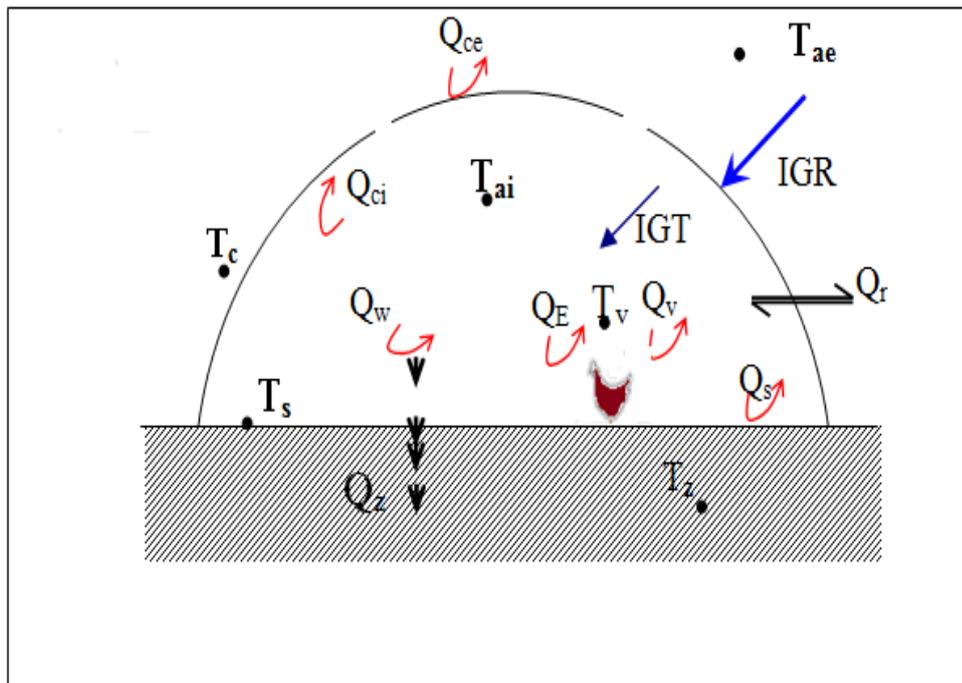
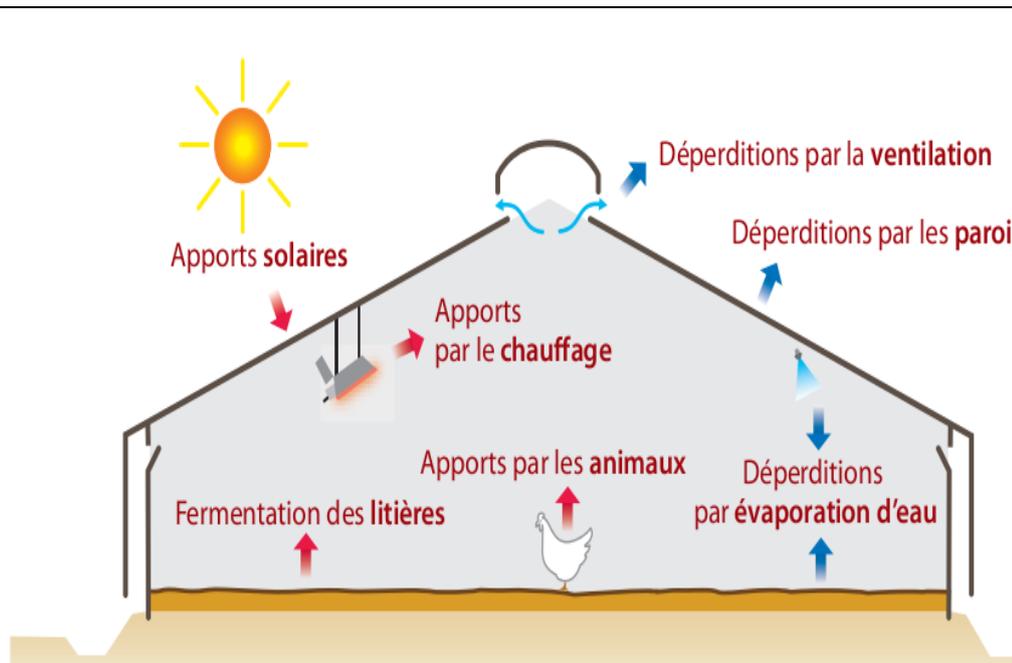


Figure II.2: Echanges thermiques dans l'élevage <sup>[11]</sup>

**Transfert de chaleur:**

-  Par convection ;
-  Flux transmis à travers la couverture ;
-  Flux solaire global incident ;
-  Par renouvellement d'air ;
-  Par conduction ;

**Température:**

$T_v$  : de la volaille;

$T_c$  : de la paroi (couverture) ;

$T_s$  : de la surface du sol;

$T_w$  : de stockage;

$T_z$  : du sol à une profondeur de 1m;

$T_{ai}$  : de l'air intérieur ;

$T_{ae}$  : de l'air extérieur (atmosphère ambiante extérieure);

**II.2.1. Echanges par convection:**

Ces échanges correspondent à des transferts d'énergie liés aux déplacements des fluides. C'est en 1709 que **NEWTON** a développé les échanges de chaleur par convection intervenant entre une surface solide et un fluide:

$$Q_{cv} = h \cdot A \cdot (T_p - T_f) \quad [w] \quad \text{(II.1)}$$

avec:

$h$  : Coefficient d'échange par convection [ w / m<sup>2</sup>.°K];

$A$  : Surface d'échange . . . . [m<sup>2</sup>];

$T_p$ : Température de la paroi . . . . [°K];

$T_f$  : Température du fluide . . . . [°K];

Selon la nature des mécanismes engendrant le mouvement des fluides, on distingue trois types de convection [4]:

a) **Convection libre ou naturelle:** En l'absence de toute intervention mécanique extérieure, les différences de température dans la masse de fluide engendrent des différences de densité qui génèrent des courants gravitaires.

b) **Convection forcée:** Le mouvement du fluide est provoqué par une intervention mécanique indépendante de toute hétérogénéité dans la répartition des températures au sein du fluide.

c) **Convection mixte:** Dans ce cas, les deux mécanismes se superposent.

***Estimation du coefficient d'échange convectif:***

Le coefficient h dépend de plusieurs paramètres tels que la géométrie de la paroi, les caractéristiques thermo physiques du fluide et la nature de l'écoulement.

**Nombres adimensionnels :**

Nous allons définir ci après les nombres sans dimension rencontrés en transfert thermique par convection, donnant dans chaque cas, une interprétation physique de ces nombres.

▪ **Nombre de Nusselt:**

La quantité de chaleur échangée par convection est équivalente au flux transmis par conduction à travers une sous couche du fluide d'épaisseur dx :

$$Q_{p-f} = -k.A.\left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0} = h.A.(T_p - T_f)$$

D'où :

$$\frac{h.L}{k} = \frac{-\left.\frac{dT}{dX}\right|_{x=0}}{\frac{T_p - T_f}{L}}$$

L : longueur caractéristique.

On peut écrire:  $dT = d(T - T_p)$

$$\frac{h.L}{k} = \frac{d \left[ \frac{T_p - T}{T_p - T_f} \right]}{d \left( \frac{X}{L} \right)} \Bigg|_{X=0}$$

La combinaison  $\frac{h.L}{k}$  est appelée le nombre de NUSSELT.

$$\mathbf{Nu} = \frac{\mathbf{h} * \mathbf{L}}{\mathbf{k}} \quad (\text{II.2})$$

Où

$h$  : Coefficient d'échange par convection ... [w/m<sup>2</sup>.°K];

$k$  : Conductivité thermique du fluide ... [w/m.°K];

$L$  : Longueur caractéristique ... [m];

### Signification physique :

Le nombre de NUSSELT est le rapport de la quantité de chaleur échangée par convection à la quantité de chaleur échangée par conduction.

#### ▪ Nombre de Prandtl :

$$\mathbf{Pr} = \frac{\boldsymbol{\mu}}{\mathbf{k} / \mathbf{Cp}} \text{ avec } \boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{v} \Rightarrow \mathbf{Pr} = \frac{\boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{v}}{\mathbf{k} / \mathbf{Cp}} \quad (\text{II.3})$$

avec :

$\rho$  : Masse volumique ... [kg / m<sup>3</sup>];

$C_p$  : Chaleur spécifique ... [J / kg.°K];

$\mu$  : Viscosité dynamique ... [kg / m.s];

$k$  : Conductivité thermique ... [w/m.°K];

$v$  : Viscosité cinématique ... [m<sup>2</sup> / s];

Ce nombre représente le rapport de la diffusivité matière à la diffusivité thermique.

- **Nombre de Grasshoff:**

$$\text{Gr} = \frac{\beta \cdot g \cdot L^3 (T - T_f)}{\nu^2} \quad (\text{II.4})$$

avec :

$\beta$  : coefficient de dilatation volumique . . . . [1/°K];

$g$  : la pesanteur  $\approx 9,81$  . . . . [m/s<sup>2</sup>];

$(T - T_f)$  : l'écart de température;

Le nombre de GRASSHOFF est défini comme le rapport entre la force de gravité et de la force d'inertie.

- **Nombre de Reynolds :**

$$\text{Re} = \frac{V \cdot L}{\nu} = \rho \cdot \frac{V \cdot L}{\mu} \quad (\text{II.5})$$

Ou :

$V$  : La vitesse d'écoulement du fluide en [m / s]

Ce nombre représente le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité.

- **Nombre de Rayleigh:**

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} \quad (\text{II.6})$$

Il caractérise la convection naturelle selon le mode d'échange (à température de parois constante ou flux thermique constant).

### **Evaluation du coefficient d'échange par convection :**

La détermination du coefficient d'échange diffère selon la nature de convection.

**\* Convection naturelle :**

Pour ce type de convection, le nombre de NUSSELT est donné en fonction des nombres adimensionnels, GRASSHOF et PRANDTL par la relation suivante:

$$\text{Nu} = K \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^n \quad (\text{II.7})$$

$K$  et  $n$  sont des constantes.

**\* Convection forcée :**

Dans ce mode de convection le nombre de NUSSELT est donné en fonction de deux nombres adimensionnels, le nombre de REYNOLDS et le nombre de PRANDTL par la relation suivante :

$$\text{Nu} = a \cdot \text{Re}^n \cdot \text{Pr}^m \quad (\text{II.8})$$

$a$  ,  $n$  et  $m$  des constantes qui peuvent être déterminées en fonction du régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent) .

**II.2.2. Echanges par conduction:**

La conduction est un transport de chaleur à travers un milieu matériel sans mouvement interne et sans intervention du rayonnement.

La formalisation des règles régissant les transferts de chaleur par conduction à été établie par **Fourier** (1822) ; [2].

Dans le cas d'une propagation unidirectionnelle, la loi de Fourier donne :

$$Q_{cd} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dn} \quad [w] \quad (\text{II.9})$$

avec :

$k$  : Coefficient de conduction ... [w/m.°K];

$A$  : Surface d'échange . . . . [m<sup>2</sup>];

$\frac{dT}{dn}$  : Gradient de la température suivant la direction normale à l'isotherme;

La conduction est le seul mode de transfert de chaleur intervenant au sein du milieu solide [5].

**II.2.3. Echanges par renouvellement d'air :**

Le renouvellement d'air se fait à travers différentes ouvertures. Pour sa détermination il faut prendre en compte les dimensions et l'emplacement des ouvertures, la qualité de l'étanchéité et le montage du bâtiment d'élevage.

La densité du flux de chaleur échangée par renouvellement d'air est donnée par [4]:

$$Q_{rn} = D \cdot C_p(T_{ai}) \cdot V_{ai} (T_{ae} - T_{ai}) \quad (\text{II.10})$$

Où :

D : Taux de renouvellement (nombre de volume / unité de temps);

$V_{ai}$  : Volume du bâtiment d'élevage . . . . [m<sup>3</sup>];

$T_{ae}$ : Température de l'ambient extérieur . . . . [°K];

$T_{ai}$  : Température à l'intérieure du bâtiment d'élevage. . . [°K];

$C_p$  : Capacité calorifique volumique de l'air, sa valeur est donnée par la relation empirique proposée par **Van Bavel** et corrigée par **Pruvot**[5] :

$$C_p(T_{ai}) = \frac{355637}{(T_{ai} + 273,16)} \quad [\text{J} / \text{m}^3 \cdot \text{°K}] \quad (\text{II.11})$$

**KITTAS** [4] a obtenu, pour un établissement tunnel, l'expression donnant le taux de renouvellement d'air en fonction de la vitesse du vent :

$$D = 1 + 0,3.U / 3600 \quad (\text{II.12})$$

avec:

U : La vitesse du vent . . . . [m/s]

#### II.2.4. Echanges par rayonnement:

L'énergie rayonnée qui se propage dans le bâtiment d'élevage peut être de grandes longueurs d'onde et de courtes longueurs d'onde.

Le rayonnement thermique, comme toutes les radiations électromagnétiques, n'exigeant pas de support matériel pour se propager, représentent de ce fait la seule possibilité d'échange thermique entre des corps distants, séparés par un milieu transparent [2].

##### II.2.4.1. Rayonnement solaire :

La quantité d'énergie solaire reçue par la terre est définie par la constante solaire.

La valeur généralement admise est celle obtenue à partir des mesures directes

( LANSA) [3]:

$$I_0 = 1353 \quad [w/m^2]$$

**Tableau. II.3. Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées.**

<b>Irradiation solaire</b> Energie reçue pendant une certaine durée $W.m^{-2}.durée^{-1}$ ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$	Directe	S	G = S + D
	Diffuse	D	
	Globale	G	
<b>Eclairement solaire</b> Flux instantané $W.m^{-2}$	Direct	S*	G* = S* + D*
	Diffus	D*	
	Global	G*	

**- Rayonnement direct:**

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le Soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sous une incidence normale est désigné par I. Nous désignerons par :

- I : l'énergie reçue (irradiation) en  $W.m^{-2}.durée^{-1}$  ou  $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$
- I\* : le flux reçu (éclairement) en  $W.m^{-2}$

Nous avons la relation :

Avec :

$$S^* = I^* \sin(h) \quad \text{(II.13)}$$

$$I^* = 1370 \exp \left[ \frac{-TL}{0.9 + 9.4 \sin(h)} \right] \quad \text{(II.14)}$$

Où TL est le facteur de trouble de Linke calculable par :

$$TL = 2.4 + 14.6\beta + 0.4(1 + 2\beta) \ln (P_v)$$

$\beta$  est le coefficient de trouble atmosphérique que l'on peut prendre égal à :

$$\beta = 0,05 \text{ en zone rurale}$$

$$\beta = 0,1 \text{ en zone urbaine}$$

$\beta = 0,2$  en zone industrielle ou polluée

$P_v$ : Est la pression partielle de vapeur d'eau exprimée en mm Hg.

- **Rayonnement diffus :**

L'éclairement solaire diffus  $D^*$  sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

- Par mesure directe.
- A partir de la mesure de l'irradiation journalière diffuse  $D$  sur un plan horizontal, on déduit :

$$D^* = 54.8 \sqrt{\sin(h)} [Tl - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad (\text{II.15})$$

- **Rayonnement global :**

Est la somme du rayonnement direct et diffus

$$G^* = S^* + D^* \quad (\text{II.16})$$

### II.2.4.2. Rayonnement terrestre

#### a- le rayonnement du corps noir:

Le corps noir est un corps qui absorbe toutes les radiations incidentes quelque soient leurs longueurs d'onde.

Son rémittence est fonction de la température. Elle est donnée par la loi de STEFAN BOLTZMAN.

$$Q_{r.t} = \sigma \cdot T^4 \quad . . . [w/m^2] \quad (\text{II.17})$$

avec:

$\sigma$  : est la constante de STEFAN BOLTZMAN =  $5,68 \times 10^{-8} [w/m^2.K^{-4}]$ ;

$T$  : température du corps. . . [K].

#### b- rayonnement atmosphérique :

Le rayonnement atmosphérique résulte de l'émission dans diverses directions des composants de l'atmosphère.

Une fraction d'énergie est rayonnée et dirigée vers l'espace tandis que l'autre fraction parvient au sol. Le domaine des longueurs d'ondes du rayonnement atmosphérique s'étend approximativement de 3 à 100  $\mu\text{m}$ . [1].

D'après la loi de **STEFAN BOLTZMAN**. Le flux de chaleur est donné par l'expression suivante :

$$Q_{r.atm} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{ciel}^4 \quad (\text{II.18})$$

$T_{ciel}$ : température fictive du ciel, sa valeur est donnée par l'expression de **SWINDBANK**[12]:

$$T_{ciel} = 0.0552 \cdot (T_{ae})^{1.5} \quad (\text{II.19})$$

$T_{ciel}$  et  $T_{ae}$  sont exprimées en degré Kelvin;

$T_{ae}$  : Température de l'air extérieur . . . [K]

## **Chapitre III**

# **ETUDE THERMIQUE**

### III.1. INTRODUCTION :

Le travail de ce chapitre se base sur les calculs et toutes les formules mathématiques utilisées dans l'étude. Nous avons déterminé le bilan énergétique de la surface du sol, l'étude de conduction avec le sous sol, le transfert thermique au niveau des tubes et l'étude de l'échange de chaleur par convection forcée de fluide (eau chaude).

Le présent chapitre nous permet de définir les dimensionnements du modèle proposé pour faire le stockage thermique et augmenter la performance de ce stockage.

### III.2. PRESENTATION DES PRINCIPALES SOURCE D'ÉCHANGE DE CHALEUR POUR LA MODELISATION

Devant la multitude d'échanges thermiques qui sont mis en jeu, nous avons décidé de ne sélectionner que les principaux (figure suivant), c'est-à-dire :

- ❖ Apport radiatif solaire total: flux direct + flux diffus.
- ❖ Convection sensible dans l'air.
- ❖ Rayonnement infrarouge émis par le sol.
- ❖ Conduction dans le sol.<sup>[7]</sup>

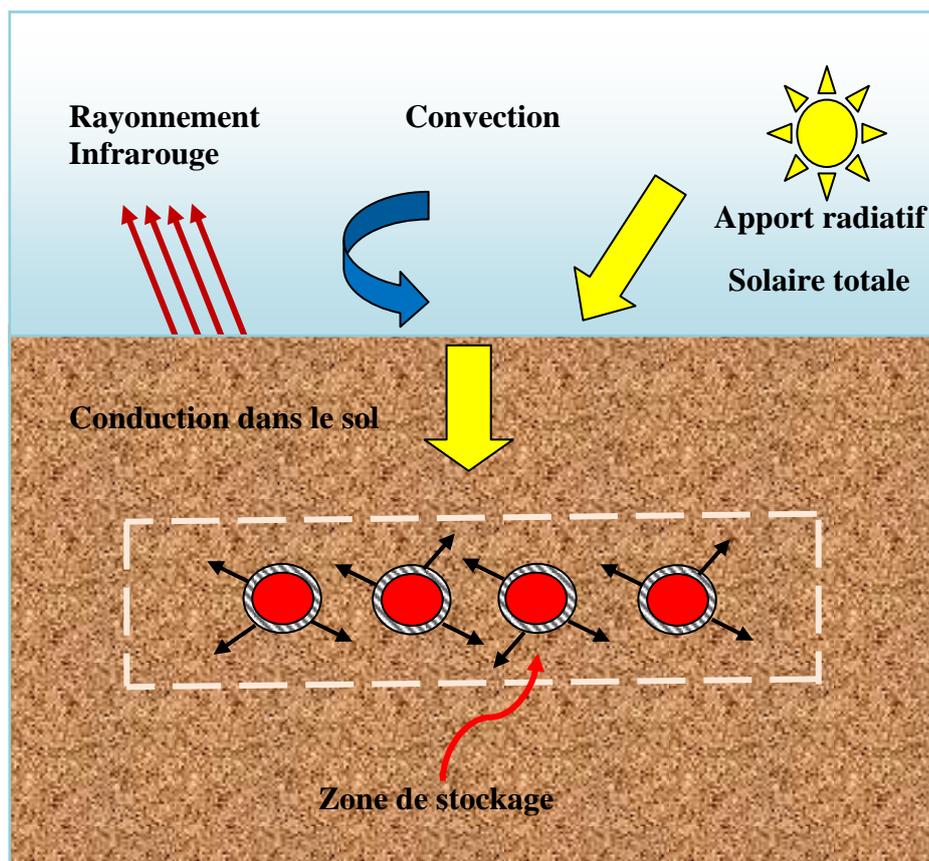


Figure III.1. Schéma présentant les échanges retenus pour la modélisation

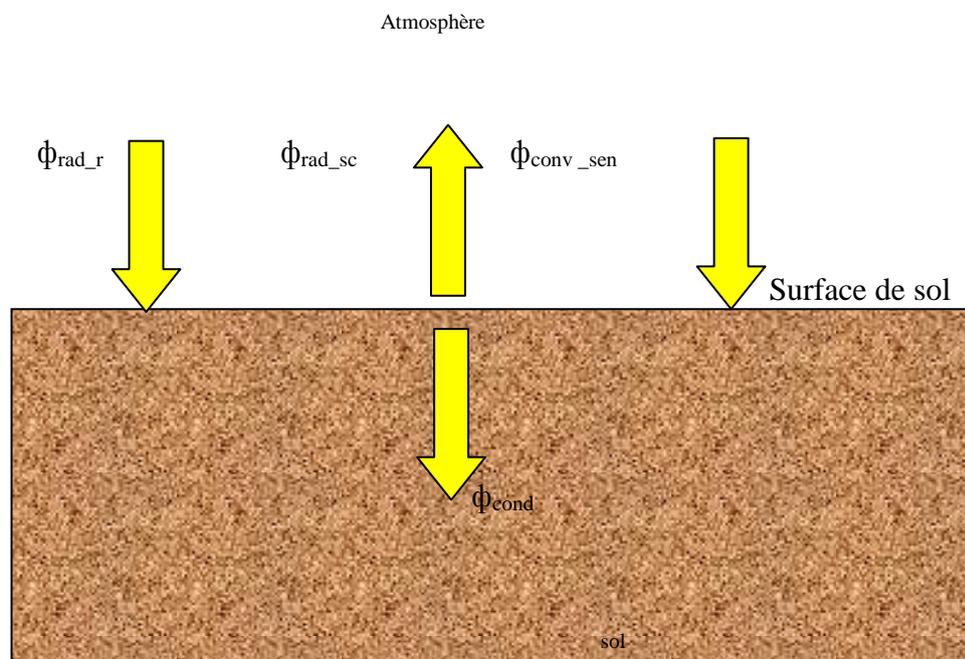
## Caractéristiques thermiques du sol

Les différentes sources bibliographiques qui donnent des chiffres caractéristiques thermiques de la terre; conductivité( $\lambda$ ), chaleur spécifique( $C_p$ ) et la masse volumique( $\rho$ ); ne s'accordent pas les unes aux autres à cause de l'hétérogénéité des sols. En particulier, ces trois grandeurs varient fortement en fonction de la densité et surtout de l'humidité. Par contre elles varient peu avec sa composition chimique (sol calcaire, sol argileux, sol siliceux etc. ...) des lors, qu'il s'agit de terre végétale propre à la culture. <sup>[8]</sup>

**III.3. BILAN THERMIQUE DE LA SURFACE DU SOL**

En l'absence de données de mesures, la température de la surface du sol doit être calculée. Ce calcul s'appuie sur un bilan thermique.

À la surface du sol, les échanges thermiques sont multiples : échanges avec l'atmosphère par conduction, et par convection, mais aussi avec le soleil et le ciel par rayonnement. <sup>[10]</sup>



**Figure III.2. Bilan des flux thermiques à la surface du sol**

$$\Phi_{\text{cond}} = (\Phi_{\text{rad}_r} - \Phi_{\text{rad}_{sc}}) + \Phi_{\text{conv}_{sens}} \quad (\text{III.1})$$

avec:

$\Phi_{\text{cond}}$	: Flux thermique conductif vers le sol	$[\text{W.m}^{-2}]$
$\Phi_{\text{rad}_r}$	: Flux thermique radiatif reçu du soleil par la surface du sol	$[\text{W.m}^{-2}]$
$\Phi_{\text{rad}_{sc}}$	: Flux thermique radiatif net échangé avec le ciel	$[\text{W.m}^{-2}]$
$\Phi_{\text{conv}_{sens}}$	: Flux thermique convectif sensible reçu par la surface du sol	$[\text{W.m}^{-2}]$

Les expressions détaillées de ces quatre flux sont les suivantes:

$$\Phi_{\text{cond}} = -\lambda_{\text{sol}} \left. \frac{dT_{\text{sol}}}{dz} \right|_{z=0} \quad (\text{III.2})$$

$$\Phi_{\text{rad}_r} = (1 - \alpha_{\text{sol}}) \cdot G \quad (\text{III.3})$$

$$\Phi_{\text{rad}_{sc}} = \varepsilon_{\text{sol}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{surf}_{\text{sol}}}^4 - T_{\text{ciel}}^4) \quad (\text{III.4})$$

$$\Phi_{\text{conv}_{\text{sens}}} = h_{\text{surf}} \cdot (T_{\text{amb}} - T_{\text{surf}_{\text{sol}}}) \quad (\text{III.5})$$

avec :

$\alpha_{\text{sol}}$  : Coefficient d'albédo de la surface du sol

$G$  : Rayonnement solaire global horizontal

$\varepsilon_{\text{sol}}$  : Émissivité de la surface du sol

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )

$T_{\text{ciel}}, T_{\text{amb}}$  : Température équivalente de ciel. Température de l'air ambiant

$h_{\text{surf}}$  : Coefficient d'échange convectif à la surface du sol

L'équation (III.5), exprime les échanges par convection en fonction d'un coefficient d'échange par convection ( $h_{\text{surf}}$ ) qui dépend de la vitesse du vent, calculé par la formule empirique de Mostrel et Givoni (1982) :

$$h_{\text{surf}} = 0.5 + 1.2 \sqrt{v_{\text{vent}}} \quad (\text{III.6})$$

avec:

$v_{\text{vent}}$  : Vitesse du vent au niveau du sol

### Valeur de l'albédo

**Tableau III.1: Les valeurs de l'albédo par rapport les types des Surface**

Surface	Albédo
<b>Limon siliceux sec</b>	<b>0.23</b>
<b>Limon argileux sec</b>	<b>0.18</b>
<b>Limon argileux humide</b>	<b>0.11</b>
<b>Gazon</b>	<b>0.20-0.25</b>
<b>Orge</b>	<b>0.21-0.22</b>
<b>Blé</b>	<b>0.16-0.17</b>
<b>Forêt</b>	<b>0.05-0.20</b>
<b>Eau</b>	<b>0.03-0.10</b>
<b>Neige</b>	<b>0.70-0.95</b>

**En générale pour les sols:  $0.1 < \alpha < 0.3$  [8]**

### III.4. ETUDE THERMIQUE DANS LE SOL (TRANSFERT CONDUCTIFS CAS MONODIRECTIONNEL):

#### III.4.1. Equation de la température:

Le sol est un milieu semi-infini limité sur sa face supérieure par un plan sur lequel est appliqué un signal de température périodique  $T=f(t)$ . Les caractéristiques thermiques sont connues.

En négligeant les effets de bord à l'intérieur du bâtiment d'élevage volaille;

Ces échangeurs correspondent à des transferts de chaleur par propagation sur un support matériel sans qu'interviennent des déplacements internes ni des phénomènes radiatifs.

La formalisation des règles régissant les transferts de chaleur conductifs a été établie par Fourier.<sup>[10]</sup>

Dans le cas d'une propagation unidirectionnelle nous écrivons:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{III.7})$$

$\frac{d\Phi}{dt}$ : flux de chaleur.

A: section du matériau perpendiculaire à la direction de propagation .

$\frac{dT}{dx}$ : gradient de température dans la direction de propagation.

$\lambda$ : conductibilité thermique.

En régime permanent. Le flux de chaleur ne varie pas dans le temps donc on a :

$$d\Phi = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{III.8})$$

### III.4.2. Evolution de température d'un milieu conducteur (équation de chaleur) :

Le bilan thermique des échanges qui s'effectuent sur un élément de volume élémentaire dans un gradient de température unidirectionnel s'écrit :

$$\lambda \cdot \frac{d^2T}{dx^2} = \rho \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (\text{III.9})$$

L'extension de la formalisation au cas d'une propagation tridirectionnelle dans un milieu isotrope conduit à :

$$\lambda \cdot \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) = \rho \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (\text{III.10})$$

### III.4.3. Echange par conduction dans un milieu semi infini – phénomène périodique:

Stephen WHITAKER résoudre l'équation de conduction unidirectionnelle

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dx^2} \quad (\text{III.11})$$

avec les conditions initiales :  $T = T_0 + \Delta T \cos(\omega t)$ ,  $x = 0$

$T = T_0$ ,  $x = \infty$

L'évolution de la température en profondeur et dans le temps est :

$$T(x, t) = T_m + \Delta T \cdot e^{-x \cdot \sqrt{\omega/2a}} \cdot [\cos(\omega t - x \cdot \sqrt{\omega/2a})] \quad (\text{III.12})$$

Avec :

$$h = \sqrt{\left( \frac{2a}{\omega} \right)} \quad (\text{III.13})$$

L'équation de l'onde de chaleur montre que l'amplitude des variations de température dans le terrain est atténuée avec un facteur qui décroît exponentiellement avec la profondeur ( $\Delta T \cdot e^{(-x \cdot \sqrt{\omega/2a})}$ ). Cette atténuation est conditionnée par la profondeur de pénétration de l'onde de chaleur  $h$ , qui ne dépend que de la diffusivité thermique du terrain ( $a$ ) et de la période ( $T$ ) de l'onde de chaleur.

### III.4.4. Loi de variation de la température dans le sol

Les variations périodiques des flux radiatifs à la surface y déterminent des variations de température dont l'extension vers la profondeur obéit à l'équation générale de la propagation des phénomènes périodiques avec amortissement. A tout instant (t), la température du sol  $T(x, t)$  à la profondeur (x) se déduit de l'équation suivante [4]:

$$T(x, t) = T_m + \theta_0 \cdot e^{(-x/h)} \cdot \cos(\omega t - x/h) \quad (\text{III.14})$$

La température à la surface du sol ( $T_0$ ) s'écrit donc :

$$T_0 = T(0, t) = T_m + \theta_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (\text{III.15})$$

$$T_m = \frac{M+m}{2} \quad (\text{III.16})$$

M et m sont les valeur expérimentales externe de la température du sol à un niveau donné

$$T_m = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

Température moyenne du sol au cours d'une période de variation

$\theta_0 = \Delta T$ : amplitude de variation de la température à la surface du sol

$$x = 0 \quad \theta_0 = \Delta T = \frac{M - m}{2}$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ : pulsation du phénomène de période T

$$\omega = \frac{2\pi}{86400}$$

Avec:

h: profondeur d'amortissement variable selon la propriétés du sols et de la périodicité du phénomène considéré.

$$h = \sqrt{\frac{2a}{\omega}}$$

expression dans laquelle

a: diffusivité thermique du sol  $\frac{\lambda_s}{\rho_s \cdot C_p}$

$\lambda_s$ : conductivité thermique du sol

$C_p$ : chaleur spécifique

$\rho_s$ : densité du sol

### III.5. CALCULE THERMIQUE AU NIVEAU DES TUBES:

Considérons un cylindre creux de longueur (L), de rayon intérieur ( $R_i$ ), de rayon extérieur ( $R_e$ ) et de conductivité thermique  $\lambda$ . <sup>[11]</sup>

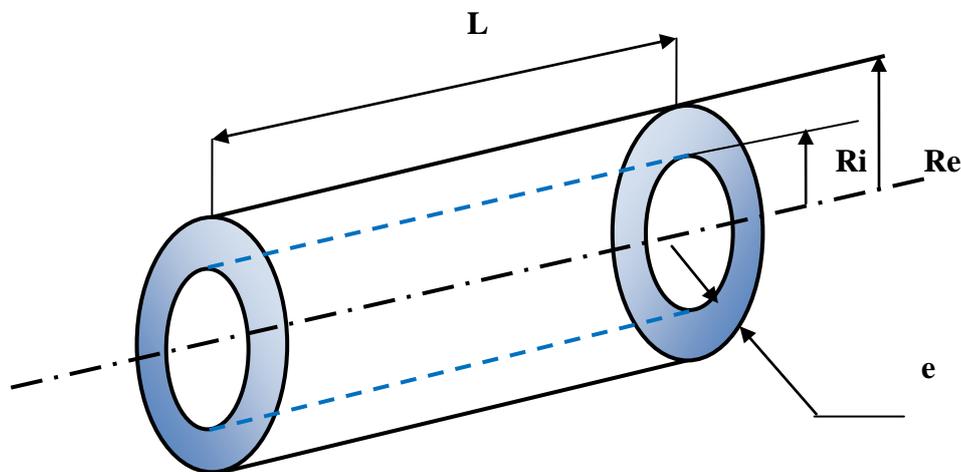


Figure III.3. Tube cylindrique

Dans le cas d'une géométrie simple la résistance thermique  $R_{th}$  peut être déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$R_{th} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\lambda S(x)} dx \quad (\text{III.17})$$

Pour une paroi plan avec :  $S(x) = S$ ,  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = e$ , on retrouve , en considérant le coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  constante ,bien :

$$R_{th} = \int_0^e \frac{1}{\lambda S(x)} dx = \frac{e}{\lambda S} \quad (\text{III.18})$$

Les faces extrêmes figure(III.4), sont supposées être thermiquement isolées l'étude se ramène à celle d'une couronne d'épaisseur ( $e = R_e - R_i$ .)

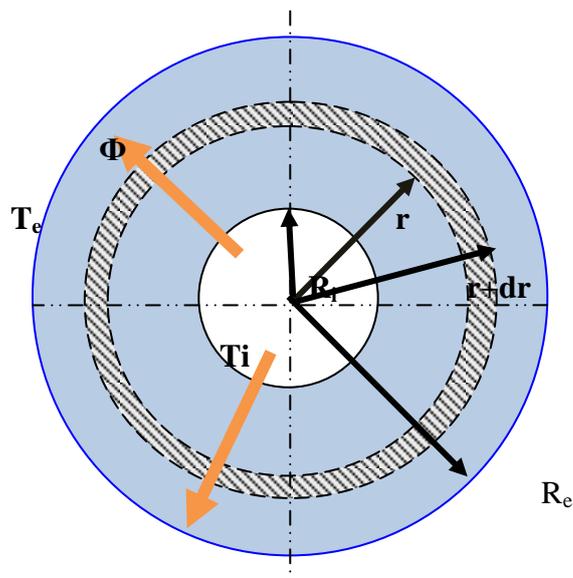


Figure III.4. Géométrie de référence

L'évolution du champ de température  $T(r)$  n'est fonction de la distance ( $r$ ). Dans ce cas les lignes de flux sont ainsi des droites passant par le centre de système O. pour un cylindre creux nous avons :

$$x_1 = R_i, x_2 = R_e, x = r \text{ et } S(x) = S(r) = 2\pi rL.$$

Ce qui même, en à :

$$R_{th} = \int_{R_i}^{R_e} \frac{1}{2\pi\lambda L} dr$$

$$R_{th} = \frac{1}{2\pi\lambda L} \int_{R_i}^{R_e} \frac{dr}{r}$$

$$R_{th} = \frac{1}{2\pi\lambda L} [\ln(r)]_{R_i}^{R_e} = \frac{1}{2\pi\lambda L} [\ln(R_e) - \ln(R_i)]$$

Soit :

$$R_{th} = \frac{1}{2\pi\lambda L} \ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right) \quad \text{(III.19)}$$

Or :

$$-(T_e - T_i) = R_{th} \Phi$$

Ou le signe moins (-) provient de la loi de Fourier.

L'expression du flux de chaleur est donc :

$$\Phi = \frac{2\pi L \lambda (T_i - T_e)}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \quad \text{(III.20)}$$

Nous reproduirons pour les formulations cas des :

### III.5.1. Tube minces

$$\Phi = \frac{2\pi L \lambda (T_i - T_e)}{\frac{e}{R_i}}$$

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} S_i (T_i - T_e) \quad \text{(III.21)}$$

Vérification:

On remarquant que :

$$\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right) = \ln\left(\frac{R_i + e}{R_i}\right) = \ln\left(1 + \frac{e}{R_i}\right)$$

Posons le développons limité du dernier terme, en série de Mac Laurin, pour des valeurs de (e) petites.

$$\ln\left(1 + \frac{e}{R_i}\right) = \frac{e}{R_i} - \frac{1}{2!}\left(\frac{e}{R_i}\right)^2 + \frac{1}{3!}\left(\frac{e}{R_i}\right)^3 - \dots$$

Qui lorsque ( $e \rightarrow 0$ ) se comporte comme :

$$\ln\left(1 + \frac{e}{R_i}\right) = \frac{e}{R_i}$$

D'où

$$R_{th} = \frac{1}{2\pi\lambda L} \frac{e}{R_i}$$

Et

$$(T_i - T_e) = \frac{1}{2\pi\lambda L} \frac{e}{R_i} \Phi$$

Soit

$$\Phi = \lambda \frac{2\pi R_i L}{e} (T_i - T_e)$$

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} S_i (T_i - T_e)$$

### III.5.2. Tubes épais:

$$\Phi = \frac{S_e - S_i}{\ln\left(\frac{S_e}{S_i}\right)} \frac{\lambda}{e} (T_i - T_e)$$

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} S_{moy} (T_i - T_e) \quad \text{(III.22)}$$

Vérification:

Posons la densité de flux :

$$\varphi = -\lambda \frac{dT}{dr}$$

Car la température  $T = T(r)$  n'est fonction que la distance à l'axe ( $r$ ).

$$\text{En } r = R_i \text{ on a } S(R_i) = 2\pi R_i L$$

$$\text{En } r = R_e \text{ on a } S(R_e) = 2\pi R_e L$$

La densité de flux ( $\varphi_r$ ) ne se conserve pas mais évolue.

$$\text{En } (r) \text{ on a } S(r) = 2\pi r L$$

$$\text{En } (r + dr) \text{ vaut } S(r + dr) = 2\pi(r + dr)L$$

Soit

$$dS_r = 2\pi L dr$$

On obtient ainsi

$$\varphi_r = -2\pi L \lambda \frac{dT}{dr}$$

Le flux est conservatif et la variation du flux suivant ( $r$ ) est donc nulle.

Le flux en ( $r + dr$ ) vaut

$$\Phi_{r+dr} = \Phi_r + \frac{d\Phi}{dr} dr$$

Soit:

$$\frac{d\Phi}{dr} = \frac{\left(\Phi_r + \frac{d\Phi}{dr} dr\right) - \Phi_r}{dr}$$

$$\frac{d\Phi}{dr} = \frac{d\Phi}{dr} dr$$

D'où:

$$\frac{d\Phi}{dr} = \frac{d^2\Phi}{dr^2} dr$$

Appliquons la condition

$$\frac{d\Phi}{dr} = 0, \text{ soit } \Phi = C$$

Il vient :

$$-2\pi L\lambda \frac{d}{dr} \left( \frac{dT}{dr} \right) dr = 0$$

$$-2\pi L\lambda \frac{d^2T}{dr^2} dr = 0$$

Soit :

$$\frac{d^2T}{dr^2} = 0$$

Or

$$\Phi_r = -\lambda \frac{dT}{dr} S(r)$$

Et

$$\frac{d\Phi_r}{dr} = -\lambda \frac{d}{dr} \left( \frac{dT}{dr} S(r) \right)$$

$$\frac{d\Phi_r}{dr} = -\lambda \frac{d^2T}{dr^2} S(r) - \lambda \frac{dT}{dr} \frac{dS(r)}{dr}$$

$$\frac{d\Phi_r}{dr} = 0 - 2\pi Lr\lambda \frac{dT}{dr} dr$$

Soit

$$-2\pi Lr\lambda \frac{dT}{dr} = C$$

Séparons les variables  $r$  et  $T$

$$dT = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} \frac{dr}{r}$$

La variation radiale de température s'écrit

$$T(r) = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln r + C_1$$

En  $r = R_i$  on a  $T(R_i) = T_i$

$$T_i = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln R_i + C_1$$

En  $r = R_e$  on a  $T(R_e) = T_e$

$$T_e = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln R_e + C_1$$

Soit :

$$T_e - T_i = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} (\ln R_e - \ln R_i)$$

$$T_i - T_e = C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln \frac{R_e}{R_i}$$

$$C = \frac{2\pi L \lambda}{\ln \left( \frac{R_e}{R_i} \right)} (T_i - T_e)$$

Soit

$$\Phi = \frac{2\pi L \lambda}{\ln \left( \frac{R_i}{R_e} \right)} (T_i - T_e)$$

Multiplions le haut et le bas par  $(R_i - R_e)$

$$\Phi = \frac{2\pi L (R_i - R_e) \lambda}{(R_i - R_e) \ln \left( \frac{R_i}{R_e} \right)} (T_i - T_e)$$

$$\Phi = \frac{(S_i - S_e)}{e \ln \left( \frac{R_i}{R_e} \right)} (T_i - T_e)$$

Soit:

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} S_{\text{moy}} (T_i - T_e)$$

On retrouve donc, plus laborieusement, le même résultat.

### III.5.3. Profil des températures :

Considérons la relation

$$T(r) = -C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln(r) + C_1 \quad (\text{III.23})$$

Dans la quelle

$$C = \frac{2\pi L \lambda}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} (T_i - T_e) \quad (\text{III.24})$$

La constante  $C_1$  se déduit de la condition imposée

En  $r = R_i$  ou bien en  $r = R_e$

$$C_1 = C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln(R_i) + T_i \quad C_1 =$$

$$C \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln(R_e) + T_e$$

$$T(r) = -\frac{T_i - T_e}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \ln(r) + \frac{T_i - T_e}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \ln(R_e) + T_e$$

Soit :

$$T(r) = \frac{T_i - T_e}{\ln\left(\frac{R_i}{R_e}\right)} \ln\left(\frac{r}{R_e}\right) + T_e \quad (\text{III.25})$$

Et

$$\Phi = \frac{2\pi L \lambda}{\ln\left(\frac{R_i}{R_e}\right)} (T_i - T_e) \quad (\text{III.26})$$

### III.6. ECHANGE THERMIQUE PAR CONVECTION FORCEE DANS UN TUBE ENTERRE :

Nous ferons ici l'hypothèse que la température extérieure du tube est constante, ce qui revient à considérer que l'inertie thermique du sol est grande devant les quantités de chaleur

échangée. Nous considérerons de plus que l'échange thermique se fait en régime stationnaire, c'est à dire que les températures restent constantes dans le sol et à la paroi du tube.

L'échange de chaleur à l'intérieur d'un tube où circule un fluide se fait par convection forcée. Le flux thermique par unité de surface ( $\varphi$ ), à travers la paroi du tube est proportionnel à la différence de température entre la surface interne,  $T_{sol}$ , et externe du tube,  $T_{eau}$ , et à l'inverse de la résistance thermique de la paroi,  $R$ .<sup>[3]</sup>

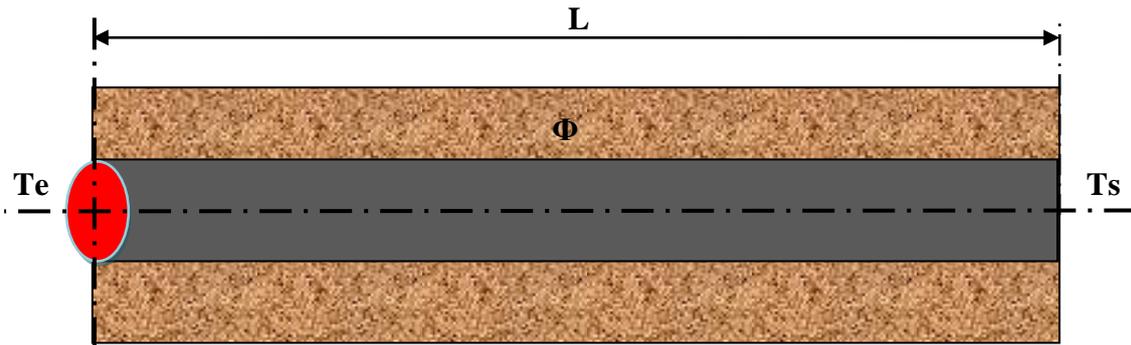


Figure III.5. Echange thermique par convection forcée dans un tube enterré

Alors la quantité de chaleur échangée sera écrite sous la forme suivant :

$$\Phi_{\text{conv}} = \rho \dot{m} C_p (T_e - T_s) \quad (\text{III.27})$$

$$\Phi_{\text{conv}} = \frac{(T_f - T_p)}{R} \quad (\text{III.28})$$

Ou :

$\rho$  : Densité volumique de l'eau ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\dot{m}$  : Débit volumique de l'eau ( $\text{l}/\text{s}$ )

$C_p$  : Chaleur spécifique de l'eau ( $\text{J}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$R$  : La résistance thermique ( $^\circ\text{C}/\text{W}$ )

$T_e, T_s$  : Les températures respectives du fluide pour l'eau entrée et sortie ( $^\circ\text{C}$ )

$T_p$  : Température de la paroi du tube ( $^\circ\text{C}$ )

Pour un tube de longueur ( $L$ ) considéré, on l'équivalence thermique suivante :

$$\Phi_{\text{conv}} = \rho \dot{m} C_p (T_e - T_s) = \frac{(T_f - T_p)}{R}$$

**Détermination de R :**

La résistance de la paroi est composée, d'une part, de la résistance à la conduction, d'autre part de la résistance à la convection.

$$R = R_{\text{conv}} + R_{\text{cond}} \quad (\text{III.29})$$

$$R = \frac{1}{2\pi L R_i h} + \frac{e}{\lambda} \quad (\text{III.30})$$

En considérant une paroi de faible épaisseur devant le rayon du tube, on peut faire l'approximation d'une paroi plane. La résistance à la conduction est alors le rapport de l'épaisseur,  $e$ , et de la conductivité,  $\lambda$ , de la paroi.

$$R_{\text{cond}} = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{III.31})$$

$e$  : Épaisseur du tube (m)

$\lambda$ : La conductivité thermique de (W/m °C)

Pour une gaine en matériau cuivre d'épaisseur  $e=5$  mm et de conductivité  $\lambda=363$  à  $383$  (W/m °C) (voir l'annexe)

La résistance thermique en convection forcée est :

$$R_{\text{convc}} = \frac{1}{2\pi L R_i h} \quad (\text{III.32})$$

$h$  : Coefficient de transfert convectif (W /m<sup>2</sup>.°C)

$R_i$  : Respectivement le rayon intérieur (tube mince)

**Détermination de h :**

C'est le coefficient de transfert superficiel entre le milieu ambiant (eau) et la surface du corps (tube), il est en fonction de :

- des caractéristiques géométriques ( $L, R_i, R_e$ , forme de corps et la rugosité )
- des caractéristiques du fluide ( $\lambda, C_p, \rho, \gamma$ )
- du régime d'écoulement (laminaire ou turbulent)

**Détermination de Re :**

$$Re = \frac{D_i V}{\gamma} \quad \text{ou} \quad Re = \frac{D_i V \rho}{\mu}$$

Ou :

$D_i$  : diamètre intérieur (m)

$V$  : la vitesse du fluide (m /s)

$\gamma$  : viscosité cinématique ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\mu$ : viscosité dynamique ( $\text{N.s}/\text{m}^2$ )

$$V = \frac{\dot{m}}{\pi \cdot \frac{D_i^2}{4}} \quad (\text{III.33})$$

$\mu$ : à partir de table de propriétés physiques des l'eau et à l'aide de température (voir l'annexe) pour calculer Re.

à partir de valeur de Re on définit le régime d'écoulement, si :

➤ **turbulent:**

$$\text{Nu} = 0.023\text{Re}^{0.8}\text{Pr}^n$$

$$n = 0.3 \text{ si } (T_{\text{fluide}} > T_{\text{paroi}})$$

$$n = 0.4 \text{ si } (T_{\text{fluide}} < T_{\text{paroi}})$$

$$\text{Re} > 5000 \text{ et } (0.6 < \text{Pr} < 100)$$

➤ **laminaire :**

$$\text{Nu} = 1.86(\text{Re} \cdot \text{Pr})^{1/3} \left(\frac{D}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0.14}$$

Pr : à partir de table de propriétés physique des l'eau et à l'aide de température (voir l'annexe)

On à donc :

$$h = \frac{\text{Nu} \lambda}{L}$$

$\lambda$ : à partir de table de propriétés physiques de l'eau et à l'aide de température: Le calcul de (h) permet de calculer ( $R, \Phi_{\text{conv}}$ ).

## **Chapitre IV**

# **RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

## IV.1. INTRODUCTION:

L'analyse des travaux concernant le stockage thermique dans le sol réalisés jusqu'à présent permet de désigner plusieurs problèmes importants qu'il faut continuer à étudier, qui sont relatifs à la distribution de température du sol autour de la conduite de fluide chaud (ou froid) fixée en régime thermique non stationnaire ? C'est à dire comment varier le champ de température du sol autour de la conduite du fluide chaud en période de chauffage, ou froid en période de l'extraction de la chaleur, la profondeur maximale du sol ou l'influence des caractéristiques thermiques de la surface n'aura aucun effet sur le processus de transfert, et la relation optimale entre la puissance thermique du fluide et le volume nécessaire du sol autour de la conduite ou circule le fluide pour le stockage et le déstockage de la chaleur ? Cela est vraiment nécessaire et utile pour calculer le nombre des tubes et choisir la façon de les installer dans le volume du sol donné (le nombre des tubes et le nombre des rangs des tubes).

Ce travail est basé sur le système de stockage et discussions les dimensions de l'échangeur dans le sol à partir d'échange thermique par convection forcée dans un tube enterré. Ceci permet de mettre en évidence l'effet du diamètre, de la longueur, du débit volumétrique et le domine de stockage entre le sol et l'eau entrant sur le flux thermique fourni par échangeur.

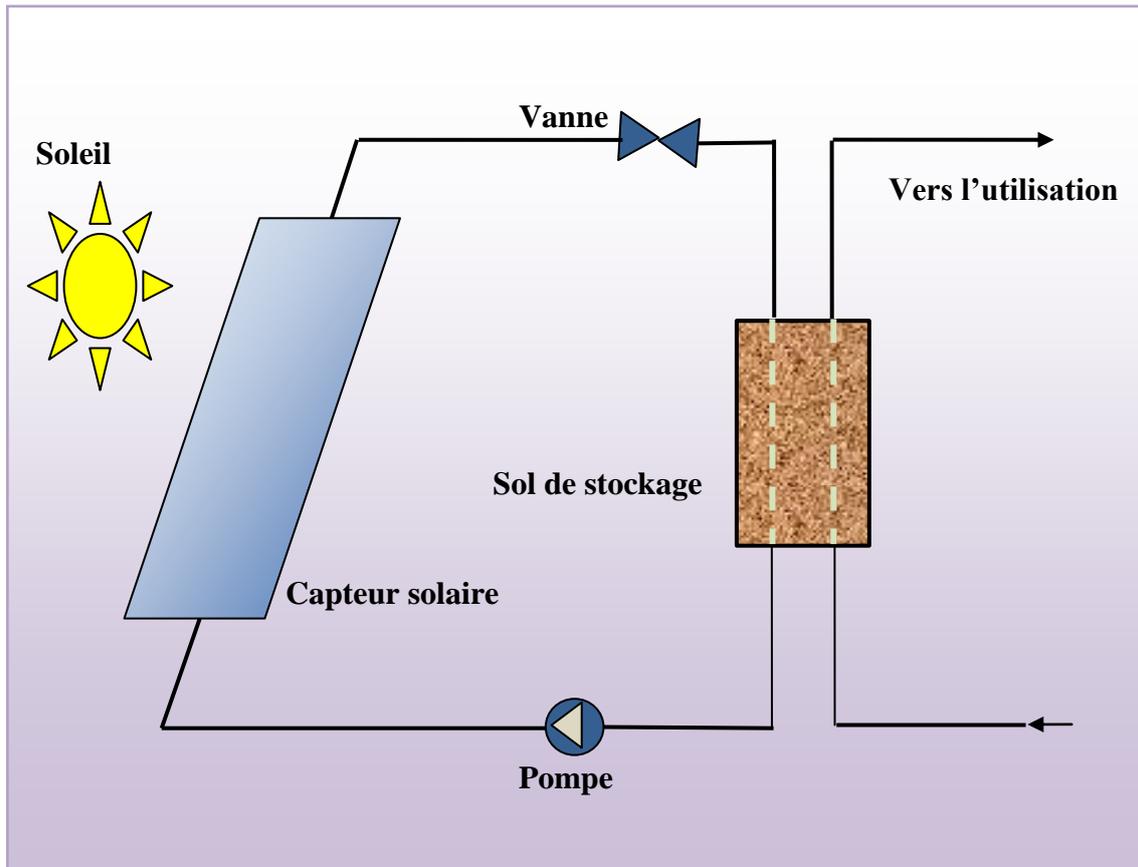
Dans un second temps, nous présentons les interprétations des graphes de la variation de température en fonction de la profondeur d'enfouissement de la gaine. Ceci permet de déterminer la profondeur de stabilisation (isolée effet des conditions atmosphériques) pour obtenue un bon rendement de stockage.

En fin nous donnons quelques éléments pour le calcul des pertes charge aérauliques.

## IV.2. SYSTEME DE STOCKAGE ENERGIE THERMIQUE SOUS SOL :

Notion de plus, le système de stockage d'énergie thermique solaire comprend les éléments suivant (figure IV.1) :

- ❖ Un capteur solaire plan.
- ❖ Un circuit caloporteur pour transfert l'énergie extraite du capteur à l'appareil d'accumulation.
- ❖ Un stockage thermique (notre cas : stockage dans le sol).
- ❖ un réseau de distribution (pompe, les vannes .....etc.)



**Figure IV.1. Système de stockage énergie thermique sous sol**

L'énergie solaire peut être convertie en chaleur, en électricité, en énergie chimique, en énergie mécanique, mais il faut distinguer les procédés directs et les procédés indirects.

Pour notre cas, on a une conversion indirecte, qui à partir du rayonnement solaire on obtient une énergie thermique récupérée par circulation du fluide dans le tube enterré dans le sol.<sup>[3]</sup>

### **IV.2.1. Hypothèses du modèle:**

Le sol est considéré comme un milieu homogène et invariable, caractérisé par une conductivité thermique  $\lambda_{sol}$ , une masse volumique  $\rho_{sol}$  et une capacité calorifique massique  $c_{sol}$ . Par conséquent, la variation temporelle du taux d'humidité du sol, due, par exemple, aux infiltrations d'eau (pluie) ou aux périodes de sécheresse, est négligée et les propriétés considérées sont des propriétés moyennes. D'autre part, aucune nappe phréatique n'est prise en compte sous la zone d'implantation de l'échangeur. Le modèle de température tient compte de l'un phénomènes indépendants:

- La conduction dans le sol du signal de température provenant de la surface du sol (effet des conditions atmosphériques).<sup>[10]</sup>

#### IV.2.2. Hypothèses géométriques :

L'échangeur eau-sol modélisé possède les caractéristiques géométriques suivantes (Figure.IV.2) :

- ✓ Une entrée d'eau verticale située entre la surface du sol ( $z=0$ ) et le niveau d'enfouissement des tubes ( $z=+z$ ).
- ✓ Un ou plusieurs (N tubes) tubes disposés horizontalement sous la terre à la profondeur  $z=+z$ , formant une nappe de tubes.
- ✓ Une sortie d'eau verticale située entre le niveau d'enfouissement des tubes ( $z=+z$ ) et la surface du sol ( $z=0$ ).

Les connexions entre les canalisations horizontales (tubes) et les conduites d'entrée et de sortie d'eau (collecteurs) ne sont pas prises en compte dans le modèle thermique.<sup>[10]</sup>

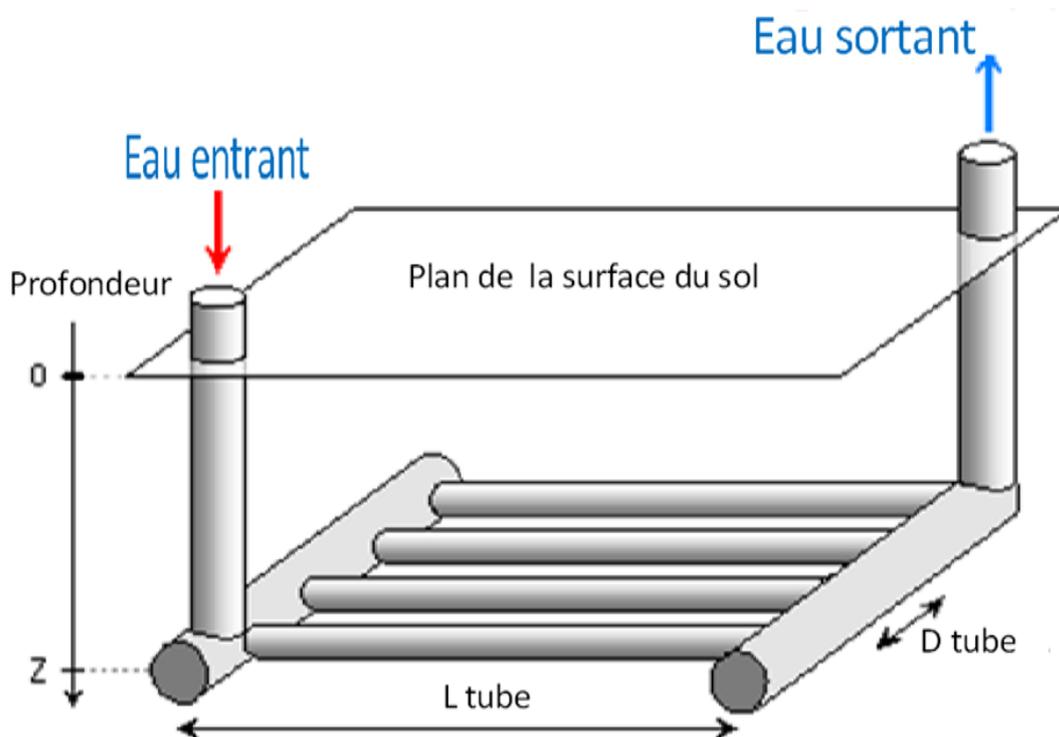


Figure IV.2. Modèle d'étude du stockage thermique dans le sol

Les tubes horizontaux, de même que les collecteurs, sont considérés comme strictement identiques entre-deux: mêmes longueurs ( $L_{\text{tube}}$ ), mêmes épaisseurs ( $e_{\text{tube}}$ ), mêmes diamètres intérieurs (tubes minces), mêmes propriétés physiques, mêmes orientations. Ils sont

disposés côte à côte dans un même plan horizontal (une seule nappe horizontale), selon un espacement régulier fixé, D tubes Collecteurs et tubes sont à section circulaire. La distance parcourue par l'eau est la même, quelque soit le tube emprunté.<sup>[10]</sup>

### **IV.3. PRINCIPAUX PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT:**

L'analyse de la littérature consultée a permis d'identifier les paramètres influant sur le comportement thermique de l'échangeur eau-sol et d'en distinguer les plus prépondérants. Ces paramètres sont à considérer pour le dimensionnement d'un échangeur eau-sol, et par conséquent pour sa modélisation.<sup>[10]</sup>

#### **IV.3.1. Le débit d'eau total :**

La détermination du débit d'eau total maximal constitue le premier paramètre de dimensionnement de model (l'échangeur).

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad \text{(IV.01)}$$

$$\dot{m} = \rho V S \quad \text{(IV.02)}$$

Avec:

Q : flux de chaleur (w)

$\dot{m}$  : Débit massique d'eau (Kg.s<sup>-1</sup>)

C<sub>p</sub> : La chaleur spécifique d'eau (J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

$\rho$  : La masse volumique d'eau (Kg .m<sup>-3</sup>)

S : La section de tube (m<sup>2</sup>)

V : La vitesse de fluide (eau) (m/s)

#### **IV.3.2. Le nombre et le diamètre des tubes :**

Le nombre et le diamètre des tubes définissent la section totale des tubes par laquelle va circulé l'eau. Ils influent à la fois sur la vitesse d'écoulement de l'eau et sur la surface de contact entre l'eau et le sol. Le nombre de tubes est conditionné par l'espace disponible pour l'installation de l'échangeur sous sol.

#### **IV.3.3. La vitesse de l'eau dans les tubes :**

La vitesse de l'eau ne constitue pas un paramètre indépendant, puisqu'elle découle directement du choix des trois paramètres précédents. Néanmoins, elle impose le type d'écoulement (laminaire, turbulent) et influe donc non seulement sur la valeur du coefficient d'échange convectif entre l'eau et les tubes.

#### **IV.3.4. La longueur des tubes:**

La longueur des tubes détermine la surface d'échange et le temps de séjour de l'eau dans les tubes. Il existe donc une longueur optimale de l'échangeur, liée à la longueur caractéristique de l'échange thermique,  $L$  qui peut être obtenue en confrontant le sur coût économique de l'échangeur (constant avec la longueur) à l'économie d'énergie apportée par l'allongement des tubes. Par conséquent, il est préférable d'employer plusieurs tubes de longueur raisonnable (20 m à 40 m) plutôt qu'un ou deux tubes beaucoup plus longs.

#### **IV.3.5. La distance entre tubes:**

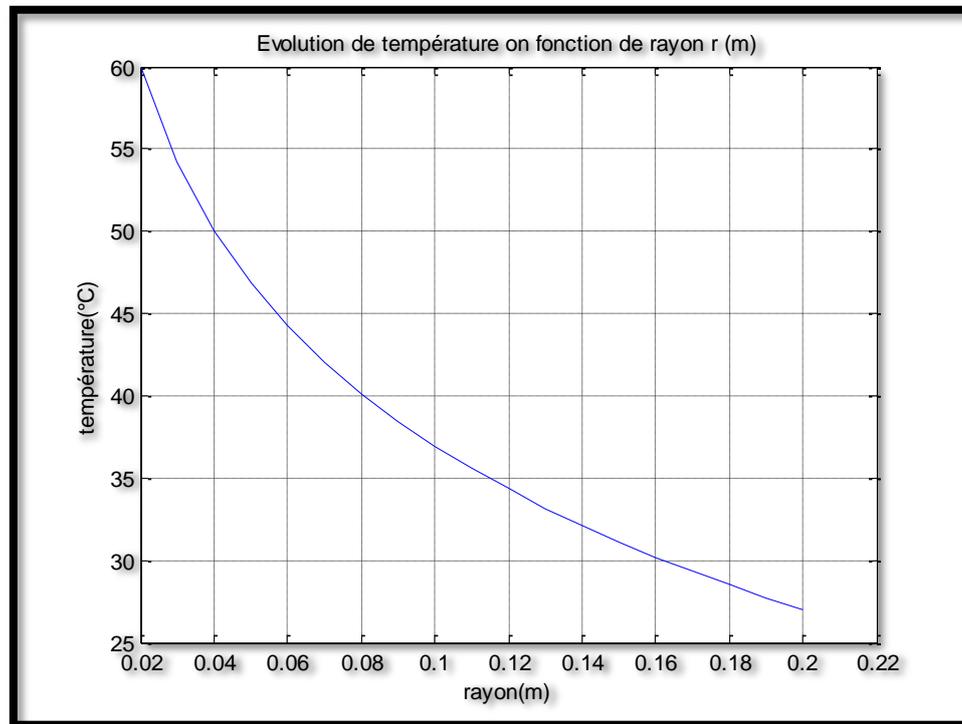
Les fonctions de stockage et d'amortisseur thermique du sol sont assurées par le volume de sol situé tout autour de chaque canalisation. L'épaisseur de sol concernée est proportionnelle à la profondeur de pénétration du signal thermique, qui dépend de la période de variation des phénomènes mis en jeu. Ainsi, si la distance entre deux tubes est du même ordre de grandeur ou inférieure à la profondeur de pénétration, la température de la portion de sol située entre ces tubes est influencée simultanément par ces deux tubes, ce qui réduit localement la capacité de stockage du sol. L'influence de la distance entre les tubes sur les performances de l'échangeur est peu abordée dans la littérature. Pourtant, il semble important d'assurer une distance minimale afin de limiter l'interaction entre deux tubes adjacents et d'optimiser ainsi l'exploitation de l'inertie du sol. Une distance de 40 cm sera suffisante pour maintenir l'effet de stockage thermique pour des variations journalières. Par contre, un stockage thermique saisonnier nécessiterait un espacement de l'ordre de 3 m, qui n'est généralement pas envisageable en pratique.

#### **IV.3.6. La profondeur d'enfouissement des tubes :**

Pour un échangeur eau-sol, le sol joue le rôle d'isolant et de tampon thermique entre l'atmosphère et les canalisations enterrées. La profondeur d'enfouissement influe sur la qualité de cette isolation, donc s'est un paramètre important qui va jouer sur la qualité de cette isolation : une profondeur plus grande améliore l'isolation de la canalisation. Au-delà d'une deux mètres sous la surface du sol argileux par exemple, la température du sol ne dépend quasiment plus des conditions atmosphériques. Pour tirer partie du déphasage journalier, une profondeur de 40 cm est suffisante, tandis que pour un déphasage saisonnier, la profondeur minimale d'enfouissement requise est de 2 m. Au-delà, l'augmentation de la profondeur accroît les contraintes réglementaires (sécurisation du chantier) et les coûts de réalisation bien plus rapidement que l'économie d'énergie marginale apportée.

**IV.4. DETERMINATION DES DIMENSIONS DU DOMAINE DE STOCKAGE :**

L'évolution de température n'est plus linéaire comme dans la paroi plane mais a l'allure d'une fonction logarithmique décroissante.



**Figure IV.3. Evolution de température on fonction de rayon (r).**

La courbe de figure (IV.3) décrivant la distribution de la température en fonction du rayon du domaine de stockage (autour du tube) nous permet de constater qu'après une période de stockage (passage de fluide caloporteur dans le tube) allant jusqu'à 10 heures, qui correspond moyennement à une période de stockage journalier de 8h le matin jusqu'à 18h de l'après midi), qu'à partir d'une distance loin de la surface de tube égale au maximum à 20cm la température reste constante et égale à la température de sol, cette distance ne peut être que le rayon du domaine de stockage  $r = 20\text{cm}$ . Le domaine de stockage de la chaleur dans le sol devient alors un cylindre de 40cm de diamètre. Pour une configuration utilisant plusieurs tubes parallèles horizontaux l'optimum séparant deux tubes successifs doit être égal à 40cm.

**IV.5. INTERPRETATION :**

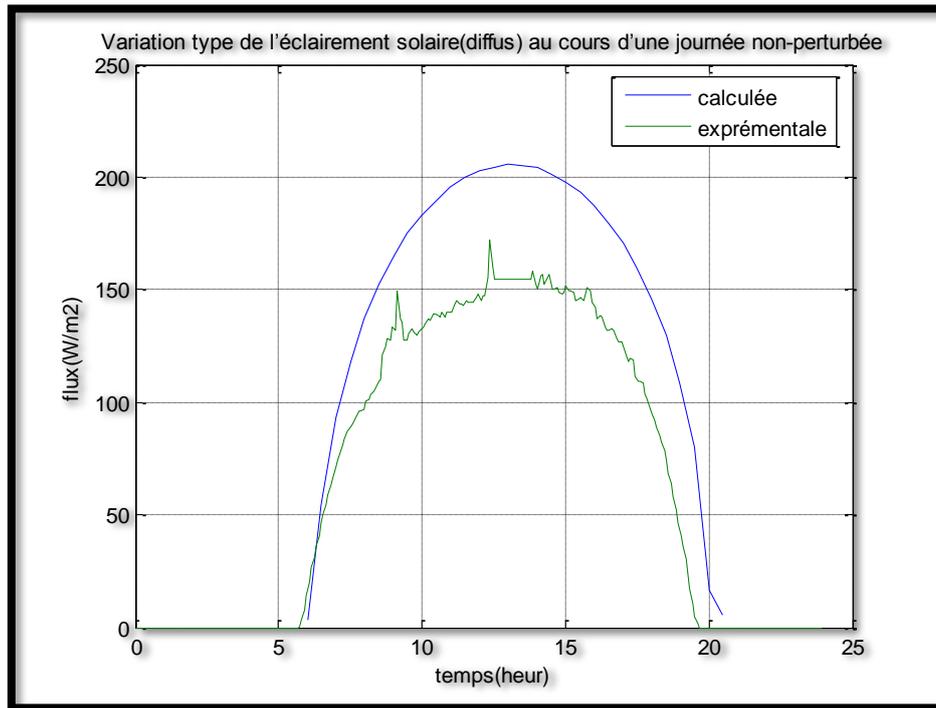
Dans cette étude nous prendrons les valeurs moyennes de caractéristique thermique de la terre (argile, sable, terre à 10% humidité) pour les calculs qui suivent.

Les caractéristiques thermiques de ces types des sols est :

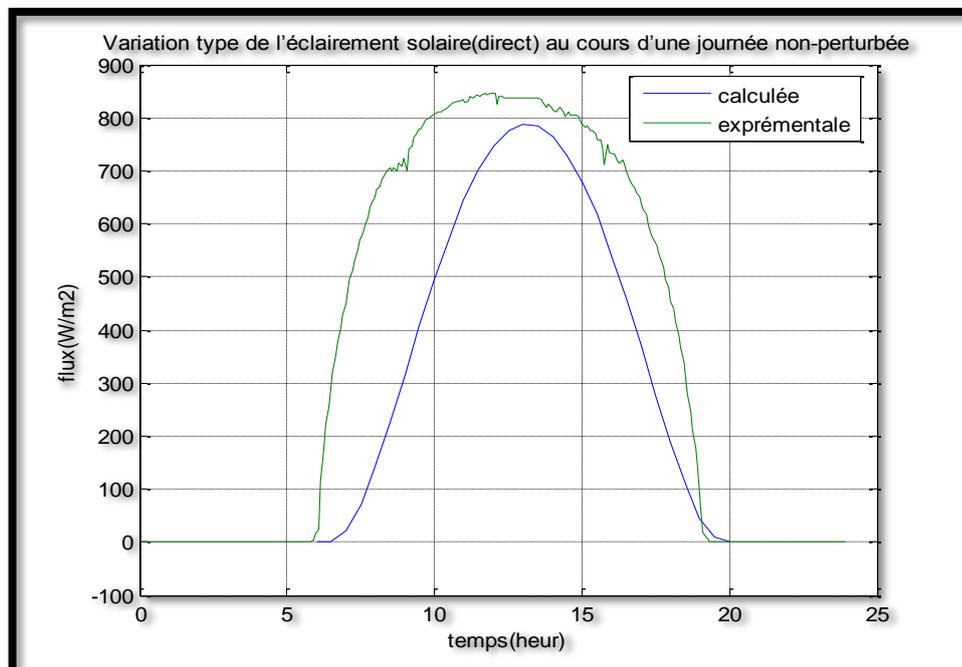
**Tableau(IV.1).Caractéristiques thermiques des sols utilisées dans notre travail**

Type de sol	Conductivité thermique $\lambda(W/m^2 \text{ } ^0K)$	Chaleur spécifique $C_p(J/Kg \text{ } ^0K)$	Masse volumique $\rho(Kg/m^3)$
<b>argile</b>	<b>0.9</b>	<b>2200</b>	<b>1500</b>
<b>sable</b>	<b>2.9</b>	<b>700</b>	<b>2000</b>
<b>Terre à 10% humidité</b>	<b>1.8</b>	<b>1083</b>	<b>1680</b>

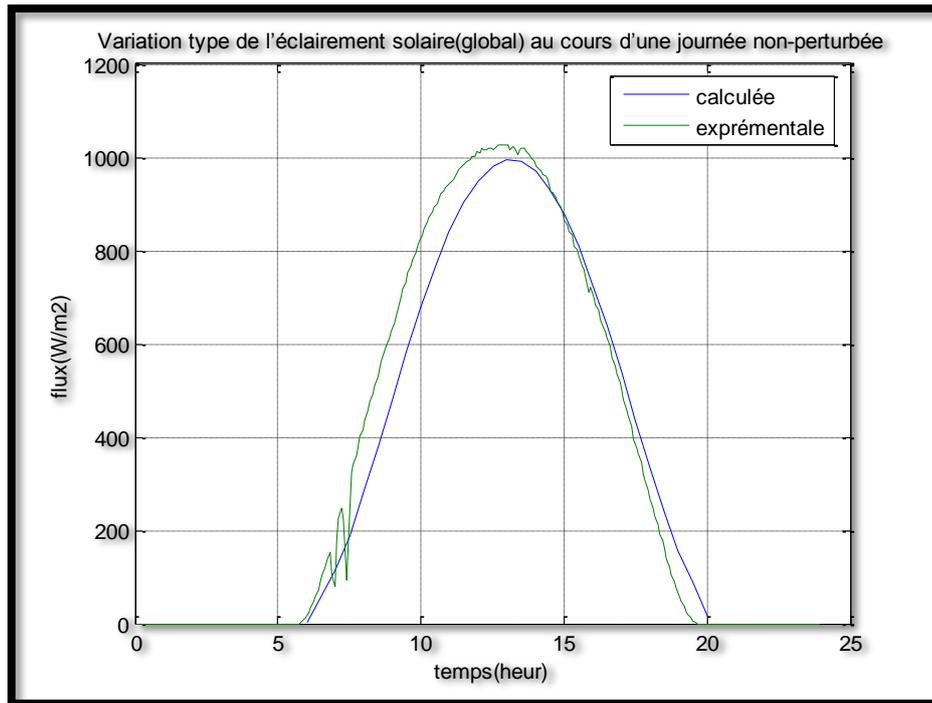
### Eclairement d'une surface horizontale



**Figure IV.4. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement diffus calculé et mesuré)**



**Figure IV.5. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement direct calculé et mesuré)**



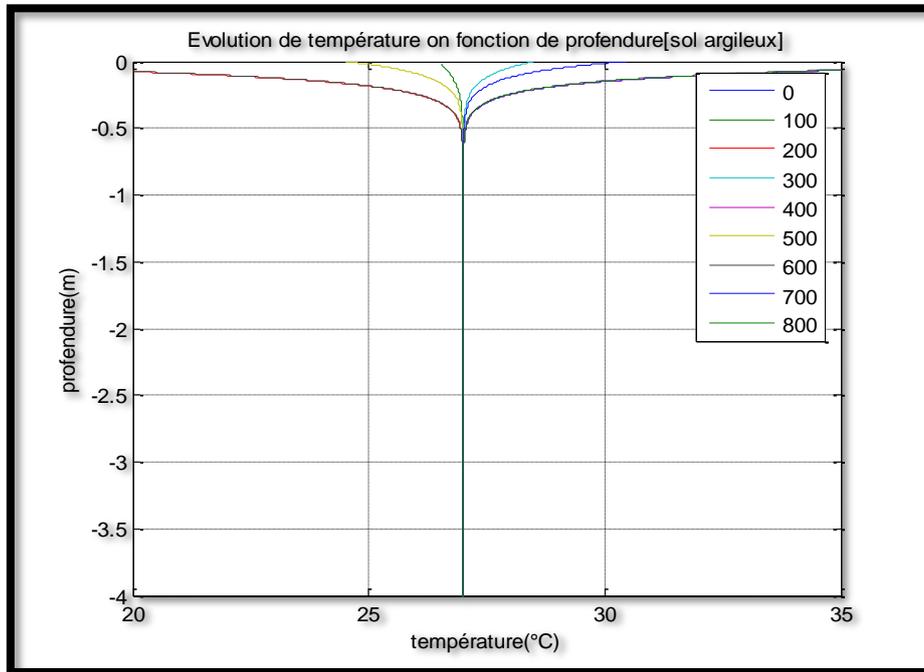
**Figure IV.6. Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée (rayonnement global calculé et mesuré)**

L'éclairement solaire reçu par sol (on suppose que le sol est une plaque horizontale) varie typiquement de la manière représentée sur les figures précédentes au cours d'une journée non-perturbée : nul la nuit, il augmente dès le lever du jour pour atteindre un maximum au midi solaire avant de décroître de nouveau jusqu'à s'annuler à la tombée de la nuit.

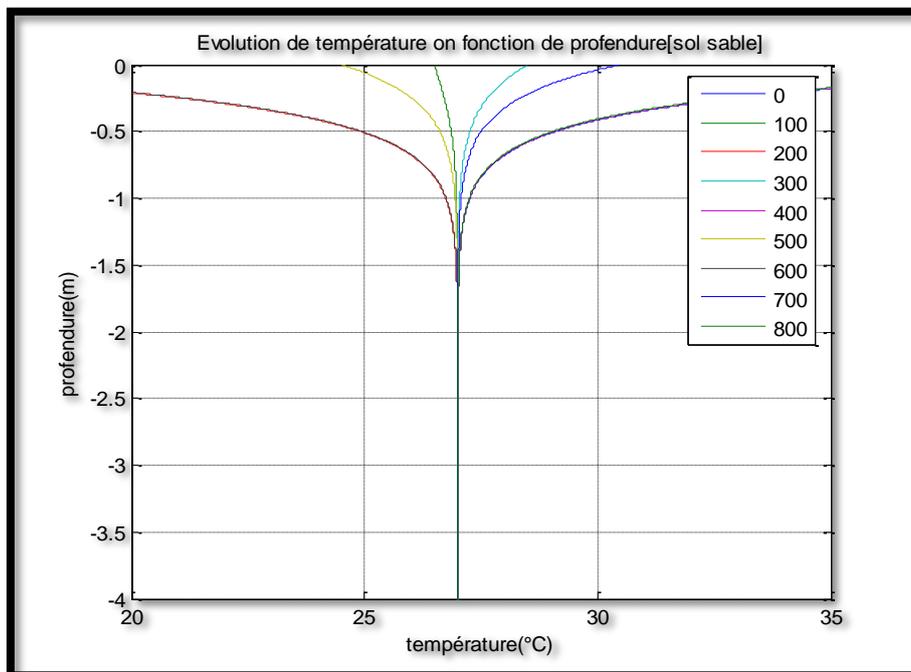
Les figures (IV.4, IV.5, IV.6) montrent le rayonnement (diffus, direct et global) calculé, en considérant la corrélation de Collares-Pereira et Rabl pour un ciel clair et le rayonnement global mesuré par l'intermédiaire de pyranomètre EKO.

De chaque figure les deux courbes présentent la même allure mais avec un écart important. Cette différence est probablement due à un ciel relativement couvert durant les journées considérées dans la partie expérimentale.

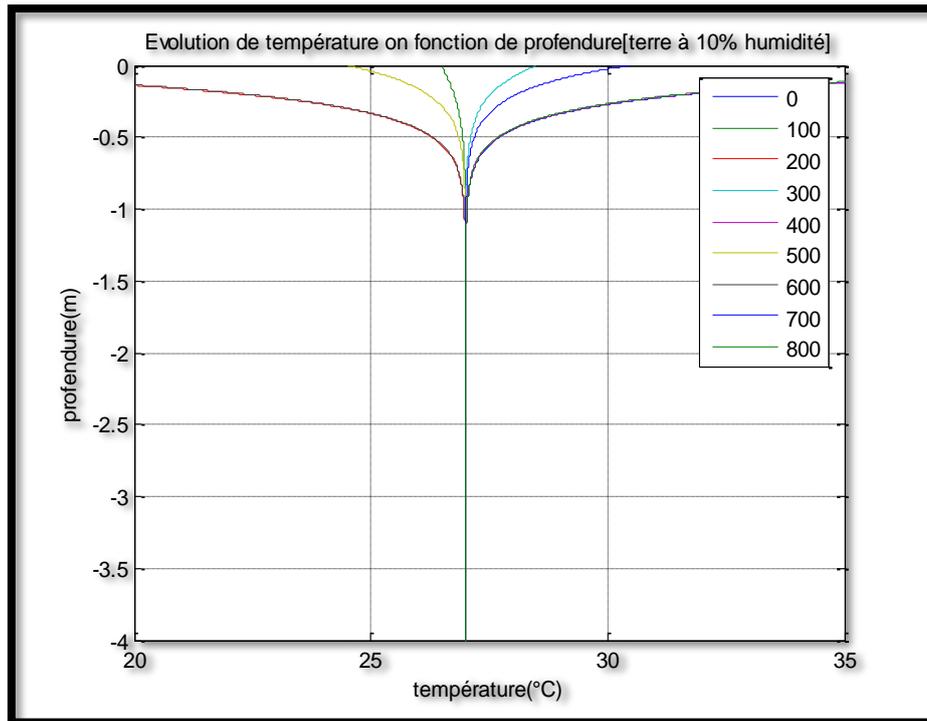
La nature de la solution analytique peut être observée en fonction de la profondeur (Figure IV.7, Figure IV.8, Figure IV.9) ou des temps (Figure IV.10, Figure IV.11, Figure IV.12).



**Figure IV.7. Evolution de température en fonction de profondeur (sol argileux)**



**Figure IV.8. Evolution de température en fonction de profondeur (sol sable)**



**Figure IV.9. Evolution de température en fonction de profondeur (terre à 10% humidité)**

Les figures (IV.7, IV.8, IV.9) obtenues avec un programme de MATLAB et le calculé ce fait en même condition initiale. L'analyse de cette graphes peut être remarqué que :

Les graphes de même allure mais la différence ci la valeur de profondeur qui la température reste presque constante, pour les choix de cette étude

(Sol argileux  $z = 0.7\text{m}$ , sol sable  $z = 1.7\text{m}$ , terre humide  $z = 1\text{m}$ ).

Les figures ci dessus montrent la solution cette fois en terme de profils de température dans le sol en fonction de profondeur à différentes périodes du cycle de variation de la température en surface. Cette figure donne une autre perspective de l'atténuation et déphasage des ondes. Le décalage des températures entre la profondeur et la surface est relié au déphasage des ondes de l'enveloppe. L'effet de la variation de température diminue avec la profondeur en relation avec l'atténuation. La figure est assez représentative des conditions typique puisque normalement l'effet des variations de température à la surface du sol n'a plus d'influence au-delà de profondeur mesurée.

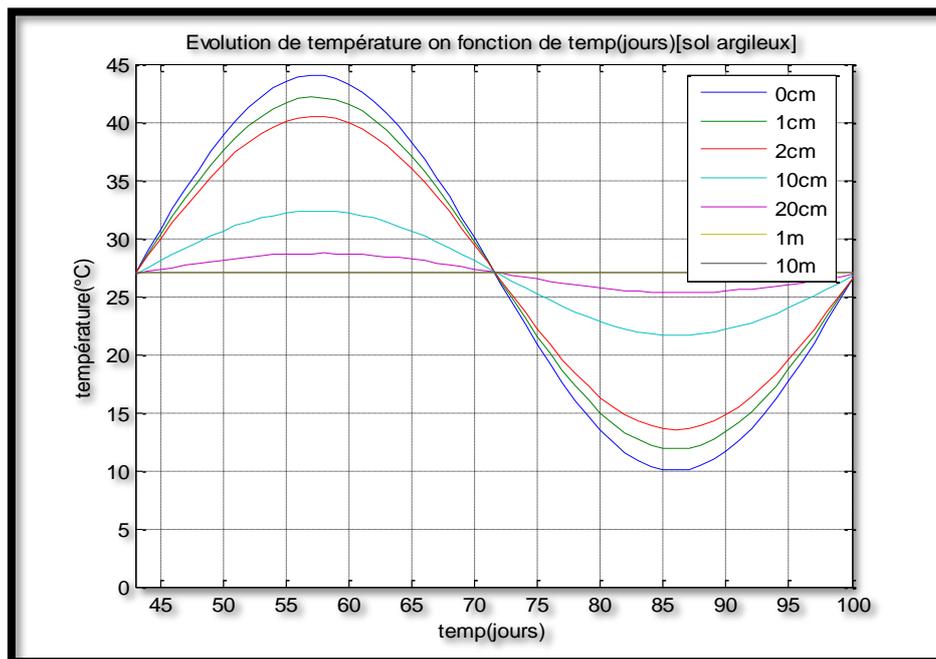


Figure IV.10. Evolution de température en fonction du temps (sol argileux)

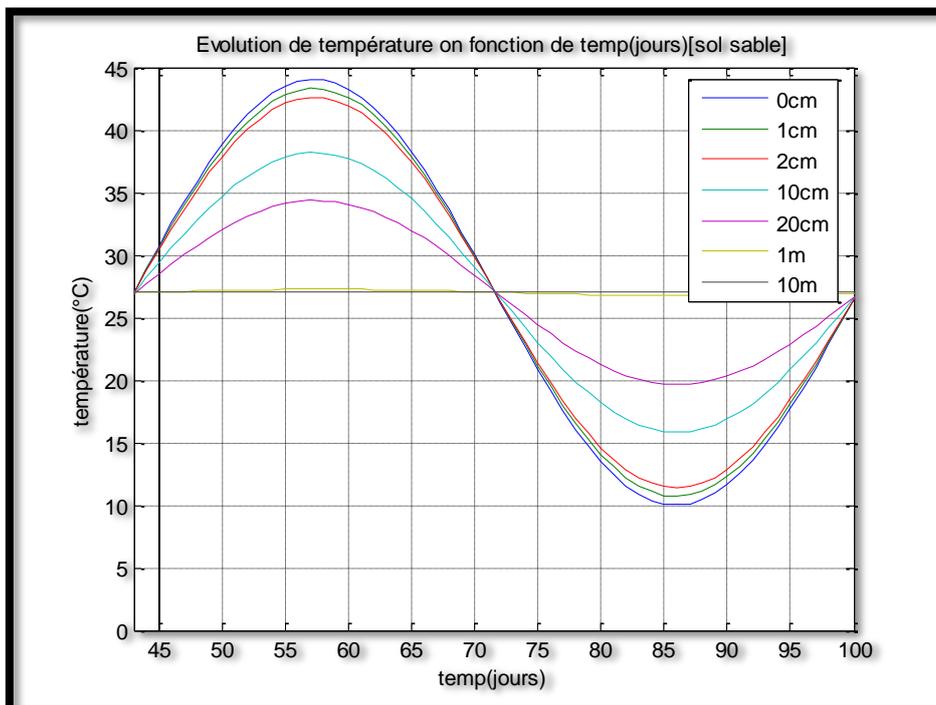
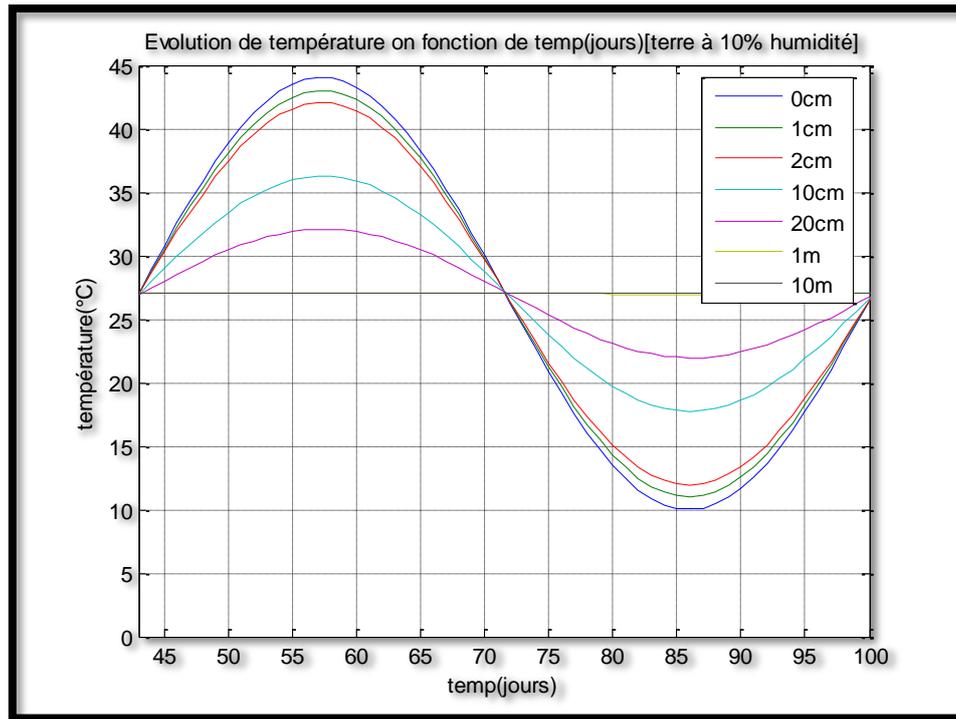


Figure IV.11. Evolution de température en fonction du temps (sol sable)



**Figure IV.12. Evolution de température en fonction du temps (terre à 10% humidité)**

Figures (IV.10, IV.11, IV.12) montrent une variation de température sinusoidale à la surface du sol, à Noter que la période  $P$  (s ou j) d'une onde est reliée à sa fréquence  $\omega$ . Dans cette étude l'onde thermique de surface possède une période d'un jour et une amplitude de  $17^{\circ}\text{C}$  autour d'une valeur moyenne de  $27^{\circ}\text{C}$ . Le déphasage entre la température à la surface et celle en profondeur est facilement remarquable en observant le temps auquel la température est maximale ou tout autre point singulier de l'onde. De même, il est évident que les ondes en profondeur sont soumises à des variations moindres de température qu'à la surface. Les ondes en profondeur sont donc atténuées par rapport à en surface.

**CONCLUSION**

## CONCLUSION:

Cette recherche comprend les éléments suivants:

- Promouvoir les connaissances sur l'énergie solaire.
- Connaître les équations qui régissent les échanges thermiques se trouvant à l'intérieur du bâtiment d'élevage.
- L'accès au meilleur chauffage pour bâtiment d'élevage en sélectionnant les paramètres : température, l'humidité adéquate, l'emplacement et l'orientation du bâtiment d'élevage, une bonne ventilation, canalisation.

L'étude de chauffage de bâtiment d'élevage par l'énergie solaire est très utilisée dans le monde mais en Algérie elle au stade préliminaire, l'étude que nous présentons est tout à fait réalisable et très rentable dans notre pays. Une politique agricole dirigée en parallèle avec de la recherche à travers les centres de recherche et les universités pourrai donner un grand essor à notre économie agricole.

Plusieurs paramètres ont été étudiés dans ce projet, néanmoins cette étude pourra être complétée pour être réalisée.

Donc, on se pose les paramètres optimaux comme suivants:

- Le température est ( $27^{\circ}\text{C}$ ).
- Le rayon des tubes est 20 Cm.
- Le nombre des tubes: on utilise plusieurs tubes de longueur raisonnable (20 m à 40 m) plutôt qu'un ou deux tubes beaucoup plus longs.
- La distance entre tubes est variée de 40 Cm à 3 m.
- La profondeur des tubes dans les couches de la terre est donnée comme ça: (Sol argileux  $z = 0.7\text{m}$ , sol sable  $z = 1.7\text{m}$ , terre humide  $z = 1\text{m}$ ).

Finalement et pour des études à venir, on peut quand même se poser les questions suivantes:

Comment pouvons-nous développer le rendement de cycle énergétique du bâtiment d'élevage volaille?

Quelles sont les caractéristiques que nous devons changer?



**ANNEXE**

**Tableau des propriétés pour les matériaux de construction**

Isolants synthétiques	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité $\lambda$ (en W.m <sup>2</sup> .°C)	Capacité thermique (kJ/m <sup>3</sup> .°C)	Diffusivité (x10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s)	Effusivité (J/m <sup>2</sup> .S.°C)	Transfert (cm/h)	Résistance à la vapeur d'eau ( $\mu$ )
Terre sèche	1500	0,750	1350	5,6	1006	3,2	
Sable sec	1500 à 1800	0,400	1200 à 1440	3,3 à 2,8	693 à 759	2,5 à 2,3	
Plâtre courant	900	0,350	972	3,6	583	2,6	10
Plaque de plâtre (type BA13)	900	0,25					
Plaque de plâtre Fermacell	1100	0,36	1785	2	800	1,95	13
Mortier	1950	1,150	1650	7	1377	3,6	15 à 35
Béton de granulats plein	2300	1,75	2160	8	1945	3,9	70 à 150
Béton cellulaire	400 à 800	0,22	352 à 704	6,2 à 3,1	278 à 394	3,4 à 2,4	5 à 10
Pierre lourde (gneiss, granit...)	2600	3	1820	16	2337	5,6	
Pierre calcaire	2450	2,4	1760	14	2058	5,1	
Brique terre cuite pleine	1900	1,15	1634	7	1370	3,6	50 à 100
Brique terre crue pleine	1800	1,1	1512	7,3	1290	3,7	
Brique creuse	700 à 1000	0,35	630 à 900	5,6 à 3,9	470 à 560	3,2 à 2,7	5 à 10
Brique monomur 37	700 à 800	0,15	700 à 800	2,1 à 1,9	324 à 346	2 à 1,9	5
Parpaing aggloméré	500 à 1400	0,3 à 0,9	450 à 1260	6,7 à 7,1	367 à 1065	3,6 à 3,7	5 à 15
Bois léger (résineux)	400	0,12	960	1,25	339	1,5	
Bois lourd	800	0,23	2160	1,06	705	1,4	40
Bois panneaux (OSB, particules...)	600	0,14	1380	1	440	1,4	50 à 400
acier	7870	52	3780	138	14000	16,1	
aluminium	2700	230	2511	916	24000	41,6	

## Tableaux comparatifs

Matière	Conductivité $\lambda : W/m. ^\circ C$	Densité $\rho : kg/m^3$	Capacité thermique $S : kJ/m^3. ^\circ C$	Effusivité Thermique $Ef : kJ/\sqrt{s.m^2. ^\circ C}$
Air	0,024	1,29	1,256	5,6
Eau	0,58	1 000	4 200	1 560
Acier	60	7 800	3 900	15 300
Aluminium	200	2 700	2 430	22 000
<b>Matériaux de construction</b>				
Béton cellulaire	0,10 - 102	600 - 2000	600 - 2200	0,237- 0,429
Béton ordinaire	1,1 - 2,1	2 200 - 2 400	2 400 - 2 640	1 960 - 2 350
Pierres naturelles poreuses	0,55	1 600	1 120	0,785
Pierres naturelles non poreuses	3,5	2 800-3 100	2 520-2 790	2 970-3 120
Brique cuites	0,30 - 0,96	700 - 2 000	630 - 1 800	480 - 1300
Briques alvéolaires	0,15	850	213	
Bois	0,13 - 0,2	400 - 800	960 - 2160	350 - 600
Botte de paille				
Chaume	0,11			
<b>Isolants</b>				
Laine de verre	0,035	25	99	0,063
Laine de roche	0,040	40		
Polystyrène expansé	0,035	15	10	
Polystyrène extrudé	0,028	30	21	0,029
Panneaux de polyuréthane	0,025			
Mousses de polyuréthane	0,030			
Polyesters	0,035			
Liège	0,04 - 0,05	215 - 220	376-385	0,122-0,139
Ouate de cellulose	0,040	50 - 320		
Chanvre granules	0,048	110		
Chanvre rouleau	0,039	25		
Chanvre panneau	Idem	30 - 35		
Fibre de bois	0,042 - 0,049			
Lin granules	0,040	20		
Lin panneau	idem	30 - 35		
Laine de coco	0,047	20		
Laine de coton	0,040	20		
Laine de mouton	0,035 - 0,042	10 - 30		
Plume	0,047	1 - 3		

## Propriétés physiques de certains corps

Nature	$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	Nature	$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$
	$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg m}^{-3}$	$\text{J kg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W m}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$		$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg m}^{-3}$	$\text{J kg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W m}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
<b>Métaux, alliages et céramiques</b>					<b>Matériaux de construction</b>				
Acier au carbone	20	7833	465	54	Ardoise	20	2400	879	2,2
	200			48	Basalte	20	2850	881	1,6
	600			35	Béton caverneux	20	1900	879	1,4
Acier inox 15%Cr, 10%Ni	20	7864	460	20	Béton plein	20	2300	878	1,75
Acier inox 18%Cr, 8%Ni	20	7816	460	16,3	Bitume (cartonné)	20	1050	1305	0,23
	600			22	Bois feuillus légers	20	525	3143	0,15
Acier inox 25%Cr, 20%Ni	20	7864	460	13	Bois feuillus mi-lourds	20	675	3156	0,23
Alumine	20			29	Bois feuillus très légers	20	375	3147	0,12
Aluminium	20	2707	896	204	Bois résineux légers	20	375	3147	0,12
	400			249	Bois résineux mi-lourds	20	500	3160	0,15
Argent	20	10525	234	407	Bois résineux très légers	20	375	3147	0,12
Bronze 75%Cu, 25%Sn	20	8666	343	26	Brique terre cuite	20	1800	878	1,15
Carbone	20			147	Calcaire dur	20	2450	882	2,4
Carbure de silicium	20			13	Calcaire tendre	20	1650	879	1
Chrome	20	2118	7160	449	Carrelage	20	2400	875	2,4
Constantan 60% Cu, 40%Ni	20	8922	410	22,7	Contre-plaqué okoumé	20	400	3000	0,12
Cuivre	20	8954	383,1	386	Contre-plaqué pin	20	500	3000	0,15
	400			363	Granite	20	2600	881	3
Duralumin	20	2787	883	164	Gravier (vrac)	20	1800	889	0,7
Etain	20	7304	226	64	Grès	20	2500	880	2,6
Fer	20	7870	452	73	Lave	20	2350	881	1,1
Fonte	20	7849	460	59	Marbre	20	2700	881	2,9
Laiton 70%Cu, 30%Zn	20	8522	385	111	Parquet	20	700	3143	0,2
	400			147	Plâtre	20			0,48
Magnésie	38	270		0,067	Schiste	20	2400	879	2,2
Or	20	1336	19300	129	<b>Matériaux isolants</b>				
Platine	20			72	Balsa	20	85		0,054
Plomb	20	11373	130	35	Copeaux bois	23			0,059
Sodium liquide	100			81,5	Coton	20	80	1300	0,06
Titane	20			16	Kapok	30			0,035
Tungstène	20	19350	134	163	Laine de roche	20	20	880	0,047
Zinc	20	7144	384	112		20	55	880	0,038
Zircon	20			4		20	135	880	0,041
<b>Matériaux divers</b>					Laine de verre	20	8	875	0,051
Amiante	20			0,16		20	10	880	0,045
Asphalte	20	2115	920	0,062		20	15	880	0,041
Caoutchouc (naturel)	20	1150		0,28		20	40	880	0,035
Caoutchouc (vulcanisé)	20	1100	2010	0,13	Liège expansé	20	120	2100	0,044
Carton	20	86	2030	0,048	Moquette	20	200	1300	0,06
Cuir	20	998		0,159	Polyuréthane (mousse rigide)	20	32	1300	0,03
Glace	0	920	2040	1,88		20	50	1360	0,035
Papier	20			0,48		20	85	1300	0,045
Plexiglass	20	1190	1465	0,19	PVC (mousse rigide)	20	30	1300	0,031
Sable	20	1515	800	0,2-1,0		20	40	1300	0,041
Sciure	20				Polystyrène expansé	20	12	1300	0,047
Terre mouillée	20	1900	2000	2		20	14	1300	0,043
Terre sèche	20	1500	1900	1		20	18	1300	0,041
Verre	20	2700	840	0,78		20	28	1300	0,037

## Propriétés physiques de l'air et de l'eau

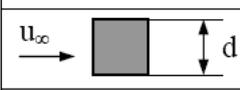
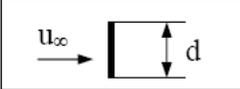
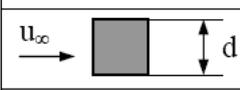
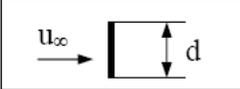
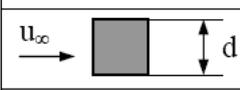
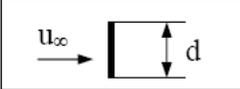
Propriétés de l'eau à saturation							Propriétés de l'air à 1 atm						
$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^4 \cdot \mu$	$10^7 \cdot \alpha$	Pr	$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^5 \cdot \mu$	$10^5 \cdot \alpha$	Pr
(°C)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m <sup>2</sup> /s)		(°C)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m <sup>2</sup> /s)	
0	1002	4218	0,552	17,90	1,31	13,06	0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1001	4182	0,597	10,10	1,43	7,02	20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	995	4178	0,628	6,55	1,51	4,34	40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	985	4184	0,651	4,71	1,55	3,02	60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	974	4196	0,668	3,55	1,64	2,22	80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70
100	960	4216	0,680	2,82	1,68	1,74	100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	945	4250	0,685	2,33	1,71	1,45	120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	928	4283	0,684	1,99	1,72	1,24	140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	910	4342	0,680	1,73	1,73	1,10	160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	889	4417	0,675	1,54	1,72	1,00	180	0,779	1022	0,0372	2,50	4,67	0,69
200	867	4505	0,665	1,39	1,71	0,94	200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89	220	0,700	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	816	4756	0,635	1,17	1,64	0,88	240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,80	0,68
260	786	4949	0,611	1,08	1,58	0,87	260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,20	0,68
280	753	5208	0,580	1,02	1,48	0,91	280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	714	5728	0,540	0,96	1,32	1,02	300	0,616	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

### Valeurs de l'albédo pour le rayonnement solaire global

	Albedo
TERRE (Planète)	0,20 à 0,60
<b>SOL</b>	
Couverture de neige fraîche	0,80 à 0,90
Couverture de neige tassée et vieillie	0,50 à 0,70
Terre cultivée nue	0,08 à 0,25
Prairie et herbages verts	0,12 à 0,25
Terre sableuse	0,15 à 0,25
Sable clair, sec ou mouillé	0,25 à 0,45
Forêts d'arbres à feuilles caduques en été	0,10 à 0,20
Forêts d'arbres à feuillage persistant en été	0,05 à 0,15
Forêt et neige	0,25 à 0,50
Herbe et végétation sèche	0,28 à 0,33
<b>ETENDUES D'EAU (MERS, LACS)</b>	
Eau parfaitement calme, $h > 30^\circ$	0,06 à 0,02
Eau parfaitement calme, $h < 10^\circ$	0,35 à 0,60
Mers et océans, $h > 30^\circ$	0,02 à 0,05
Mers et océans, $h < 10^\circ$	0,02 à 0,20
Vastes surfaces glacées	0,25 à 0,40
<b>MATERIAUX DIVERS</b>	
Argent poli	0,94
Argent oxydé	0,50
Aluminium poli	0,97
Aluminium oxydé	0,85
Béton	0,50
Charbon	0,15
Graviers	0,25
Asphalte	0,18
Chaux blanche	0,75
Papier blanc	0,85
Peintures blanches	0,90
Peintures noires mates	0,07
Verre à vitres	0,10
Plâtre blanc sec	0,90
Fibrociment	0,20
<b>NUAGES</b>	
Stratiformes	0,40 à 0,75
Cumuliformes	0,60 à 0,85

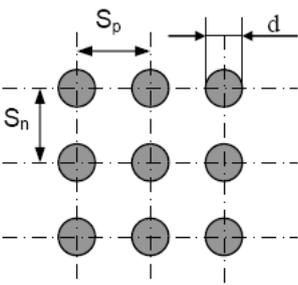
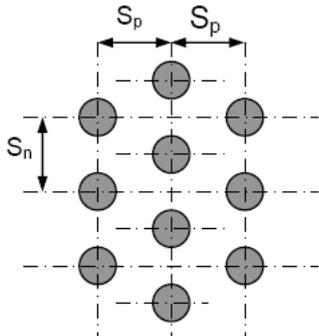
## Corrélations pour le calcul des coefficients de transfert en convection Forcée

Caractéristiques du fluide calculée à :  $\theta_f = \frac{\theta_p + \theta_\infty}{2}$

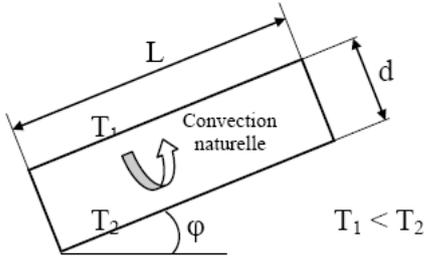
Géométrie	Corrélation																		
Écoulement sur un plan	<p><math>Nu(x)</math> : Nu à la distance x du bord du plan  <math>\overline{Nu}_L</math> : Nu moyen sur la longueur L du plan</p> <p><u>Écoulement turbulent</u> :</p> $Nu(x) = 0,0288 Re(x)^{0,8} Pr^{1/3}$ $\overline{Nu}_L = 0,035 Re_L^{0,8} Pr^{1/3}$ <p style="text-align: right;"><math>Re &gt; 5 \cdot 10^5</math> et <math>Pr \geq 0,5</math></p> <p><u>Écoulement laminaire</u> :</p> $Nu(x) = 0,324 Re(x)^{0,5} Pr^{1/3}$ $\overline{Nu}_L = 0,628 Re_L^{0,5} Pr^{1/3}$ <p style="text-align: right;"><math>Re &lt; 5 \cdot 10^5</math> et <math>10 \geq Pr \geq 0,5</math></p>																		
Écoulement dans un tube	<p><u>Écoulement turbulent</u> : <math>Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n</math></p> <p><math>n = 0,3</math> si <math>\theta_{\text{fluide}} &gt; \theta_{\text{paroi}}</math>  <math>n = 0,4</math> si <math>\theta_{\text{fluide}} &lt; \theta_{\text{paroi}}</math></p> <p style="text-align: right;"><math>Re &gt; 5000</math> et <math>0,6 &lt; Pr &lt; 100</math></p> <p>Re calculé pour <math>D_H = 4S / P</math> où : S = section de passage du fluide  P = périmètre de contact fluide/paroi</p> <p><u>Écoulement laminaire</u> : <math>Nu = 1,86 (Re Pr)^{1/3} \left(\frac{D}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0,14}</math></p> <p>Valable pour <math>Re Pr \frac{D}{L} \geq 10</math> , <math>\mu_p</math> calculé à <math>\theta_p</math></p>																		
Écoulement perpendiculaire à un cylindre circulaire	<p><math>Nu = C Re^n Pr^{1/3}</math> , vitesse <math>u_\infty</math> calculée en amont du tube</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Re</th> <th>C</th> <th>n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,4 – 4</td> <td>0,989</td> <td>0,330</td> </tr> <tr> <td>4 – 40</td> <td>0,911</td> <td>0,385</td> </tr> <tr> <td>40 – 4000</td> <td>0,683</td> <td>0,466</td> </tr> <tr> <td>4000 – 40000</td> <td>0,193</td> <td>0,618</td> </tr> <tr> <td>40000 - 250000</td> <td>0,0266</td> <td>0,805</td> </tr> </tbody> </table>	Re	C	n	0,4 – 4	0,989	0,330	4 – 40	0,911	0,385	40 – 4000	0,683	0,466	4000 – 40000	0,193	0,618	40000 - 250000	0,0266	0,805
Re	C	n																	
0,4 – 4	0,989	0,330																	
4 – 40	0,911	0,385																	
40 – 4000	0,683	0,466																	
4000 – 40000	0,193	0,618																	
40000 - 250000	0,0266	0,805																	
Écoulement perpendiculaire à un cylindre non circulaire	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Géométrie</th> <th>Re</th> <th>C</th> <th>n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td><math>5 \cdot 10^3 - 10^5</math></td> <td>0,102</td> <td>0,675</td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4</math></td> <td>0,228</td> <td>0,731</td> </tr> </tbody> </table>	Géométrie	Re	C	n		$5 \cdot 10^3 - 10^5$	0,102	0,675		$4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4$	0,228	0,731						
Géométrie	Re	C	n																
	$5 \cdot 10^3 - 10^5$	0,102	0,675																
	$4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4$	0,228	0,731																

## Corrélations pour le calcul des coefficients de transfert en convection Forcée

Caractéristiques du fluide calculée à :  $\theta_f = \frac{\theta_p + \theta_w}{2}$

Géométrie	Corrélation																																																																																																																																						
Ecoulement perpendiculaire à un faisceau de 10 tubes	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>\frac{S_p}{d}</math></th> <th colspan="8"><math>\frac{S_n}{d}</math></th> </tr> <tr> <th colspan="2">1,25</th> <th colspan="2">1,5</th> <th colspan="2">2,0</th> <th colspan="2">3,0</th> </tr> <tr> <th>d</th> <th>C</th> <th>n</th> <th>C</th> <th>n</th> <th>C</th> <th>n</th> <th>C</th> <th>n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Disposition en ligne</td> </tr> <tr> <td>1,25</td> <td>0,386</td> <td>0,592</td> <td>0,305</td> <td>0,608</td> <td>0,111</td> <td>0,704</td> <td>0,070</td> <td>0,752</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>0,407</td> <td>0,586</td> <td>0,278</td> <td>0,620</td> <td>0,112</td> <td>0,702</td> <td>0,075</td> <td>0,744</td> </tr> <tr> <td>2,0</td> <td>0,464</td> <td>0,570</td> <td>0,332</td> <td>0,602</td> <td>0,254</td> <td>0,632</td> <td>0,220</td> <td>0,648</td> </tr> <tr> <td>3,0</td> <td>0,322</td> <td>0,601</td> <td>0,396</td> <td>0,584</td> <td>0,415</td> <td>0,581</td> <td>0,317</td> <td>0,608</td> </tr> <tr> <td colspan="9" style="text-align: center;">Disposition en quinconce</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,236</td> <td>0,636</td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,495</td> <td>0,571</td> <td>0,445</td> <td>0,581</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,552</td> <td>0,558</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1,125</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,531</td> <td>0,565</td> <td>0,575</td> <td>0,560</td> </tr> <tr> <td>1,25</td> <td>0,575</td> <td>0,556</td> <td>0,561</td> <td>0,554</td> <td>0,576</td> <td>0,556</td> <td>0,579</td> <td>0,562</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>0,501</td> <td>0,568</td> <td>0,511</td> <td>0,562</td> <td>0,502</td> <td>0,568</td> <td>0,542</td> <td>0,568</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{S_p}{d}$	$\frac{S_n}{d}$								1,25		1,5		2,0		3,0		d	C	n	C	n	C	n	C	n	Disposition en ligne									1,25	0,386	0,592	0,305	0,608	0,111	0,704	0,070	0,752	1,5	0,407	0,586	0,278	0,620	0,112	0,702	0,075	0,744	2,0	0,464	0,570	0,332	0,602	0,254	0,632	0,220	0,648	3,0	0,322	0,601	0,396	0,584	0,415	0,581	0,317	0,608	Disposition en quinconce									0,6	-	-	-	-	-	-	0,236	0,636	0,9	-	-	-	-	0,495	0,571	0,445	0,581	1,0	-	-	0,552	0,558	-	-	-	-	1,125	-	-	-	-	0,531	0,565	0,575	0,560	1,25	0,575	0,556	0,561	0,554	0,576	0,556	0,579	0,562	1,5	0,501	0,568	0,511	0,562	0,502	0,568	0,542	0,568
	$\frac{S_p}{d}$		$\frac{S_n}{d}$																																																																																																																																				
		1,25		1,5		2,0		3,0																																																																																																																															
	d	C	n	C	n	C	n	C	n																																																																																																																														
	Disposition en ligne																																																																																																																																						
	1,25	0,386	0,592	0,305	0,608	0,111	0,704	0,070	0,752																																																																																																																														
	1,5	0,407	0,586	0,278	0,620	0,112	0,702	0,075	0,744																																																																																																																														
	2,0	0,464	0,570	0,332	0,602	0,254	0,632	0,220	0,648																																																																																																																														
	3,0	0,322	0,601	0,396	0,584	0,415	0,581	0,317	0,608																																																																																																																														
	Disposition en quinconce																																																																																																																																						
	0,6	-	-	-	-	-	-	0,236	0,636																																																																																																																														
	0,9	-	-	-	-	0,495	0,571	0,445	0,581																																																																																																																														
	1,0	-	-	0,552	0,558	-	-	-	-																																																																																																																														
	1,125	-	-	-	-	0,531	0,565	0,575	0,560																																																																																																																														
	1,25	0,575	0,556	0,561	0,554	0,576	0,556	0,579	0,562																																																																																																																														
	1,5	0,501	0,568	0,511	0,562	0,502	0,568	0,542	0,568																																																																																																																														
		 <p style="text-align: center;">Disposition en ligne</p>  <p style="text-align: center;">Disposition en quinconce</p>																																																																																																																																					
Ecoulement perpendiculaire à un faisceau de n rangées de tubes (n ≤ 10)	$N = \frac{h_n}{h_{10}}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre rangées</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N en ligne</td> <td>0,64</td> <td>0,80</td> <td>0,87</td> <td>0,90</td> <td>0,92</td> <td>0,94</td> <td>0,96</td> <td>0,98</td> <td>0,99</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>N en quinconce</td> <td>0,68</td> <td>0,75</td> <td>0,83</td> <td>0,89</td> <td>0,92</td> <td>0,95</td> <td>0,97</td> <td>0,98</td> <td>0,99</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre rangées	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N en ligne	0,64	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0	N en quinconce	0,68	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0																																																																																																					
Nombre rangées	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																													
N en ligne	0,64	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0																																																																																																																													
N en quinconce	0,68	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0																																																																																																																													

## Corrélations pour le calcul des coefficients de transfert en convection Naturelle

<i>Corrélations valables pour tous fluides : <math>Nu = C (Gr Pr)^m</math></i>			
Géométrie	Gr Pr	C	m
Plaques et cylindres verticaux	$10^4 - 10^9$ $10^9 - 10^{13}$	0,59 0,021	1/4 2/5
Cylindres horizontaux	$10^{-10} - 10^{-2}$	0,675	0,058
	$10^{-2} - 10^2$	1,02	0,148
	$10^2 - 10^4$	0,850	0,188
	$10^4 - 10^7$	0,480	0,25
	$10^7 - 10^{12}$	0,125	0,33
Face supérieure d'une plaque chaude ou face inférieure d'une plaque froide	$2 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^6$ $8 \cdot 10^6 - 10^{11}$	0,54 0,15	0,25 0,33
Face inférieure d'une plaque chaude ou face supérieure d'une plaque froide	$10^5 - 10^{11}$	0,27	0,25
Cellule fermée rectangulaire inclinée 	$Nu = 1 + 1,44 \left( 1 - \frac{1708}{Gr Pr \cos \varphi} \right) \left[ 1 - \frac{1708 (\sin(1,8 \varphi)^{1,6})}{Gr Pr \cos \varphi} \right] +$ $\left[ \left( \frac{Gr Pr \cos \varphi}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad \text{si } 0 < \varphi < \varphi^*$ $Nu = (\sin \varphi)^{1/4} Nu(90^\circ) \quad \text{si } \varphi^* < \varphi < 90^\circ$ $Nu = 1 + [Nu(90^\circ) - 1] \sin \varphi \quad \text{si } 90^\circ < \varphi < 180^\circ$ <p style="text-align: center;">Avec <math>\varphi^* = \tan^{-1}(4800 Pr)</math></p>		
<i>Relations simplifiées pour de l'air à pression atmosphérique</i>			
Géométrie	Laminaire $10^4 < Gr Pr < 10^9$	Turbulent $Gr Pr > 10^9$	
Plaque ou cylindre vertical	$h = 1,42 \left( \frac{\Delta\theta}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1,31 (\Delta\theta)^{1/3}$	
Cylindre horizontal	$h = 1,32 \left( \frac{\Delta\theta}{D} \right)^{1/4}$	$h = 1,24 (\Delta\theta)^{1/3}$	
Face supérieure d'une plaque horizontale chaude ou face inférieure d'une plaque froide	$h = 1,32 \left( \frac{\Delta\theta}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1,52 (\Delta\theta)^{1/3}$	
Face inférieure d'une plaque chaude ou face supérieure d'une plaque froide	$h = 0,59 \left( \frac{\Delta\theta}{L} \right)^{1/4}$	$h = 0,59 \left( \frac{\Delta\theta}{L} \right)^{1/4}$	

# **REFERENCES**

REFERENCES

- [1] R. David WILGENBUS, " Dossier « l'énergie solaire »", la main à la pâte- Société française de physique. (Ce dossier est en ligne sur le site de La main à la pâte : [http://www.inrp.fr/lamap/?Page\\_Id=16&Action=2&Element\\_Id=380&DomainScienceType\\_Id=7](http://www.inrp.fr/lamap/?Page_Id=16&Action=2&Element_Id=380&DomainScienceType_Id=7))
- [2] P. R. Yves JANNOT, "Thermique Solaire ", Parie. Octobre 2003
- [3] KITAS, « Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie des serres », Thèse docteur ingénieur ; Université de Perpignan ; 1980
- [4] R. MIRI, " Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie d'une serre solaire ", Thèse de magistère; l 'U.S.T.H.B; 1983.
- [5] DUFFIE J. & BECKMAN W A, « solar engineering of thermal processes », Wiley inter science publication, New York (Second Edition); 1991
- [6] P. CHOUARD H. MICHEL & M. F. SIMON, " Bilan thermique d'une maison solaire. Méthode de calcul rapide ", Edition Eyrolles; 1979.
- [7] P. R. Matthieu Collet, "Etude d'un échange de chaleur au niveau de la surface du sol", Projet libre -Semestre 6-Licence 3 Physique. Université du Maine.
- [8] R. Stéphane THIERS, "Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive", Thèse de doctoral. Ecole nationale supérieure des mines de paris." Novembre 2008.
- [9] GUARRACINO G. SFEIR A.A, « ingénierie des systèmes solaires. Applications à l'habitat », Editions : Technique et documentation ; 1981
- [10] R. Prof. A. Mermoud, " Cours de physique du sol-Régime thermique du sol-", Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Janvier 2006 .
- [11] Le bâtiment d'élevage à basse consommation d'énergie (BEBC)  
[www.architecturesagricultures.fr/\\_pdf/outils\\_du.../batimentElevageBasseConso.pdf](http://www.architecturesagricultures.fr/_pdf/outils_du.../batimentElevageBasseConso.pdf)
- [12] GUIDE D'ELEVAGE DES VOLAILLES. AU SENEGAL  
[www.dphu.org/uploads/attachements/books/books\\_886\\_0.pdf](http://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_886_0.pdf)

## Le résumé:

Les plus grandes difficultés rencontrées par les aviculteurs est:

De fournir le bon climat car toute défaillance mineure du système de chauffage entraînera de lourdes pertes matérielles.

Deuxièmement, la grande quantité d'énergie consommée par les systèmes utilisés, qui dépend principalement des sources d'énergie fossiles.

Afin de réaliser un système qui permet les meilleures conditions de chauffage pour la volaille et qui dépend des énergies renouvelables, cette recherche tentera d'y parvenir sur la base du système qui utilise l'énergie solaire par cellules photovoltaïques, en plus des panneaux thermiques le matin, Des couches de la terre et nous contrôlerons la température du système par des organisations thermales réparties dans tout le périmètre de l'établissement.

Cette recherche détermine les dimensions de système qui a concept, où:

- Le rayon des tubes; la profondeur des tubes dans les couches de la terre; la température optimale.

**Mots clefs:** chauffage, élevage volaille, énergies renouvelables, panneaux thermiques, couches de la terre.

---

## المخلص:

إن من أكبر الصعوبات التي تواجه مربّي الدواجن هي:

أولاً: توفير المناخ المناسب، حيث أن كل خلل في نظام التدفئة، وإن كان بسيطاً سيؤدي إلى خسائر مادية معتبرة.

ثانياً: كمية الطاقة الكبيرة التي تستهلكها الأنظمة المستعملة في الغالب، والتي تعتمد بشكل رئيسي على مصادر الطاقة الأحفورية.

ومن أجل إنشاء نظام يعتمد على الطاقة المتجددة، ويسمح بتوفير أحسن شروط للتدفئة الخاصة بالدواجن، حاولنا من خلال هذا البحث تحقيق ذلك، حيث أنشأنا نظاماً يعتمد على الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الكهروضوئية، إضافة إلى ألواح استقبال حرارية وهذا خلال الفترة الصباحية، أما في الليل فاعتمدنا على نظام التخزين الحراري في طبقات الأرض، أما فيما يخص التحكم في درجة حرارة المنشأة فاستخدمنا منظمات حرارية موزعة على كامل محيطها.

هذا البحث يهتم بتحديد أبعاد النظام من حيث:

- نصف قطر الأنابيب المستعملة، عمق هذه الأنابيب في طبقات الأرض، درجة الحرارة المثلى.

**الكلمات المفتاحية:** تدفئة، منشأة دواجن، طاقة متجددة، ألواح استقبال حرارية، طبقات الأرض.

---

## Abstract

The biggest difficulties encountered by poultry formers are:

To provide the right climate because any minor failure of the heating system will result in heavy losses.

Secondly, the large amount of energy consumed by the system used which depends mainly on fossil fuels.

In order to achieve a system that allows the best heating conditions for poultry and depends on renewable energies; this research will try to achieve this on the basis of the system that uses photovoltaic cells solar energy, in addition to thermal organizations distributed throughout the perimeter of the establishment.

This research determines the dimensions of the system that has concept, where:

- The radius of the tubes; the depth of the tubes in the layers of the earth; the optimal temperature.

**Keywords:** heating, breeding, poultry, renewable energy, thermal panels, layers of the earth.

